INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS DE LA OEA
ZONA SUR

ENFOQUE DE SISTEMAS EN LA INVESTIGACION GANADERA

EDITADO POR
JUAN CARLOS SCARSI

Montevideo - Uruguay
1974

INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS DE LA OEA

ENFOQUE DE SISTEMAS EN LA INVESTIGACION GANADERA

EDITADO POR

JUAN CARLOS SCARSI

SEMINARIO REALIZADO DEL 25 AL 28 DE ABRIL DE 1972

MONTEVIDEO - URUGUAY

ZONA SUR

INDICE

PRESENTACION

La presente publicación constituye el corolario y la consecuencia del seminario sobre "Enfoque de Sistemas en la Investigación Ganadera", desarrollado en Montevideo del 25 al 28 de abril de 1972.

El Seminario fue programado como una de las actividades de la Línea de Investigación Agrícola del Instituto y su organización estuvo a cargo del Ing. Eduardo S. Bello, quien contó con la colaboración del Ing. Edmundo Gastal y el Dr. Andrew Gardner y en el cual participaron 22 especialistas en Investigación Ganadera de Argentina, Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay. Además, actuaron en carácter de Profesores invitados, el Dr. Norman R. Brockington, Head, Systems Synthesis Department, The Grassland Research Institute, Hurley, Gran Bretaña y el Dr. Frederic Morley, Assistant Director, Division of Plant Industry, C.S.I.R.O, Australia.

El objetivo del Seminario fue presentar la metodología utilizada para el enfoque de sistemas y discutir los avances más recientes en esta nueva área de investigación ganadera.

Esta publicación recopila el material científico utilizado durante el Seminario y que fue oportunamente aportado por los Dres. Brockington y Morley para su análisis y discusión con los participantes. Los artículos abarcan tópicos que van desde la formulación de modelos matemáticos de sistemas, elaboración de modelos económicos, validación, simulación y verificación de los mismos hasta la toma de decisiones.

Debido al creciente interés por desarrollar sistemas de producción ganadera en Latinoamérica, consideramos importante divulgar esta metodología de trabajo como una contribución para el reenfoque de la investigación que se ha venido desarrollando en la Zona Sur, promoviendo la necesidad de que tanto la información biológica como la económica sean sintetizadas en la elaboración de paquetes tecnológicos aplicables a la producción comercial.

Esta actividad ha demandado en el pasado un considerable esfuerzo a la Línea de Investigación del Instituto, canalizándolo a través de la realización del Seminario sobre "Análisis Económico de los Datos de la Investigación Agrícola" desarrollado en Mar del Plata en 1971 y con trabajos de asesoramiento directo para la instalación de sistemas ganaderos en la

Estación Experimental Cinco Cruces en Bagé (Brasil) y los correspondientes a Young y Tacuarembó con el Centro de Investigaciones Agrícolas "Alberto Boerger" de Uruguay y los sistemas de producción ganadera desarrollados con la Universidad de Chile.

El trabajo de recopilación, selección y traducción del material que se presenta en esta publicación fue comenzado por el Ing. Eduardo S. Bello. El Instituto al completar y publicar su trabajo desea rendir un póstumo homenaje al destacado técnico uruguayo, por su actividad pionera en la promoción del enfoque de sistemas como método de investigación, que lo impulsó desde la Dirección del Centro de Investigaciones Agrícolas "Alberto Boerger" y como técnico especializado de IICA.

Finalmente deseamos expresar nuestro sincero agradecimiento a los Profesores Dres. Brockington y Morley y a los organizadores y participantes del Seminario por la importante contribución realizada a los países de la Zona Sur.

Manuel Rodríguez Zapata
Director Regional
IICA, Zona Sur

CAPITULO I

SISTEMAS, MODELOS Y EXPERIMENTOS EN AGRICULTURA *

N. R. BROCKINGTON

LOS SISTEMAS

DEFINICION

Cuando un cierto número de cosas están ensambladas para realizar una función común, se usa la palabra "sistema" para describir ese núcleo formado por las distintas partes y sus conexiones. La interdependencia entre los componentes de un sistema es lo que nos permite distinguirlo de un simple montón o colección de cosas. En un sistema, las partes están relacionadas unas con otras y dependen unas de las otras; no se trata de una colección al azar de fragmentos y pedazos; están *dispuestas* de una manera específica para un *propósito* específico.

EJEMPLOS DE SISTEMAS

Probablemente, los sistemas más fáciles de identificar como ejemplo sean los físicos creados por el hombre. Tenemos sistemas mecánicos (máquinas) tales como bicicletas, autos y aeroplanos para transportar nuestros

---

* Trabajo presentado en el Seminario sobre el Enfoque de Sistemas en la Investigación Agropecuaria organizado por el IICA-Zona Sur en Montevideo, Uruguay, del 25 al 28 de abril de 1972.

bienes y a nosotros mismos de un lado a otro. Construimos sistemas de represas y lagos artificiales, bombas, caños y tuberías para proveer agua. En estos casos es posible ver y tocar sus partes y conexiones físicas, y es obvio que se diseñaron y se reunieron, como un todo, para un fin común.

Muchos de los sistemas biológicos y agrícolas no tienen lazos físicos evidentes a la observación inmediata, y las partes que los componen pueden confundirse fácilmente con entidades independientes. La relación entre el crecimiento de las pasturas y el reciclaje de los nutrientes minerales a través de la vía de las excreciones animales, puede ser importante en algunas circunstancias, pero esto no puede verse o tocarse en el verdadero sentido de la palabra.

SISTEMAS GRANDES Y PEQUEÑOS Y "GRADOS DE DETALLE"

En la biología y en la agricultura, así como en otras materias, vemos las cosas diferentes de acuerdo a nuestra posición, o según miremos a través de un microscopio o por la ventanilla de un avión. Con un microscopio es posible llegar a enfocar los componentes individuales de una célula vegetal o animal; desde un aeroplano podemos ver los campos cultivados de todo un distrito. Lo interesante es que en ambos casos nos encontramos mirando un cierto número de fragmentos y pedazos que de algún modo están conectados para funcionar como un todo: en otras palabras, estamos observando un "sistema". Los sistemas totales y sus componentes son muy diferentes en tamaño, pero son similares en cuanto se comportan como "un todo".

En realidad, podemos distinguir una diversidad muy amplia de tamaños en los sistemas biológicos y agrícolas, que han sido llamados "niveles de resolución", "niveles de detalle" o "niveles de comprensión".

Comenzando por los más pequeños, tenemos los sistemas bioquímicos y biofísicos; progresando hacia niveles menos detallados, encontramos las células, órganos, plantas y animales y poblaciones enteras de plantas y animales (cultivos y rodeos). En un nivel superior de la escala, tenemos al hombre, sus máquinas y su dinero como partes integrantes del sistema de producción agrícola, que corresponden a los diversos rubros tales como: el cultivo de trigo, la producción de cerdos, etc. Las granjas, por lo general, involucran varios sistemas de producción, y cuando entramos a considerar la agricultura de regiones enteras, se debe incluir los mercados comunes, los medios de transporte, las fábricas de fertilizantes, etc.

Sea cual sea el nivel de detalle que nos concierna, estaremos frente a un sistema de algún tipo. Conciente o inconcientemente, el investigador busca la explicación del por qué y cómo un sistema, en un nivel particular, se comporta de la forma en que lo hace, analizando los detalles del nivel

inferior inmediato. En otras palabras, buscando los componentes del sistema. Muchas veces quiere también visualizar su nivel particular en un contexto más amplio, en el próximo nivel superior.

¿POR QUE ESTUDIAR LOS SISTEMAS?

La razón básica para reconocer y estudiar los sistemas en su totalidad, a cualquier nivel de comprensión, es que no se puede describir o comprender completamente un solo componente a menos que se le ubique en el contexto del sistema en el cual opera.

Por ejemplo, el proceso de ingestión de pasto por un animal en pastoreo tiene una intricada ligazón con el sistema total de pastoreo. Cada animal puede competir con los otros por el pasto disponible. La cantidad que come hoy puede afectar el crecimiento inmediato de la pastura del día siguiente o de la próxima semana y, por lo tanto, influirá sobre la cantidad de alimento de que dispondrá en el futuro. Como menciona de Wit [10], el animal en pastoreo tiene el hábito de estropear su propia mesa, y sus excreciones pueden afectar la palatabilidad de los pastos. Si consideramos un período más prolongado, el eventual reciclaje de nutrientes minerales puede influir sobre el crecimiento de las plantas y, por lo tanto, indirectamente, sobre lo que el animal comerá más adelante.

Tales interconexiones y "feedback loops" -como por ejemplo, hasta dónde la pastura consumida provoca la defecación, la que a su vez autoregula el consumo futuro (feedback)- hacen imposible el tratar de comprender o predecir el consumo como un fenómeno aislado.

Al nivel *aplicado* de sistemas de producción agrícola, existe otra razón para preocuparse por los sistemas en su totalidad: estos sistemas totales de producción son las unidades comunes que le interesan al productor. Los detalles referentes a la digestión de los rumiantes no son de interés inmediato del productor de carne, a menos y hasta que sean traducidos e interpretados de maneras concretas y transformados en medios factibles de poner en práctica para aumentar el volumen o eficiencia de la forma en que él produce carne. Esencialmente, éste es sólo un ejemplo particular de la importancia de ubicar los componentes individuales y los procesos en el lugar correcto; pero que sirve para ilustrar que para la investigación aplicada el análisis de sistemas constituye un aspecto fundamental.

LA COMPLEJIDAD DE LOS SISTEMAS AGRICOLAS Y LA NECESIDAD DE DESCRIPCIONES CUANTITATIVAS

El hecho de reconocer la necesidad de estudiar los sistemas totales nos enfrenta cara a cara con un problema: los sistemas agrícolas son

por lo general, bastante complicados. La cuestión es cómo hacer frente a esa complejidad cuando, por ejemplo, no sólo existe interacción entre un amplio número de componentes interconectados e interactuantes, sino que esa interrelación puede variar con el tiempo. Los sistemas agrícolas totales son difíciles de describir, y es difícil y costoso experimentar con ellos.

También debemos aceptar la necesidad de disponer de descripciones cuantitativas y cualitativas de los sistemas. A medida que las ciencias biológicas y afines se hacen menos rígidas, cualitativas, se tornan cada vez menos aceptables.

Debemos satisfacer ambas necesidades, en parte al menos, mediante el uso de modelos "cuantitativos" o "matemáticos".

LOS MODELOS

Una definición general de modelo sería: "abstracción de la realidad". Se trata, a menudo, de un esfuerzo para representar algunos de los hechos importantes de las cosas reales de un modo simplificado, para poder entender algo sobre cómo son y/o cómo se comportan.

Nosotros utilizamos varios tipos de modelos en nuestros intentos por comprender y también para transmitir este conocimiento a otros. Un modelo puede ser simplemente una palabra, figura o descripción; puede ser una representación física, generalmente reducida a escala, o también estática o dinámica, o trabajando como un modelo de avión que de hecho vuela.

Generalmente, los ingenieros y los físicos usan modelos hidráulicos, o modelos eléctricos análogos, con redes de alambres, resistencias, motores, etc. Los modelos numéricos o matemáticos se están usando cada vez más, especialmente en sistemas de ingeniería; y esta tendencia se está dando también en biología y agricultura.

Los modelos matemáticos tienen cierto número de ventajas: *brevedad:* las ecuaciones matemáticas ahorran gran cantidad de palabras; *flexibilidad:* pueden manipularse y cambiarse fácilmente; y el hecho de que *evitan ambigüedades* cuando se manejan números. (Aquí, debemos ser sumamente cuidadosos para diferenciar precisión y exactitud, que no son necesariamente sinónimos. La necesidad de hacer un cálculo preciso para un valor numérico no es garantía de que el mismo sea exacto o "correcto").

UN EJEMPLO DE MODELO MATEMATICO Y SU ELABORACION

No és intención del autor describir en detalle el ejemplo de modelo matemático elegido; se trata de un ejemplo conveniente de elaboración de un modelo de tipo numérico.

Williams y Garwood [5], del Grassland Research Institute, se han ocupado en algunos de sus experimentos del efecto de la disponibilidad de agua en el suelo sobre la producción de una pradera de ryegrass perenne. Hemos elaborado un modelo simple de lo que nosotros creemos que pasa con el agua en un sistema suelo/planta/atmósfera, y de cómo pensamos que el nivel de agua resultante en el suelo afecta la producción del pasto.

La elaboración de un modelo como éste comienza con un diagrama; se le llama indistintamente "diagrama de cuadros y flechas", "diagrama de relación" o "diagrama de flujo". Todos estos nombres son descriptivos de los componentes más importantes del sistema (cuadros) y de la forma en que están conectados (o relacionados). Un tipo de conexión es un flujo físico de material; otro sería cuando un componente afecta a otro sin movimiento físico de material, y otro donde se indique un flujo de información. Convencionalmente, las corrientes físicas se indican con líneas continuas, a menudo con algún símbolo tipo válvula que denote que el grado de intensidad del flujo está controlado; los flujos de información se indican con líneas discontinuas.

Si miramos al diagrama que nos sirve de ejemplo, vemos que se refiere casi en su totalidad a cálculos sobre el *balance hídrico del suelo*.

Tenemos aquí dos casilleros que representan, uno, la cantidad o nivel de agua en la *parte superior del suelo*, y el otro el agua en el *subsuelo*. (Es necesario separar estas dos fracciones de la totalidad de agua, porque parte del efecto del agua sobre la pastura es indirecto, actuando, en un caso, a través de la absorción de nitrógeno; y, en nuestras tierras, la mayor parte del nitrógeno disponible está confinado en la parte superior del suelo).

Hacia afuera y hacia adentro de estos casilleros que representan el agua del suelo están los flujos físicos: las tasas de incorporación y pérdida de agua; por ejemplo, la lluvia y el riego aumentan la humedad de la parte superior del suelo, mientras que tanto el suelo como el subsuelo pierden agua mediante la transpiración -al absorberla las raíces de las plantas y perderla eventualmente al evaporarse a través de las hojas en la atmósfera- y así sucesivamente.

Al movilizarse el *agua* de este modo, es fácil imaginar las corrientes físicas que entran o salen de los casilleros o "tanques. Requiere un poco

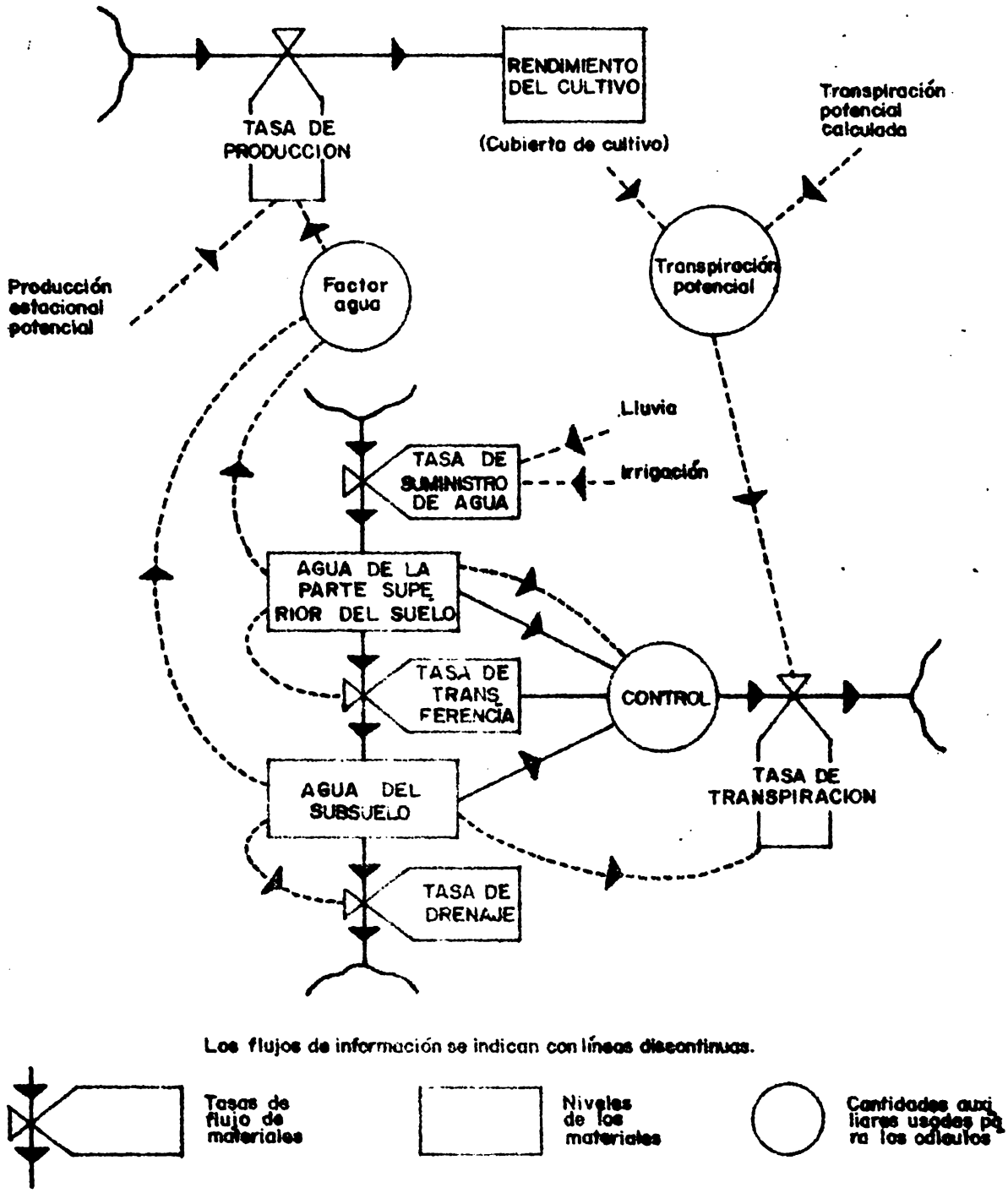


FIG. Nº 1.- *Producción de la pastura en relación con la disponibilidad de agua: este diagrama de flujos del modelo muestra las relaciones entre sus componentes.-*

más de imaginación visualizar de la misma manera el crecimiento o la producción de las plantas. Pero es esencialmente el mismo proceso, y puede ser representado exactamente del mismo modo -como se hizo en la parte superior del diagrama. Tenemos aquí un casillero que representa la cantidad de pastura de un campo, y la *tasa* de producción fluyendo hacia adentro del casillero -lo que se agrega a la cantidad de pastura existente. (Incidentalmente, esta corriente de pastura se indica con una línea que comienza en forma ondulada desde una "fuente" según nuestra jerga. Esto significa simplemente que hemos decidido marcar en este punto el límite de nuestro sistema; no decimos exactamente de dónde viene; sólo decimos que viene).

En el diagrama aparece una serie de líneas discontinuas, las que se usan para mostrar los efectos indirectos entre los componentes, o los "flujos de información". Por ejemplo, tanto los niveles de agua de la parte superior del suelo como del subsuelo contribuyen al efecto total sobre la producción de pasto, que aquí se indica como "Factor Agua". (Este último está dentro de un símbolo circular para denotar que se necesitan algunos cálculos intermedios o "auxiliares" para valorar el efecto compuesto de ambas fracciones, suelo y agua).

Hemos dicho que la elaboración del modelo *comienza* con el diagrama; de hecho, ésta es la parte difícil del trabajo -definir los fragmentos y pedazos del sistema y sus conexiones y relaciones. Después de ello, todo lo que resta es escribir una simple ecuación o conjunto de ecuaciones para cada símbolo del diagrama. Este es esencialmente un proceso mecánico, y quisiera poder mostrarles qué fácil se hace mediante el uso de computadoras modernas y de un lenguaje de programación para fines específicos.

MODELOS DE SIMULACION

El ejemplo que hemos estado observando se conoce con el nombre de modelo de simulación. Se trata de un esfuerzo por imitar el comportamiento de un sistema y de sus cambios a medida que pasa el tiempo; en otras palabras, es un modelo *dinámico*. Es para este tipo de modelo que resultan especialmente útiles los lenguajes de programación de computadoras para fines específicos, como el DYNAMO y el CSMP [2 7 8]. Más adelante volveremos sobre el punto.

Hemos visto que estos modelos ayudan al biólogo a resumir todo lo que sabe sobre un sistema, en términos de los mecanismos y procesos que involucra. Paradójicamente, cuando se aboca a comparar el comportamiento de su modelo con el comportamiento de todo el sistema real, lo que más le interesa son los errores y las inconsistencias, que son en cierto sentido lo más valioso para él.

Volviendo al ejemplo, veamos algunas comparaciones que podemos hacer entre las predicciones de los modelos y las estimaciones sobre producción de pastos basadas en los resultados experimentales de campo. Antes que nada, debemos aclarar que los experimentos que realizamos para esto fueron completamente *independientes* de los utilizados para definir relaciones para el modelo. Este es un punto de vital importancia, porque de lo contrario la comparación sólo serviría para controlar la matemática de la computadora o la nuestra propia. También se ha verificado por separado las predicciones de balance hídrico.

Para las comparaciones dispusimos de datos experimentales sobre producción de pasturas con y sin riego, y el modelo se creó para pronosticar la producción en praderas no irrigadas o en situaciones en que este elemento escasea.

Se puede apreciar que en los dos primeros experimentos las predicciones estuvieron razonablemente cerca de las estimaciones de los ensayos de campo. En el tercer año hubo algunas discrepancias, en particular sobre la recuperación en el promedio de producción después de un largo período de sequía en junio y julio; ésta fue más lenta en el campo de lo que indicaba la predicción del modelo.

Es este tipo de discrepancia lo que permite al biólogo decidir *qué* es lo que necesita hacer en su próximo programa experimental. Debemos destacar que se trata de un llamado de atención para tratar de obtener más o mejor información mediante la experimentación y *no* para alterar arbitrariamente el modelo hasta que "coincida". Resulta fácil tratar de arreglar torpemente el modelo sin base alguna de información, pero también es inútil y engañoso. Los vacíos e inconsistencias que aparecen en los experimentos son demasiado valiosos para disimularlos de ese modo.

Habiendo logrado una estimación de la *magnitud* de los errores en el modelo, el investigador puede juzgar la seriedad de los mismos con relación al contexto en el que se propone usar el modelo. En un proyecto de investigación aplicada, ésta es una evaluación importante de la distancia que nos separa de nuestra meta, un freno necesario a la tendencia natural de todos los proyectos a quedar inconclusos. Un método conveniente a seguir es reiterarse a intervalos regulares la siguiente pregunta: "¿mi comprensión y/o habilidad potencial para pronosticar son suficientes para el propósito perseguido?".

Si los errores son inaceptables, es posible comparar los recursos de tiempo y dinero que serían necesarios para corregirlos, contra la magnitud de los errores; esto es, con la mejora potencial del conocimiento que pueda lograrse.

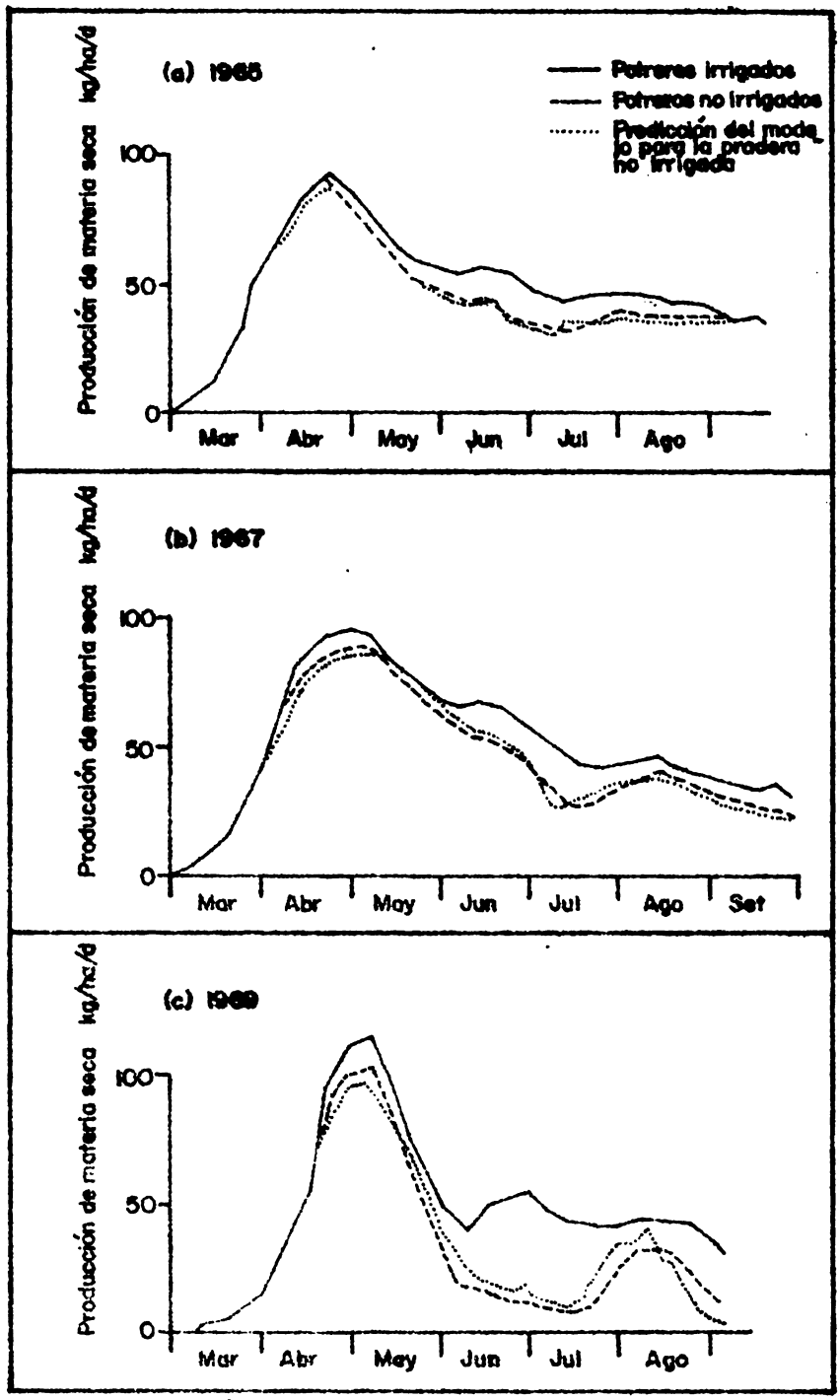


FIG. Nº 2.- *Tasas de producción estacional de una pradera de ryegrass perenne S.24. comparación de las predicciones del modelo con las estimaciones de los experimentos de campo.-*

TIPOS DE MODELOS MATEMATICOS

Hemos usado como ejemplo de modelos matemáticos un modelo de simulación, pero existen muchos otros modelos cuantitativos; el tipo de modelo que se elija dependerá del problema a resolver.

Tenemos, por ejemplo, toda una clase de modelos matemáticos cuyo hecho principal es la *variación* en los insumos o en otros parámetros. Estos modelos "*estocásticos*" o "*probabilísticos*" han sido aplicados con mucha frecuencia a estudios sobre poblaciones de plantes y animales.[9]

Cuando en un sistema existen tanto variables económicas como biológicas, puede ser esencial una rutina de optimización, tal como la *programación lineal*. [4] [6]

La forma *más simple* de un modelo cuantitativo para un sistema sería una formulación de insumo/producto; se le llama comúnmente un modelo de "casilleros negros" (black box), e implica que uno no está capacitado o no le interesa observar desde adentro los "engranajes" o mecanismos, sino sólo lo que entra o sale de ellos. En esta categoría general tenemos, por ejemplo, las curvas de respuesta de fertilizantes, las ecuaciones de regresión para curvas de respuesta, etc. No debe despreciárselos por ser modelos más "toscos" que los mecánicos; por otra parte, han servido de bases biológicas en muchos ejercicios de programación lineal. [6] Es obvio que tienen limitaciones; por ejemplo, puede ser peligroso extrapolar a condiciones muy diferentes de aquellas en que se recolectaron los datos originales, pero ningún modelo puede llenar todas las necesidades de todo el mundo. Cada uno debe ser juzgado en relación al propósito específico para el que fue creado. Se puede aplicar todos los tipos de modelos para condensar y simplificar, y para hacer más comprensible un aspecto en particular del mundo real.

Quizás el único criterio general que vale la pena destacar es que cuanto más simple sea el modelo, mejor es, en la medida en que sea coherente con el propósito que se tiene en mente.

Después de todo, si el modelo fuera una réplica exacta de la realidad, completo y preciso en cada detalle, no ayudaría a comprender el problema real, porque presentaría las mismas dificultades que éste para el estudio.

EL ANALISIS Y LA SINTESIS

Finalmente, una advertencia contra el peligro potencial de considerar los modelos como un tipo de actividad *separada* o *alternativa*.

El enfoque de sistemas es una forma de pensar, y las técnicas que se pueda aplicar son esencialmente incidentales.

Probablemente, la única sugerencia general que debe reiterarse es que se debe tomar en consideración no sólo los fragmentos y pedazos que componen los sistemas agrícolas, sino también los sistemas como totalidad.

Esto no está en oposición con una investigación analítica convencional donde el investigador enfoca el proceso componente mediante experimentos controlados. El *análisis* de un sistema es esencial para lograr información para la *síntesis* de una representación del sistema total: los dos procesos son *mutuamente interdependientes; no competitivos*.

En cierto sentido, elaborar modelos equivale a emitir hipótesis. En la metodología clásica de investigación, se alterna entre ensayos para acumular información y la elaboración de hipótesis con esa información. En cada ciclo del proceso la hipótesis se refina y mejora con la nueva información, y luego se pone nuevamente a prueba. Cuando se utiliza como una herramienta de investigación, el modelo es una forma conveniente de presentar una hipótesis sobre algo tan complicado como lo es un sistema agrícola; en otras palabras, es una parte integral de una acumulación sistemática de conocimientos.

Van Bertallanfy[1] lo ha sintetizado de este modo: "... la experiencia sin teoría es ciega; pero la teoría sin experiencia es un mero juego intelectual".

REFERENCIAS

1 VAN BERTALLANFY, L. *General System Theory*. George Braziller, New York, 1968.

2 BRENNAN, R. D. *Programme Reference Manual for 360 CSMP*. I.B.M. Application Programme 360-CX-16X. 1967.

3 BROCKINGTON, N. R. *Using Models in Agricultural Research*. Span 14, 26. 1971.

4 CRABTREE, J. R. Economic Aspects of the Inclusion of Dried Grass in Dairy Cow Rations. *J. Brit. Grassl. Soc.* 26, 63. 1971.

5 GARWOOD, E. A. and WILLIAMS, T. E. Soil Water Use and the Growth of a Grass Sward. *J. Agric. Sci.*, Camb., 68, 281. 1967

6 HEADY, E. O. and CANDLER, W. *Linear Programming Methods*. Iowa State Univ. Press. 1958.

7 PUGH, A. L. *DYNAMO Users Manual*. MIT Press. 1963.

8 _____. *DYNAMO II Users Manual*. MIT Press. 1970.

9 WATT, K. E. F. *Ann. Rev. Entom.* 7, 243. 1962.

10 DE WIT, C. T. *Misc. Papers Land* 6, Hogesh; Wageningen, 3, 25. 1968.

SUGERENCIAS PARA LA LECTURA

1 BRENNAN, R. D. et al. *The utility of a digital simulation language for ecological modelling*. Oecologia (Berl.) 4, 113. (Examples of using CSMP). 1970.

2 BROCKINGTON, N. R. In *Grassland Ecology* by C. R. W. Spedding, O.U.P. pp. 193-205. (An example of programming in DYNAMO). 1971.

3 DENT, J. B. and ANDERSON, J. R., Edits. *Systems analysis in agricultural management*. Wiley, Sydney and London. 1971.

4 EMERY, F. E, Edit. *Systems thinking: selected readings*. Penguin Modern Management Readings. 1969.

5 FORRESTER, J. W. *Industrial dynamics*. MIT Press. 1961

6 JEFFERS, JN.R. Ed. *Proceedings of an Ecological Society Symposium on mathematical models in ecology*. 1972.

7 JONES, J. G. W., Edit. *Proceedings of the Agricultural Research Council Symposium on the use of models in agricultural and biological research*. G.R.I., Hurley, Berks., U.K. 1970.

8 KING, C. E. and PAULIK, G. J. *Dynamic models and the simulation of ecological systems*. J. Theoret. Biol. 16, 251. (Examples of using DYNAMO). 1967.

9 PATTEN, B. C., Edit. *Systems analysis and simulation in ecology*. Academic Press, New York and London. 1971.

RAF/JCS/RAF

CAPITULO II

ALGUNOS ELEMENTOS DE UTILIDAD : ELABORACION DE MODELOS DE SIMULACION EN DYNAMO Y CSMP *

N. R. BROCKINGTON

UN SISTEMA DE SUMINISTRO DE AGUA

Un simple ejemplo físico puede servir para presentar la técnica.

Una de las posibles formas de visualizar el sistema y sus diversas partes es hacer una especie de diagrama. Esta tarea puede llevarse a cabo con mayor precisión representando los datos en un diagrama de tipo "casilleros y flechas" o "diagrama de flujo", lo que, además, facilita el camino para la programación de tarjetas de computación. En este caso usamos *símbolos convencionales* (ver "Industrial Dynamics", de J. W. Forrester):

Casilleros: niveles o cantidades de material

Líneas continuas con símbolos de valor: flujo del material

Líneas discontinuas: flujo de la información

Círculos: cálculos intermedios o "auxiliares

---

* Trabajo presentado en el Seminario sobre el Enfoque de Sistemas en la Investigación Agropecuaria organizado por el IICA - Zona Sur en Montevideo, Uruguay, del 25 al 28 de abril de 1972.

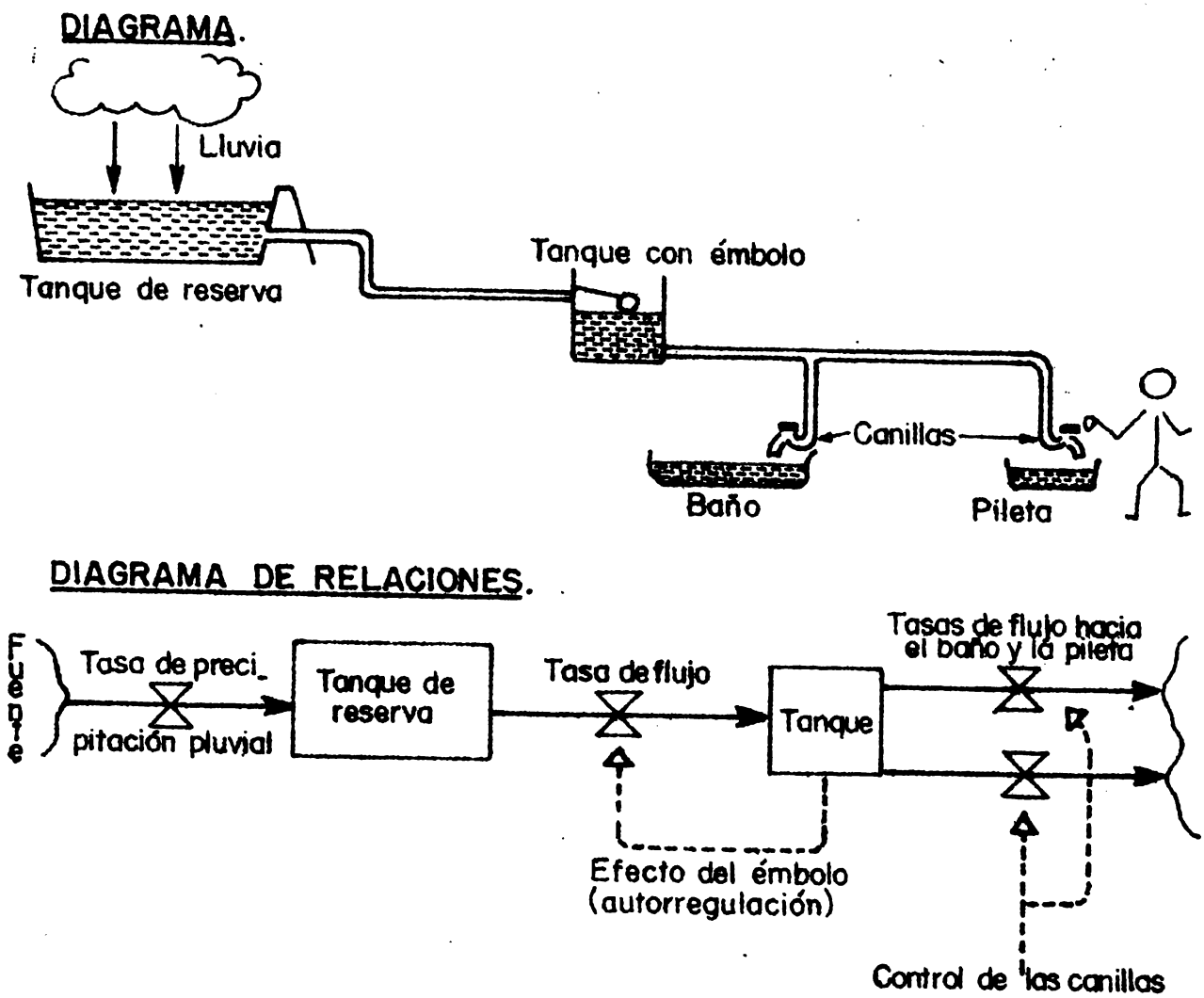


FIG. Nº 1.- *Un sistema de suministro de agua.-*

En los *límites* del sistema, cuando se lo representa gráficamente, los casilleros son reemplazados por líneas zigzagueantes para indicar "fuentes" o "relaciones" que quedan sin definir.

La programación de la computación consiste en idear una ecuación (y a veces un conjunto de ecuaciones) para cada uno de los símbolos del diagrama de flujos.

La característica básica en un sistema dinámico como éste es el nivel o cantidad de material que figura en cada uno de los casilleros. Lo que queremos lograr con el programa es llegar a calcular el nivel de cada casillero a medida que varía con el tiempo.

Si tomamos el nivel de agua del tanque, vemos que de acuerdo al diagrama (Figura N°1) su nivel dependerá *ahora* del que tenía la noche anterior, *más* lo que se le ha agregado desde ese momento proveniente del tanque de reserva, y *menos* lo que hemos dejado correr hacia el baño y la pileta.

Esto, a simple vista, parece muy fácil. Sin embargo, existe un obstáculo en esta línea de razonamiento, y es que las cantidades de flujo hacia dentro y fuera del tanque pueden haber estado *cambiando* durante el período que estamos considerando. Desde el punto de vista matemático, nos vemos enfrentados al problema de integrar estas cantidades variables al período para obtener el resultado que buscamos.

Sin embargo, la computadora viene a salvarnos del problema, y como las computadoras sólo pueden hacer cosas simples, la solución es también muy simple. Si, por ejemplo, la cantidad de agua que entra al tanque está variando, quizás como respuesta al nivel del tope de agua en el tanque de reserva, podemos dividir el total del período en pequeños fragmentos, integrados a su vez por fragmentos menores. Si estos fragmentos son lo suficientemente reducidos, podemos ignorar la pequeña variación que se da durante cada fragmento de tiempo: podemos aproximarnos a cualquier curva por medio de muchas rectas pequeñas. Aplicando este criterio, haremos múltiples cálculos sucesivos referidos a intervalos cortos -tarea que la computadora puede realizar con eficiencia- y habremos salvado el obstáculo. (¡Esta es una explicación no matemática de la integración numérica!).

De modo que todo lo que tenemos que hacer es formular la ecuación a aplicar y con un lenguaje como el DYNAMO o el CSMP la computadora se encargará del resto.

En el CSMP tenemos, usando algunas abreviaturas adecuadas para las palabras:

```
LEVTK = INTGRL (ILEVTK, (FLIN - FLO1 - FLO2))
```

Con esto estamos dando instrucciones a la computadora para integrar los flujos hacia dentro y fuera del tanque; empezando por ILEVTK, el nivel inicial al comienzo del período, ésta nos dará la respuesta que buscamos.

Para apreciar la ecuación DYNAMO necesitamos conocer las indicaciones de tiempo que se usan en este lenguaje. Cuando la computadora está haciendo los cálculos sucesivos que hemos descrito, mantiene el tiempo por medio de los siguientes suscritos:

.K al final de una palabra que indica cantidad significa "AHORA"

.J al final de una palabra que indica cantidad significa un intervalo corto de tiempo *pasado*, un DT o Tiempo DELTA pasado, cuando hizo el último cálculo

.L significa un cálculo de intervalo en el *futuro*.

Y así .JK es el tiempo transcurrido desde el último cálculo, y .KL es el tiempo que mediará entre el cálculo actual y el siguiente.

A medida que se realizan los cálculos, lo que era tiempo J desaparece, el tiempo K se transforma en tiempo J y así sucesivamente.

Ahora podemos ver qué resultados se obtendrán dándole a la computadora los datos de la ecuación DYNAMO.

Esta establece que el nivel del tanque *ahora*, tiempo K, será igual a aquel que fue calculado un intervalo antes, más el cálculo del intervalo (DT), multiplicado por la velocidad de flujo hacia dentro y fuera del tanque durante el período JK.

En el sistema DYNAMO existe también una ecuación aparte, "N", para especificar el nivel inicial en el tanque. En el CSMP podríamos haber puesto la cifra real en lugar de ILEVTK y nos hubiéramos ahorrado la formulación de una ecuación extra.

CRECIMIENTO RELATIVO DE UN ORGANISMO

Aquí estamos frente a un caso de origen biológico; se trata de la conocida curva exponencial de crecimiento siempre que no haya limitantes para el aumento de tamaño o cantidad, excepto la capacidad de crecimiento inherente al animal o la planta.

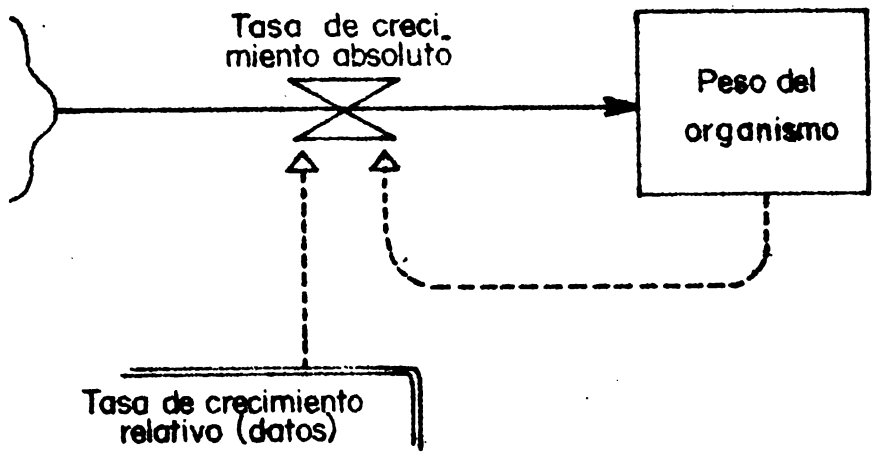


FIG. Nº 2.- ***Crecimiento relativo de un organismo.-***

Podemos dibujar un diagrama de flujos, del mismo modo que lo hicimos con el ejemplo anterior (Figura N°2).

Indicamos la tasa de crecimiento *absoluto* dependiendo de la tasa de crecimiento *relativo*, uno de los "datos" conocidos de nuestro problema, y dependiendo también del peso que el organismo ya ha alcanzado.

Nuevamente el "punto central" del programa de computación es "integrar" la tasa para calcular el nivel del casillero, el peso del organismo.

También en el CSMP encontramos una ecuación para esto:

WT = INTGRL (INWT, AGR)

Asignamos los valores numéricos para el peso inicial y la tasa de crecimiento relativo como "constantes": CONSTANTE **INWT = 20.0, RGR = 0.01**.

En este caso, tratando de ser más exactos, también asignamos una ecuación para la tasa absoluta de crecimiento:

AGR = RGR x WT

Esto constituye un programa de computación casi completo: solamente faltan uno o dos pequeños detalles para constituir una fórmula de trabajo, que encontraremos en el próximo ejemplo.

EL PUNTO DE VISTA BOTANICO SOBRE EL METABOLISMO ANIMAL

No nos extrañemos del carácter biológico de este ejemplo; el mismo será tratado, tal como se enuncia, desde un punto de vista botánico.

De acuerdo con el diagrama (Figura N°3), tenemos dos casilleros o niveles y cuatro tasas de flujo, y las ecuaciones correspondientes figuran en la parte central del programa de CSMP. En esta sección, denominada sección DINAMICA, se especifican los cálculos principales repetidos.

Los valores correspondientes a las condiciones iniciales en las dos ecuaciones integrales han sido colocados en una sección INICIAL separada, de modo de verlos todos juntos y de una sola vez, y la computadora no tiene que referirse a los mismos valores cada vez que repite los cálculos en el programa principal.

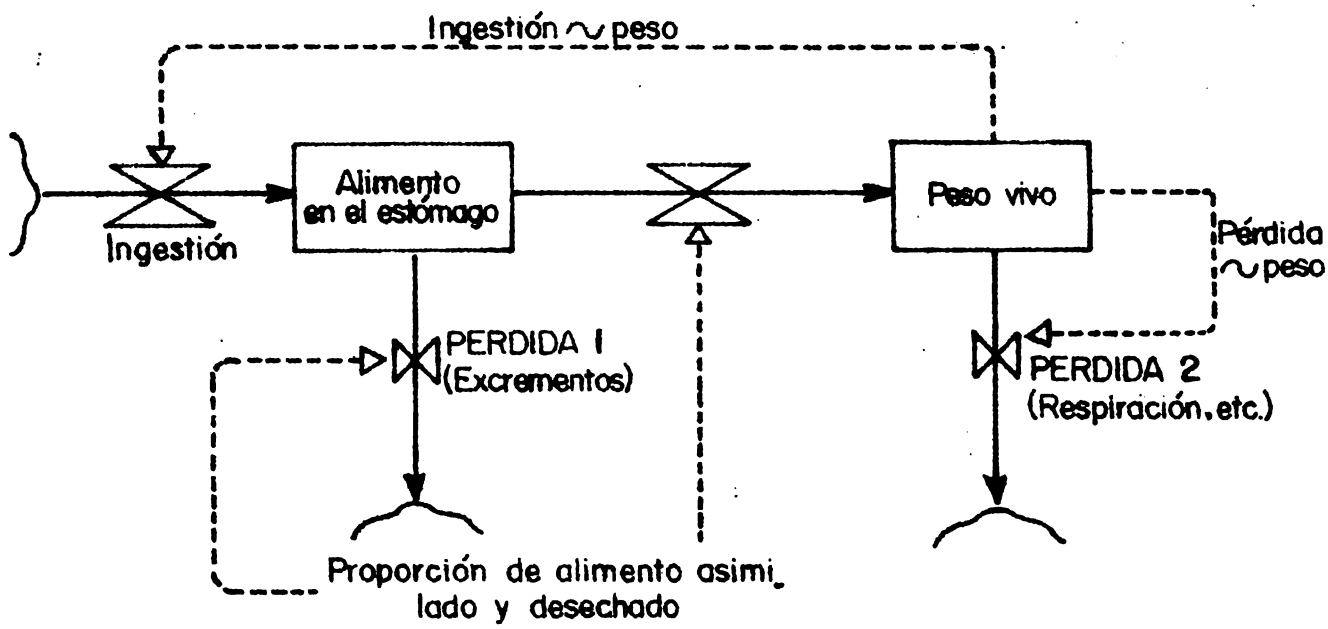


FIG. Nº 3.- ***El punto de vista botánico sobre el metabolismo animal.-***

El método de integración se especifica como el método rectangular, el más simple y apropiado para las aplicaciones biológicas dentro de la serie de la cual podemos elegir en el CSMP. (En el DYNAMO no hay posibles alternativas, se usa únicamente este método).

Tenemos una instrucción con respecto al TIEMPO que especifica el intervalo de cálculo (DELT); la duración del proceso de simulación (FINTIM); cada cuánto tiempo deben listarse los resultados (PRDEL) y cada cuánto se deben graficar los resultados (OUTDEL). Una instrucción para IMPRIMIR especifica las variables a ser impresas. Estas se graduarán automáticamente cuando sea necesario.

La instrucción o norma PRTPLT inicia la rutina que elabora la gráfica; en este caso estamos pidiendo que BWT sea graficado, y que los valores de INTAK sean impresos a lo largo de la gráfica.

Se incluye un cierto número de tarjetas de comentarios que empiezan con asteriscos, para servir de explicación y ayuda-memoria al usuario; pero éstas son ignoradas por la computadora.

Por último, tenemos que hacer que la computadora sepa que se ha llegado al final del programa. Esto significa un esfuerzo considerable, porque a la computadora no le alcanza con que se le indique que la tarea ha terminado (END), también hay que indicarle que se DETENGA (STOP); en realidad, existe una instrucción de tarea TERMINADA (END JOB) que no será listada, ¡de modo que lleva un tiempo lograr que se convenza!

RAF/JCS/RAF

CAPITULO III

¿EN QUE CONSISTE EL ENFOQUE DE SISTEMAS EN LA PRODUCCION ANIMAL ? *

F. H. W. MORLEY

INTRODUCCION

La primer investigación formal de sistemas en la producción animal tuvo origen, probablemente, en el campo de la genética animal. Se comparó varios sistemas de selección usando aplicaciones -derivadas por Lush y otros- de la teoría básica de selección y evolución de Fisher, Haldane y Wright. A su vez, esta teoría dependía de la genética mendeliana y de los estudios de mutación y variación realizados por los seguidores de Mendel. Los parámetros de los modelos genéticos se estimaron a partir de los estudios de registros genealógicos o poblaciones experimentales. Los resultados de estas comparaciones se usaron para desarrollar diversos esquemas de mejoramiento animal. La implementación de estos esquemas, en general, parece haber validado el proceso como un todo; pero sería demasiado aventurado, aún hoy, aceptar muchos de los modelos sin cuestionarlos.

Los estudios de sistemas de mejoramiento animal han progresado, pasando del simple modelo que comprende un locus, analizable con sólo la ayuda de un lápiz y un papel, a modelos más complejos que involucran múltiples recombinaciones de loci, hasta llegar a patrones de insumos y productos, que demandan computadoras de mayor velocidad y dimensión. El análisis de

---

* **Traducido de "A Systems Approach to Animal Production; what is it about?", por F. H. W. Morley, del CSIRO, Division of Plant Industry, Canberra, A.C.T., Australia. Alocución del Presidente para la Conferencia Bienal de 1972 de la Sociedad Australiana de Producción Animal.**

la mayoría de los otros sistemas de producción animal no ha progresado mucho a través del lápiz y el papel, pero el grado de interés y de compromiso en los estudios de sistemas parece estar creciendo en progresión exponencial.

Esta contribución no intenta ser una revisión. El objetivo es indicar los hechos esenciales de la aproximación por sistemas y en particular enfatizar sus componentes más importantes. Se ha elegido este tipo de aproximación al tema porque -en mi opinión- los estudios de sistemas corren el riesgo de verse sobrecargados por el lenguaje y las técnicas. Por lo tanto, nos parece necesario hacer una recapitulación de algunos principios básicos.

¿EN QUE CONSISTE EL ENFOQUE DE SISTEMAS?

Un sistema de producción, de comunicación o de control, es un conjunto dinámico de *insumos* y *productos* con una estructura que los conecta, consistente en procesos y productos interrelacionados, confinados todos ellos dentro de límites definidos. El enfoque de sistemas considera un proceso objeto del estudio en relación con un sistema definido, y no como un fenómeno aislado; ésta es su característica esencial. La elaboración de modelos, el uso de técnicas de simulación, diagramas de flujos y de computadoras son ayudas para la aproximación por sistemas, pero no sus características esenciales.

El enfoque de sistemas intenta incorporar en el estudio todos los elementos que influyen sobre una decisión o una respuesta, o sobre la comprensión de un fenómeno, dentro de límites definidos. Por ejemplo, si una práctica agrícola interactúa con otras actividades agrícolas formando un sistema, los modelos (del sistema) deben describir las relaciones relevantes entre los diversos componentes del mismo, que puede ser un establecimiento agrícola.

Un experimentador que aplique el enfoque de sistemas no podría, por ejemplo, estudiar el valor de un cultivo para la alimentación del ganado sin tener en cuenta la logística del crecimiento del cultivo, y manteniendo el ganado en algún punto, no sólo mientras el cultivo esté creciendo sino también considerando el resto del año. Un estudio que no se base en el enfoque de sistemas corre el riesgo de ser nada más que un generador de resultados irrelevantes, puesto que puede ignorar el crítico feedback (o autoregulación) de alguna parte del sistema.

El comportamiento general de un estudio de sistemas se representa en la Figura N°1.

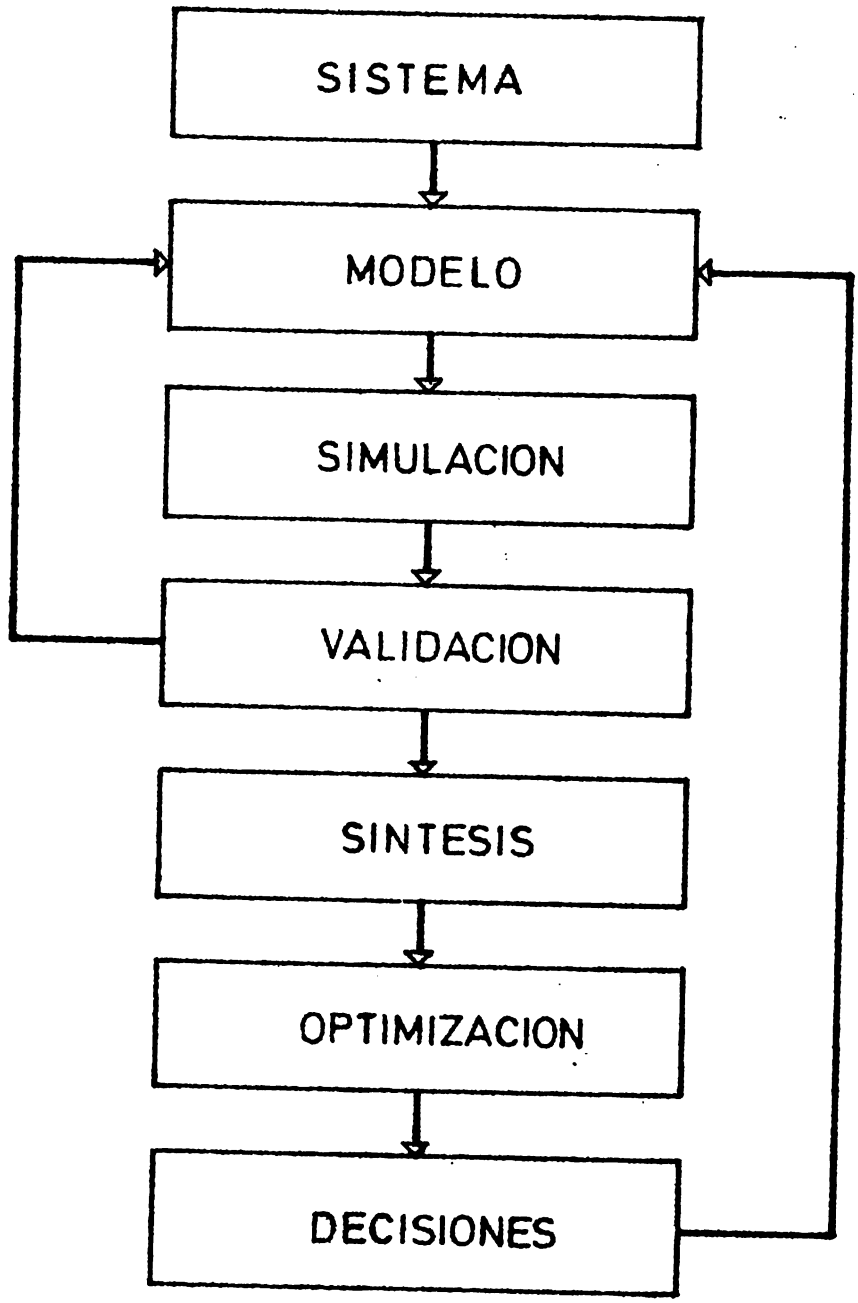


FIG. Nº 1.- *Esquema de flujos del estudio de sistemas.-*

Como nuestros conocimientos acerca de las interrelaciones de los procesos y productos son invariablemente incompletos, el pronóstico debe ser imperfecto. Se puede lograr un mejor pronóstico a través de una mejor comprensión de los procesos y las interacciones en el sistema, a la cual podemos llegar obteniendo mayor información y refinando el uso de la información disponible. Este estudio de los engranajes del sistema y sus relaciones se denomina "análisis de sistemas".

LOS MODELOS

El análisis de sistemas es raramente factible sobre sistemas de producción verdaderos; por lo tanto, habrá que usar modelos. Estos modelos pueden ser físicos, como por ejemplo las granjas en miniatura. Pero un estudio comprensivo de numerosas modificaciones de un sistema de producción requiere tantas unidades que siempre un modelo para un establecimiento pequeño sería demasiado grande. Si el tiempo es un factor importante y los investigadores deben efectuar repeticiones, resulta imposible trabajar con modelos físicos.

Para que los modelos puedan resultar útiles para el análisis de sistemas deben ser, por lo tanto, esencialmente modelos abstractos (conjuntos de ecuaciones matemáticas que conecten los insumos, los productos y los procesos del sistema).

Tomemos el ejemplo de un sistema, o de parte de un sistema, para clarificar la relación entre un sistema y su modelo. El sistema sería:

(insumo (X) = cantidad de alimento, producto (Y) = peso vivo)

En una primera aproximación, se puede formular el modelo de la siguiente manera:

$$Y = a + bX \qquad (1)$$

Es poco probable que este modelo describa con precisión el sistema, excepto para un rango muy limitado. Además, no toma en cuenta el hecho de que parte de los insumos deberán destinarse al mantenimiento, o que X probablemente aumentará a medida que lo haga Y. Se debe incluir dos ecuaciones más para introducir estas salvedades, y la ecuación (1) ya no se podrá aplicar. De ahí que, llamando M a las necesidades de mantenimiento, el modelo se transformaría en:

$$Y = a + b(X - M)$$

$$M = cY^d$$

$$X = M(1.0 + e^{-fY})$$

Un conocimiento superficial de las tasas de crecimiento animal puede inducirnos a agregar otras ecuaciones o a cambiar la estructura básica del modelo para transformarlo en una curva logística; pero nosotros sabemos que debemos decidir en qué punto finalizar. Usando técnicas tales como las estimaciones de mínimos cuadrados y otras modificaciones apropiadas, el modelo puede ser optimizado hasta el punto de que pueda describir el sistema mejor que otros modelos basados en la misma información. Debemos distinguir entre la optimización del modelo y la optimización del sistema.

LA SIMULACION

El sistema de tres ecuaciones que relaciona el peso vivo y el consumo de alimentos describe sólo un grupo de relaciones. En el mundo real el sistema es dinámico; puede hacerse también dinámico en el modelo procesando las operaciones descritas por las ecuaciones en su orden correcto; es decir, primero se estiman X y M a partir de Y_0, luego se calcula Y_1 y comienza nuevamente el proceso. En otras palabras, el sistema tiene una dimensión en el tiempo, y se calculan las respuestas para ese tiempo prefijado.

El proceso de simulación de una ecuación simple no resulta difícil, y posiblemente sólo se necesitará para ello lápiz y papel; la simulación de un sistema de tres ecuaciones puede ser ya diez veces más difícil. Un sistema moderadamente complejo de diez ecuaciones, específicamente si incluye algunas tales como

$$Y = a/(b + e^{-cX}),$$

puede resultar desalentador a menos que una computadora realice los cálculos. Por lo tanto, el uso de computadoras se ha ligado estrechamente a la simulación, y el término "simulación con computadoras" que se suele emplear, se puede confundir a veces con el análisis de sistemas. La elaboración de modelos, el uso de computadoras y la simulación no implican necesariamente un enfoque de sistemas; pero el enfoque de sistemas requiere virtualmente modelos y simulación.

LA VALIDACION

Luego de simular el sistema, se obtiene una serie de resultados. ¿Están estos de acuerdo con lo esperado? En caso de no ser así, ¿el error está en el modelo o en la expectativa? Las posibilidades de error incluyen desajustes en la programación, descripción incorrecta de las relaciones entre los componentes, o el haber ignorado algún insumo importante. Por ejemplo, un modelo de sistema puede ser muy adecuado para una raza de animales o cierto tipo de pasturas o de suelo, pero no para otras razas o suelos. El modelo deberá entonces ser modificado teniendo en cuenta estos aspectos, y será aceptable únicamente cuando sus resultados sean razonablemente *validados* por otros datos. Aun así subsiste la posibilidad de error, puesto que un error puede ser compensado parcial o totalmente por otro.

LA SINTESIS DE SISTEMAS

Cuando un modelo parece estar dando resultados razonables, se puede examinar las consecuencias de la introducción de nuevos insumos o del control de algunos procesos para influir sobre algunos resultados, modificando el primer sistema hasta tal punto que llegamos a *sintetizar* un nuevo *sistema*. En esta etapa estaríamos sólo frente al modelo de un nuevo sistema, que se puede usar para simular el nuevo sistema y llevar aún más lejos la síntesis. El modelo del nuevo sistema puede entonces ser modificado una y otra vez hasta aproximar los resultados de la simulación al óptimo posible. Este proceso se denomina *optimización del sistema*. La programación lineal es una de las técnicas de optimización de sistemas de producción. Si el modelo es realista y exacto, el mejor sistema se definirá dentro de los límites establecidos por el modelo.

LA OPERACION

Esta síntesis debe detenerse en cierta etapa para intentar la operación física del nuevo sistema, quizás, en una primera instancia, en una escala muy reducida. Esto puede revelar fallas insospechadas en el nuevo sistema, lo que a su vez llevará a desarrollar nuevos modelos, a validarlos y modificarlos en un nuevo ciclo de operaciones.

EL POR QUE DE LOS SISTEMAS

La producción animal es el resultado de diversos sistemas, los que a su vez son complejos de acciones e interacciones entre muchos insumos, productos y procesos. Algunos insumos, como por ejemplo el tiempo de apareamiento, pueden ser controlados, mientras que otros como el clima, no. Un cambio en un insumo controlable puede repercutir en todo el sistema; algunos componentes responden con intensidad, otros imperceptiblemente, mientras que otros insumos controlables pueden tener efectos menores. El grado de respuesta puede ser estimado en los modelos a través de pruebas de sensibilidad. Si los resultados del modelo tienen una respuesta intensa a las variaciones en un insumo, se puede pronosticar que el sistema es sensible a ese insumo.

El manejo de los sistemas de producción, que implica la manipulación de los controles, debe, por lo tanto, basarse no sólo en la comprensión de los efectos inmediatos del cambio, sino también en aquellas consecuencias que pueden ser relativamente remotas en espacio y tiempo. Un modelo es nada más que un medio de usar un voluminoso y complejo cuerpo de información para pronosticar las consecuencias totales de cualquier acción o evento.

El enfoque de sistemas es una ayuda para la toma de decisiones; y esto se cumplirá en la medida en que incorpore todos los componentes relevantes del total del sistema agrícola o ecológico, y siempre que no se pueda llegar a la comprensión de estos a través de un examen menos sistemático. Un sistema consistente en una ecuación simple que relacione insumo y producto no requiere análisis formal; es suficiente con la intuición. Por otro lado, un sistema muy complejo da lugar a errores de diversos tipos, incluyendo la omisión de líneas en la estructuración del modelo. Cuanto más complejo es un sistema, más necesario se hace un marco formal para su estudio, y son por lo tanto mayores las probabilidades de contribución del enfoque de sistemas. Este enfoque puede no ser muy útil para un genio de la administración, pero lo es para la inmensa mayoría de las personas que deben tomar decisiones.

El enfoque de sistemas es un auxiliar para la extrapolación de los resultados de un conjunto limitado de experimentos a un universo más amplio. Si un investigador desea aplicar un conjunto de resultados a otro conjunto de condiciones, debe trabajar con algún tipo de modelo que tome en cuenta los componentes de su sistema y las diferencias entre los componentes de diferentes situaciones. Cuantos más datos incluya el modelo, mayor será el universo al que se pueda extrapolarlo. Como las técnicas modernas

permiten examinar modelos más complejos, los experimentos se pueden planear con vistas a una mayor posibilidad de extrapolación; es decir, los experimentos pueden incluir beneficiosamente estudios de variables no controlables como el clima y el tipo de suelo, y hacer un mayor uso de insumos controlables tales como los fertilizantes y la alimentación suplementaria, quizás a expensas de las repeticiones.

La extrapolación es (y probablemente seguirá siendo) el mayor problema en la investigación en producción animal. Este es el motivo por el cual el significado de un experimento en pasturas llevado a cabo en Canberra de 1962 a 1963, por ejemplo, puede presentar grandes problemas de interpretación para otras localidades que tengan diferentes temperaturas, suelos, pasturas, índice de precipitación pluvial o tipos de animales.

Frente a este problema, hemos notado que se dan por lo menos tres tipos de reacciones:

1. Considerar que es demasiado difícil y que, por lo tanto, no vale la pena realizar experimentos en pasturas.

2. Hacer una tentativa de interpretación haciendo uso de la intuición y de cualquier información o ideas que se pueda recoger.

3. Elaborar un modelo que tome en cuenta tantas variables importantes como sea posible; posterior trabajo sobre el modelo para mejorarlo; obtención de información más amplia sobre los componentes críticos, quizás por medio de experimentos adecuados.

La tercera reacción no difiere (en principio) de la segunda, pero es mejor, de todos modos, quizás sólo porque provee información relevante y clarifica la necesidad de nueva información. La primer actitud es bastante común; si la carga animal no es un factor importante puede incluso ser aceptable, pero como probablemente lo es, resulta irresponsable a menos que otras aproximaciones puedan brindar resultados más útiles con un esfuerzo equivalente. La segunda actitud ha sido la única reacción factible ante un problema muy real. Sucede lo mismo con la mayor parte de los problemas. Nuestras tentativas de exploración en sistemas están dirigidas a mejorar la segunda actitud hasta obtener la tercera. Obviamente, hay muchos obstáculos, pero seguramente es preferible realizar intentos sistemáticos para obtener el mayor provecho de la información disponible; estos intentos deben ser preferidos a las otras reacciones mencionadas.

LA FUNCION OBJETIVO

La decisión más importante y perentoria para llevar a cabo cualquier iniciativa es la definición de su propósito. A menos que éste esté claramente definido, la empresa toda puede convertirse en un barco sin brújula. En el mundo de los sitemas, llamamos *función objetivo* al propósito del estudio. La denominación de función es correcta, porque raramente se trata de una expresión simple con una sola variable. Es una función de los insumos y productos del sistema ponderados por coeficientes que indican su importancia relativa. Como la eficiencia y la utilidad de los sistemas de producción animal dependen de muchos componentes, su función objetivo, para ser realista, debe ser compleja, e incluso a veces extremadamente compleja.

En general, la función objetivo clásica en el campo de la genética animal se ha definido de acuerdo a los siguientes lineamientos:

$$Y = b_1P_1 + b_2P_2 + \ldots + b_nP_n$$

donde los P_i son las expresiones fenotípicas de las características 1 ...n ponderadas por los coeficientes b_i, calculados para maximizar la ganancia de la selección de los genotipos definidos como:

$$H = a_1G_1 + a_2G_2 + \ldots + a_nG_n$$

G_i son valores genéticos y a_i los valores económicos relativos de una unidad de cada P_i. (Un dato interesante es que esto fue desarrollado hace unos 35 años por Fairfield Smith, a un kilómetro de distancia de Canberra).

Se podría desarrollar funciones análogas de sistemas ponderando los egresos con sus valores económicos relativos y sustrayendo los costos de los ingresos. La función sería entonces:

$$Y = p_1O_1 + p_2O_2 + \ldots + p_nO_n - c_1I_1 - \ldots - c_mI_m$$

$$(i = 1 \ldots h; \qquad j = 1 \ldots m)$$

donde los p_i son precios, los c_j costos, los O_i productos y los I_j insumos.

Las variables y coeficientes pueden representar datos biológicos, tales como Y = porcentaje de corderos que sobreviven; O_i peso al nacimiento, cordero único, mellizo, trillizo, etc., estado nutricional y otros productos; I_j ingresos tales como la cantidad de fertilizante aplicado a las pasturas, la temperatura, la fuerza del viento y el abrigo. Todos estos insumos y productos son ponderados por coeficientes que maximizan el pronóstico de Y a partir de este conjunto de variables. Esto no nos dice nada sobre los mecanismos, que pueden ser bastante complejos. De este modo, un aumento en la cantidad de fertilizante puede afectar a Y aumentando la disponibilidad de pasturas, y por lo tanto mejorando el status nutricional y aumentando el número de corderos nacidos por oveja, pero no el peso al nacimiento, con muy poca influencia sobre la disponibilidad de abrigo.

Puede ser conveniente considerar una función objetivo simple, pero al estudiar concienzudamente el asunto descubrimos que los objetivos simples pueden ser sumamente superficiales y apartados de la realidad. Un criador de merino y un avicultor pueden pensar que a su vez el otro tiene objetivos poco complicados; pero cada uno podría esgrimir suficientes argumentos como para demostrar qué grado de complejidad deben revestir sus propios objetivos.

Los proyectos de investigación adquieren a veces objetivos insignificantes o ridículos los cuales, si se toman literalmente, pueden producir confusión y desconcierto en los investigadores. Por ejemplo, se ha adjudicado los siguientes objetivos a algunos experimentos:

* Porcentaje de pastura utilizada
* Beneficio o producción por acre
* Producción por unidad de pastura consumida
* Tasa máxima de carga animal
* Calidad óptima de la canal

El "porcentaje de pastura utilizada" es, en mi opinión, un objetivo falso, porque se puede perseguir esta meta aumentando la carga animal por encima del óptimo. La tasa máxima de carga animal es también inaceptable, puesto que se podría lograr poniendo todo el ganado en un corral de alimentación. La función simple debe estar limitada por restricciones, y ser incrementada por insumos y productos adicionales para hacerla más compleja.

Un modelo puede pronosticar un resultado con exactitud, aproximadamente o no hacerlo en absoluto. Aun cuando pronostique con precisión un producto, si éste no es un componente esencial de la función objetivo, el

modelo puede carecer de valor. Por ejemplo, si nos interesara sólo el rendimiento de la lana, un modelo que pronostique el peso vivo con toda exactitud, pero que pueda dar sólo una estimación grosera del rendimiento de la lana, tendría relativamente poco valor; podría ser indirectamente valioso si indicara una alta prioridad para la investigación en la tasa de crecimiento de la lana independientemente del consumo de energía.

La función objetivo, por lo tanto, confronta al analista de sistemas con dos problemas: cuál es la función objetivo y cómo calcularla. La elaboración del modelo es la respuesta al segundo problema. El primero es más difícil y profundo, y debe ser resuelto antes de entrar a la fase de construcción de modelos. Resulta incluso tan difícil que muchos lo evitan decidiendo qué resultados van a pronosticar en lugar de cómo intentarán aplicarlos. Para ser exactos, en la mayor parte de las situaciones reales la construcción de modelos en esta fase es un intento altamente exploratorio para hacer uso de la información disponible; como en general los datos no se recogen pensando en un determinado modelo, esta tarea dista mucho de ser fácil.

LAS DIMENSIONES DE LOS SISTEMAS

Un sistema grande o muy complejo puede no requerir un modelo con esas características. Los modelos de poblaciones como los de Erlich, o los de Forrester en relación con el mundo entero, son mucho más simples que algunos de los utilizados en ganadería. Podríamos comprobar si son más exactos o no, pero es indudable que son más importantes. En principio, si el 90% de la variación de los productos relevantes puede estimarse con cinco variables, no tiene mucho sentido usar variables adicionales; pero el cálculo de las relaciones entre esas variables puede ser una tarea titánica.

Un modelo que incluya todas las operaciones, los insumos y los productos de una industria de producción animal (y no digamos de un establecimiento agrícola) resultaría muy difícil, pero no imposible de construir. La idea de tener un modelo grande es cuestionable en tanto que podría ser más útil construir unos pocos modelos de menores dimensiones que atendieran a las principales empresas de producción del establecimiento agropecuario. Por supuesto que los modelos dados de las empresas individuales podrían ser recombinados en un modelo único. Cuanto mayor sea el número de componentes del modelo, mayor será la posibilidad de errores en el cálculo de la función objetivo.

Simplificando, diríamos que la alternativa está entre un modelo grande y que abarque un gran número de variables y estime una función objetivo muy

compleja de una manera más bien inexacta, y un conjunto de modelos menores que estimen una función objetivo menos compleja pero con mayor precisión a pesar de algunos posibles sesgos o errores debidos a la no inclusión de algunas interacciones. Quizás deberíamos incluir una tercer alternativa, que consistiría en un modelo que incluya explícitamente todo lo que se conoce (o se presume) en todos los niveles, dentro de los límites del sistema; pero deberíamos aguardar el éxito de un modelo de este tipo.

En la práctica, es poco factible que las decisiones importantes se tomen basándose ciegamente en los modelos. La persona que tenga que decidir raramente tendrá la suficiente confianza en un modelo a menos que entienda su dinámica lo bastante como para hacer pronóstico sin usar formalemente el modelo. La mayor parte, o por lo menos muchas decisiones, tienen que hacerse dentro de un plazo corto, sin que exista la oportunidad de simular sistemas y estudiar sus resultados. La función principal del modelo puede ser, entonces, el aprendizaje de la persona que tiene que tomar decisiones para apreciar cada vez mejor la dinámica del sistema.

En la investigación agrícola los modelos grandes pueden contribuir mucho menos que la aplicación diaria de la elaboración de modelos al análisis y la interpretación de resultados, y específicamente a la planificación. El enfoque de sistemas en la investigación de todos los días puede imponer cierta disciplina a la misma, planteando preguntas continuas y abstrusas sobre la relevancia de la investigación y proveyendo un marco para la evaluación cuantitativa; es decir, esperamos que este enfoque pueda ayudar a los científicos para realizar mejor lo que siempre han tratado de hacer. Y en este aspecto nos preguntamos cuánto han progresado las técnicas de mejoramiento animal sin los modelos de sistemas de selección. Pero en las decisiones cotidianas los principios generales derivados de estos modelos se usan como una guía para la acción; muy pocas veces será posible aplicar un modelo de simulación a una decisión real.

HABILIDAD Y RESPONSABILIDAD

Si queremos que el enfoque de sistemas se convierta en parte de la rutina de investigación del mismo modo que el análisis estadístico, las preguntas acerca de la habilidad y el adiestramiento son inevitables. El paso más importante en el enfoque de sistemas, que es la definición de objetivos, debe ser responsabilidad del biólogo, no del director ni del estadístico ni del programador de computación. Conceptualmente no es un problema matemático, pero dado que la función debe expresarse en términos matemáticos, el biólogo puede necesitar ayuda. La etapa siguiente, la construcción, validación y

optimización de los modelos, puede requerir alguna sofisticación matemática. Para esto se han desarrollado técnicas matemáticas bastante difíciles y sumamente abstractas; pero la justificación de tales métodos resulta algo dudosa en la producción animal, puesto que la información no es lo suficientemente segura como para permitir hacer una descripción precisa de las relaciones cuantitativas. Por ejemplo, resultaría muy difícil justificar la elección de la transformación entre el logaritmo X y $X^{1/2}$ salvo con un razonamiento hecho a priori. Los puntos más sutiles de las técnicas matemáticas pueden no ser particularmente relevantes.

El uso del enfoque de sistemas como una ayuda para pensar con certeza no demanda habilidad matemática. Por lo menos dos eminentes contribuyentes al enfoque de sistemas en la agricultura no son, por cierto, matemáticos entrenados, pero sin embargo ambos están capacitados para visualizar sistemas abstractos. Nos queda el interrogante de si en el caso de que hubieran sido matemáticos entrenados, sus ideas hubieran tenido tanta trascendencia.

El principio que queremos enfatizar aquí es que la dedicación a los estudios de sistemas no depende de la habilidad especial de una persona. El trabajo de equipo, llevado a cabo con todas las formalidades del caso, puede no atraer a muchas personas capacitadas; pero el éxito en el análisis de sistemas y en la elaboración de modelos depende en gran parte de la habilidad para hacer uso, de una manera informal quizás, de muchas habilidades. Probablemente el mejor consejo para quienes contemplan la posibilidad de hacer estudios de sistemas es comenzar a trabajar. Aun cuando no se pueda hacer progresos sustanciales, seguramente el esfuerzo se verá compensado por una mayor capacidad de comprensión.

CONCLUSIONES

Los componentes esenciales del enfoque de sistemas son:

1. Definición de la función objetivo

2. Estimación de la función objetivo

El primer componente, que es el más importante, implica tomar decisiones sobre los límites del sistema, los insumos a ser examinados, y, además, la elección de elementos y su ponderación para formar la función objetivo. Esta responsabilidad corresponde al biólogo, al administrador o gerente, o a cualquiera que piense aplicar la función objetivo. Dado que esta etapa plantea la cuestión de "¿por qué hacemos esto?", además del punto de vista científico debemos tener una cierta comprensión de la filosofía del enfoque.

El segundo componente involucra el desarrollo de un modelo adecuado, tan exacto como lo permita la información disponible, y que haga el máximo uso posible de esa información. Esta etapa requiere conocimientos especializados en aspectos tales como la programación para computación, además del conocimiento técnico propiamente dicho y alguna habilidad matemática. En general, es deseable el trabajo de equipo o la colaboración entre personas con diferentes habilidades. Pero este componente debe estar subordinado al primero; las técnicas no deben colocarse por encima de los objetivos.

Los estudios de sistemas pueden ser muy académicos, como por ejemplo el de algunas comunidades vegetales, o pueden ser aplicados como una ayuda en la toma de decisiones en industrias tales como la producción animal. Constituyen, por lo tanto, una parte importante del planeamiento. Nos parece acertado concluir, como lo hiciera un eminente científico sobre el tema de la planificación:

> *"La planificación implica la formulación cuidadosa de metas, la recopilación de la mayor cantidad posible de información relevante, la creación de un sistema que ofrezca opciones múltiples, y la posibilidad de reformular metas cuando las circunstancias lo demanden. El planeamiento debe prever el proceso continuo de interrelación entre las previsiones de futuro y los hechos que realmente suceden".* *

---

* Dubos, R. Reason Awake, p. 249, Columbia, 1970.

RAF/JCS/RAF

CAPITULO IV

COMO COMENZAR LA CONSTRUCCION DE MODELOS*

J. S. ARMSTRONG

INTRODUCCION

El aprendizaje de una nueva habilidad puede ser una experiencia apasionante, pero también frustrante. El método tradicional de aprender a través de la observación del trabajo de un experto tiene sus inconvenientes, porque es tan difícil que un experto cometa errores fundamentales como que el principiante pueda evitarlos. Afortunadamente, las habilidades pueden ser perfeccionadas con el esfuerzo manual y mental.

Este artículo es una introducción al aspecto práctico de la aproximación por sistemas; nuestra mayor preocupación radica en las etapas iniciales de la elaboración de modelos; de ahí su título. El propósito de esta contribución es transmitir experiencia práctica sobre diferentes aspectos del análisis de sistemas.

LOS SISTEMAS

EL ENFOQUE DE SISTEMAS

Una forma de atacar los problemas es el enfoque de sistemas, el cual pasamos a describir. En primer lugar, se define un modelo de un problema

---

* Traducido de "Getting Models off the Ground", por J. S. Armstrong, CSIRO, Division of Plant Industry, Canberra, A.C.T., Australia.

(sistema) que servirá para la discusión y experimentación. Podrá ser un modelo a escala como el que se usa para los túneles de viento, o una forma completamente abstracta tal como una serie de ecuaciones matemáticas. Los modelos se usan para dos fines: en la solución de problemas y en la toma de decisiones. En primer lugar, constatamos que la definición formal del sistema a estudiar conduce a un razonamiento claro y a una mejor comunicación. En muchos casos, este formalismo permite un "insight" del sistema suficiente como para indicar posibles líneas de acción. En segundo lugar, el modelo puede emplearse como base para experimentos que pronosticarán las respuestas del sistema real. Esta técnica se conoce con el nombre de simulación, y es particularmente útil para aquellos problemas que debido a su complejidad y no linealidad no pueden ser tratados por análisis directo, o para lo que contienen elementos sujetos a variaciones al azar. Los sistemas agrícolas tienen las tres características: no linealidad, complejidad y variaciones al azar; por esta razón, la simulación es una técnica exploratoria útil. Es, por supuesto, sólo una de las tantas técnicas que han surgido con el avance de la disciplina conocida como análisis de sistemas. Algunas de estas técnicas ya se usan ampliamente en el manejo de empresas agrícolas, pero la adopción general del enfoque de sistemas en la solución de problemas que son objeto de investigación se ha visto demorada debido, principalmente, a las dificultades para la definición de los modelos y a la dificultad para la validación de modelos por falta de información.

LA REPRESENTACION DEL SISTEMA

DEFINICION

Aunque ya hemos empleado la palabra "sistema", a esta altura se hace necesaria una definición. En el contexto del análisis de sistemas, un sistema es una disposición dada de las partes componentes, que juntas realizan una función. Además, las relaciones entre los componentes pueden estar en función del tiempo y de otras variables externas, y de los valores relativos de los componentes. En otras palabras, el sistema es dinámico. Se saca en conclusión que para todos los sistemas, excepción hecha de aquellos muy simples, la definición de la respuesta del sistema a todas las variaciones en los valores de los componentes es una tarea formidable.

ALGUNOS EJEMPLOS

Se encuentra vigente un cierto número de convenciones para la representación de sistemas por el diagrama de bloques. Si bien no se ha llegado a

un acuerdo sobre un criterio standard, como existe para los diagramas de flujo de los programas de computadoras, una convención simple y práctica es representar las cantidades mediante rectángulos rotulados y los procesos (o interacciones) con triángulos. Un ejemplo ayudará a aclarar estas ideas. Pensemos en un modelo simplificado de una empresa dedicada a la cría de lanares. Su representación diagramada se asemejaría a la Figura 1.

El primer proceso describe la tasa de reproducción; en este modelo simple se asume que la cantidad de corderos producidos es una función del número de ovejas. Esto se indica por una sola línea que entra al triángulo. Los corderos, mientras tanto, se retienen para su futura inclusión en la majada, o se venden. Se asume que el proceso 2, que define el procedimiento de selección, es función del número de ovejas y del número de corderos. De manera semejante, el número de corderos destetados para la venta estará determinado por la información que relaciona el número de corderos con el número de corderos destetados retenidos.

Este modelo puede ampliarse fácilmente con la finalidad de incluir otros componentes. El sistema representado en la Figura 2 muestra una empresa de producción ovina que incluye capones.

En la Figura 3 las ovejas se separan en diferentes clases de acuerdo a su edad, introduciendo además efectos de mortalidad y descarte. Este modelo dista mucho todavía de la realidad, pero sirve para ilustrar las interacciones y las vías de información que existen aún en un modelo simplificado.

LAS ETAPAS INICIALES DE LA ELABORACION DE MODELOS

EL OBJETIVO

El primer paso en la construcción de un modelo es definir su propósito y alcance con relacion al problema total. En otras palabras, se debe definir una función objetivo, la que determinará la escala o nivel del modelo. Como un ejemplo, consideremos la producción de pastos. Podemos analizar desde la producción por acre, hasta la actividad intercelular. Aunque el sistema real incluye todos los niveles de procesos y cantidades, el modelo va a ser una abstracción a cierto nivel en particular. La elección del nivel determina qué componentes abarcará el modelo, e indica también las funciones relevantes que mueven el modelo (insumos), y los datos que estos requieren. Por ejemplo, un modelo en el que la radiación solar es un insumo del sistema puede requerir el número de horas diarias de luz solar; a otro

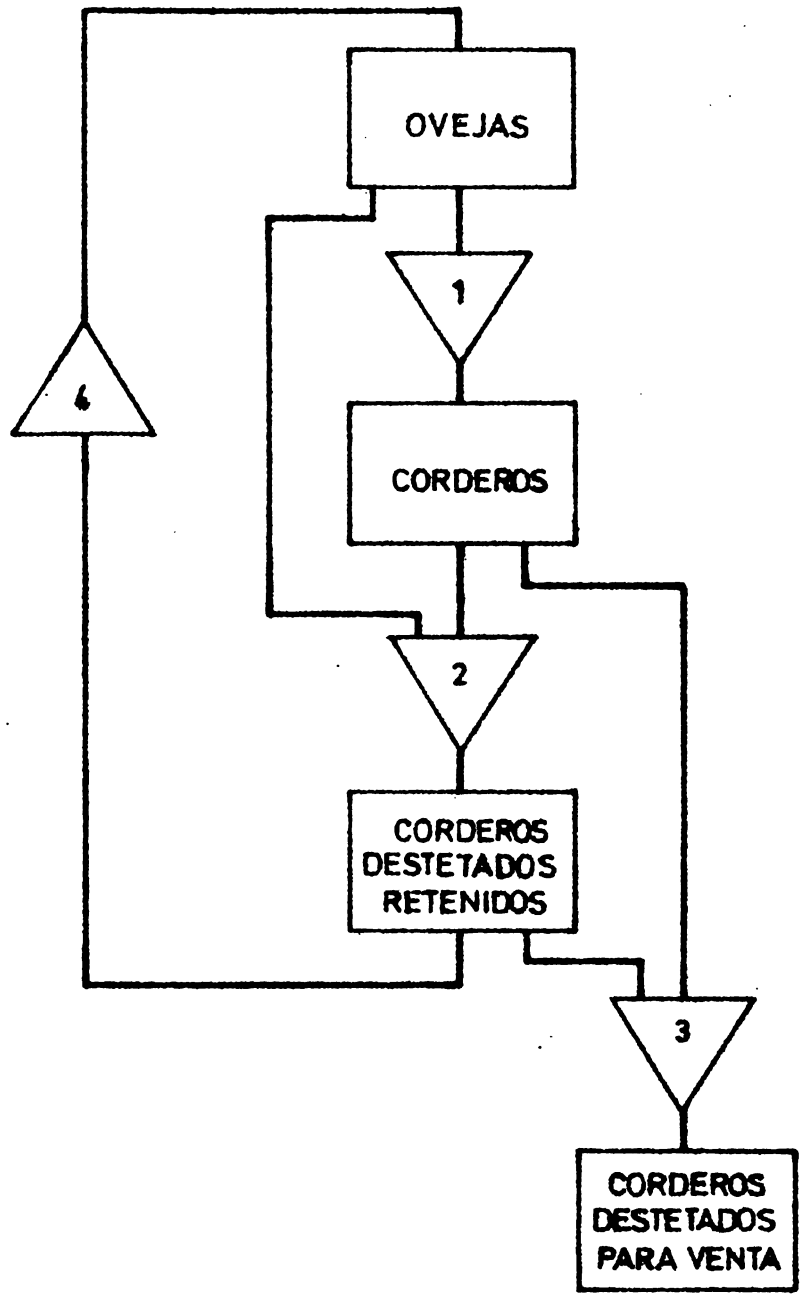


FIG. Nº 1.- *Un sistema simple de cantidades, procesos y las correspondientes vías de información.-*

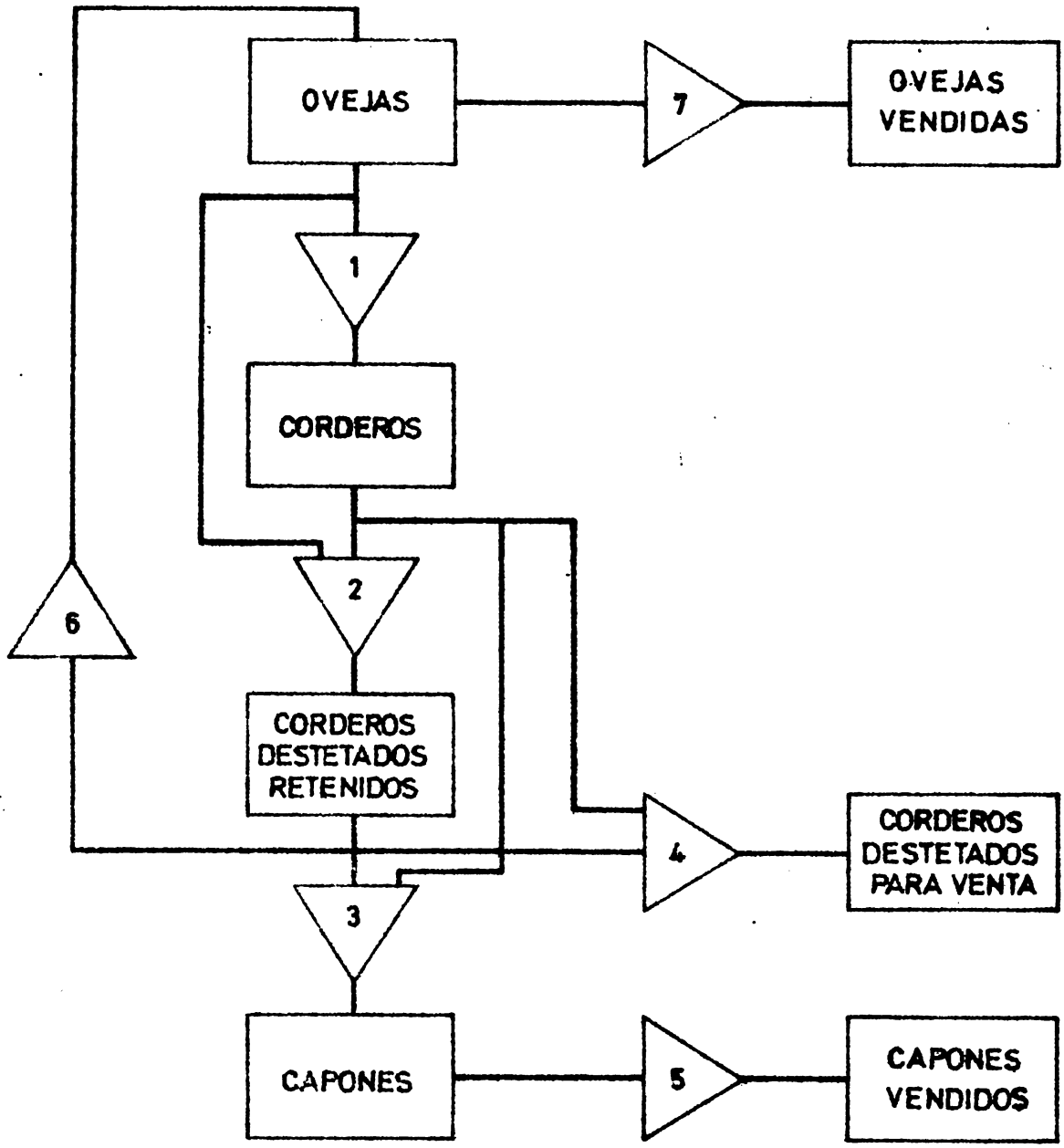


FIG. Nº 2.- *Una ampliación del sistema de la figura nº 1.-*

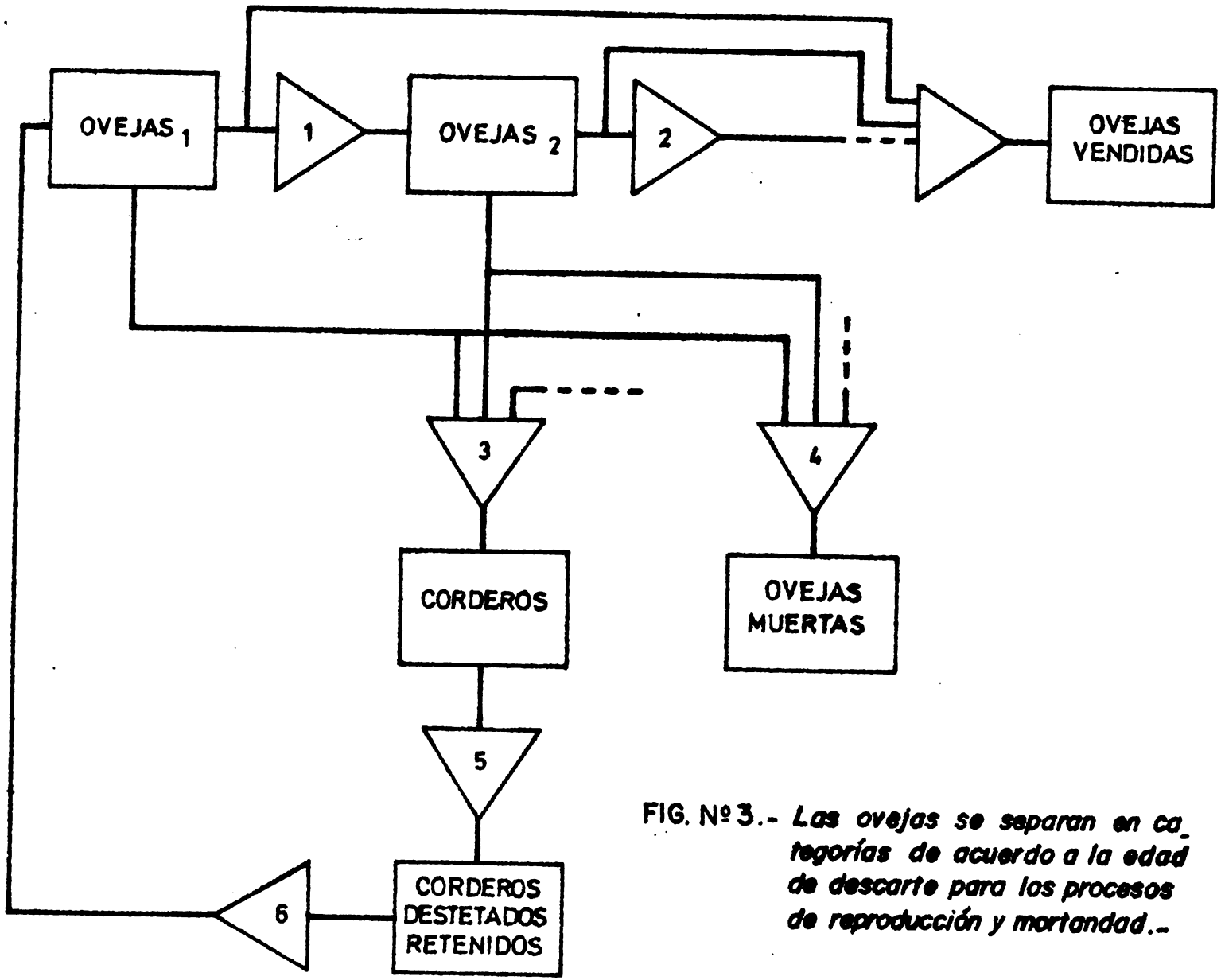


FIG. Nº 3.- *Las ovejas se separan en categorías de acuerdo a la edad de descarte para los procesos de reproducción y mortandad.-*

nivel de construcción del modelo podría ser necesario conocer la cantidad de radiación sobre una base horaria. Con frecuencia el nivel del modelo se relaciona directamente con los datos disponibles más que con las aspiraciones del analista.

Es a esta altura que las cantidades en el sistema se separarán en varios grupos bien diferenciados. Algunos, como las horas de luz diaria, aunque variables, se conocerán exactamente; otros, aún teniendo un valor constante, se conocerán sólo aproximadamente. Otras variables están sujetas a variaciones al azar, y si éstas fueran importantes funciones movilizadoras, tales como la lluvia, el efecto del azar se convierte en una parte esencial del modelo. Como regla general, sin embargo, durante las etapas iniciales el modelo debe inclinarse por la simplicidad y moderación, antes que por la complejidad y el realismo. La inclusión al comienzo de variables estocásticas (al azar) sólo oscurecerá el propósito principal, que es construir un modelo factible.

EL PRIMER ESBOZO DEL DIAGRAMA

El próximo paso, asumiendo que se aplicará un modelo de simulación, es dibujar un esbozo del diagrama del modelo. Este indicará las cantidades básicas (de ovejas, forraje, trabajo, capital) y los procesos a través de los cuales se conectan.

El diagrama es un control visual para las personas involucradas en el proyecto. Cada una puede identificar los componentes que son de su responsabilidad y puede apreciar la forma en que su trabajo se relaciona con el modelo total.

La reacción común al ver un modelo como un diagrama de bloques es notar, con distintos grados de desilusión, los muchos procesos que no han sido totalmente investigados con anterioridad. Se hace entonces un paréntesis en la elaboración del modelo, y todos se ocupan de anotar medidas sobre los procesos desconocidos. Esto es algo que no se debe hacer.

REFINACION DEL MODELO

Lo que se debe hacer es definir los procesos de manera empírica, usando los datos y operaciones de gente experimentada en el problema. Después se traslada el diagrama de bloques a un programa de computación y se procesa esta versión del modelo. Una vez corregidos los errores más evidentes del modelo, se procesará con variaciones el modelo en aquellos parámetros que se

considera dominantes. Los resultados demostrarán el grado de sensibilidad del modelo a estos cambios, y esto fortalecerá o arrojará dudas sobre su evaluación inicial. Cualquiera sea el caso, el investigador debe concentrarse ahora en aquellas partes del modelo que parecen tener el mayor efecto. Esto puede significar la ampliación del modelo de bloques, la búsqueda de literatura sobre el tema o la elaboración de ensayos de campo y de laboratorio. El asunto es que el modelo se refinará y los recursos de investigación se asignarán sólo a los aspectos en que se vea que el modelo es inadecuado para sus fines.

DESARROLLO DE UN MODELO

Cuando ya se dispone del producto final, siempre existe el peligro de que se descarten las etapas primarias que llevaron hasta el mismo. Es sabido que los propios autores lo hacen, probablemente por un sentimiento de culpa al comprobar la tosquedad de sus primeros esfuerzos (según se los ve en este momento). Esto es particularmente evidente en aquellos modelos que deben pasar por muchas revisiones durante su desarrollo. A continuación se describe el desarrollo de un proceso específico en un modelo de un sistema de pastoreo.

EL PROCESO DE CONSUMO

Desde 1967 se ha venido desarrollando (con interrupciones) un modelo de un sistema de pastoreo (Freer et al., 1970). Dentro de él, un proceso particular e importante es la reducción de la pastura disponible por las propias ovejas que la consumen.

En el modelo original, la única representación de la pastura era por materia seca; no se consideraba el nuevo crecimiento. El proceso de consumo era, por lo tanto, bastante simple: el consumo contra la curva de disponibilidad, tal como aparece en la Figura N°4.

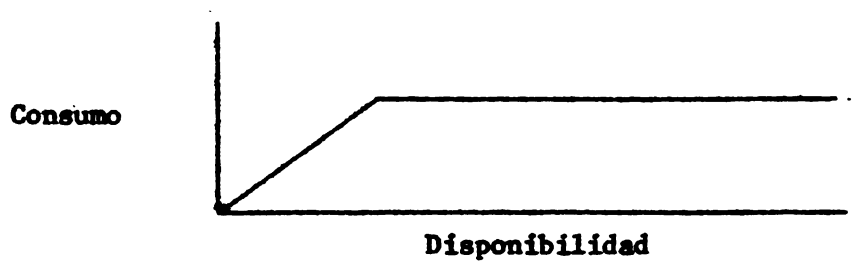


Figura N°4

El paso siguiente fue agregar clases de materia verde. La nueva materia verde producida por la lluvia (y más tarde por la humedad del suelo) se consideró que tenía un 90% de digestibilidad. Después, debido al envejecimiento y otros factores, pasaría a integrar otras clases de materia verde de menor digestibilidad, hasta que eventualmente se sume al conjunto de la materia seca. La representación diagramática que corresponde es la siguiente:

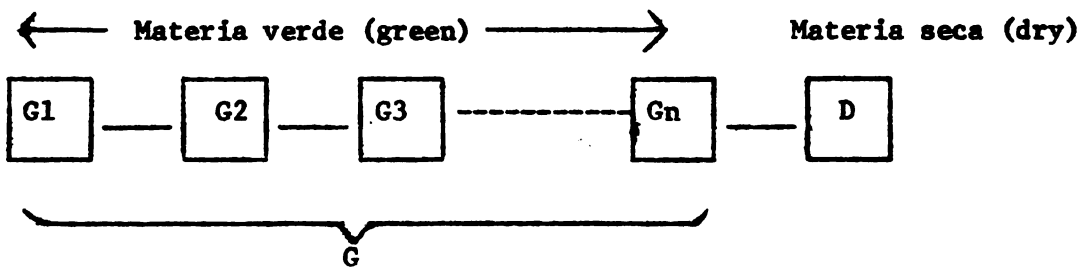


FIGURA N° 5

El procedimiento adoptado fue sumar la materia verde y la materia seca (G + D) y predecir sobre la base de esta disponibilidad el consumo potencial de alimento, usando una relación exponencial simple, que es la siguiente:

$$IP = IU\,(1.0 - e^{-k(G + D)}) \qquad (1)$$

donde k es una constante, IU el límite superior de consumo de alimentos e IP el consumo potencial.

La proporción de materia verde en el consumo fue derivada de una ecuación similar a (1):

$$PGE = 1.0 - e^{-c\,(G/(G + D))} \qquad (2)$$

donde c es una constante, PG es la proporción de materia verde en la pastura y PGE es la proporción de materia verde en la dieta.

Al evaluar las cantidades reales de materia verde y seca consumidas, el consumo de cada una fue multiplicado por su coeficiente de digestibilidad.

La digestibilidad de la materia verde consumida fue la media ponderada de todas las clases de edad, sesgada hacia las clases de digestibilidad más alta debido al pastoreo selectivo. Como la materia seca fue considerada como una única entidad, la digestibilidad de la dieta seleccionada fue estimada como una función de la digestibilidad media del material y de la cantidad disponibles.

Se usó la ecuación:

$$YD = a\ YA/(1.0 = b\ e^{-d.D}) \qquad (3)$$

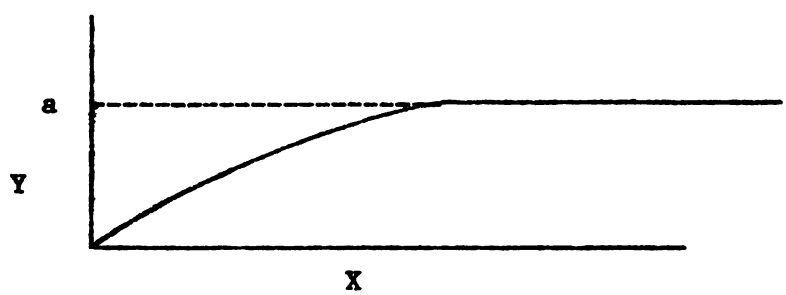
donde a, b, y d son constantes, YA es la digestibilidad promedio y D la cantidad de materia seca disponible.

Finalmente, la cantidad consumida nos la da:

$$E = IP.YD.(1.0 - PGE) + IP.YG.PGE \qquad (4)$$

donde YG= digestibilidad de materia verde.

La forma de las curvas que describen las ecuaciones (1) y (2) aparece en la Figura N°6.



$$Y = a(1 - e^{-bX})$$

FIGURA N°6

Este mecanismo para el consumo fue una mejora significativa; pero es evidente que en la ecuación (2) la proporción de materia verde en la pastura G/(G + D) es insensible a las magnitudes de G y D, si estos cambian en proporción. Sin embargo, con mayor experiencia, consideramos que la proporción de materia verde en la dieta probablemente sería diferente con, por

ejemplo, 200 kg/há de materia verde y 400 kg/há de materia seca, de lo que sería con 1500 kg/há de materia verde y 3000 kg/há de materia seca.

Para salvar esta situación se elaboró el concepto de satisfacción del apetito. El límite mayor de consumo de alimentos, que también llamamos IU es el nivel de saciedad de las ovejas. Según el modelo, las ovejas consumen primero la materia verde; el cambio en consumo potencial de materia verde, IPG, con respecto a la disponibilidad de materia verde, AG, es proporcional al producto de la materia verde disponible AG y la satisfacción del apetito actual, IU - IPG; o sea:

$$\frac{d\ IPG}{dA} = k\ AG\ (IU - IPG) \quad (4)\ k, \text{ una constante}$$

Usando cálculo integral:

$$IPG = c\ (1.0 - e^{bAG^2})$$

Esta ecuación da la curva siguiente:

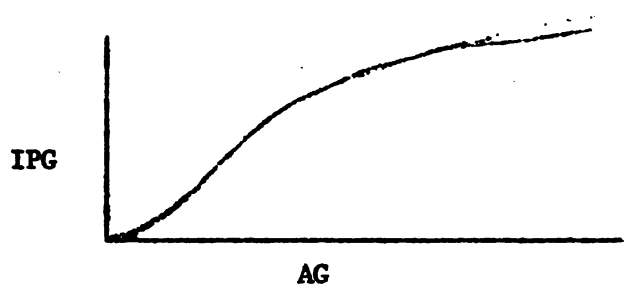


FIGURA N°7

La diferencia entre el nivel de saciedad IU y el potencial de consumo de materia verde IPG se usa como parámetro de necesidad de alimento que determina el límite superior de materia seca consumida. El potencial de materia seca consumida aumenta con la necesidad de alimento y la disponibilidad. Así que, para el mismo análisis, el potencial de materia seca consumida IPD estará dado por:

$$IPD = (IU - IPG)\ p\ (1.0 - e^{-qAD^2}) \qquad (5)$$

donde p y q son constantes, y AD es la disponibilidad de materia seca.

Como antes, para calcular la cantidad real consumida, los valores potenciales deben ser multiplicados por los coeficientes de digestibilidad.

Un avance reciente consiste en prever la reducción tanto en la necesidad de alimento como en su disponibilidad. Por lo tanto, la ingestión potencial está dada por:

$$\frac{d\ IP}{dt} = k\ (A - IP)\ (IU - IP) \qquad (6)$$

donde k es la constante y (A - IP) es la disponibilidad actual. La necesidad de alimento (IU - IP) será igual a IU (esto es, al nivel de saciedad) cuando las ovejas no han comido aún, y llegará a cero a medida que el apetito se satisfaga.

De este trabajo y otros similares surgen dos conclusiones referentes a ideas y datos.

Primeramente, la progresión en ideas sobre este aspecto del comportamiento de las ovejas. Cada nueva ecuación fue un reflejo de nuestras ideas sobre la respuesta de la oveja a su medio ambiente. Comenzando con una descripción ultra simple, hemos desarrollado esta parte del modelo al punto que puede proponerse una hipótesis razonable, describiendo los hábitos de alimentación de las ovejas.

En segundo lugar, aunque los datos que sirvieron de base no fueran detallados, generalizados ni precisos, ello no impidió el desarrollo del modelo. Podemos considerar necesaria la realización de experimentos para obtener mayores datos sobre estas interacciones; pero antes deberá hacerse evidente su necesidad.

REQUISITOS PARA LA ELABORACION DE MODELOS

La aplicación de las técnicas del análisis de sistemas a problemas agrícolas lleva en sí misma un problema de distribución de recursos. Existe

cierta necesidad de desarrollar habilidades especiales y usar equipo especializado, y la envergadura de la mayoría de los modelos requiere el esfuerzo cooperativo de todo un grupo.

EL ENFOQUE DE GRUPO

Aunque a menudo es necesario formar un grupo de expertos para cubrir todos los aspectos de un problema, esto no sirve para justificar totalmente el enfoque de grupos; existe también el efecto de realce de la labor individual a través del trabajo en grupo. No nos referimos a que los miembros trabajen más estando asociados a un grupo que como unidades separadas, sino a la propia disciplina interna que asegura que, por el constante descarte de ideas, la orientación de la investigación será sin duda más rica en cuanto a la calidad de sus resultados.

No podemos discutir a ningún nivel de profundidad la idea del tamaño o composición del grupo. Quizás la idea más útil para tener presente aquí es que el grupo debe ser dinámico, con los recursos (hombres) ubicados en diferentes proyectos (grupos) a medida que surja la necesidad.

Por supuesto que los proyectos manejados mediante el esfuerzo de un grupo requieren recursos que sean asignados a los aspectos de organización. Estos tienen que ver, principalmente, con la comunicación. Se hace absolutamente evidente la necesidad de preparar informes con regularidad sobre la marcha de los proyectos, y de mantener reuniones periódicas del grupo o subgrupos; de lo contrario, es muy probable que el trabajo del grupo se retarde o se detenga. Se constata cierta aversión a distribuir recursos de este modo. La mayoría de las organizaciones podrían beneficiarse contando con un hábil comunicador responsable de este aspecto dentro de la misma, y de la comunicación con otras entidades. Es evidente la necesidad de contacto formal entre los grupos dedicados a tareas similares. Tradicionalmente, las revistas técnicas constituyen este nexo; pero suelen sufrir demoras además de que buena parte de la información que debería circularse excede el alcance de los artículos que se publica. Esta dificultad puede superarse en parte mediante "boletines informativos", como es el caso del reciente "Grazing Systems Newsletter".

EQUIPO ESPECIAL

Hay dos categorías a considerar, equipo para ayudar en la fase de elaboración del modelo y equipo para campo o laboratorio.

El equipo especial para la fase de elaboración son las computadoras. Los requisitos mínimos son fácil acceso al sistema de computación y disponibilidad de un lenguaje de programación de alto nivel, como el Fortran o el Algol. También sería deseable contar con otros elementos, por ejemplo, lenguajes de programación para fines específicos, tales como el Simscript, el CSMP y el Dynamo. Hay también recursos especiales de insumo/producto que hacen posible que el usuario se comunique directamente con su modelo. Un modelo de simulación puede manipularse del mismo modo que un experimento corriente de laboratorio, usando gráficas de producto. El usuario puede visualizar los efectos de diferentes parámetros fijados a diferentes niveles del modelo, o diferentes capas de modelos, y, por lo tanto, ganar "insight" del comportamiento total del modelo.

Como resultado del trabajo inicial en la elaboración del modelo, con frecuencia encontramos que hay ciertos elementos claves en el mismo. Simultáneamente, se ve que estos elementos claves carecen de buenos datos. Esto lleva a realizar otros experimentos, para lo cual también se necesitará equipo especial. Uno de los requerimientos comunes es muestrear intensamente una variable en particular; lo cual podría involucrar una recolección automática de datos.

HACIA DONDE VA EL ANALISIS DE SISTEMAS

El análisis de sistemas como una disciplina independiente comenzó durante la II Guerra Mundial. Desde entonces, las técnicas para analizar sistemas (o "investigación operativa", como se les llama generalmente en la industria) ha tenido tal impacto en la industria y el comercio que la mayoría de las grandes empresas confían en soluciones basadas en la computación para resolver actualmente sus problemas de programación y organización.

El agricultor y el científico están más que familiarizados con la variedad standard de consejeros poco confiables, a los cuales podríamos clasificar en tres categorías: (1) los demasiado entusiastas, (2) los técnicos oscuros e ininteligibles, y (3) los pesimistas consuetudinarios. Una breve descripción de las características de estas especies de "analistas de sistemas" y de la situación actual podrá ayudar a los que pretenden recurrir a ellos y a los practicantes a encontrar el camino correcto.

Como grupo, los analistas de sistemas exhiben ciertas características. Tienden a aplicar un enfoque que pasa por alto las amenidades de un problema científico, y antes de que se pueda argumentar en su contra por segunda vez, ellos ya se encuentran en las áreas "esenciales y verdaderas" que uno

prefiere dejar de lado. Son gente difícil de tratar, y tienen la costumbre de preguntar una y otra vez algo como ¿Y entonces qué?, con lo cual uno queda más que confundido. Tienden a no impresionarse con aquellas cosas que impresionan a la mayoría de los legos. Se asemejan al modelo mental que la gente tiene sobre los inspectores de impuestos. A modo de ejemplo, tomarán un sistema ajeno y antes de que se pueda pestañear dos veces, se convertirá, bajo su punto de vista, en apenas otro sistema standard, con los toros premiados, cerdos o cualquiera sea la cosa representada, ubicados en el rectángulo de aspecto más vulgar, y que aparece perdido en la parte inferior de una gran hoja de papel. Ellos lo han visto todo antes.

A otro nivel, existe cierta desconfianza sobre la elaboración de modelos de sistemas porque ésta ha sido considerada por cierta gente como la solución a todos los problemas de la agricultura. (Este grupo generalmente no incluye a aquellos que realmente han elaborado modelos). "¡Al fin tenemos la herramienta adecuada" -dicen. "Todo lo que necesitamos es crear un modelo de la situación, etc., etc....". Todo lo que necesitamos, por supuesto, es magia, y los científicos aparentemente parecen estar buscando y rechazando en forma constante la piedra filosofal. A los que actúan con esa idea de "todo lo que necesitamos es..." se agregan los que se caracterizan por pensar "si tan sólo..." a medida que se mueven de un contingente a otro. Lamentablemente, la elaboración de modelos está ahora en manos de gente que no está abocada al aspecto práctico, y aún es posible que salgan adelante. Lo lamentable es que el curso del desarrollo de esta tendencia no podrá ser controlado por la propia teoría que lo causa, y los resultados reales han de caer muy lejos de la brillante expectativa, así que podemos esperar la inevitable reacción; probablemente hasta podamos elaborar su modelo.

Es esa esencia de la verdad de donde se ha extrapolado algo realmente importante y de la cual se ha extraido la materia prima la que no debe dejarse perder. La realidad es que el enfoque de sistemas no difiere básicamente de los métodos científicos universalmente aceptados. Su énfasis es diferente, y esto es suficiente para que su carácter sea considerablemente diferente. Sin embargo, por lo mismo que se trata de un enfoque que necesariamente involucra dirección y generalidad, creemos que el conocimiento de los sistemas agrícolas puede avanzar de manera disciplinada.

REFERENCIAS

FREER, M., DAVIDSON, J. L, ARMSTRONG, J. S. and DONNELLY, J. R. *Proc. XIth Int. Grassld. Congr.*: 913. 1970.

LISTA DE LECTURAS

1. BATTERSBY, A. *Mathematics in management.* Pelican A833.

2. BERTALANFFY, L. von. *General system theory.* G. Brazilier, New York, 1970.

3. BYRNE, B., MULLALLY, A. and ROTHERY, B. *The art of systems analysis.* Business Books Ltd., London, 1969.

4. DENT, J. B. and ANDERSON, J. R. *Systems analysis in agricultural management.* J. Wiley, Australia, 1971.

5. EMERY, F. E. *Systems thinking.* Penguin, 1969.

6. FORRESTER, J. W. *Principles of systems.* 2nd Prelim. Edit. Cambridge, Mass. Wright-Allen. 1968.

7. _____ . *Counterintuitive behaviour of social systems.* Simulation Vol. 16 N°2. Feb. 1971.

8. GORDON, G. *System simulation.* Prentice-Hall, 1969.

9. NAYLOR, T. H. et al. *Computer simulation techniques.* Wiley, New York, 1966.

10. _____. *The design of computer simulation experiments.* Duke University Press, 1969.

11. RAMO, S. *Cure for chaos.* D. McKay. New York, 1969.

12. WRIGHT, A. *Systems research and grazing systems management; oriented simulation.* Farm Management Bulletin N°IV. Jan. 1970. Univ. of New England.

MN/JCS/RAF

CAPITULO V

LA SIMULACION COMO AYUDA EN LA INVESTIGACION DE LA PRODUCCION EXTENSIVA DE GANADO DE CARNE

D. B. TREBECK*

RESUMEN

En este artículo se bosqueja un modelo de simulación de una empresa dedicada a la producción extensiva de ganado de carne en la región de Clarence, N. S. W. Se discute algunos resultados preliminares y se sugiere futuras aplicaciones para el modelo. La experiencia lograda con el modelo respalda la hipótesis de que la simulación es un enfoque en la investigación del que tanto biólogos como economistas pueden obtener considerables y profundos conocimientos.

INTRODUCCION

Los ensayos de simulación no son sustitutos de los experimentos con un sistema real; en efecto, la estructura de un modelo de simulación depende necesariamente de los resultados de los experimentos físicos. Los procesos

---

* Traducido de "Simulation as an Aid to Research into Extensive Beef Production", Por David B. Trebeck, Economista del Departamento de Agricultura, Sydney; anteriormente se desempeñaba en la Estación Experimental Agrícola de Grafton.

fundamentales de la producción, tales como la conversión de nutrientes orgánicos o inorgánicos en energía de la pastura, y la conversión de la pastura en productos ganaderos, tienen que ser determinados sobre la base de algún sistema real. No obstante, los modelos de simulación pueden ayudar de muchas maneras a la investigación biológica, como lo demuestran las comprobaciones que adelantamos en este artículo.

El modelo que nos ocupa fue desarrollado para ayudar en la investigación de la producción de ganado de carne en la región de Clarence, N. S. W. Inicialmente, se investigó la estrategia de la diversificación del espacio (Trebeck, 1971a; 1971b). Posteriormente el modelo fue generalizado a tal punto que ahora puede aplicarse ahora a diversas situaciones (Trebeck, 1972).

BOSQUEJO DEL MODELO

El modelo representa una empresa de cría de animales de carne que produce sus propios reemplazos, localizada en una pastura nativa en un suelo de tipo areno-pedregoso cerca de Grafton. El producto de la empresa toma la forma de un ternero destetado de ocho meses.

Se dispuso de tres fuentes de datos. En primer lugar, los experimentos realizados en la Estación Experimental de Grafton proporcionaron las curvas de crecimiento de la pastura nativa, datos sobre el peso vivo del animal y algunas suposiciones subjetivas. La segunda fuente la constituyeron los datos recogidos en experiencias conexas en el Sudeste de Queensland, los que colaboraron en la formulación de suposiciones relacionadas con la tasa de deterioro de las pasturas, el manejo de la cría del ternero, la producción de leche de las vacas de carne, y el efecto del peso del cuerpo al entore sobre los porcentajes de parición. En tercer lugar, algunas experiencias efectuadas en el extranjero proporcionaron las bases para determinar los requerimientos de energía para varias funciones corporales y el contenido de energía de la pastura.

La estructura del modelo aparece en el diagrama de flujos de la Figura N°1. Por medio de la computación nos aproximamos a la secuencia del sistema real. La lluvia aumenta las reservas de humedad existentes en el suelo; la humedad total disponible produce el crecimiento de la pastura, que se agrega al remanente del período anterior; el ganado consume la pastura de acuerdo a su requerimiento básico de energía; según sea la cantidad de la energía disponible, el ganado puede aumentar o disminuir de peso. Al finalizar cada período de 12 meses, se evalúa en términos financieros el comportamiento del modelo.

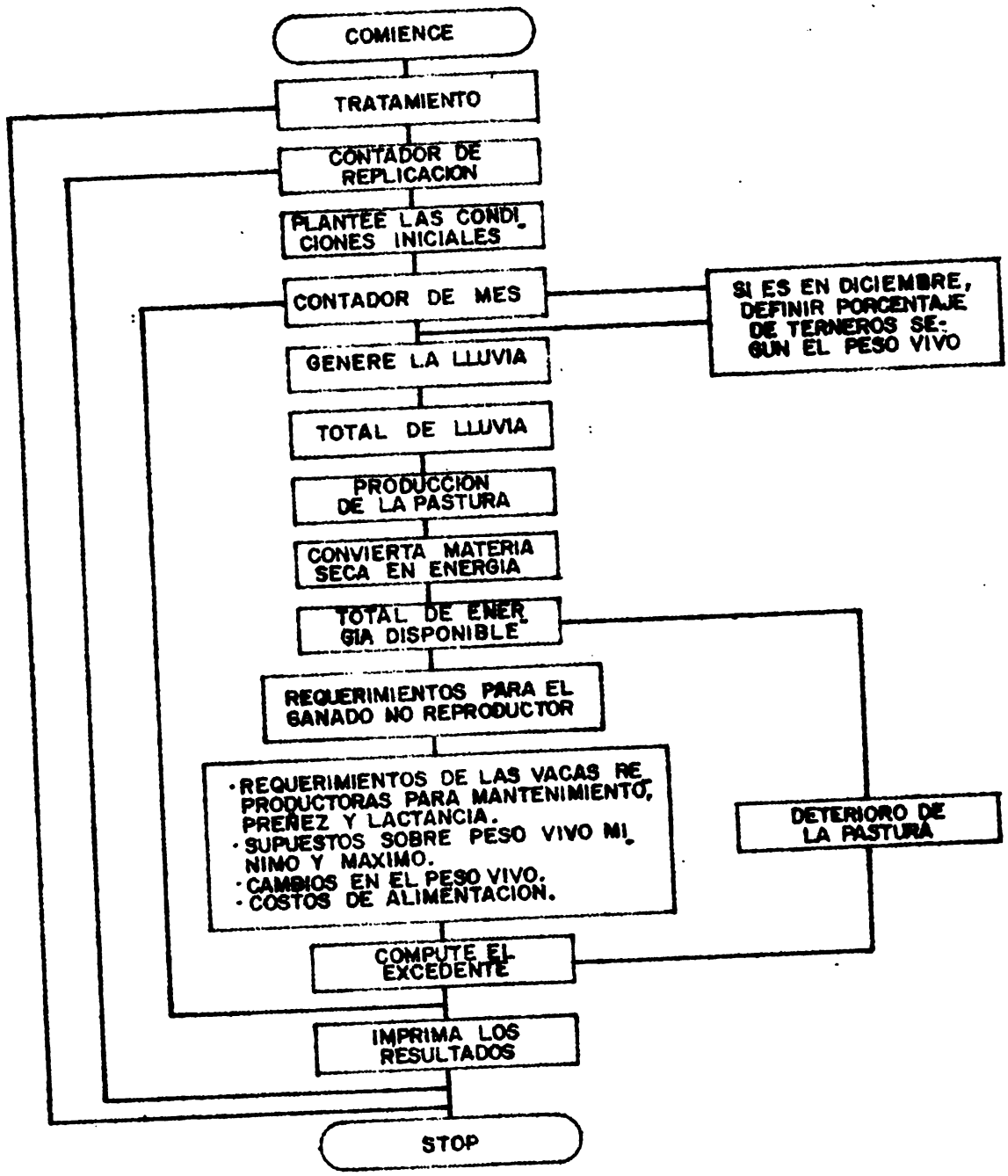


FIG. Nº 1.- *Diagrama de flujos del modelo de simulación.-*

Se usó el lenguaje FORTRAN IV para escribir el modelo, diseñado para usarlo en la computadora ICL 1903A de la Universidad de New England. El programa fue ajustado posteriormente para poder trabajar con él en la computadora del State Public Service's Honeywell. Una característica del modelo es que está basado en un sistema de energía metabolizable. Esto lo distingue de modelos previos que empleaban el sistema de materia orgánica digestible (por ejemplo, Wright, 1970), que es más simple de medir, pero menos preciso.

RESULTADOS DE EXPERIMENTOS PRELIMINARES

Una vez construido el modelo de simulación, lo primero es asegurarse de que está trabajando correctamente (etapa de "desbrozamiento") y de que en realidad proporcione una imagen realista del sistema que está simulando (validación). Una validación total es, por fuerza, un proceso subjetivo por las razones que comenta Anderson (1972). Sin embargo, ciertos componentes del modelo (precipitación, producción de la pastura, y cambios en el peso vivo) sólo pueden discutirse en relación con la información existente para el sistema real. Para estos tres componentes, el modelo produjo resultados que casi coincidían con los datos históricos y de investigación.

A la fecha, se ha completado un experimento sobre la tasa de carga animal simulada y se ha usado el modelo para calcular la parte económica de la diversificación espacial. No se propone discutir los resultados específicos de estos experimentos, sino más bien valorar el comportamiento general del modelo y echar luz sobre algunas deficiencias que todavía subsisten.

Las curvas de la producción de pasturas se especificaron en base a un ensayo realizado durante tres años. La producción fue estimada en kg/há de materia seca, y la variable independiente incluía la precipitación del mes en curso más la mitad de la precipitación del mes anterior. Con sólo tres observaciones en cada mes (y en dos meses, dos observaciones), fue imposible derivar con exactitud una serie mensual de curvas de respuesta. En consecuencia, se agregó meses. Se ajustó una función de raíz cuadrada a los datos para los cinco meses principales de crecimiento (de noviembre a marzo), mientras que cuatro funciones lineales abarcaban los siete meses restantes. Estas funciones produjeron resultados aparentemente satisfactorios y que con toda seguridad representan la mejor información disponible actualmente. Para estudios más profundos, sin embargo, los datos que tengan tres años son ya inadecuados, y se recomienda efectuar más ensayos. Afortunadamente, el tipo de información que se requiere no demandará recursos físicos y financieros demasiado grandes.

En el medio ambiente subtropical de Clarence, gran parte de la pastura consumida durante el otoño, invierno y primavera, se produce varios meses antes. Es de importancia crítica, por lo tanto, que se calcule con precisión la tasa de deterioro en el valor nutritivo de esta pastura. Careciendo de datos experimentales confiables, se decidió usar un factor de deterioro mensual del 10% para los meses de octubre a marzo, y del 25% para abril a setiembre. Como era de esperar, el modelo probó ser sensible a la variación de los valores asumidos. Puesto que los sistemas de pasturas nativas constituyen el mayor volumen de las pasturas de Clarence (Duncan, 1966), debe asignarse mayor prioridad en futuros programas de investigación a la evaluación del deterioro de las pasturas.

Finalmente (pero de la mayor importancia), es necesario investigar más los factores que determinan el porcentaje de pariciones, con miras a establecer relaciones cuantitativas. La suposición (por cierto, ingenua) en el modelo simulado, fue que el porcentaje de pariciones varía linealmente con el peso vivo de la vaca en el momento del entore, hasta un valor máximo del 75%.

LA FUTURA APLICACION DEL MODELO

Una vez que se ha desarrollado un modelo (bastante complejo, aunque reconocidamente imperfecto) de una empresa extensiva de producción de carne en la región de Clarence, debe considerarse su uso futuro.

En primer lugar, el modelo tendrá aplicación directa en conexión con un gran ensayo de pastoreo que se planeaba comenzar cerce de Grafton en marzo de 1972, localizado en un tipo de suelo similar al supuesto cuando se derivó las curvas de crecimiento de la pastura. Por lo tanto, se puede considerar una simbiosis entre el ensayo de pastoreo y el modelo de simulación. Este último proveerá tratamientos adicionales de carga animal y repeticiones en el tiempo; a medida que el ensayo de pastoreo progresa, irán surgiendo datos que podrán usarse para mejorar el modelo de simulación.

En segundo lugar, el modelo puede modificarse para simular diferentes sistemas de pasturas y animales y tipos de suelo. Mientras existan datos básicos, ésta será una tarea comparativamente directa, en la que se utilizará la estructura del modelo disponible, lo que facilitará el desarrollo de modelos regionales que reflejen cada uno de los componentes agronómicos de la región.

En tercer lugar, puede estudiarse otros problemas económicos aplicando el modelo existente o versiones modificadas del mismo. Estos problemas

pueden abarcar desde el manejo individual de algunos problemas de la empresa como por ejemplo el momento óptimo de parición y la economía de los programas de alimentación suplementaria de invierno, hasta un modelo regional de abastecimiento de carne que incorpore componentes seguros de crecimiento y las predicciones del abastecimiento para un rango de situaciones.

LA EVALUACION DEL MODELO

Ya se ha discutido sobre algunas ventajas metodológicas de la simulación (Anderson, 1972). Basta hacer notar aquí que, en conexión con el estudio de diversificación espacial (Trebeck 1971a, 1971b), la única alternativa concebible que hubiera captado las partes esenciales de los procesos estocásticos involucrados, habrío sido la formulación de un programa estocástico. Desgraciadamente, las dimensiones del problema hubieran desanimado hasta al más ardiente partidario de la programación estocástica.

Durante la construcción del modelo, ha resultado valioso poner un énfasis especial en las omisiones de datos. No solamente se proporcionarán guías cualitativas para la investigación futura sino que, además, los análisis de sensibilidad de algunos de los supuestos más cruciales del modelo podrían respaldar cuantitativamente exigencias de fondos de investigación. En una escala más amplia, el futuro uso del modelo tanto en la investigación económica como agrícola sustenta la hipótesis de que la simulación probará ser una valiosa herramienta de la investigación. Finalmente, un aspecto significativo del proceso total de elaboración de modelos ha sido el mejoramiento de la cooperación interdisciplinaria.

Es verdad que, a través de este trabajo, nos hemos detenido en las imperfecciones del modelo. Esto no refleja un pesimismo indebido, sino más bien un deseo conciente de mantener la perspectiva. Algunos críticos suelen opinar que, dadas las imperfecciones y el hecho de que ellas hayan sido reconocidas probablemente desde el principio, el esfuerzo para elaborar el modelo ha resultado inútil. Sin embargo (y además de los beneficios mencionados anteriormente), esta crítica puede ser fácilmente rebatida por alguien que no se impresione con "la magia de los asteriscos" (Officer y Dillon, 1968). El punto esencial a su favor se hace evidente al pedir a los críticos que sugieran una forma alternativa de proporcionar recomendaciones y asistencia a los productores durante los veinte años (aproximadamente) que llevaría constituir un banco "respetable" de datos. En otras palabras, un modelo imperfecto, si se le reconoce como tal, será útil en un medio ambiente práctico si constituye la mejor existencia de información disponible. Si la futura investigación da como resultado que la mayoría de los supuestos del presente modelo debe alterarse, yo seré el último en lamentarme.

AGRADECIMIENTOS

Al comentar este trabajo, debo agradecer a John Longworth y Jack Anderson. Mis colegas de Grafton me brindaron su valiosa colaboración durante la formulación del modelo. Además, el proyecto ha sido financiado en su totalidad por el Australian Meat Research Committee.

REFERENCIAS

1 ANDERSON, J. R. *Proc. Aust. Soc. Anim. Prod.* 9. 1972.

2 DUNCAN, R. C. *M. Ag. Econ. Thesis*. University of New England, Armidale, N. S. W. 1966.

3 OFFICER, R. R. and DILLON, J. L. *J. Aust. Instit. Agric. Sci.* 34: 121. 1

4 TREBECK, D. B. *M. Ec. Thesis*. University of New England, Armidale, N. S. W. (1971a).

5 _____. *Rev. Mktg. Agric. Econ.* 39, (3): 15. (1971b).

6 _____. *Simulation of Extensive Beef Production in the Clarence Region*. (Divn. Mktg. Agric. Econ, Dept. Agric. Sydney, Misc. Bull. N°16). 1972.

7 WRIGHT, A. *Systems Research and Grazing Systems: Management Oriented Simulation*. (Farm Mngt. Bull. N°4, University of New England). 1970.

MN/JCS/RAF

CAPITULO VI

SIMULACION DE PASTOREO DE INVIERNO EN PASTURAS DE ZONA TEMPLADA *

G. T. MCKINNEY

RESUMEN

Se ha desarrollado un modelo para estimar los cambios en el peso vivo y el crecimiento de la pastura durante 90 días de invierno. La disponibilidad de pasturas y el peso vivo de las ovejas en mayo fueron los principales parámetros de insumo. Como la humedad del suelo y los nutrientes se consideraron factores no limitantes, el crecimiento de la pastura se estimó a partir de una función de área folial, temperatura y radiación recibida.

El modelo dio pronósticos seguros de resultados experimentales para seis años a tres tasas de carga animal (los valores de r^2 para la disponibilidad de pasturas y el peso vivo al día 90 fueron 0.87 y 0.83, respectivamente). Los análisis de sensibilidad indicaron que la disponibilidad de pasturas al comienzo del invierno tuvo una mayor influencia sobre el peso vivo al final del invierno que la que tuvieron el peso vivo antes del invierno o el crecimiento invernal de la pastura.

---

* Traducido de "Simulation of Winter Grazing on Temperate Pasture", por G. T. McKinney, CSIRO, Division of Plant Industry, Canberra, A. C. T., Australia.

INTRODUCCION

Los pronósticos de la producción ovina a partir de las condiciones durante la última parte del otoño ayudarían mucho en las decisiones que tienen que ver con el manejo invernal óptimo. Los pesos vivos al final del otoño están estrechamente relacionados con aquellos tomados a mitad del otoño durante la época del apareamiento, y reflejan así el número de corderos concebidos (Coop. 1962). Las pérdidas debidas a la toxemia durante la preñez y a la subnutrición, la cantidad de pasturas disponibles para las ovejas lactantes y la cantidad de alimento suplementario pueden ser calculados en base a las estimaciones de los cambios en el peso vivo y del crecimiento de la pastura durante el invierno. Se desarrolló un modelo que cubriera el período de 90 días que va de mayo a agosto para proveer estas estimaciones.

En las Southern Tablelands de New South Wales, el crecimiento invernal de una pastura de trébol subterráneo y phalaris (que han tenido una larga historia de fertilización y pastoreo) difícilmente se verá restringido por la humedad del suelo (Slatyer, 1960) o por sus nutrientes. El aspecto de localidades específicas puede ser importante, aunque este efecto puede ser imputado a la temperatura (Williams y Biddiscombe, 1965) y a la intensidad de radiación. La sección de crecimiento de la pastura en el modelo fue simplificada de modo de que los datos de los experimentos de pastoreo se pudieran usar para deducir las relaciones restantes.

Los niveles de disponibilidad y de peso vivo en mayo reflejarían en gran parte la producción de pasturas en respuesta al clima de mediados de otoño y las condiciones locales, además del efecto de la carga animal y el manejo del pastoreo. En este trabajo se usará el modelo para pronosticar los efectos de la disponibilidad (Ai) y el peso vivo (Bi) en mayo, y la carga animal (SR) de mayo a agosto, sobre la disponibilidad (Af) y el peso vivo (Bf) en agosto. Las respuestas en Af y Bf a los cambios en Ai, Bi, SR y otros parámetros mayores se presentarán en un análisis de sensibilidad. El tratamiento detallado del modelo desarrollado será descrito por McKinney (1971).

LA ELABORACION DEL MODELO

El modelo comprende dos secciones principales (Figura N°1), pastura (trébol subterráneo y phalaris) y animal (ovejas).

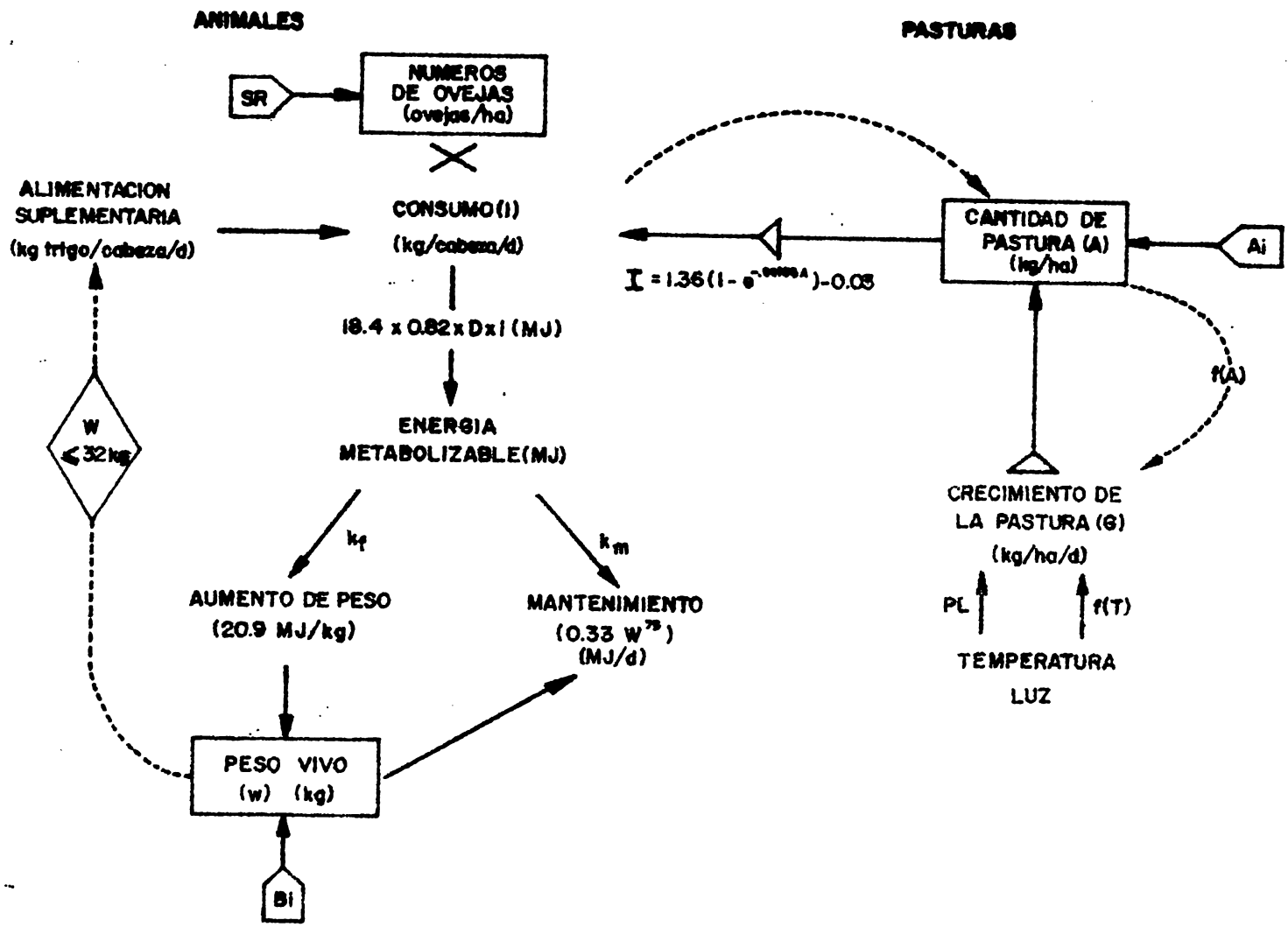


FIG. Nº 1.- *Estructura del modelo de invierno.-*

LA PASTURA

Las tasas de crecimiento de pasturas se estimaron en base a un experimento de pastoreo de 7.5 a 22.5 ovejas/há (pastoreo continuo) en 1963, 1964 y 1966. Los cálculos se basaron en el consumo de pasturas por oveja y en los cambios en la disponibilidad de pastura verde durante tres o cuatro períodos semanales. El consumo se estimó por el método usado en la sección "Animal".

EFECTO DE LA TEMPERATURA Y DEL AREA FOLIAL

Las tasas de crecimiento de pasturas (crecimiento menos mortalidad) fueron claramente afectadas por la temperatura y el área folial. La relación se describe en la ecuación (1), que fue ajustada por mínimos cuadrados.

$$G = 72.f(A).f(T)+8 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

(r^2 = 0.89, error residual standard (SE) = 4 kg/há/d)

en que:

G = tasa de crecimiento de la pastura (kg/há/d),

$f(T) = 1 - e^{-0.126T}$, donde T = {1/2(máximo + mínimo de temperaturas al abrigo) -3.0}^{0}C,

F(A) = A/BXL, donde A = materia seca de la materia verde disponible (kg/há)

BXL = disponibilidad máxima (estimada en 1500 kg/há) de las pasturas, en la cual todas las hojas están saturadas de luz, y cuando

A > BXL, f(A) = 1.

EFECTOS DE LA SOMBRA

La reducción (PL) en el crecimiento debido a la sombra se supuso proporcional en la medida que A excedió a BXL (ecuación 2). Cuando A - BXL era igual a XL (determinado por el nivel de radiación ingresada, R en J/cm^2), no se produjo crecimiento alguno.

$$PL = 1 - (AL - BXL)/XL \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

donde XL = 0.0048R, y PL fue restringido a valores de 0 a 1.

ANIMAL

CONSUMO

El consumo se estimó convirtiendo el aumento de peso vivo y los requerimientos de energía para mantenimiento en cantidades equivalentes de forraje. La cantidad de materia inerte incluida en la dieta se consideró pequeña, y, por lo tanto, la digestibilidad del material consumido fue también constante en 0.72. Los siguientes supuestos fueron extraidos del Agricultural Research Council (1965) y Graham (1964).

Porcentaje de energía digestible metabolizable	= 0.82
Valor energético de la materia seca de la pastura	= 18.4 JM/kg
Requerimiento neto de energía (XM para mantenimiento por unidad de peso vivo a la potencia 0.73	= 0.33 MJ
Valor energético del aumento de peso vivo	= 20.9 MJ/kg
Eficiencia del uso de energía metabolizable para mantenimiento (km)	= 0.72
y para aumento de peso vivo (kf)	= 0.51
suponiendo que la digestibilidad (D)	= 0.72

Los consumos calculados más arriba se relacionaron con la disponibilidad de pastura verde en los mismos años y la ecuación (3) fue ajustada por mínimos cuadrados (r^2 = 0.77, SE = 0.29 kg/cabeza/d).

$$I = 1.36(1 - e^{-0.00108A}) - 0.03 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

donde I = consumo de materia seca (kg/cabeza/d), con un límite superior de 1.33 kg/cabeza/d. Con una disponibilidad de 1750 kg/há se consumió el 85% del máximo previsible.

La asimilación del consumo de energía digestible fue calculada en base a los standards de alimentación mencionados anteriormente.

ALIMENTACION SUPLEMENTARIA

La alimentación con trigo fue simulada cuando los pesos vivos se redujeron a menos de 32 kg, pero sólo en las cantidades requeridas para levantar el déficit de energía consumida, después de sustraer el mantenimiento del consumo. Se supuso un efecto de sustitución igual a 0.

LENGUAJES DE COMPUTACION

El modelo se escribió en FORTRAN IV para procesos de desarrollo y producción, y CSMP (una versión de Control de Datos 3600, Mackenzie, 1971), para los análisis de sensibilidad. Todos los procesos usaban períodos escalonados de un día.

RESULTADOS

VALIDACION DE MODELOS

El modelo fue probado comparándolo con los datos de diferentes experimentos conducidos en 1967, 1969 y 1970 (carga animal de 7.5 a 29.5 animales por hectárea) en la misma área que los anteriores. Las condiciones iniciales de Ai y Bi en mayo, los pesos vivos (Bf) y la disponibilidad de pasturas (Af) en agosto (después de 90 días) pronosticados, se compararon con los resultados de las pruebas y de los experimentos de campo originales (Figura N°2). Las relaciones entre los resultados reales y los pronosticados fueron lineales (Af : r^2 = 0.87, SE = 200 kg/há; Bf : r^2 = 0.83, SE = 3.0 kg). Los coeficientes de regresión estuvieron cerca de la unidad, y las intercepciones cerca del cero, indicando sesgos pequeños.

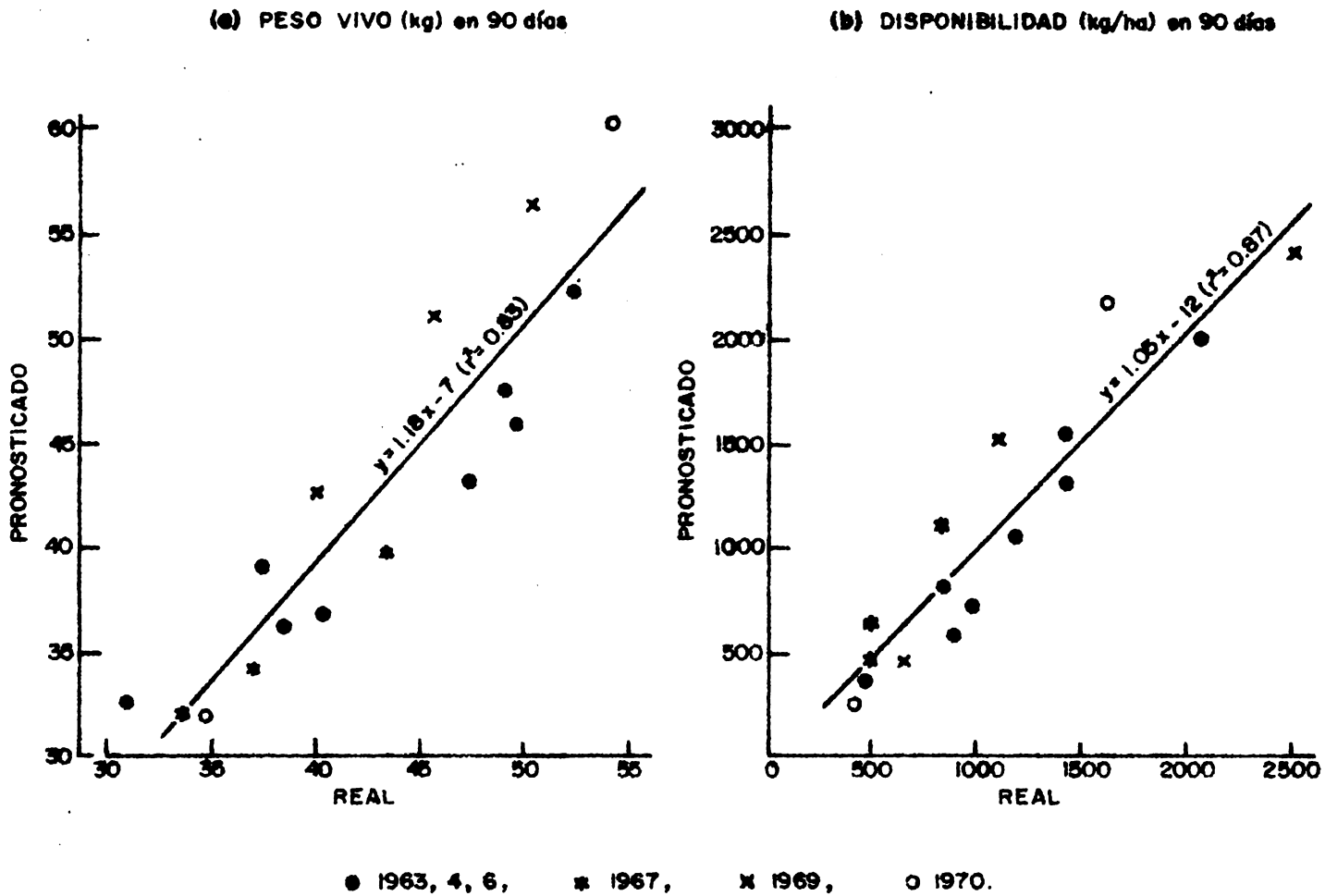


FIG. Nº 2.- *Comparaciones de resultados reales y pronosticados.-*

PROCESOS DE PRODUCCION

Los efectos pronosticados de Ai, Bi y SR usando datos climáticos de 1963 fueron ilustrativos de las curvas obtenidas a través de varios años. Bf fue muy sensible a Ai, Bi y SR, a valores bajos de Ai, pero menos sensible al aumentar Ai. El origen de las ordenadas de los axis de Ai en Bf - 36 kg indica el mínimo de Ai para las condiciones seguras en el momento de la parición (pesos vivos iniciales para la sobrevivencia de las ovejas Merino preñadas encontrados por Morley, Bennet y Mckinney, datos sin publicar). En Bi = 32 kg estos valores de Ai (en kg/há) fueron 310, 562 y 894 a 7.5, 12.5 y 27.5 ovejas por hectárea respectivamente).

El efecto pronosticado de la carga animal sobre las cantidades de alimentación suplementaria requerida para la sobrevivencia dio la curva sigmoidal que se esperaba. Esta curva es producida por un aumento exponencial inicial de SR. Cuando los valores de SR son altos, las cantidades se aproximan a las que se necesitaría si no se obtuviera alimentación de la pastura.

ANALISIS DE SENSIBILIDAD

La versión CSMP fue usada para testar la sensibilidad de Bf y Af a las variaciones en los parámetros más importantes (Cuadro N°1). Las variaciones de 20% en Ai, BXL y G causaron una desviación superior al 20% en Af, pero no en Bf. El valor de Ai usado en el análisis de sensibilidad fue una cifra promedio. Con Ai a 1500 Kg/há la respuesta en Bf y Af se redujo a 2% y 3% respectivamente. D, XM, Bi y Ai tuvieron efectos mayores sobre Bf que SR, G o BXL. Como en la deducción de este modelo se supuso que D era constante, las respuestas que se pronosticaron para los cambios en D no se ajustarían a la realidad. XL no tuvo efecto en este análisis dado que la disponibilidad raramente alcanzó a BXL. Esto también se aplicó a la mayor parte de los procesos de producción. BXL variará con la estructura de la pastura, pero se supuso constante para poder ajustar la ecuación (1). XM se mantuvo constante en los cálculos de crecimiento de la pastura y consumo de las ecuaciones (1) y (3).

$$G = 72.f(A).f\ (T)+8 \quad \ldots\ldots \quad (1)$$

$$I = 1.36(1 - e^{-0.00108A}) - 0.03 \quad \ldots\ldots \quad (3)$$

Ai, Bi y G tuvieron efectos importantes sobre los valores de Bf y Af. En los experimentos de campo de 12.5 animales/há, los coeficientes de variación (entre años) de Ai, Bi y G fueron 0.93, 0.12 y 0.39 respectivamente. Dado que Ai tuvo efectos sobre Af y Bf similares a los de G, este parámetro parece ser el más importante de los tres.

CUADRO N°1: TESTS DE SENSIBILIDAD CON LA VERSION CSMP

Parámetro	Valor Básico	Cambio %	Peso vivo final (Bf) kg/há	Cambio %	Disponibilidad final kg/há	Cambio %
Disponibilidad inicial (Ai)	500 kg/há	+20	41.4	+ 9	755	+30
		0	37.9		583	
		-20	33.0	-13	434	-26
Disponibilidad máxima en la cual todas las hojas están saturadas de luz (BXL)	1500 kg/há	+20	34.9	- 8	436	-25
		0	37.9		583	
		-20	41.2	+ 9	917	+57
Disponibilidad provista por el nivel de radiación dado (XL)	1500 kg/há	+20	37.9	0	583	0
		0	37.9		583	
		-20	37.9	0	583	0
Tasa de crecimiento de la pastura (G)	20 kg/há/día	+20	40.6	+ 7	836	+43
		0	37.9		583	
		-20	34.3	- 9	412	-29
Peso vivo inicial (Bi)	40 kg	+20	41.8	+10	583	0
		0	37.9		583	
		-20	33.2	-12	583	0
Requerimiento neto de energía para mantenimiento (XM)	80 kcal/w·73/ día	+20	32.8	-13	583	0
		0	37.9		583	
		-20	42.1	+11	583	0
Tasa de carga animal (SR)	12.5 ovejas/há	+20	34.6	- 9	422	-28
		0	37.9		583	
		-20	40.3	+ 6	796	+37
Digestibilidad (D)	0.72	+20	39.9	+13	583	0
		0	37.9		583	
		-20	35.6	-17	583	0

COMENTARIOS

La exactitud del modelo confirmó la adecuación de las diversas funciones, especialmente las de crecimiento de la pastura y las estimaciones de consumos. Aunque los efectos de los nutrientes del suelo y la humedad no fueron evaluados en los experimentos mencionados, ellos aparecen (en vista de la precisión del modelo) careciendo de importancia en los años seleccionados. Los pronósticos más variables del peso vivo de los animales pueden haber resultado de:

(i) los efectos del frío,

(ii) la variabilidad en el costo de la energía del pastoreo,

(iii) algunos datos, incluyendo el número de ovejas preñadas,

(iv) valores variables de energía del aumento de peso vivo (Searle y Graham, 1970),

(v) parásitos internos, y

(vi) variaciones en la estructura de la pastura y de la proporción de materia inerte incluida en la dieta.

El análisis de sensibilidad demostró que, en general, Bf tenía mayor capacidad de respuesta a Ai que a G o Bi, demostrando así la mayor importancia del ahorro de pasturas con respecto al peso vivo al final del otoño. Así, el modelo sugiere que después del servicio las ovejas deben ser limitadas a una porción del área para permitir el mayor crecimiento posible de la pastura, aún a expensas del peso vivo. Una vez que el crecimiento se ve severamente reducido por la temperatura, no tiene mayor objeto continuar con este racionamiento del alimento. Sin embargo, el pastoreo restringido sería de poco provecho cuando la disponibilidad de pastura excede los 1500 kg/há de mediados a fines de otoño.

Con tasas altas de carga animal en las pasturas de Canberra, es poco probable que se disponga de gran cantidad de alimento al aproximarse el invierno (Morley, Bennett y McKinney, 1969), especialmente si se hace un uso completo de las pasturas durante el servicio. Dado que Bf y Af son sumamente sensibles, el modelo se podría usar para pronosticar los niveles de producción para la parte final del otoño, y para asignar cargas a los potreros de modo de minimizar la alimentación suplementaria y las pérdidas durante los períodos críticos.

AGRADECIMIENTOS

El autor desea expresar su agradecimiento a los Dres. F. Morley y D. Bennett por permitirle usar los datos de experimentos de pastoreo, y a los Sres. K. G. Pullen, J. Nadin y E. Evans por sus incansables esfuerzos en las tareas de campo.

REFERENCIAS

1. AGRICULTURAL RESEARCH COUNCIL (1965). "The Nutrient Requirements of Livestock, N°2 Ruminants". (Agricultural Research Council: London).

2. COOP, I.E. (1962). *N.Z. Jl. Agric. Res.* 5: 249.

3. GRAHAM, N.McC. (1964). *Proc. Aust. Soc. Anim. Prod.* 5: 272.

4. MacKENZIE, H.G. (1971). Console program specification "XOCSMP", CSIRO, D.C.R. Publn. August 1971.

5. McKINNEY, G.T. (1971). M. Rur. Sc. Thesis (University of New England).

6. SEARLE, T.W., and GRAHAM, N.McC. (1970). *Proc. Aust. Soc. Anim. Prod.* 8: 472.

7. SLATYER, R.O. (1960). Tech. Pap. *Div. Ld. Res. Reg. Surv. CSIRO Aust.* N°6.

8. WILLIAMS, C.N., and BIDDISCOMBE, E.F. (1965). *Aust. J. Agric. Res.* 16: 14.

CAPITULO VII

SIMULACION DE PASTOREO DE VERANO[1]

M. FREER *
J. L. DAVIDSON *
J. S. ARMSTRONG **
J. R. DONNELLY ***

RESUMEN

Se ha construido un modelo con el fin de simular el pastoreo de ovejas en una pastura de verano. Dicho modelo calcula los cambios diarios en la cantidad y digestibilidad del alimento disponible y en la dieta consumida, y los cambios resultantes en el peso de los animales. El modelo se ha empleado para predecir la respuesta del peso de las ovejas a los cambios en la subdivisión del pastoreo, en la carga animal, en el crecimiento de la pastura y en la eficiencia en el pastoreo de la pastura. En pruebas preliminares, las respuestas pronosticadas han sido similares a las observadas en las ovejas en pastoreo.

INTRODUCCION

En el sur de Australia, los experimentos de campo destinados a comparar la producción animal en sistemas de pastoreo rotativo y continuo

---

* CSIRO, Division of Plant Industry, Canberra, Australian Capital Territory.

** Forestry Department, Australian National University, Canberra, ACT.

*** Department of Agriculture, Hobart, Tasmania. Australia.

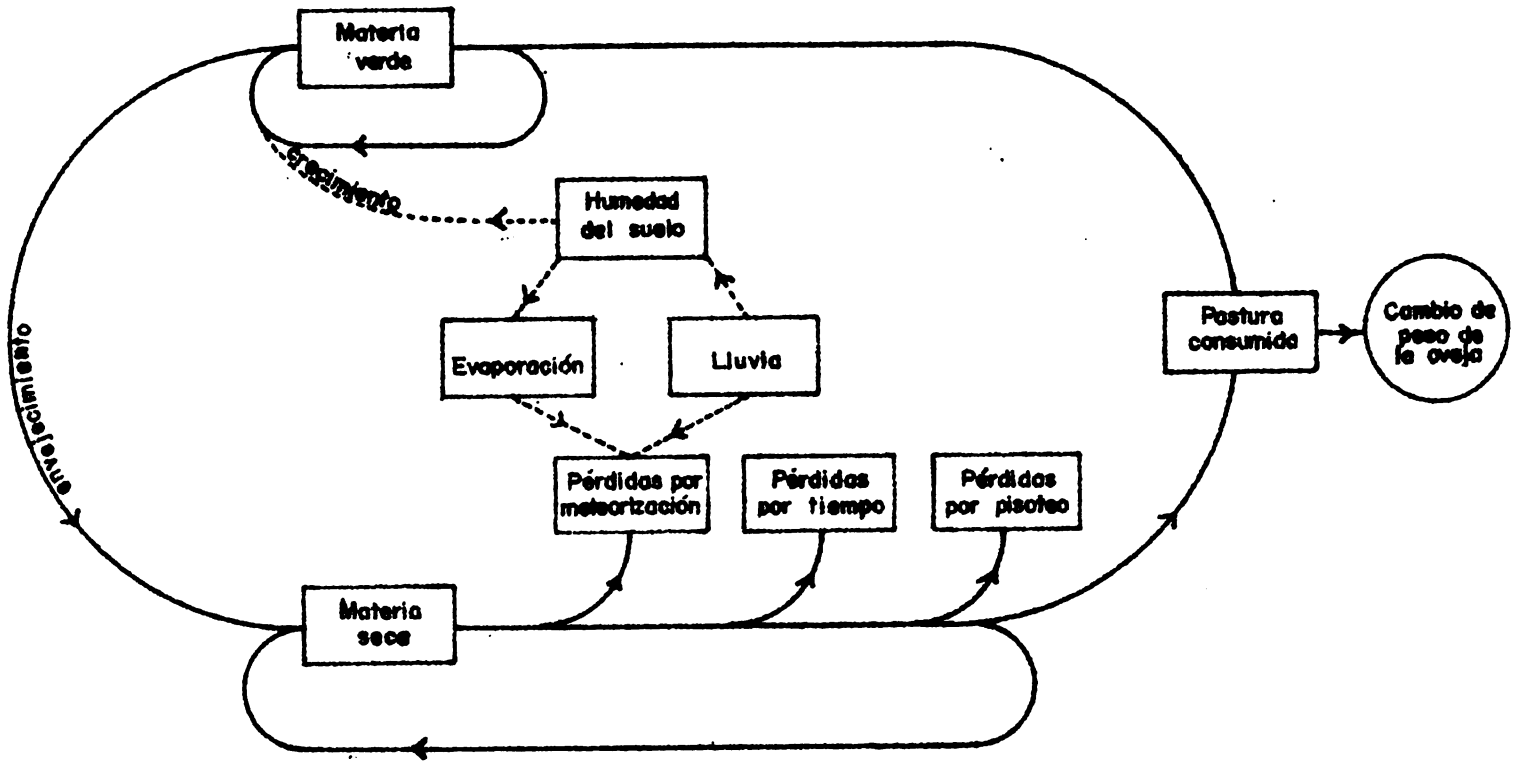
1 Traducido de "Simulation of Summer Grazing".

durante las estaciones de crecimiento han revelado sólo diferencias menores (Morley et al., 1969). No se ha intentado realizar los costosos experimentos a largo plazo necesarios para comparar sistemas alternativos en el verano. Justamente, para analizar en teoría esta cuestión, se elaboró el presente modelo en el lenguaje de simulación SIMSCRIPT para poder manejarlo en la computadora CDC-3600. Este modelo lleva un registro diario de la cantidad y digestibilidad del alimento disponible en todos los potreros, en un sistema de uno o múltiples potreros, y de la cantidad y digestibilidad de alimento consumido, con los cambios resultantes en el peso de los animales.

EL MODELO

Se considera que el alimento consta de dos componentes: verde y seco. El componente verde se produce únicamente en respuesta a la lluvia, y cuando madura desciende su digestibilidad. La cantidad de componente verde puede ser reducida a través del consumo por las ovejas o a través de su conversión a material seco con la madurez. La materia seca puede incrementar únicamente a través del secado del material verde, pero decrece a medida que es consumido; también disminuye debido a las pérdidas por pisoteo, a las pérdidas por meteorización siguientes a la lluvia, y a una continua pérdida que se produce en ausencia de animales o de lluvias y que es presumiblemente el resultado de la acción de insectos, de los daños por el viento, etc.

En la Figura N°1 aparece un diagrama del modelo, y las ecuaciones principales usadas para los cálculos han sido listadas en el Cuadro N°1. Al comenzar la simulación, se examina cada potrero de acuerdo con la presencia de ovejas, y las pérdidas por pisoteo y consumo son restringidas al potrero con ovejas. Luego de la lluvia se calcula un período determinado de meteorización; éste se relaciona con la cantidad de lluvia y con la velocidad potencial de evaporación. Para determinar la reducción de material seco por meteorización (ecuación (9) en el Cuadro N°1), tiempo (8), pisoteo (10) y consumo por las ovejas, se supone que el material más digestible es el primero que se reduce -puesto que es seleccionado activamente por las ovejas o tiene más probabilidades de ser destruido por otros agentes. En consecuencia, estos cálculos ocasionan las ecuaciones (4) y (5), las cuales relacionan por funciones teóricas exponenciales la digestibilidad del material perdido o consumido con la digestibilidad del material disponible y el potencial de alimento ingerido con la cantidad de alimento disponible.



——— Cambios en la pastura

------ Cambios en los factores ambientales que afectan la pastura

FIG. Nº 1.- *Diagrama de los cambios diarios calculados en el modelo.-*

Cuando se produce una precipitación pluvial se emplea una proporción estimada de transpiración obtenida de los datos locales para calcular el límite teórico (A) de la cantidad de materia verde que podría haberse producido. Después de iniciado el crecimiento de acuerdo a la ecuación (1), el crecimiento diario de materia verde en cada potrero se calcula por una función logística (2), la cual relaciona la velocidad de crecimiento (A), la cantidad de materia verde actual y la proporción de evaporación actual con respecto a la evaporación potencial. Esta proporción se estima diariamente (3) a partir de un nivel calculado de humedad del suelo. En cada potrero, se controla por separado el material verde producido cada día, y la digestibilidad del material en cada clase de edad se reduce diariamente hasta que se supone que ha llegado a la senectud, después de seis semanas. A partir de ese momento, este material se contabiliza como seco.

El cálculo de la cantidad de alimento consumido por las ovejas admite que éstas seleccionan activamente el material verde, y da una relación (6) entre la proporción de materia verde consumida y la que se ofrece. Se supone que dentro del material verde, la cantidad consumida en cada clase de edad depende de su digestibilidad y de la cantidad en cada clase. Se calcula el promedio de digestibilidad de la dieta seleccionada (verde + seco) y este coeficiente se usa para reducir el consumo potencial de alimento al consumo real (7). El efecto de las unidades digestibles consumidas sobre el promedio de peso de las ovejas, se calcula entonces después de deducir los requerimientos supuestos para el mantenimiento (114 x peso $^{3/4}$ kilo/calorías de energía metabolizable por día).

Al final de cada día se calcula la cantidad de materia verde y seca remanente en cada potrero. En caso de que la cantidad de alimento disponible esté por debajo de un nivel predeterminado en el potrero pastoreado, las ovejas son trasladadas a otro potrero con más alimento. Si el promedio del peso vivo está por debajo de los 27 kilos, las ovejas son retiradas de este potrero y alimentadas con raciones de mantenimiento. Si posteriormente crece un determinado nivel de materia verde, las ovejas son restituidas nuevamente al sistema de pastoreo.

CUADRO N°1: ECUACIONES PRINCIPALES USADAS EN EL MODELO

Función	Ecuación	
Crecimiento de mat. verde	Primer día después de la primera lluvia:	
	$W = A/(1.0 + be^{z})$	(1)
	Días subsiguientes: $W = z.G.N\ (A - G)/A$	(2)
	$N = x(1.0 - e^{-n.M})$	(3)
Composición de la dieta	$Y_d = 1.2Y_a/(1.0 + 0.2e^{-c.D})$	(4)
	$I_p = I_1(1.0 - e^{-j.V})$	(5)
	$P_f = 1.0 - e^{-k.P_a}$	(6)
	$I_a = I_p(Y_d(1.0 - P_f) + Y_g \cdot P_f)$	(7)
Pérdida de material seco		
Por tiempo	$DD = s.D.Y_d$	(8)
Por meteorización	$DW = h.D.Y_d$ para 3R/5E días	(9)
Por pisoteo	$DT = m.I_p.Y_d\ (\frac{D}{D + G})$	(10)

Abrev.		Variables (Consumo en kilos de materia seca/oveja/día; otros pesos están en kilos de materia seca/hectárea)	Constantes (valores usados)
A	=	Potencial de producción de materia verde ($=10^4 R/T$)	b = 100
D	=	Peso de la materia seca disponible	c = 0.001823
DD	=	Unidades digestibles perdidas por tiempo	h = 0.000226

Abrev.		Variables	Constantes
DT	=	Unidades digestibles perdidas por pisoteo	j = 0.001
DW	=	Unidades digestibles perdidas por meteorización	k = 9.6
E	=	Evaporación potencial	m = 0.2
G	=	Peso de la materia verde disponible	n = 0.03
I_1	=	Límite superior de alimento consumido	s = 0.008
I_p	=	Consumo potencial de alimento	x = 0.8
I_a	=	Consumo real de alimento	z = 0.7
N	=	Evaporación real/E	
M	=	Humedad del suelo (mm)	
P_a	=	Proporción de materia verde en el material disponible	
P_f	=	Proporción de materia verde en el alimento consumido	
R	=	Lluvia (mm)	
T	=	Velocidad de transpiración	
V	=	G + D	
W	=	Crecimiento diario de la materia verde	
Y_a	=	Coeficiente de digestibilidad de materia seca disponible	
Y_d	=	Coeficiente de digestibilidad de materia seca consumida	
Y_g	=	Coeficiente de digestibilidad de materia verde consumida	

CUADRO N°2: EFECTO SIMULADO DE LA CARGA ANIMAL, LA TASA DE CRECIMIENTO DE LA PASTURA, Y DE LA EFICIENCIA CON LA CUAL LAS OVEJAS MANTIENEN EL CONSUMO DE ALIMENTO Y LA PROPORCION DE MATERIA VERDE EN SU DIETA CON UNA DISPONIBILIDAD DECRECIENTE, SOBRE LA EFICIENCIA DE UTILIZACION DEL ALIMENTO (EFU) Y SOBRE EL PESO VIVO PASADOS 100 DIAS, EN LAS CONDICIONES DE LA FIGURA N°1

N° de potreros	Carga animal (ovejas/há)	Tasa promedio de transpiración	EFICIENCIA PARA: Mantener el consumo total	Seleccionar el mat.verde	EFU Material seco	Material verde	Total	Peso final de las ovejas (kg)
1	7.4	800	L	B	0.15	0.13	0.13	41.0
9	29.7	800	L	B	0.41	0.34	0.36	33.4
1	29.7	800	L	B	0.45	0.43	0.44	37.2
1	29.7	600	L	B	0.45	0.35	0.38	38.4
1	29.7	800	H	B	0.53	0.49	0.51	40.8
1	29.7	800	L	A	0.45	0.43	0.44	37.2
1	29.7	800	L	C	0.46	0.43	0.44	37.1

EFU — Unidades digeribles, unidades consumidas/digeribles inicialmente disponibles (material seco) o producidas (material verde).

H y L — Representan valores de 0.002 y 0.001 respectivamente para "j" en la ecuación (5) del Cuadro N°1.

A, B, y C — Representan valores de 12.0, 9.6 y 7.2 respectivamente para "k" en la ecuación (6) del Cuadro N°1.

Se juzgó que los valores usados para las constantes en las ecuaciones del Cuadro N°2 eran las mejores estimaciones disponibles, derivadas de los resultados experimentales obtenidos en Canberra.

RESULTADOS Y DISCUSION

El modelo pronosticó cambios en el promedio de peso de las ovejas (Figura N°2) y en la cantidad de materia verde disponible (Figura N°3) similares a los medidos en una pastura basada en phalaris pastoreada continuamente tanto a alta como a baja carga animal, por 100 días, durante el verano (Morley y McKinney, datos no publicados). El efecto de la subdivisión simulada de las pasturas más intensamente pastoreadas en nueve potreros durante este período fue una reducción en el aumento de peso de las ovejas (Figura N°2), debido a que se consumió menor cantidad de materia verde, la cual había crecido en respuesta a la lluvia, en el momento en que su digestibilidad era alta (Cuadro N°2). La sustitución del phalaris por una planta capaz de producir cerca de un tercio más de materia verde que éste, hubiera tenido durante ese verano anormalmente húmedo un efecto relativamente pequeño sobre el aumento de peso de las ovejas pronosticado, aún a la carga animal más alta (Cuadro N°2).

Cuando se varió algunas de las relaciones básicas del modelo dentro de los límites sugeridos por los resultados experimentales obtenidos en Canberra, se encontró que el peso final de las ovejas pronosticado era sensible a los cambios en la forma de la función que relaciona el consumo de alimento con la cantidad disponible (Cuadro N°2), pero no a la función que relaciona la proporción de materia verde en la dieta con la proporción de materia verde en el alimento.

El modelo está en una de las primeras etapas de su desarrollo, y muchas de las relaciones cuantitativas entre las variables se basan en supuestos que aún deben ser comprobados experimentalmente. Sin embargo, el modelo ya ha prestado utilidad para evaluar la importancia relativa de algunas de estas relaciones con respecto a la eficiencia del sistema total de pastoreo. El desarrollo escalonado a través de experimentos, síntesis y pruebas, puede eventualmente producir un modelo de aplicación general en el cual los efectos de un mayor rango de variables de pastoreo podrían ser examinados para diferentes tipos de producción animal sobre diversas pasturas y diferentes ambientes.

REFERENCIA

MORLEY, F. H. W., BENNET, D., y MCKINNEY, G. T. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 9:74. 1969

JCS/RAF

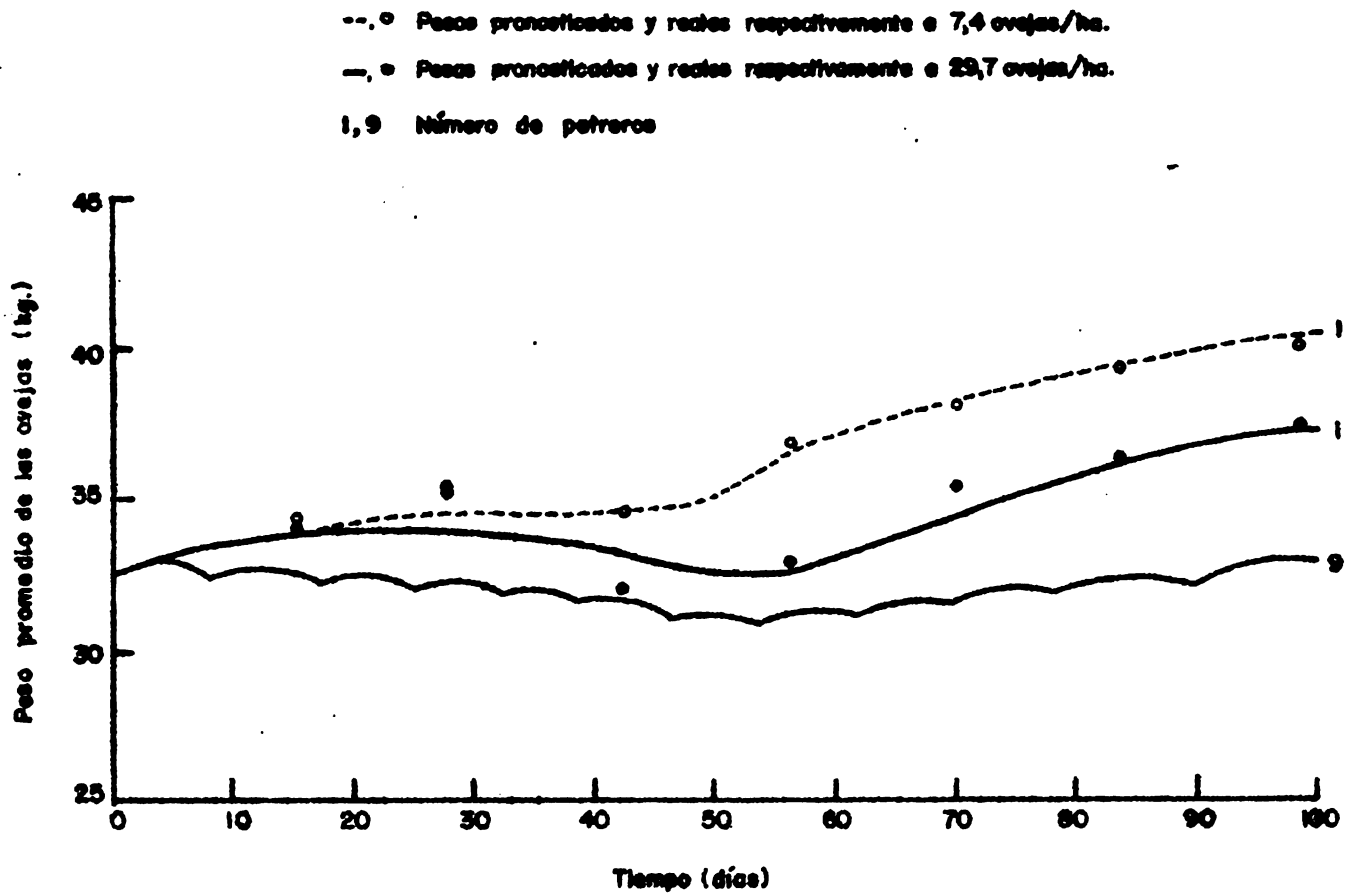


FIG. Nº 2.- *Efecto pronosticado y real de la carga animal sobre el peso de ovejas a pastoreo continuo y el efecto pronosticado de la subdivisión.-*

ALIMENTO SECO : Peso inicial 2,300 kg./ha.-
LLUVIA : 209 mm. entre días 9 y 85.-

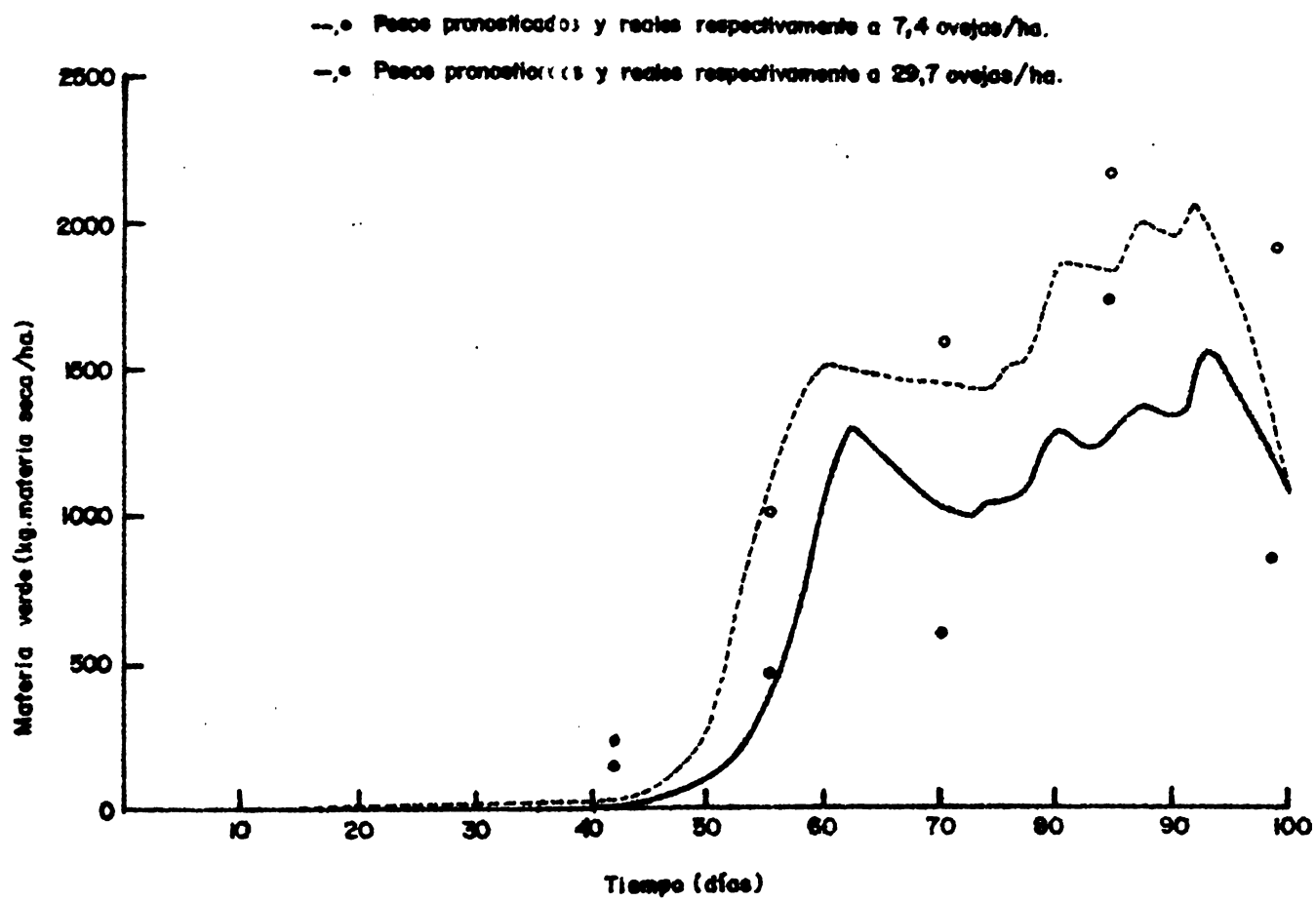


FIG. Nº 3.- *Efectos pronosticados y reales de la carga animal sobre el peso de la materia seca disponible bajo pastoreo continuo en condiciones análogas a las de la figura 2.-*

CAPITULO VIII

MODELOS ECONOMICOS Y SISTEMAS DE PRODUCCION AGRICOLA*

J. R. ANDERSON

RESUMEN

En este trabajo se intenta hacer una revisión sinóptica de los diversos modelos que se han desarrollado para el análisis económico de la producción agrícola y dar a estos modelos una perspectiva más amplia. También se resumen algunos problemas prácticos de la elaboración de modelos a la luz del desarrollo de la simulación.

INTRODUCCION

El manejo puede referirse a diversos aspectos de la operación de un sistema pero, por lo menos con respecto a la producción económica en la agricultura, generalmente connota el manejo de un sistema con objetivos económicos. El análisis económico del manejo en los negocios y en la investigación se ha abordado, en general, a través del empleo o desarrollo de un modelo del sistema. En la sección siguiente se intenta hacer una clasificación de dichos modelos, para luego comentar su aplicabilidad.

---

* Traducido de "Economic Models and Agricultural Production Systems, de J. R. Anderson, Department of Agricultural Economics and Business Management, University of New England, Armidale, New South Wales.

Posteriormente pasaremos revista a algunos problemas prácticos de la construcción de modelos, con particular énfasis en los modelos de simulación.

CLASIFICACION DE LOS MODELOS

Se aplicó tres criterios básicos en esta clasificación: (i) si un modelo depende claramente del tiempo o no; (ii) si un modelo incorpora inéquivocamente elementos probabilísticos o no; (iii) si un modelo involucra intrínsecamente un proceso de optimización. Estas categorías no se excluyen mutuamente, ya que algunas clases representan casos límites de otras y algunos modelos pueden servir a su vez como submodelos de modelos de otras clases. Con referencia a la clasificación, el material intenta más dar algunas indicaciones que abarcar todos los casos, y la selección de referencias se inclina hacia las más recientes, de origen australásico y de mayor destaque.

MODELOS ESTATICOS DETERMINISTICOS

Gran parte de la microeconomía tiene que ver con los modelos estáticos para los cuales se supone una certeza absoluta (o modelos determinísticos). Para este universo fijo y sin tiempo (irreal) las técnicas de optimización se han desarrollado mucho y se han aplicado al análisis de la producción agrícola con beneficios considerables. El modelo fundamental originado en la teoría **neoclásica** de la empresa agrícola es la noción de la respuesta o función de producción (Heady, 1952; Heady y Dillon, 1961). Estas funciones se han estimado generalmente por análisis de regresión de cuadrados mínimos, y se han manejado en los análisis marginales para indicar el uso óptimo de los recursos -con posibles restricciones. El modelo estático determinístico más usado por los economistas en el estudio de las situaciones de productos múltiples ha sido la programación lineal (Heady y Candler, 1958), en la cual se optimiza una función objetivo lineal sometida a una serie de restricciones lineales. Los problemas de mezcla alimenticia para el ganado se resuelven ahora rutinariamente usando la programación lineal (Dent y Casey, 1967) y el modelo de programación lineal se ha convertido en una herramienta standard de planificación en la administración de los establecimientos agrícolas (Rickards, Anderson y Kerrigan, 1967).

Se puede recurrir a una variedad de modelos simples no optimizadores relacionados con los modelos paramétricos de presupuestación (Byrne, 1964) en el análisis económico de la producción agrícola (Rickards y McConnell, 1967); pero estos sirven solamente como modelos matemáticos. Los modelos de

programación Monte Carlo no son explícitamente optimizadores, pero se asemejan mucho a las formulaciones de la programación lineal. Han sido empleados tanto para la mezcla alimenticia (Dent y Thompson, 1968) como para los problemas de planificación de los establecimientos agrícolas (Donaldson y Webster, 1968).

MODELOS DETERMINISTICOS DINAMICOS

Se ha dedicado menos atención a los modelos explícitamente dependientes del tiempo que a los modelos determinísticos estáticos. Dillon reseña varios de estos modelos neoclásicos dependientes del tiempo (1968) e ilustra las diversas formas en las cuales el tiempo puede intervenir en los modelos de producción. Mundlack y Razin (1971) han extendido operacionalmente los modelos de producción a los casos de etapas y productos múltiples.

Otros modelos de optimización diseñados para los sistemas económicos dependientes del tiempo son pasibles de ser clasificados en dos categorías amplias: (i) modelos de programación dinámica (Burt y Allison, 1963), que aplican el principio de optimización de Bellman (1957), y (ii) modelos lineales multiperiódicos, en los cuales se modela simultáneamente varios períodos de producción dentro de una matriz. En la programación dinámica se puede usar cualquier procedimiento de optimización, como por ejemplo una serie de programas lineales o, como en el análisis de Flinn y Musgrave (1967) de la respuesta de la cosecha a la irrigación, que consiste en una serie de funciones de respuesta optimizadas. Para los problemas que abarcan muchos períodos (y que por lo tanto tienen horizontes de planificación distantes), el tamaño de una matriz de programación puede ser muy grande y exceder temporariamente la capacidad de las computadoras disponibles. Loftsgard y Heady (1959) y Boehlje y White (1969) brindan ejemplos pertinentes de modelos de programación determinísticos multiperiódicos. Dado que la producción raramente es determinística y las condiciones cambian a través del tiempo, la mayor parte de la información generada en esos modelos multiperiódicos no resulta útil para otros períodos que no sean el primero.

Los modelos no-optimizadores desarrollados para los problemas determinísticos dinámicos han sido más que nada variantes de la presupuestación paramétrica, revelando muchas veces los aspectos a largo plazo de los planes de desarrollo, tales como el comportamiento de la cría de animales (Ball, 1970). Con menos frecuencia, estos modelos han sido modelos determinísticos de simulación de sistemas (Greig, 1971). También se ha realizado algunos intentos para aplicar las técnicas de programación Monte Carlo a los problemas multiperiódicos (Dent y Byrne, 1969).

MODELOS ESTOCASTICOS ESTATICOS

En los últimos años se ha producido un creciente reconocimiento de la importancia del riesgo en la producción, y esto se ha reflejado en la inclusión de elementos estocásticos en casi todos los tipos de modelos mencionados. Las versiones estocásticas de las funciones de respuesta estáticas neoclásicas han sido desarrolladas por Fuller (1965), Zellner et al. (1966) y más ampliamente por Magnusson (1969). Sin embargo, se ha prestado relativamente mayor atención a la incorporación de efectos estocásticos en los modelos de programación matemática -que parten de los modelos pioneros de programación con riesgo de Freund (1956) y van hasta los recientes modelos estocásticos de programación de Cocks (1968), Hazel (1971) y Rae (1971). Otra clase de modelos que maneja los problemas estocásticos de decisión es la que se basa en la moderna teoría de la decisión que formaliza la elección riesgosa de actos dada una lista de eventos, probabilidades y resultados (Dillon, 1971; Halter y Dean, 1971).

Los modelos estocásticos estáticos sin optimización han recibido una atención mínima, y están representados principalmente por algunas breves aproximaciones con algoritmos de la teoría de juegos para juegos contra la naturaleza (Dillon, 1962).

MODELOS ESTOCASTICOS DINAMICOS

Como todos los procesos de producción agrícola son intrínsecamente dinámicos y la mayoría, además, intrínsecamente estocásticos, son preferibles los modelos que se ajusten a estas dos condiciones; pero, de todos modos, involucran las mayores dificultades para la elaboración de modelos.

Aparte de algunos modelos simples presentados por Magnusson (1969), las versiones dinámicas estocásticas de las funciones de respuesta neoclásicas no parecen haber sido desarrolladas. La atención operacional a los modelos de optimización se ha dirigido en su mayor parte a la programación matemática (por ejemplo Cocks, 1968; Rae, 1971). Los modelos de programación estocásticos multiperiódicos que representan en forma realista los sistemas de producción agrícola, están destinados a ser amplios, y quizás, por un tiempo, estarán fuera de los límites de computabilidad posible. Se encuentra problemas similares de computación en gran escala en la resolución de la programación de los modelos estocásticos dinámicos y realistas (Dudley et al., 1971). Metodológicamente, el análisis de los conjuntos de decisiones de etapas múltiples (Hispos y Strassmann, 1965; Hardaker, 1969; Raiffa, 1968) está muy relacionado con el procedimiento de inducción retrospectiva de la programación dinámica.

Muchos otros modelos de operaciones de investigación tales como los modelos de inventario (Dillon y Lloyd, 1962), los modelos de sustitución y de alineación, han sido desarrollados para optimizar los problemas estocásticos dinámicos, pero se han aplicado muy poco a la agricultura. Varios ejemplos pertinentes de modelos de simulación estocásticos son descritos por Dent y Anderson (1971), y Halter y Dean presentan un ejemplo perteneciente a un modelo de pasturas-corral (1965).

LA APLICABILIDAD DE LOS MODELOS CLASIFICADOS

En esta breve valoración, se consideran los modelos en relación con tres criterios: realismo, posibilidad de manejo y de comunicación. La apreciación de un modelo no puede estar divorciada del propósito para el cual se ideó. Si un analista se conforma con una descripción más bien agregativa de un modelo (es decir, de pocas variables), los modelos de función de respuesta pueden ser suficiente. Sin embargo, tales modelos se hacen inmanejables para los análisis que involucran muchas variables e interdependencias, y para tal tipo de problemas (que abundan en la agricultura) su uso está virtualmente descartado por su irrealidad e inmanejabilidad, a pesar de la facilidad con que estos modelos pueden ser comunicados a otros. Otra dificultad de las versiones estocásticas de estos modelos radica en la estimación de parámetros para describir los efectos probabilísticos en los procesos de respuesta.

Para los trabajos de optimización, los modelos de programación matemática generalmente ofrecen las mejores perspectivas de éxito. Aunque necesariamente involucran la linealización de muchas relaciones, los analistas encuentran que esta característica no restringe demasiado el realismo de dichos modelos. La lógica de los modelos de programación sofisticados, sin embargo, no se comunica tan fácilmente como ocurre con otros modelos -a menos que todas las personas involucradas tengan adiestramiento en la metodología de programación. La cuestión de la capacidad de manejo es más seria. Un modelo de programación lineal estocástico multiperiódico realista puede ser concebido y formulado; pero es muy factible que sea imposible de solucionar o solucionable sólo a expensas de un uso elevado de las computadoras disponibles. Afortunadamente, los modelos comparables de simulación no encuentran estos problemas de manejo; pueden ser tan realistas como lo permita el conocimiento de un sistema, y se comunican con relativa facilidad a otras personas que no sean los diseñadores del modelo. Pueden, sin embargo, acarrear costos sustanciales de computación y, al contrario de lo que sucede en la programación matemática, los programas standard de computación no aparecen.

La elección de un determinado modelo depende de los objetivos y la naturaleza del problema. Por ejemplo, tratando de elegir entre la programación matemática y el enfoque de simulación, una cuestión implícita será si una solución óptima a un modelo de programación especificado más o menos inadecuadamente es mejor que una indicación razonablemente buena proveniente de un modelo de simulación especificado correctamente. Esta consideración general de la optimización plantea la cuestión examinada por Day (1964, 1971) sobre la naturaleza de un "óptimo", y cómo esto se reconcilia con las alternativas percibidas por quienes tienen que tomar las decisiones. Supongo, con respecto

a la elección operacional corriente de modelos dentro de las categorías mencionadas que: (a) estática determinística - se elige funciones de respuesta para un solo producto y programación lineal para los casos de productos múltiples; (b) dinámica determinística - se elige la programación lineal multiperiódica; (c) estática estocástica - se elige programación lineal estocástica; y (d) estocástica dinámica - se elige la simulación. Las categorías (a) y (d) probablemente (y con toda propiedad) continuarán atrayendo la mayor atención de los economistas agrícolas.

ALGUNOS PROBLEMAS PRACTICOS EN LA ELABORACION DE MODELOS

Los problemas que enfrentan los diseñadores de modelos de sistemas son múltiples; aquí sólo se menciona una selección. Los problemas seleccionados han cristalizado con el advenimiento de la simulación de sistemas, aunque en cierta medida se aplican a cualquier actividad relacionada con modelos.

LA INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS DE LOS MODELOS

Probablemente, una limitación de todos los modelos de optimización comentados es que optimizan una función objetivo de una sola dimensión, como el margen bruto total, el beneficio o la utilidad esperados. Operacionalmente, esto es claramente ventajoso; pero una dificultad real es que las metas de las personas que tienen que tomar decisiones generalmente tienen varias dimensiones -por ejemplo, supervivencia, objetivos no pecuniarios, diversas medidas financieras, etc. El reconocimiento formal de objetivos múltiples es sumamente importante, si no inevitable, para manejar la mayor parte de los modelos de programación Monte Carlo y de simulación, donde los analistas están típicamente interesados en seguir la huella de varias variables que describen el sistema. Una estimación informal de los resultados generalmente demanda por lo menos una reubicación o clasificación de acuerdo a la importancia de las distintas variables de interés. El enfoque de la teoría de la decisión explicitaría esta reubicación, ya sea a través de un ordenamiento lexicográfico o de un esquema de ponderación (Dillon, 1971) que a veces involucra las ponderaciones de varios evaluadores (Turban y Meterskey, 1971).

LA EXPERIMENTACION CON MODELOS

Los diseñadores de modelos de simulación se han concentrado en la experimentación mucho más que los que usan modelos con optimización tales como la programación lineal, los que a su vez se han mostrado con frecuencia demasiado optimistas en cuanto a la optimización. Un enfoque más apropiado es concebir todo el trabajo de modelado como un marco para probar hipótesis sobre el sistema modelado (Allee, 1959); esto en general implica la realización de experiencias más o menos formales sobre el sistema modelado.

Los tratamientos de experimentación con modelos que aparecen en la bibliografía sobre el tema (por ejemplo Naylor, 1971) se concentran mucho más en los métodos tradicionales de diseño experimental dirigidos a múltiples comparaciones de los promedios. Los diseños experimentales solamente proveen medios eficientes para aprender algo sobre un sistema; así en los modelos caracterizados por poseer varias variables controlables y muchos resultados variables de interés, los diseños que permiten una estimación eficiente de las superficies de respuesta de múltiples factores serán de la mayor utilidad. Candler y Cartwright (1969) proporcionan un ejemplo de cómo se usa un diseño compuesto para manejar varias variables, pero no especifican ninguna reubicación entre sus medidas de comportamiento. En los experimentos de simulación estocástica queda todavía mucho campo para reducir la variancia del error por el desarrollo del esquema de bloques basado en repetidas secuencias numéricas (pseudo al azar) para diferentes conjuntos de variables estocásticas (Chudleigh, 1971).

EL ANALISIS DE SENSIBILIDAD

Análisis de sensibilidad es el examen de un modelo en cuanto a su vigor en las variables de comportamiento Y_i, con respecto a los parámetros (incluyendo las suposiciones y las reglas de decisión), X_i, incorporadas al modelo. Al optimizar los modelos, la sensibilidad de la función objetivo, particularmente en la región del óptimo, más bien que de la solución óptima (que es invariablemente sensible), tiene el mayor interés. Las rutinas modernas de programación lineal facilitan el análisis de sensibilidad de la solución óptima.

No existen reglas infalibles para el análisis de sensibilidad. Se ha empleado varias técnicas, particularmente por parte de los econometristas, que involucran una perturbación sistemática de los parámetros que no se conoce con certeza. Es decir, los modelos son procesados o solucionados mientras se hacen ajustes, simbolizados aquí por ΔX_i, a los parámetros. La magnitud de ΔX_i a menudo se toma como un múltiplo del error standard

de X_i, cuando estos se conocen o pueden ser supuestos. La estimación de las sensibilidades relativas ha sido valuada por la magnitud de las curvas, tales como $\Delta Y_j/\Delta X_i$. Para los analistas interesados en linealizar sus modelos, puede ser útil algún patrón de simetría, como por ejemplo: ¿es $|\Delta Y_j/+\Delta X_i| = |\Delta Y_j/- \Delta X_i|$?

Una alternativa atrayente que parece no haber sido usada es expresar las sensibilidades en forma análoga a las elasticidades, $E_{ij} = (\Delta Y_j/Y_j) / (\Delta X_i /X_i)$, de modo de poder definir una matriz de medidas de coeficientes sin dimensiones. A su vez, E_{ij} puede ser ponderado por los coeficientes, W_j, definiendo la importancia relativa de los diferentes patrones de comportamiento, Y_j.

Cualquiera sea el método, ¿qué pasos sigue lógicamente un análisis de sensibilidad? La jerarquización de sensibilidades puede indicar dónde se concentra mejor un refinamiento mayor de los parámetros. Si un resultado importante del modelo es muy sensible a varios parámetros indeterminados, todo el ejercicio de modelación ha alcanzado probablemente el límite de sus posibilidades -en cuanto a cuantificar explícitamente aquello que el sistema ignora. Si es sensible a sólo uno o pocos (presumiblemente discretos) parámetros, el procedimiento correcto sería conducir el resto del análisis condicionándolo a valores específicos de estos parámetros y, como última fase, combinar todos los resultados como una expectativa basada en la probabilidad de distribución subjetiva y conjunta (si hay más de un parámetro) del analista.

LA VALIDACION

Validación es el proceso de determinación de la aceptabilidad o razonabilidad de un modelo de acuerdo con el propósito al que debe servir. Es mucho lo que se ha escrito (y probablemente se seguirá escribiendo) sobre este tópico, ya que constituye, sin duda, el punto focal de la mayoría de las controversias en la construcción de modelos. La mayor parte de esta literatura (por ejemplo Naylor, 1971) se concentra indebidamente en la comprobación de la calidad del ajuste entre el comportamiento del modelo y el sistema real observado (generalmente en base a alguna secuencia histórica de observaciones). Ello se ha convertido en una práctica convencional en relación con las funciones de respuesta y los modelos de simulación, de aquí que los programadores matemáticos generalmente hayan prestado una atención mínima a la validación.

La validación debe ser esencialmente un procedimiento subjetivo, y es necesario que se lo considere como tal. Esto se debe, en parte, a la

inevitable dependencia de los modelos del conocimiento subjetivo, que es en gran medida no cuantitativo, y en parte a que la historia puede tener poca conexión con el futuro. Por cierto que los modelos deberían ser internamente consistentes y superficialmente válidos; la comparación con las tendencias históricas puede servir de ayuda para juzgar estos rasgos. Pero la bondad del ajuste histórico resulta una ayuda muy limitada para evaluar la validez de los "parámetros variables" y la validez de los "eventos" (Herman, 1967), que generalmente son importantes para los propósitos del análisis.

CONCLUSIONES

Los individuos con inclinación hacia el análisis son aficionados a la elaboración de modelos, y los economistas interesados en los sistemas de producción agrícola no son una excepción a esta regla. Por eso pensamos que la construcción de modelos tenderá a acelerarse, particularmente en lo que se refiere a los modelos estocásticos dinámicos.

El iceberg que constituyen los problemas de la elaboración de modelos ha escondido muchas características; aquí sólo hemos mencionado algunos de los peligros más obvios. La elaboración de modelos no es la panacea, pero en general ha probado ser lo más efectivo. Si nos embarcamos en ella con precauciones, con habilidad y escepticismo, seguirá constituyendo una tarea útil.

AGRADECIMIENTOS

J. L. Dillon, I. D. Greig, O. T. Kingma, W. F. Musgrave, R. A. Powell y D. B. Trebeck colaboraron con sus valiosos comentarios sobre el borrador de este trabajo.

REFERENCIAS

1 ALLEE, D. J. *J. Farm Econ. 41:* 1522. 1959.

2 BALL, J. W. *Farm Mgmt. 6:* 13. 1970.

3 BELLMAN, R. *Dynamic Programming.* Princeton University Press, Princeton, 1957.

4 BOEHLJE, M. D., and WHITE, T. K. *Am. J. Agric. Econ. 51:*546. 1969.

5 BURT, O. R., and ALLISON, J. R. *J. Farm Econ. 45:*121. 1963.

6 BYRNE, P. F. *Rev. Mktg. Agric. Econ. 32:*127. 1964.

7 CANDLER, W., and CARTWRIGHT, W. *Am. J. Agric. Econ. 51:*159. 1969.

8 CHUDLEIGH, P. D. *Pastoral Management in the West Darling Region of New South Wales.* Ph. D. Thesis, University of N. S. W., 1971.

9 COCKS, K. D. *Mgmt. Sci. 15:* 72. 1968.

10 DAY, R. H. *J. Farm Econ. 46:*442. 1964.

11 _____. *Theory and Decision* I: 229. 1971.

12 DENT, J. B. and ANDERSON, J. R. *Systems Analysis in Agricultural Management.* Wiley, Sydney, 1971.

13 _____, and BYRNE, P. F. *Rev. Mktg. Agric. Econ. 37:* 104. 1969.

14 _____, and CASEY, H. *Linear Programming and Animal Nutrition.* Crosby Lockwood, London, 1967.

15 _____, and THOMPSON, S. C. *Farm Economist 11:* 230. 1968.

16 DILLON, J. L. *Aust. J. Agric. Econ. 6:* 20. 1962.

17 _____. *The Analysis of Response in Crop and Livestock Production.* Pergamon, Oxford, 1968.

18 _____. *Rev. Mktg. Agric. Econ. 39:* 1. 1971.

19 DONALDSON, G. F., and WEBSTER, J. B. J. *Farm Economist 11:* 219. 1968.

20 DUDLEY, N. J., HOWELL, D. T., and MUSGRAVE, W. F. *Wat. Resour. Res.* *7*: 770. 1971.

21 FLINN, J. C. and MUSGRAVE, W. F. *Aust. J. Agric. Econ.* *11*:1. 1967.

22 FREUND, R. J. *Econometrica* *24*:253. 1956.

23 FULLER, W. A. *J. Farm Econ.* *47*:105. 1965.

24 GREIG, I. D. *A Systems Approach to the Study of an Intensive Feed Cropping and Beef Feedlot Unit.* M. Agr. Sc. Thesis, Lincoln College, N. Z. 1971.

25 HALTER, A. N., and DEAN, G. W. *J. Farm Econ.* *47*:557. 1965.

26 _____, and _____. *Decisions Under Uncertainty with Research Applications.* Southwestern, Cincinnati, 1971.

27 HARDAKER, J. B. *Farm. Mgmt. Notes* *39*: 9. 1969.

28 HAZEL, P. B. R. *Am. J. Agric. Econ.* 53:53. 1971.

29 HEADY, E. O. *Economics of Agricultural Production and Resource Use.* Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1952.

30 _____, and CANDLER, W. *Linear Programming Methods.* Iowa State University Press; Ames, 1958.

31 _____, and DILLON, J. L. *Agricultural Production Functions.* Iowa State University Press, Ames, 1961.

32 HERMAN, C. *Behavl. Sci.* *12*:216. 1967.

33 HESPOS, R. F., and STRASSMANN, P. A. *Mgmt. Sci.* *11*:244. 1965.

34 LOFTSGARD, L. D., and HEADY, E. O. *J. Farm Econ.* *41*:51. 1959.

35 MAGNUSSON, G. *Production Under Risk.* Almqvist and Wiksells, Uppsala, 1969.

36 MUNDLAK, Y., and RAZIN, A. *Am. J. Agric. Econ.* 53: 491. 1971.

37 NAYLOR, T. H. *Computer Simulation Experiments with Models of Economic Systems.* Wiley, New York, 1971.

38 RAE, A. N. *Am. J. Agric. Econ.* 53: 448. 1971.

39 RAIFFA, H. *Decision Analysis*. Addison-Wesley, Reading, Mass. 1968.

40 RICKARDS, P. A., ANDERSON, F. M. and KERRIGAN, R. H. *J. Aust. Inst. Agric. Sci.* 33:180. 1967.

41 _____, and McCONNELL, D. J. *Budgeting, Gross Margins and Programming for Farm Planning*. Professional Farm Management Guidebook 3, University of New England, Armidale, 1967.

42 ZELLNER, A., KMENTA, J., and DREZE, J. *Econometrica* 34:784. 1966.

43 TURBAN, E., and METERSKY, M. L. *Mgmt. Sci.* 17:B-817. 1971.

RAF/JCS/RAF

LISTA DE PARTICIPANTES

COORDINADOR DEL SEMINARIO

Ing. Agr. EDUARDO S. BELLO
Asesor de la Línea de Investigación Agrícola
IICA - Zona Sur
Casilla de Correos 1217
Montevideo, Uruguay

EXPOSITORES INVITADOS

Dr. NORMAN RICHARD BROCKINGTON
Head, Systems Synthesis Department
The Grassland Research Institute
Agricultural Research Council
Hurley, Maidenhead, Berks
United Kingdom

Dr. FREDERICK MORLEY
Division of Plant Industry
CSIRO
P. O. Box 1600
Canberra City, A. C. T., 2601
Australia

PARTICIPANTES

ARGENTINA

Dr. BLAS F. BRAVO
Encargado del Grupo de Sistemas
Est. Exper. Reg. Agrop. Balcarce
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)
Casilla de Correo 276
Balcarce, Prov. de Buenos Aires

Ing. Agr. SIMON J. S. KRAEMER
Esp. Ext. Producción Ganadera
Est. Exper. Reg. Agrop. Mercedes
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)
Casilla de Correo 38
Mercedes, Corrientes

Ing. Agr. ALFREDO A. LANGE
Coordinador Técnico
Asociación Argentina de Consorcios Regionales de
Experimentación Agrícola (AACREA)
Corrientes 127
Buenos Aires

Ing. Agr. CARLOS LOPEZ SAUBIDET
Est. Exper. Reg. Agrop. Balcarce
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)
Casilla de Correo 276
Balcarce, Prov. de Buenos Aires

Ing. Agr. ORLANDO ALBERTO MANUNTA
Especialista de Extensión en Ganadería
Est. Exper. Reg. Agrop. Corrientes
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)
Casilla de Correo 57
El Sombrero, Empedrado, Corrientes

Dr. FILEMON TORRES
Coordinador Curso para Graduados en
Producción Animal
Est. Exper. Reg. Agrop. Balcarce
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)
Casilla de Correo 276
Balcarce, Prov. de Buenos Aires

BRASIL

Ing. Agr. ISMAR LEAL BARRETO
Professor e Pesquisador
Faculdade de Agronomia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Caixa Postal 776
Porto Alegre, RGS

Ing. Agr. GILBERTO A. CENTENO
Professor, Faculdade de Agronomía "Eliseu Maciel"
Universidade Federal de Pelotas
Caixa Postal "E"
Pelotas, RGS

Ing. Agr. GERALDO LEME DA ROCHA
Director da Divisao de Nutriçao Animal e Pastagens
Instituto de Zootecnia
Secretaria da Agricultura do Est. de Sao Paulo
13460, Nova Odessa, SP

Ing. Agr. JOAO CARLOS DE SAIBRO
Professor, Faculdade de Agronomía
Universidade Federal do Río Grande do Sul
Caixa Postal 776
Porto Alegre, RGS

Vet. VICENTE DE PAULA MENDES PELOSO
Diretor da Divisao de Pesquisa Zootecnica
Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuaria (DNPEA)
Ministerio da Agricultura
Esplanada dos Ministérios
Brasilia, D. F.

Ing. Agr. HELIO CODEVILLA SEVERO
Chefe, Estaçao Experimental "Cinco Cruzes"
Instituto de Pesquisa Agropecuaria do Sul (IPEAS)
Bagé, RGS

CHILE

Ing. Agr. LJUBO GOIC MARQUEZ
Investigador en Producción de Leche
Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA)
Casilla 5427
Santiago

Ing. Agr. HERNAN RIVADENEIRA ARENAS
Investigador en Producción de Carne y Leche
Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA)
Casilla 5427
Santiago

Ing. Agr. JAIME VICENS O.
Subdirector
Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA)
Casilla 5427
Santiago

PARAGUAY

Ing. Agr. SERGIO ARIAS
Director del Departamento de Investigación Ganadera
Ministerio de Agricultura y Ganadería
Casilla de Correo 825
Asunción

URUGUAY

Ing. Agr. MIGUEL CETRANGOLO
Coordinador, Economía Ganadera
Oficina de Programación y Política Agropecuaria (OPYPA)
Ministerio de Ganadería y Agricultura
Colonia 892, 5° piso
Montevideo

Ing. Agr. GUALBERTO RAFAEL DE LUCIA
Técnico, Manejo de Pasturas
Centro de Investigaciones Agríccolas "Alberto Boerger"
Ministerio de Ganadería y Agricultura
La Estanzuela, Colonia

Dr. JORGE ESCUDER
Profesor, Facultad de Agronomía
Universidad de la Rep. O. del Uruguay
Estación Experimental "Dr. Mario Cassinoni"
Km. 373, Ruta 3
Paysandú

Ing. Agr. DANIEL FAGGI
Técnico, Manejo y Alimentación del Ganado Lechero
Centro de Investigaciones Agrícolas "Alberto Boerger"
Ministerio de Ganadería y Agricultura
La Estanzuela, Colonia

Ing. Agr. THOMAS H. KACHELE
Jefe, Subprograma Nutrición Animal
Centro de Investigaciones Agrícolas "Alberto Boerger"
Ministerio de Ganadería y Agricultura
La Estanzuela, Colonia

Ing. Agr. FRANCISCO MAZZITELLI
Técnico, Ovinos
Centro de Investigaciones Agrícolas "Alberto Boerger"
Ministerio de Ganadería y Agricultura
La Estanzuela, Colonia

Dr. JUAN CARLOS SCARSI
Jefe, Programa Producción Animal
Centro de Investigaciones Agrícolas "Alberto Boerger"
Ministerio de Ganadería y Agricultura
La Estanzuela, Colonia

Ing. Agr. DANIEL VAZ MARTINS
Técnico Subprograma Bovinos de Carne
Centro de Investigaciones Agrícolas "Alberto Boerger"
Ministerio de Ganadería y Agricultura
La Estanzuela, Colonia

IICA

Ing. Agr. EDUARDO S. BELLO
Asesor de la Línea de Investigación Agrícola
IICA - Zona Sur
Casilla de Correos 1217
Montevideo, Uruguay

Dr. HERNAN CABALLERO
Director de la Escuela para Graduados en Ciencias Agropecuarias de la República Argentina
IICA - Zona Sur
San José 83, piso 11
Buenos Aires, Argentina

Dr. ANDREW L. GARDNER
Agrostólogo
IICA - Zona Sur
Est. Exper. Reg. Agrop. Balcarce - INTA
Casilla de Correo 276
Balcarce, Prov. de Buenos Aires

Ing. Agr. EDMUNDO GASTAL
Economista Agrícola, Línea de Investigación Agrícola
IICA - Zona Sur
Casilla de Correos 1217
Montevideo, Uruguay

Dr. NORBERTO RAS
Representante Nacional
IICA - Zona Sur
San José 83, piso 11
Buenos Aires, Argentina

Ing. Agr. MANUEL RODRIGUEZ ZAPATA
Director Regional
IICA - Zona Sur
Casilla 1217
Montevideo, Uruguay

FECHA DE DEVOLUCION			

N.º 34
Serie Informes, Conferencias
Cursos, Reuniones.- IICA.