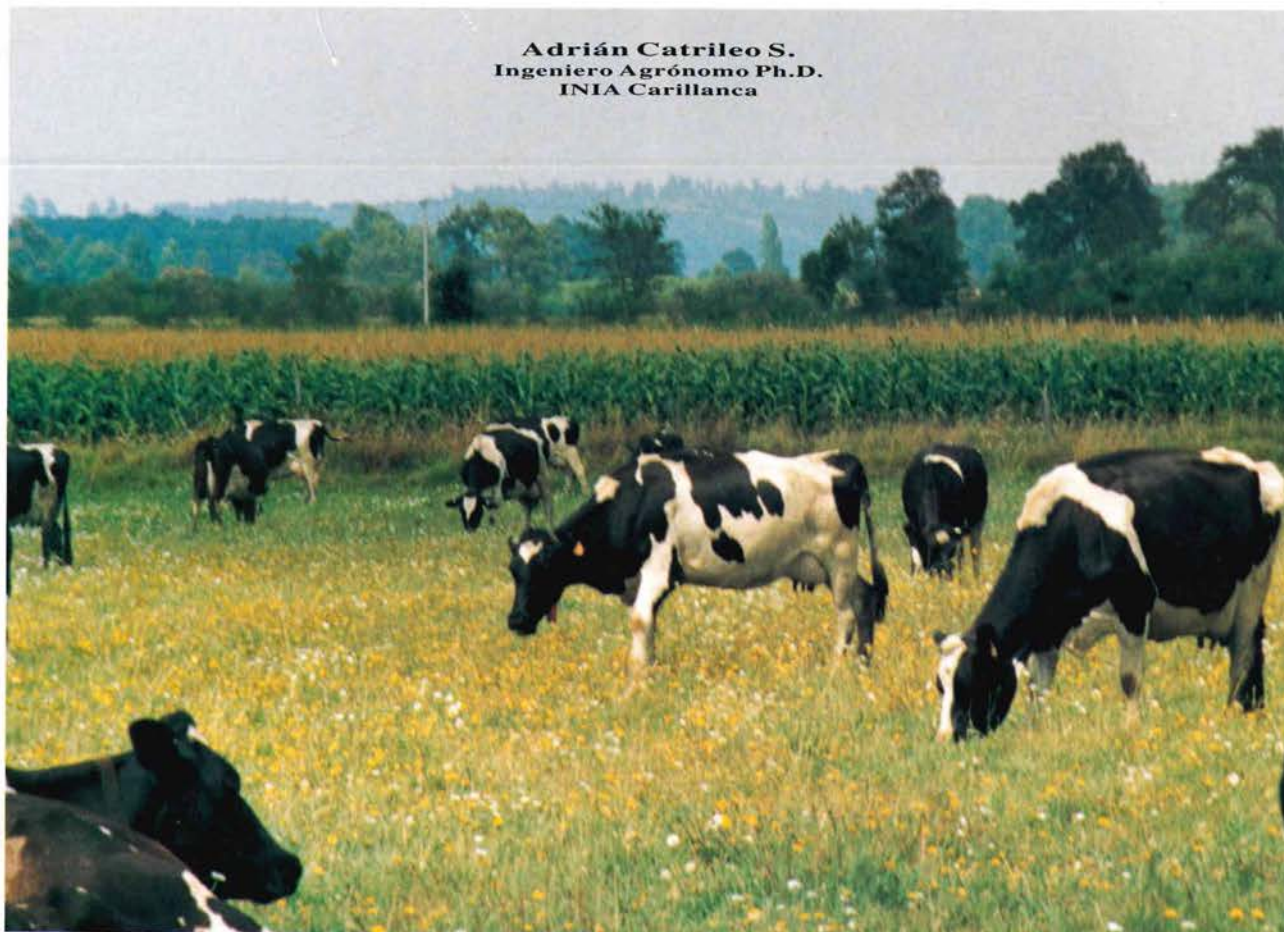


SISTEMAS PRODUCTIVOS

MODELACIÓN EN EL INIA: NECESIDAD E INTENSIDAD

Adrián Catrileo S.
Ingeniero Agrónomo Ph.D.
INIA Carillanca



El desarrollo de los modelos se efectúa sobre la base de la información proveniente de sistemas físicos de producción.

Los sistemas físicos han respondido al requerimiento de fijar potenciales de producción para diferentes zonas agroecológicas, que han contribuido favorablemente al conocimiento agronómico y sus posibilidades. Se han determinado, en distintos rubros, potenciales en leche y carne, mezclas forrajeras mejor adaptadas, carga animal y fechas de eventos reproductivos apropiados según la zona. Sin embargo, la compleja situación de recursos disponibles actualmente para investigación hace cada día más imperioso reducir los costos de los estudios y agilizar la obtención de resultados. Así, cada día es mayor la *necesidad* de dar *intensidad* al desarrollo de modelos matemáticos sobre la base de la información proveniente de sistemas físicos de producción, así como de estudios de componentes del sistema, lo cual permitiría acortar sustancialmente el período de análisis de los sistemas y, al mismo tiempo, el estudio de varias opciones al responder, con el uso de modelos, preguntas del tipo “qué pasa si”.

Las últimas dos décadas han estado marcadas por el creciente estudio de los sistemas. De este modo, diferentes equipos multidisciplinares de investigación/desarrollo han abordado con gran interés las relaciones e interacción de los elementos al interior de los sistemas, considerando el aumento de productividad en los rubros, mayor utilización de insumos para la obtención de un rendimiento máximo y los efectos de este proceso en el medio ambiente.

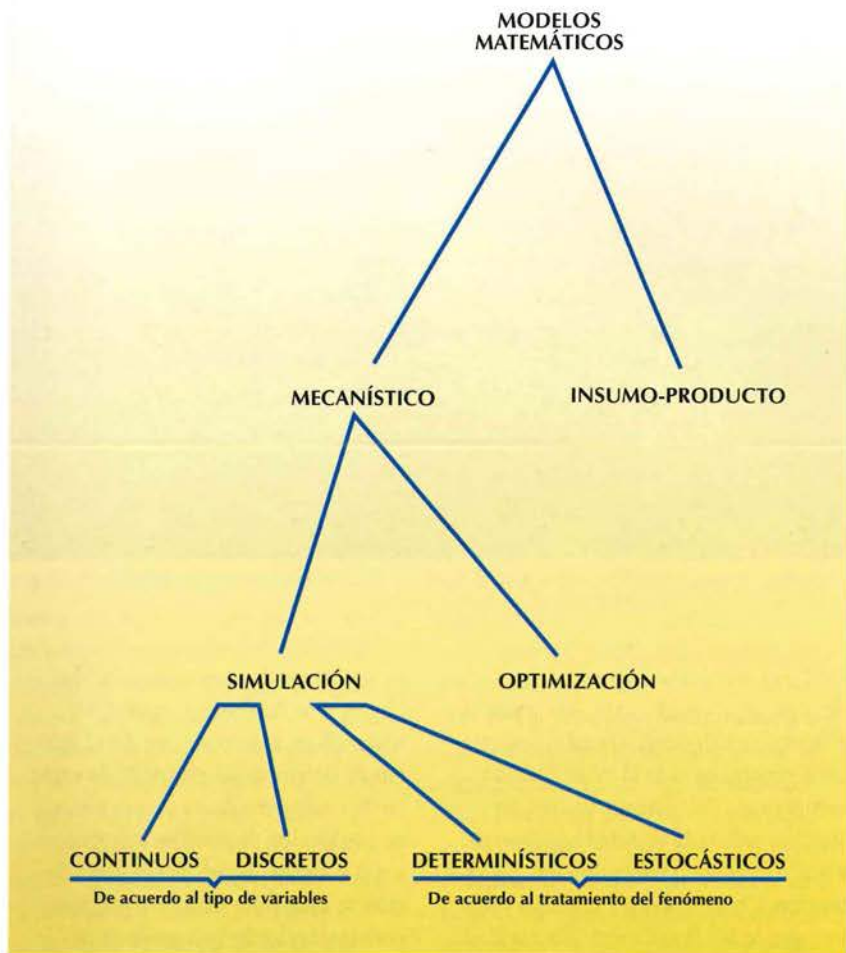
El análisis como metodología, implica identificar el sistema bajo estudio, definir sus límites y conocer su funcionamiento. Desde esta perspectiva, los sistemas pueden agruparse en términos agronómicos de acuerdo a un nivel jerárquico, incluyendo desde el nivel del suelo (primario) hasta el productivo de cultivos y animales (secundario), en sus respectivas interrelaciones generadas durante todo el proceso productivo.

El estudio del nivel primario normalmente trae asociado análisis específicos en la determinación de relaciones y cuantificación de procesos —como el balance hídrico y su influencia en cultivos— que, al igual que en estudios relacionados con la nutrición vegetal y animal son también estudios de nivel primario, que pueden ser integrados en modelos más abstractos para el análisis de sistemas a nivel secundario.

Los sistemas físicos de producción

En el INIA, los sistemas físicos de producción han estado dirigidos a la evaluación de potenciales de producción animal (carne y leche), sobre la base de mezclas forrajeras, en condiciones de secano y riego. La mayoría de estos estudios se ha realizado a escala real, en que la unidad de superficie ha sido la hectárea y el elemento secundario el animal. En otras palabras, los sistemas analizados responden a la definición de módulos dentro del sistema que enmarcan diferentes procesos productivos. El diseño, implementación y evaluación de sistemas a escala real normalmente involucran la utilización de recursos (tierra, ganado, praderas, mano de obra, insumos y

Figura 1. Clasificación modificada de modelos para sistemas agropecuarios basada en la clasificación hecha por Brockington (1979)



otros) en trabajos que requieren de al menos una temporada para conocer sus resultados, influyendo esto en los costos del estudio, especialmente cuando la evaluación se prolonga por varias temporadas.

Desde este enfoque, los sistemas físicos han respondido a la necesidad de fijar potenciales de producción para diferentes zonas agroecológicas, y han contribuido favorablemente al conocimiento agronómico de sus posibilidades. Se han determinado, en distintos rubros sus rendimientos potenciales: leche y carne, mezclas forrajeras mejor adaptadas, carga animal y fechas de eventos reproductivos (parición, encaste y otros) apropiados según la zona.

Un ejemplo es el trabajo de Butendieck y otros (1991, 1992) para determinar potenciales de producción de leche y carne en sistemas físicos desarrollados bajo condición de riego, en el llano central de

la IX Región. En cuatro hectáreas y durante dos temporadas, se establecieron valores superiores a los 14.000 litros de leche por hectárea cada temporada. En el cálculo de estas cifras se descontó el efecto de los concentrados, a fin de establecer el valor productivo “neto”. Por otra parte, en secano y en una superficie de 16 hectáreas, con cargas promedio de 1,41 animales por hectárea (U.A./ha), se determinó un potencial de 6.000 lt/ha/año (Butendieck y otros, 1990).

Estudios del INIA en la IX Región (Rojas y Romero, 1990 y 1994) en sistemas bovinos con pastoreo de la mezcla de festuca y trébol subterráneo, realizados en superficies de 18 hectáreas, determinaron un potencial de producción de 500 kilos de carne por hectárea al año en módulos de crianza vaca-ternero, y de 700 kilos de peso vivo por hectárea al año en



La modelación ayuda a entender el funcionamiento del sistema físico desde una perspectiva sistémica; vale decir, en su conjunto más que a través de cada uno de sus componentes.

módulos de recría-engorda. Sin embargo, en casi todos los sistemas físicos de producción animal, la orientación general ha sido el estudio de un componente del sistema, lo cual no siempre refleja la realidad que opera a nivel comercial. Habitualmente, las situaciones reales oponen sistemas mixtos, donde los flujos entre la actividad agrícola y la ganadería, y sus interacciones biológicas en conjunto con las económicas, determinan la respuesta de los cultivos y el ganado.

En cuanto a rotaciones de cultivos, los estudios del INIA con sistemas físicos de producción son escasos, pero hay algunos ejemplos. En análisis de rotaciones proyectadas a largo plazo, Rodríguez y otros (1992) evaluaron los efectos de diferentes secuencias de cultivos y su impacto en el rendimiento de trigo. Los resultados de dos años en parcelas indicaron una influencia positiva de la avena como precultivo del trigo, pero no se entrega información sobre la evolución de la fertilidad del suelo.

La mayoría de los sistemas físicos evaluados que consideraban rotaciones pusieron mayor atención al componente cultivo, ya que parte de los trabajos fueron realizados por especialistas en esa materia. La inclusión del componente animal obligó a usar superficies

de praderas mayores a las parcelas. Un estudio de Rojas y otros (1993), realizado en una superficie de 15 hectáreas, determinó el potencial de carne bovina como resultado de un sistema de producción de novillos integrados a una rotación de cultivos. La evaluación se desarrolló durante cinco temporadas, registrándose parámetros productivos del ganado, los cultivos y suelo, siguiendo la evolución de la fertilidad del mismo. Adicionalmente, el estudio fue valorado económicamente (Soto y otros, 1993), destacando los beneficios económicos del sistema en forma global, a los precios vigentes durante el ciclo.

El productor puede acceder a los resultados de los modelos vía investigador o transferencista. Un ejemplo de la utilidad práctica del análisis mediante sistemas informáticos es la formulación de la ración a mínimo costo, utilizada comúnmente por empresas y profesionales. Otro ejemplo es la programación de riego en frutales y hortalizas.

A nivel de investigación existe abundante bibliografía sobre el tema. Información sobre ella puede consultarse con el autor o acudir directamente a la Biblioteca del CRI Carillanca.

Modelación matemática

Como alternativa a la investigación tradicional, los modelos matemáticos constituyen un complemento en la síntesis, integración y análisis de sistemas de producción. A través de su desarrollo, la investigación tiene acceso a una metodología complementaria de estudio que integra relaciones de insumo-producto, disminuye costos de investigación y agiliza la obtención de resultados, ayudando a entender el funcionamiento del sistema desde una perspectiva holística.

La simulación corresponde a una forma de modelación matemática de los sistemas (Figura 1, página 43) que ha prevalecido en los trabajos del INIA y cuyo énfasis ha sido el nivel secundario (ámbito de la producción animal, en su mayoría).

El desarrollo de dichos modelos sobre la base de la información proveniente de sistemas físicos de producción, así como de estudios de componentes del sistema físico, ha permitido, una vez concluidos, acortar sustancialmente el período de análisis de los sistemas y, al mismo tiempo, incorporar el estudio de varias opciones al responder preguntas del tipo "qué pasa si...". Bajo este enfoque, un estudio de Jahn y otros (1988), permitió evaluar 81 opciones de manejo en vacas lecheras, encontrando una buena respuesta de un modelo de simulación a los cambios introducidos, incluidos los factores económicos, es decir que los resultados de la simulación coinciden con lo que ocurre finalmente en la realidad.

De igual forma, Sáez y otros (1989), analizando un centenar de opciones de manejo, evaluaron con un modelo de orientación similar el efecto de la suplementación postparto bajo condición de año seco, lluvioso y normal. En uno de los pocos trabajos de integración ganado-cultivo, Klee y otros (1992) simulan el impacto en la producción de carne bovina y trigo, al variar los niveles de fertilización y la superficie de ambos rubros, bajo el marco económico vigente de precios. Otro modelo, esta vez de producción ovina (Castellaro y otros, 1994), pre-

dice los diferentes estados fisiológicos de los animales y su respuesta a través del consumo energético ofrecido por la pradera. Esta se ingresa como un dato tabular y los autores sugieren la necesidad de una mayor información del recurso para distintas zonas agroecológicas.

A un nivel más básico y para un mejor conocimiento del funcionamiento de los sistemas, es necesaria la realización de estudios parciales o de insumo-producto, que permite establecer coeficientes para el análisis, desarrollo y diseño de técnicas de nivel superior. Para tales efectos, se requieren investigaciones específicas en el área de la dinámica suelo-planta-animal, fisiología vegetal, nutrición y economía. El conocimiento de coeficientes provenientes de la experimentación provee insumos para el desarrollo de modelos de simulación en el complejo suelo-planta-animal. Una integración de procesos de fotosíntesis, respiración y senescencia para simular crecimiento de una mezcla forrajera, es presentada en un modelo determinístico y dinámico (Catrileo, 1992). A los procesos biológicos mencionados, se consideran también radiación solar y datos de clima (lluvia, temperatura, evaporación), ya que el modelo simula el movimiento de agua en el perfil del suelo prediciendo crecimiento (determinación de tasas de crecimiento diario) bajo condiciones de estrés

Cuadro 1

Respuesta de un modelo de simulación de recría-engorda a pastoreo y galpón en novillo O. Negro. Efecto de diferentes cargas (animales/ha). INIA Carillanca, IX Región.

Carga animal	1,4	2,0	2,6	3,1
Pastoreo				
Peso inicial (kg/animal)	180	180	180	180
Peso final* (kg/animal)	465	465	417	380
Aumento diario (kg/animal/día)	0,781	0,757	0,651	0,548
Ensilaje conservado** (ton. m.s.)	20,4	19,2	18,3	16,0
Engorda a galpón				
Peso final (kg/animal)	530	530	530	491
Aumento diario (kg/animal/día)	1,37	1,37	1,37	1,36
Días de engorda	48	53	82	84
Ensilaje sobrante (ton. m.s.)	15,8	11,9	4,4	-
Peso vivo total (kg/ha)	500	700	900	971

*Se considera como peso inicial en la engorda.
 **Total conservado: 57% del área del área total de pradera se destinó a ensilaje.

Fuente: Catrileo, 1992.

hídrico, determinando tasas de crecimiento diario de la pradera, utilizadas posteriormente en un modelo de simulación de recría-engorda de novillos a pastoreo (Catrileo, 1992). En este último trabajo, el modelo predice el potencial de producción de carne de un sistema ganado-cultivo al analizar cuatro temporadas y cuatro cargas animales, y el efecto de otras estrategias de manejo tales como adelantar la época de faena de los animales, cosechar distintas superficies de forraje para conservación. (Cuadro 1).

La obtención de información a partir de experimentos en terreno es de utilidad para incrementar el conocimiento a nivel de parcela, potrero y

área agroecológica, mientras que la necesidad por integrarlos en sistemas superiores, a escala real, ha llevado a la investigación de sistemas físicos. Sin embargo, las restricciones crecientes para el financiamiento de investigación en este tipo de sistemas hace pensar en una mayor intensidad en el desarrollo y aplicación de la modelación de los sistemas. A las posibilidades ya mencionadas, los estudios agregan la optimización, incluyendo la programación lineal, que consiste en la optimización matemática de distintas opciones productivas bajo condiciones de restricción de recursos; en el estudio y análisis de sistemas para la planificación predial.

En el caso de la Figura 2, por ejemplo, se expone el resultado económico en el margen bruto predial de un sistema de producción campesino de diez hectáreas, al incluir innovaciones tecnológicas como el maíz dulce y la zanahoria (en sustitución de otros rubros del predio más tradicionales), bajo un análisis de producción lineal.

Estas herramientas de análisis permitirían, como diferentes estudios lo demuestran, integrar mejor nuestros conocimientos técnicos y económicos, ayudando así a conocer de manera más apropiada el funcionamiento de los sistemas y la búsqueda de posibles soluciones. ▲

Figura 2. Estudio de propuestas tecnológicas a través de programación lineal en un sistema de pequeño productor en riego. Nueva Imperial, IX Región (Catrileo y otros, 1996)

