

Los modelos de simulación. Una herramienta de apoyo a la gestión pecuaria¹

C. Aguilar², H. Cortés y R. Allende

Departamento de Zootecnia, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. Pontificia Universidad Católica de Chile.

The simulation models. A supporting tool for the livestock management

ABSTRACT: The way through which agricultural production has evolved is analyzed with a new paradigm which is not to produce more or to just produce in a profitable way, but to produce in agreement with the environment while creating an additional value for the agricultural enterprise. An experiment using a simulation model designed for dual purpose cattle in Colombia was carried out and its capacity for differentiating the equilibrium points of the productive system was analyzed thus demonstrating the situations when additional values for the enterprise are created or destroyed.

Key words: Simulation model, creation of additional value, optimization, dual purpose cattle

©2002 ALPA. Todos los derechos reservados

Arch. Latinoam. Prod. Anim. 2002. 10(3): 226-231

RESUMEN: Se analiza la forma hacia la que ha evolucionado la producción agropecuaria con un nuevo paradigma que ya no es producir más, o producir en forma sencillamente rentable, sino que es producir en armonía con el medio ambiente y creando valor para la empresa pecuaria. Se presenta un experimento realizado con un modelo de simulación de ganado de doble propósito, en el piedemonte llanero de Colombia, analizando la capacidad de usar el modelo para diferenciar los puntos de equilibrio del sistema productivo que denotan cuando se crea o destruye valor para la empresa.

Palabras clave: Modelo de simulación, creación de valor, optimización, ganado de doble propósito

Introducción

La tendencia actual hacia la globalización en todas las áreas de negocios, a las cuales no escapan los negocios agropecuarios, ha significado un aumento de la competencia, tanto en intensidad como diversidad. Ello significa que un empresario agrícola debe enfrentarse al problema de disponer de elementos que le permitan comprender los mercados regionales y foráneos (Hax y Majluf, 1996). Por tal motivo debe disponer de metodologías y herramientas con las cuales identificar debilidades y fortalezas de sus sistemas productivos, para ir adaptándose a un medio ambiente altamente dinámico y dar sentido estratégico a la dirección de la empresa, para enfrentar de manera exitosa la competencia de los diferentes mercados (Navas y Guerras, 1996).

Entre las metodologías y herramientas actualmente en uso destacan el análisis de sistemas y los modelos de simulación, que permiten, apoyándose en los avances de la informática, estudiar y predecir con gran precisión el comporta-

miento de los sistemas productivos frente a cambios en alternativas de manejo, uso de nuevas tecnologías, cambios e incertidumbre en los mercados, variaciones climáticas y otros (Aguilar, 1997). Un modelo de simulación desarrollado con el objetivo de estudiar y resolver los problemas expuestos se transforma en una poderosa herramienta para enfrentar el medio cambiante, sirviendo tanto a los profesionales del área como a los que se preparan en ella.

En este entorno cambiante se desarrollan los sistemas de producción animal, donde hay que considerar una serie de factores (genéticos, ambientales, nutricionales y sanitarios) que inciden en su productividad. El factor nutricional constituye probablemente el de mayor importancia en la productividad y resultado económico de la empresa, por lo que requiere una adecuada y estratégica utilización de nutrientes en función a su potencial productivo, de tal modo de lograr una máxima conversión alimenticia.

En el caso de producción en forma extensiva o semi-extensiva, el ciclo anual de las praderas ligado a las condicio-

Recibido Mayo 30, 2002. Aceptado Agosto 15, 2002

¹Estudio desarrollado con financiamiento del proyecto FONDEF D00 T2064, Conicyt.

²E-mail: daguilag@puc.cl

nes medio ambientales, ocasiona déficits nutricionales en los requerimientos de los animales que afectan significativamente la productividad. El manejo de la pradera junto al uso de suplementos puede ser un factor fundamental para proporcionar los elementos nutritivos que necesita el animal, y con ello la rentabilidad del negocio. Para un entendimiento de la interacción entre la planta y animal en pastoreo, es necesario hacer estimaciones de producción y consumo de forraje. Una técnica para hacer tales estimaciones, considerando que existen factores que se interrelacionan, es también el uso de modelos de simulación que permitan una predicción rápida y confiable.

El uso de modelos de simulación que permiten predecir los potenciales productivos de los sistemas de producción animal, bajo diferentes escenarios productivos, permite evaluar técnica y económicamente diferentes alternativas, reduciéndose de esta manera el tiempo que lleva experimentar en campo las mismas alternativas.

El nuevo paradigma ya no es producir más, o producir en forma sencillamente rentable, es producir en armonía con el medio ambiente y creando valor para la empresa pecuaria. Tal paradigma hoy en día sólo puede ser resuelto y evaluado con la ayuda de modelos de simulación predictivos.

Creación de Valor en la Empresa Pecuaria

La creación de valor en cualquier empresa está directamente relacionada con el uso adecuado de los recursos y con su capacidad para implementar y evaluar innovaciones que le creen una ventaja competitiva en el mercado. Tal situación es posible representarla con modelos matemáticos y mediante diferentes técnicas numéricas o matemáticas buscar su óptimo.

La optimización de sistemas de producción pecuaria mediante modelos matemáticos ha tenido gran desarrollo en las últimas décadas, destacándose una gran cantidad de modelos matemáticos propuestos y una evolución de la función objetivo (o las funciones objetivo) a optimizar. En este estudio se pretende mostrar tal dinámica poniendo énfasis en tres aspectos: estructura del problema a estudiar, fidelidad del modelo con el sistema estudiado y calidad de la función objetivo.

En cuanto estructura del problema. Al observar los problemas que se quiere resolver en la agricultura (o cualquier otra área) aparecen como un continuo. Podemos sin embargo hacer una distinción discreta entre problemas estructurados, semiestructurados y no estructurados (Mate y Pazos, 1988) que presentan algunas características destacables de cada grupo.

Los problemas estructurados, aquellos en que se conocen todos y cada uno de los componentes de la solución, es decir, datos que representan estados del problema, operadores, metas y restricciones, estrategias de solución y conocimientos de control que dirigen la aplicación de los operadores, son resueltos en forma automatizada y sólo requieren actualización de parámetros.

En cambio, los problemas semiestructurados, donde en alguno de sus subproblemas no se conoce algunos componentes de la solución, requieren de un tratamiento diferente. En este caso, un modelo puede tratar las partes estructuradas y las personas bregan con la otra parte, acotando el espacio de soluciones dado por el modelo.

La casi totalidad de los modelos de optimización aplicados a los problemas agropecuarios corresponden a esta categoría (Moroto *et al.*, 1997). Los esfuerzos en nuevos modelos, mezcla de modelos o nuevas metodologías se aplican generalmente a la parte estructurada del problema dejando un espacio (solución no estructurada) para la decisión de las personas. Este espacio no estructurado ha recibido también gran atención a través de métodos y modelos anexos que ayuden a una dirección de la solución (MengBo Li y Yost, 2000).

Sin embargo, este problema de estructuración no es el único que deben enfrentar los modelos de optimización ya que también hay restricciones, de acuerdo al problema, en sistemas de gran tamaño o con interrelaciones no lineales en sus variables (Mardle y Pascoe, 2000; Herrero *et al.*, 1999).

Los modelos bioeconómicos de optimización se han aplicado en casi todas las áreas relacionadas con producción agrícola y animal. Sin embargo, su uso y aplicación se restringe en sistemas de gran tamaño cuando el sistema modelado presenta variables de decisión con gran cantidad de interrelaciones no lineales. Los métodos evolutivos han sido parte de la respuesta a este problema (Mardle y Pascoe, 2000) así como la interacción entre modelos de simulación que proporcionan datos de diferentes alternativas productivas a modelos de toma de decisiones multi-criterio (Herrero *et al.*, 1999)

A su vez, los problemas no estructurados, aquellos en que todas o alguno de los componentes de la solución son desconocidos o vagas, es decir, la o las metas no están explícitamente establecidas (determinar la meta puede ser parte del problema), o los estados del problema no son discretos, o los operadores no están estrictamente especificados o el espacio del problema tampoco esta acotado, requieren también un tratamiento diferente. En este caso se intenta aproximar la no estructura del problema con la de la solución, generalmente por medio de los modelos de ingeniería del conocimiento, como los sistemas expertos.

Desde esta perspectiva, los modelos de simulación soslayan la gran mayoría de los problemas de los modelos matemáticos de optimización pero, no son capaces de buscar óptimos: es la parte no estructurada de la solución que los usuarios del modelo deben resolver con pruebas o experimentos que lo aproximen a la mejor solución.

En cuanto fidelidad del modelo. En general, los modelos de optimización se han aplicado a una gama amplia de situaciones agropecuarias, con buenos resultados. El caso de mejores resultados es sin duda el cálculo de raciones de mínimo costo, ya que este problema se acomoda muy bien a todas las características de un modelo lineal de programación lineal. Verificar que un problema se ajuste a las caracte-

terísticas de un modelo lineal supone revisar hipótesis implícitas como: linealidad de todo el sistema, estatismo del método, aplicabilidad de la solución, probabilidad de ocurrencia de fenómenos biológicos establecidos y singularidad de la función a optimizar (Moroto *et al.*, 1997)

La premisa principal cuando se utiliza un modelo de optimización es que se debe confrontar si el problema se acomoda a la estructura del modelo que se utiliza. Ello es absolutamente opuesto al planteamiento de un modelo de simulación, que por definición se diseña y construye en torno a un objetivo, lo cual asegura que el modelo se diseña adaptándolo a las condiciones del problema (Aguilar, 1997). Esta característica asegura que un modelo de simulación validado representa el problema del sistema en estudio.

Podemos ver que, desde la perspectiva de fidelidad del modelo con el sistema estudiado, los modelos de simulación presentan una ventaja por definición. Su desventaja está en que el modelo debe ser validado, o sólo será una colección de ecuaciones matemáticas que no se sabe si representan el sistema estudiado.

En cuanto la calidad de la función objetivo. En las últimas décadas han existido numerosas iniciativas en el sector agropecuario, que a pesar de no haber sido adoptadas en forma generalizada han demostrado una gran variedad de soluciones factibles en cuanto a utilización de praderas, mejoras genéticas, gestión, organización y marketing. La gran mayoría ha demostrado que productivamente es posible tal alternativa incluso sin perder dinero, pero no ha verificado que efectivamente se esté creando valor para cada productor viendo sus condiciones particulares y aquellos eslabones de la cadena de valor (cruces de actividades primarias con las de apoyo) que más le acomodan o tienen mayor efecto en la creación de valor del predio particular.

La creación de valor es un concepto que no ha sido aplicado con profundidad en el sector agropecuario (salvo las excepciones que justifican la premisa, como es el caso de los productos ovinos de la XII región de Chile, donde la iniciativa ha sido de los frigoríficos, marcando la diferencia en el faenamamiento) y es probablemente lo que explica la renuencia de los productores, especialmente pequeños, a adoptar alternativas tecnológicas innovativas o desconocidas que intuyen de poca creación de valor.

La creación de valor de una empresa está relacionada con el enfoque que se abordan los objetivos de la empresa, en este caso del predio destinado a la producción. Se puede reconocer en los estudios de administración que el enfoque de objetivos de la empresa ha evolucionado desde un objetivo único (maximización del beneficio) hasta el más reciente en que se reconoce la coexistencia de una pluralidad de objetivos (Zander y Kächele, 1999). Esta diversidad de objetivos puede subsumirse en uno que es la maximización del valor de la empresa en el mercado (Fernández, 1995). La generación de valor y su optimización, dentro de las restricciones impuestas por la sociedad, constituye una condición necesaria para la satisfacción de la variedad de objetivos señalada.

Existe diferencia entre maximización del valor y maximización del beneficio. La maximización del valor de una empresa es un concepto más amplio y general que la maximización del beneficio (Fernández, 1995) detectándose algunas diferencias como la mayor dimensión temporal de maximizar el valor y el hecho que la maximización del valor considera además de las rentabilidades futuras esperadas los riesgos inherentes a ellas, concepto que no incluye la maximización del beneficio.

Se puede entonces visualizar la ventaja de disponer de un método y modelo, que busque el máximo del valor de una empresa frente a un modelo que busque el máximo beneficio de la empresa.

La creación de valor se ha medido tradicionalmente con cuatro índices: rentabilidad económica, rentabilidad financiera, curva de valor y ratio q de Tobin (Fernández, 1995).

Estos indicadores tienen una serie de limitaciones. La rentabilidad económica (mide rendimiento de activos o inversiones con el cociente entre el beneficio antes de intereses e impuestos y el total de activos netos) no tiene en cuenta la inflación, no considera perspectivas futuras de la empresa, no contempla el costo de oportunidad del dinero, penaliza una empresa que tenga políticas de crecimiento e inversión en investigación y desarrollo y por último no considera las estrategias de la empresa ni intensidad de capital del sector.

A su vez, la rentabilidad financiera (que mide la rentabilidad de los fondos propios con el cociente entre el beneficio neto y los fondos propios) tiene la limitación de reflejar la rentabilidad de los fondos propios en un período fijo, no considera el valor del dinero en el tiempo, no incluye información sobre riesgo asociado y considera solamente el valor contable y no el valor de mercado de la empresa.

El índice de curva de valor, definido como el cociente entre el valor de mercado de los fondos propios y su valor contable, viene a suplir algunas deficiencias de las señaladas. De este modo, el valor de mercado de los fondos propios refleja los futuros flujos de beneficios esperados por los accionistas de la empresa descontados a una cierta tasa de retorno; a su vez los fondos propios recogen el capital desembolsado (aporte accionistas), beneficios retenidos y reservas de actualización. Se puede decir que mide efectivamente la capacidad de una empresa de crear valor y analizar las variables que lo provocan. Entre las limitaciones, aplicado el índice a las empresas pecuarias se puede destacar la dificultad de estimar el valor de mercado de los fondos propios e incluso en muchos casos su valor contable.

Por último el ratio q de Tobin, definido con el cociente entre el valor de mercado de la empresa y el costo de reposición de los activos, permite medir la valoración que el mercado hace de la capacidad de la empresa para generar rentas. Su limitación, en el caso particular de empresas pecuarias radica en la estimación de valor de reposición de los activos y el valor de mercado de la empresa.

Como se puede ver, aquellos índices que más se aproximan a medir correctamente la creación de valor, son poco

aplicables a los sistemas de producción agropecuarios por la dificultad de tener la información adecuada.

Nuevas proposiciones para abordar el problema. Se vislumbra la necesidad de una nueva metodología para evaluar la generación de valor de una empresa pecuaria y buscar el óptimo de ella.

Para verificar la factibilidad de tal metodología se diseñó y programó un modelo de simulación capaz de representar diferentes escenarios productivos (Cortes *et. al.*, 2002), entendiendo por escenario productivo a una forma estratégica de producir, que puede ser dependiente del contexto, que tiene alguna característica que lo hace identificable. Así por ejemplo puede referirse, en el caso que se mostrará de sistemas de producción doble propósito, a destete no tradicional de terneros con pastoreo semi intensivo, que implica adicionalmente otra serie de manejos del rebaño y características de costos.

Para que dicho modelo sea capaz de representar diferentes escenarios productivos incluye los siguientes componentes: rebaño (con descripción de número de animales, composición, parámetros característicos como reemplazo, mortalidad, fertilidad), praderas (descripción de superficie, dinámica de crecimiento y digestibilidad, estrategia de uso), suplementos (características nutritivas y estrategia de uso), costos (descripción de costos fijos y variables, tasas de interés, descripción de costos alternativos, estrategias de inversión), mercado (precios) y clima.

El modelo de simulación descrito permite hacer una estimación del costo medio total de producir carne y leche. La metodología propuesta considera correr dicho modelo de simulación en una secuencia tal que es posible construir la curva de costo medio total (en general variando la cantidad producida). Ello permite construir la curva de costo marginal del escenario productivo individual. Ello tiene dos consecuencias prácticas: la intersección del costo marginal con la curva de costo medio es en el punto más bajo de la curva de costo medio (señala el punto de mínimo costo) y la intersección de la curva de costo marginal con la curva de precio del producto se produce en el punto de máximo beneficio.

Ahora, para asegurarse la evaluación de creación de valor, el costo total puede incorporar todos los flujos directos de costo (se calcula un costo medio total de operación) y adicionalmente se puede estimar el costo alternativo de uso de animales y pradera (se calcula un costo medio total financiero). Entonces se puede verificar si el nivel de operación está entre el punto de mínimo costo financiero y máximo beneficio financiero, en cuyo caso se está en presencia de creación de valor para la empresa, si está en el punto de mínimo costo financiero no se destruye ni crea valor, si se está bajo el punto de mínimo costo financiero se está destruyendo valor en la empresa.

Adicionalmente, también es posible evaluar estrategias de operación futura, ya que para ello sólo será necesario describir el escenario productivo apropiado.

En resumen, a través de la medición de creación de valor es posible identificar y evaluar aquellas alternativas tecno-

lógicas que creen valor en una empresa, mediante el apoyo de modelos matemáticos de simulación que evalúen alternativas señalando creación o pérdida de valor.

El problema señalado es particularmente importante en las zonas donde existe investigación con una oferta variada de cambios tecnológicos que deben ser evaluados con las condiciones de cada productor.

Experimentación con un Modelo

Se asume un predio de 15 hectáreas en el piedemonte llanero del Meta, Colombia. Se cuenta con una pradera de *Brachiaria decumbens* preflor, con una producción media de 9200 kg de materia seca al año, manejada con un sistema rotacional en 4 potreros de 10 días de tiempo de ocupación y 30 días de descanso

Se tiene animales doble propósito, Cebú x Criollo x Holstein, con vacas de un potencial de producción de leche de 1800 kg por lactancia de 270 días, con sistema de manejo de crías tradicional. No se utiliza suministro de suplementos o concentrado.

Los valores de calidad y productividad del forraje utilizado son los descritos para la zona. Se asumió, en pesos colombianos, precio de la leche pagado a productor de \$360/kg (US\$ 0.18) y precio de la carne pagado a productor de \$1900/kg (US\$ 0.95).

El periodo de evaluación (simulación) fue de 365 días. Para distribuir los costos que se deben asignar a la producción de leche y a la de carne, se asumió que son proporcionales a los ingresos obtenidos por sus respectivos conceptos.

Para realizar la experimentación se aumentó gradualmente la carga animal en cada corrida del modelo, con la misma superficie. Los resultados se muestran en el Cuadro 1.

Costo medio del kilo de leche. En la Figura 1, con precio unitario del kilo de leche en pesos colombianos en las ordenadas y número de cabezas en las abscisas, se observa que la curva de costo marginal (costo de producir una unidad adicional) corta a la curva de costos medios (costo total entre los kg producidos) en un punto en el que el valor del kg de leche es de \$270 (US\$ 0.135), correspondiendo con aproximadamente 21 cabezas adultas por superficie pecuaria (15 ha). Este punto se considera el mínimo costo al cual se produce una unidad de leche en las condiciones especificadas del predio.

Para obtener información de cual sería el punto de máximo beneficio en producción de leche, se proyecta el valor del kg de producto (IM: ingreso marginal) al cual el mercado esta dispuesto a pagar al productor, hacia la curva de costos marginales. El punto donde el IM intercepta a los costos marginales es considerado el punto de máximo beneficio u óptimo económico. Para el escenario definido, el máximo beneficio, considerando un precio de mercado de \$ 360/kg de leche (US\$0.18), es de 21,5 cabezas adultas por superficie, aproximadamente.

Cuadro 1. Costos medios y marginales de leche y carne estimados para diferentes cargas animales en SDP en una pradera de *Brachiaria decumbens* prefloración.

Carga animal Cab.adultas/superficie	Costo Total (\$)	Leche (Kg)	CMeLeche (\$/kg)	CMaLeche (\$/kg)	Carne (Kg)	CMeCarne (\$/kg)	CMa Carne (\$/kg)
2	4976121	1692	1677		272	7866	
5	5327610	3950	714	155,7	729	3435	769,1
10	5886213	7812	399	144,6	1429	1935	798,0
15	6396090	10933	315	163,4	2011	1464	876,1
20	6825720	14414	279	123,4	2120	1317	3941,6
25	7200186	14685	288	1381,8	2004	1473	
26	7222641	14472	294		1986	1491	
27	7195125	13667	312		1874	1575	
28	7145937	12574	336		1709	1713	
29	7045617	10663	396		1426	1977	

CMeLeche: Costo medio de producir 1 kg de leche
 CMaLeche: Costo marginal de producir 1 kg de leche
 CMeCarne: Costo medio de producir 1 kg de carne
 CMaCarne: Costo marginal de producir 1 kg de carne
 SDP: Sistemas bovinos de doble propósito
 Costo Total: Costo total financiero anual (C.fijos + C.variables). Incluye el valor del forraje y el costo alternativo de los animales.
 Carga animal: Considera cabezas adultas (novillas + vacas secas y lactantes) en el total de la superficie.

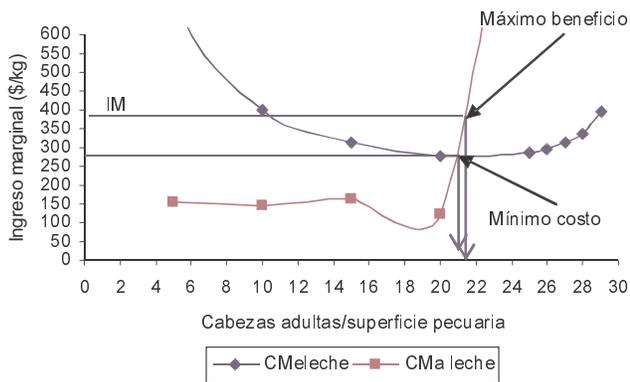


Figura 1. Curvas de Costos Medios (CMe), Costos Marginales (CMA) e Ingresos Marginales (IM) para leche. Las flechas señalan los puntos de costo mínimo, y de máximo beneficio.

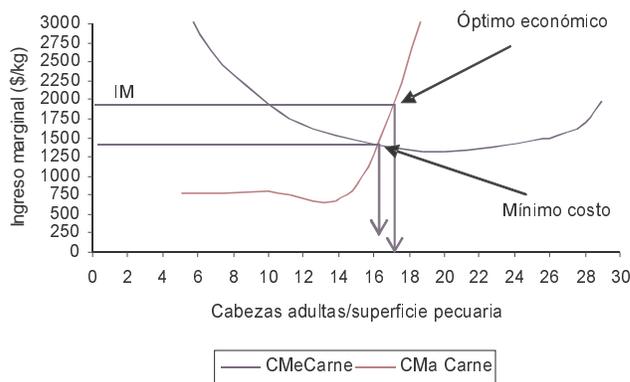


Figura 2. Curvas de Costos Medios (CMe), Costos Marginales (CMA) e Ingresos Marginales (IM) para carne. Las flechas señalan los puntos de costo mínimo, y de máximo beneficio.

Costo medio del kilo de carne. En la Figura 2, con precio unitario del kilo de carne en pesos colombianos en las ordenadas y número de cabezas en las abscisas, se observa que el punto donde se produce el kg de carne a mínimo costo corresponde a \$1350 (US\$0.675), el cual se relaciona con aproximadamente 16 cabezas adultas por superficie, en las condiciones especificadas del predio.

El punto de máximo beneficio en producción de carne para el escenario descrito, considerando un precio de mercado de \$ 1900/kg de carne (US\$0.95), se relaciona con 17 cabezas adultas por superficie, aproximadamente.

Estas curvas se deben interpretar teniendo en cuenta la relación existente entre el costo marginal (CMA) y el costo medio (CMe). Mientras el CMA de producir un kg adicional de leche o de carne, sea inferior a su CMe, éste último va disminuyendo. Cuando el CMA del kg de producto es mayor a su CMe, este CMe está en aumento.

El área descrita a partir del punto donde se interceptan el CMe y el CMA, y hasta el punto donde se interceptan el ingreso marginal (precio del mercado) con el CMA, determina el área que es rentable para la producción de leche o carne.

Conclusiones

El uso de un modelo de simulación predictivo permite evaluar escenarios productivos y alternativas tecnológicas, principalmente de manejo y alimentación, con lo cual es posible estimar puntos de optimización parciales como mínimo costo y máximo beneficio.

Los modelos de simulación predictivos son la herramienta más apropiada para la estimación de creación o destrucción de valor en una empresa pecuaria, dado que permiten generar la información apropiada para una buena estimación, característica difícil de conseguir con las metodologías actualmente en uso.

Literatura Citada

- Aguilar, C. 1997. Simulación de sistemas. Aplicaciones en producción animal. Colección en Agricultura, P. Universidad Católica de Chile. 241p.
- Cortés, H., C. Aguilar y R. Vera. 2002. Sistemas bovinos doble propósito en el trópico bajo de Colombia. Modelo de simulación. Archivos de Zootecnia, Córdoba, España (en prensa).
- Fernández, L. 1995. Objetivos empresariales. En: Administración de empresas para ingenieros. Ed. Civitas. 686p.
- Hax, A., y N. Majluf. 1996. Gestión de empresa con una visión estratégica. Colección Economía y Gestión. Ediciones Dolmen, Chile. 513p.
- Maroto, C., J. Ciria, L. Gallego, y A. Torres. 1997. Gestión de la producción ganadera. Modelos, técnicas y aplicaciones informáticas. Ediciones Mundi-Prensa. 238p.
- Mate, J., y J. Pazos. 1988. Ingeniería del conocimiento. Diseño y construcción de sistemas expertos. Ed. SEPA, Argentina. 574p.
- Mardle, S., y S. Pascoe. 2000. Use of evolutionary methods for bioeconomic optimization models: an application to fisheries. *Agricultural Systems* 66 (1): 33-49.
- MengBo Li, y R. S. Yost. 2000. Management-oriented modeling: optimizing nitrogen management with artificial intelligence. *Agricultural Systems* 65 (1): 1-27.
- Navas, J. E., y L. A. Guerras. 1996. La dirección estratégica de la empresa. Teoría y aplicaciones. Editorial Civitas, S.A. 605p.
- Hahn, B. D., F. D. Richardson, y A. M. Starfield. 1999. Frame-based modelling as a method of simulating rangeland production systems in the long term. *Agricultural Systems* 62(1): 29-49.
- Herrero, M., R. H. Fawcett, y J. B. Dent. 1999. Bio-economic evaluation of dairy farm management scenarios using integrated simulation and multiple-criteria models. *Agricultural Systems* 62 (3): 169-188.
- Zander, P., y H. Käthele. 1999. Modelling multiple objectives of land use for sustainable development. *Agricultural Systems* 59 (3): 311-325.