

# El uso de modelos con fines agronómicos: la necesaria desmitificación

NOTA ESPECIAL

Margarita Heinzen\*

El concepto de "modelo de simulación" se asocia corrientemente a complicados conocimientos de matemática y computación, por lo que su uso queda restringido a un grupo de "iniciados". El objetivo de este artículo es desmitificar el concepto de modelo, qué es, para qué sirve, cuáles son sus fortalezas y sus debilidades.

Se espera que esta información permita a numerosos colegas, potenciales usuarios, "perderle el miedo" a los modelos y utilizarlos en la resolución de numerosos problemas.

## ¿QUÉ ES UN MODELO?

Un modelo es una simplificación de la realidad. Es la representación simplificada de un sistema. Cualquier proceso o evento que pueda descomponerse en sus partes e interacciones puede considerarse un sistema. Así, es un modelo tanto un dibujo del sistema solar, como la maqueta de un arquitecto o el sistema de ecuaciones de las Leyes de Kepler. En términos agronómicos son modelos tanto la ilustración de los flujos de energía desde el sol hasta la planta, mediante la fotosíntesis, como las curvas de respuesta en rendimiento del cultivo al agregado de fertilizante. Cuando se propone un modelo para resolver determinado problema se parte del conocimiento que se tiene de ese problema y se transmite una visión particular del mismo. Esta visión puede o no corresponderse con la realidad y así tenemos, por ejemplo, el modelo -vigente durante años-, de la Tierra como centro del Universo que luego fue sustituido por otro modelo que incorpora una visión diferente del problema. Para usar o construir modelos, entonces, se debe tener conocimiento del problema a modelar (objetivo), hasta qué nivel pretendemos resolverlo (límites), cuáles son sus partes principales (componentes) y las interacciones más importantes a modelar.

**Un modelo es una representación simplificada de la realidad.**

## EL PROBLEMA A RESOLVER

Según Albert Einstein "la correcta formulación del problema es aún más esencial que su solución". O podríamos decir que cuando formulamos correctamente el problema estamos a mitad de camino de resolverlo. Una parte importante de la formulación del problema es la definición del sistema a estudiar. Todo sistema es, en sí, subsistema de otro mayor que a su vez está constituido por otros más chicos. Un animal, por ejemplo, constituye un sistema compuesto por órganos que se relacionan entre sí y que, a su vez, pueden considerarse sistemas cuyos componentes son los tejidos. Por otra parte, ese animal puede ser componente de sistemas más grandes como un rodeo, un predio o una región.

Somos nosotros quienes debemos definir en qué nivel de dicha jerarquía centramos nuestro interés y esa decisión estará guiada por el problema que nos interesa resolver. En general encontramos la explicación al problema en el nivel inferior y su significado en el nivel superior. Por ejemplo, si queremos resolver un problema de consumo animal deberíamos centrar nuestra atención al nivel inferior, es decir al nivel de órganos, posiblemente el rumen o el aparato bucal y encontraremos su impacto a nivel de la performance del rodeo.

**La simulación es una metodología para resolver problemas y no una teoría en sí.**

## LOS COMPONENTES DEL MODELO

Ningún modelo puede contemplar todas las partes y todas las interacciones del sistema porque dejaría de ser un modelo, pero sí debe contemplar los atributos más importantes de aquél. La elección de estos atributos del sistema es uno de los principales desafíos que enfrenta el modelador. En general debe estar orientado por un proceso de abstracción y simplificación del

sistema, teniendo siempre como norte, el problema a resolver. Un modelo diseñado para manejar la performance reproductiva de los animales puede contemplar los ovarios como componentes y considerar el consumo como una "entrada" del modelo, en tanto ignora la modelación del rumen. Otro modelo, también a nivel animal, pero cuyo objetivo sea predecir el consumo, no puede dejar de lado al rumen como componente, pero sí prescindir de los ovarios.

**Debemos simplificar la realidad pero sólo hasta el punto donde no se pierda exactitud.**

## Las interacciones

En general las interacciones entre los componentes son distintivas de los sistemas biológicos, y su conocimiento y cuantificación, son el objetivo de gran parte de la investigación analítica que se desarrolla en agronomía. En los modelos se expresan como ecuaciones, las cuales pueden ser más o menos explicativas de los procesos que las producen. Por ejemplo, es sabido que el consumo de los animales aumenta al aumentar la cantidad de pastura ofrecida; sin embargo, la generalización de un modelo de este tipo puede llevar a errores dado que al aumentar la disponibilidad, dependiendo del tipo de comunidad, varían también la altura, la densidad y/o la calidad de la pastura. Sería mucho más útil un modelo que relacione el consumo del animal con los atributos de la vegetación que explican los cambios en cantidad y que a su vez modifican el comportamiento de los animales en pastoreo. Un modelo de este tipo sería, a su vez, mucho más extrapolable a diferentes situaciones forrajeras.

## ¿PARA QUÉ SIRVEN LOS MODELOS?

Los modelos resultan una herramienta valiosa en cualquiera de las siguientes áreas:

1) como ayuda para entender

\* Ing. Agr., Dpto. Producción Animal y Pasturas, EEMAC.

- 2) como ayuda en la comunicación
- 3) como herramienta de entrenamiento e instrucción
- 4) como herramienta de predicción
- 5) como herramienta de experimentación

1) Los modelos pueden ayudarnos a organizar y clasificar conceptos confusos e inconsistencias. La construcción de modelos obliga a organizar, evaluar y examinar la validez de pensamientos. A su vez permite detectar áreas en las que la información disponible no es suficiente o sólida.

2) "Una imagen vale mil palabras", confirma esta función. Los modelos ayudan a eliminar la ambigüedad del lenguaje y proporciona un modo de comunicación más eficiente y efectivo. La ventaja de un modelo frente a las descripciones verbales es la representación concreta de una realidad. Esto ayuda a que la estructura general del sistema sea más comprensible y revela relaciones de causa-efecto muy importantes. El uso de diagramas de flujo o maquettes facilitan enormemente la comunicación.

3) Es importante que una persona se entrene y aprenda ciertas habilidades sin presiones. Una situación de crisis es un mal momento para aprender nuevas habilidades; por tanto, a menudo los modelos son ideales para entrenar personal a afrontar eventualidades antes de que ocurran. Son conocidos los modelos para enseñar a conducir automóviles y entrenar astronautas, pero también son útiles los modelos de computadora que permiten adiestrar a los estudiantes, por ejemplo, en la toma de decisiones de su futura práctica profesional.

4) Los modelos matemáticos y de simulación permiten predecir el funcionamiento de un sistema y es el área que históricamente despierta más interés. El uso de modelos predictivos tuvo auge durante el desarrollo de la Carrera Espacial y posteriormente se han difundido a otras áreas. En agronomía son importantes los modelos de simulación que permiten predecir la performance animal, el rendimiento de un cultivo o el resultado económico de un predio al cambiar los factores de producción o el precio de los insumos y productos.

5) El uso de modelos hace posible la experimentación controlada en situaciones en las que los experimentos directos serían

imprácticos o prohibitivos por su costo. En general, al experimentar en un modelo de un sistema complejo podemos aprender más acerca de sus interacciones internas y de sus elementos, de lo que podríamos aprender por medio de la manipulación del mismo sistema del mundo real, debido a nuestro control de la estructura del modelo, la facilidad de medición y variación de sus parámetros.

En resumen, los modelos resultan una herramienta valiosa en la generación de conocimiento y en la solución de problemas, porque permiten comprender y optimizar sistemas más o menos complejos, descubrir interrelaciones y generar hipótesis acerca de su funcionamiento. Por ejemplo, la Tabla Periódica de los elementos constituye un modelo conceptual de la estructura química de la materia y su creación permitió concebir la existencia de elementos desconocidos hasta entonces, que posteriormente fueron descubiertos.

Sin embargo, es necesario alertar contra la seducción de su uso indiscriminado, particularmente en su aspecto **predictivo**. Que un modelo ajuste bien a un conjunto de datos no permite afirmar que ajustará bien a cualquier tipo de datos. Aunque ayudan a comprender la realidad deben ser comparados frecuentemente con ella para comprobar que la representan adecuadamente.

**Si bien los modelos son una ayuda para el conocimiento debe alertarse contra la seducción de su uso indiscriminado.**

**EJEMPLO SIMPLE DE UN MODELO DE SIMULACIÓN:** *Evaluación de la frecuencia de pastoreo y carga sobre el crecimiento y senescencia de pasturas de un sistema pastoril compuesto por 4 potreros.*

A continuación se presenta la operativa de un modelo de simulación sencillo que se les propuso a estudiantes de Facultad de Agronomía de 5º año, con el objetivo de mostrar cómo se procede a su desarrollo.

**Objetivo**

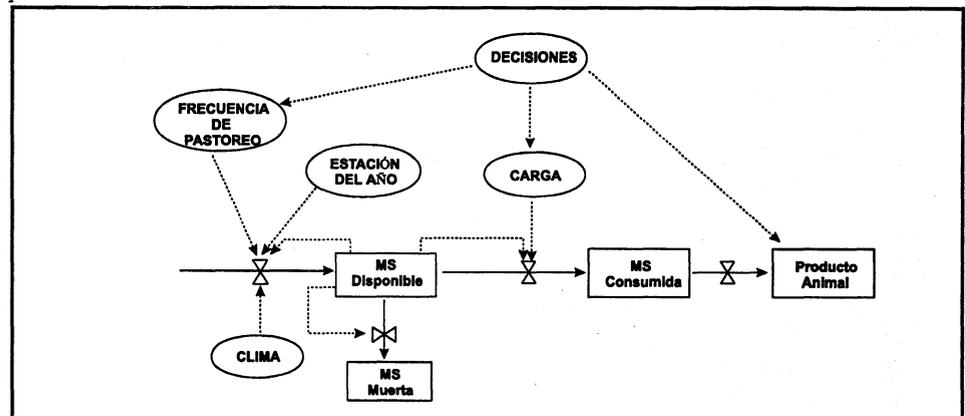
El objetivo específico fue simular el efecto de diferentes cargas y frecuencias fijas de ocupación de pasturas sobre los componentes crecimiento y senescencia de la pastura.

**Límites y supuestos**

Se asume un sistema pastoril de vacunos de 400 kg, compuesto por 4 potreros y manejado en forma rotativa. A los efectos de simplificar el problema se considera la evaluación solamente de los períodos de invierno y primavera para 4 tipos de pastura: avena+pradera 1º año y praderas de 2º, 3º y 4º año. La evaluación supone un manejo del pastoreo con entrada de los animales a frecuencias fijas, combinado con distintas cargas. Las interacciones existentes entre factores tales como manejo del pastoreo, política de fertilización y clima no se consideran en esta etapa del análisis.

**Modelo conceptual**

El sistema a modelar consta de 4 variables de estado (componentes): Materia Seca Disponible (MSD), Materia Seca Muerta (MSM), Materia Seca Consumida (MSC) y Animales (A). A su vez, estos componentes cambian de valor en función de dos tasas principales: la Tasa de Crecimiento (TC) de la Pastura y la Tasa de Senescencia (TS) del forraje. La Tasa de Desaparición de forraje (TD) producto de la acción de los animales (consumo, pisoteo, etc.) se asume como función del peso vivo de los animales. Las interrelaciones entre estos componentes y las tasas que los afectan se presentan en el diagrama de flujo siguiente.



**Figura 1:** Diagrama de flujo del sistema bajo estudio. Las flechas enteras indican flujo de materia y las punteadas flujo de información.

En base al conocimiento disponible, la tasa de crecimiento es afectada en su magnitud por otras variables tales como clima (efecto año, en este caso), estación y por la misma cantidad de materia seca disponible a través de un efecto de retroalimentación (feed-back), ya que el área fotosintéticamente activa remanente afecta la capacidad de rebrote. A su vez, el crecimiento disminuye en la medida que se produce acumulación de materia seca por efecto de la tasa de senescencia, la que también es afectada por el volumen de materia seca disponible. La materia seca disponible desaparece por efecto del animal y si bien se reconoce que la tasa de consumo requiere una resolución compleja, a los efectos del modelo se la considera constante y se le agrega una restricción que inviabiliza el consumo vacuno por debajo de 500 kg. MS/ha.

Formando parte del sistema bajo estudio se incluye una variable auxiliar, que es la toma de decisiones por parte del productor, que permite ir variando la frecuencia de pastoreo o la carga animal, que son los factores que queremos evaluar.

Obviamente, la solución de este problema podría haberse instrumentado a una escala inferior o con mayor grado de detalle. Sin embargo, para los objetivos docentes que fue planteado el modelo, el presente nivel de resolución parece adecuado como forma de concentrarse en las variables principales y lograr la simulación del componente pastura.

#### Desarrollo general: Ecuaciones e información utilizada

A partir del modelo conceptual y su representación diagramática resulta fácil plantear las ecuaciones que constituirán el modelo matemático. Algo más difícil es conseguir información confiable a partir de dónde construirlas. Se tomó información proveniente de experimentación reciente de INIA para las 4 pasturas y las 2 épocas del año consideradas (Cuadro 1).

Esta información se asume óptima para años promedio. Con base en ella, se utilizó una función sigmoidea extraída de la bibliografía (Cacho, 1993)<sup>1</sup>, de la forma:

$$Y = \frac{Y_{\text{máx}}}{1 + B \cdot t^k}$$

donde:

Y = Acumulación de MSD  
Y máx = Masa potencial de MSD  
B, k = parámetros de crecimiento  
t = unidad de tiempo

**Cuadro 1.** Producción de forraje por estación (kg MS/ha)

	INVIERNO	PRIMAVERA
AVENA+PRAD. 1º AÑO	2000	3300
PRADERA 2º AÑO	1800	3800
PRADERA 3º AÑO	1000	3000
PRADERA 4º AÑO	800	3000

que corrige la materia seca disponible óptima de años promedios en un valor de materia seca disponible "real" y si bien puede forzar los resultados, constituye la única aproximación con solidez biológica. A su vez se ponderan los valores experimentales de INIA por coeficientes que contemplan el tipo de año, definiendo Año Bueno (MSD \* 1.87) o Malo (MSD \* 0.33).

La Tasa de senescencia se calculó con base en la materia seca disponible a través de una función lineal empírica, la que también resulta de una simplificación del proceso.

$$TS \text{ (kg MS/día)} = 0.02 * MSD$$

Si MSD < 500, entonces TS = 0

La tasa de consumo opera cuando la materia seca disponible es mayor a 500 kg MS/ha y se calcula:

$$T.\text{cons.} = \text{Carga instantánea} * 400 \text{ kg} * 0.02$$

#### Discusión de los principales resultados

Como etapa final en la construcción del modelo se debe proceder a la validación de los resultados, lo que no se realizó en el ejemplo presentado, por exceder los objetivos del curso de referencia<sup>1</sup>. De todos modos, se realizaron varias corridas para testar el ajuste de las principales variables. El modelo permite estimar a escala diaria y para cada uno de los potreros del sistema las tasas de crecimiento y senescencia de la pastura y los "pools" de materia seca disponible y muerta acumulados. Esta información a su vez puede obtenerse para distintas combinaciones de frecuencia de pastoreo y carga y para años buenos, malos o promedio.

El modelo se corrió para 3 cargas (0 - 0.5 y 1 UG/ha) y 4 frecuencias de descanso de la pastura (20; 40; 60 y 80 días con 0,5 UG/ha). En años buenos, al aumentar la carga, la tasa de crecimiento de la pastura aumenta y disminuye la senescencia, encontrándose dos funciones lineales de ajuste:

$$MSD = 126,25 * \text{Carga} + 2410,4$$

$$MSM = -317,87 * \text{Carga} + 2415$$

Estas relaciones se explicarían porque el aumento de la carga no permite la acumulación de forraje, por lo que la tasa de crecimiento estaría operando en el rango óptimo.

Respecto a la frecuencia de pastoreo el modelo se mostró poco sensible a los cambios, siendo mucho mayor el efecto año tanto sobre la tasa de crecimiento como de senescencia. Según el modelo, el impacto sobre la pastura de un año bueno es muy superior a cualquier medida de manejo, tanto de carga como de frecuencia de pastoreo.

#### CONSIDERACIONES GENERALES

El modelo presentado es producto del trabajo realizado en el "Curso: Análisis de Sistemas y Modelación en Producción Animal", dictado en la EEMAC en el mes de setiembre para estudiantes de 5º año de Facultad de Agronomía, por los docentes P. Chilbroste, P. Soca y M. Heinzen. El objetivo del curso, al igual que el de este artículo, fue despertar el interés por un área que habitualmente se la identifica como compleja y que en el país tiene escasos antecedentes. Si bien la principal conclusión es que la información disponible, derivada de los modelos construidos por los estudiantes, para la cuantificación de los procesos es insuficiente, el trabajo de recorrer todas las etapas en el desarrollo de un modelo de simulación, resultó sumamente valioso como herramienta metodológica para el abordaje de problemas. Más allá del ajuste del modelo presentado, lo que se pretende es ejemplificar el trabajo posible mediante la simulación y la potencialidad de la herramienta, tanto en términos predictivos como en la identificación de áreas que la investigación debería abordar.■

#### BIBLIOGRAFÍA

1. CACHO, O.J. A practical equation for pasture growth under grazing. *Grass and Forage Sci.* 48:387-394.