

EL PAPEL DE MODELOS EN LA INVESTIGACION

Y DESARROLLO AGRICOLA

Robert D. Hart*

Los Modelos son simplificaciones de la realidad; un mapa, una foto, un diagrama de flujos, una ecuación relacionando los factores, son modelos. Los modelos son usados diariamente en todas las actividades y es simplemente una hipótesis o conjunto de hipótesis que sirve como herramienta en la investigación. En la ciencia, los modelos han jugado un papel muy importante; al plantear una hipótesis y evaluarla por medio de experimentos se está elaborando y validando un modelo; al presentar los resultados de un experimento en una forma gráfica (por ejemplo una curva de respuesta de un cultivo a fertilizantes) se está elaborando un modelo.

A veces se confunde la elaboración y uso de modelos con el hacer un análisis matemático con una computadora. No es necesario saber nada de computadoras para usar modelos. Muchos modelos ni siquiera están escritos; quedan en la mente de un técnico. Pero, obviamente, también hay casos en que es útil escribir o dibujar el modelo en un papel y también hay casos en donde hay suficiente información para ser aún más preciso y elaborar un modelo matemático. Si el modelo matemático es muy complejo, en algunos casos, es necesario usar un computador para analizarlo.

En los últimos años, en la investigación agrícola, especialmente en el trópico, se ha reconocido la necesidad de enfocar a unidades más grandes que el cultivo individual. Por ejemplo se ha dirigido atención a unidades como sistemas de cultivos, sistemas de producción de leche, y hasta sistemas de fincas.

Es imposible estudiar sistemas sin usar modelos. Como se menciona arriba, estos modelos pueden ser simplemente conceptos en las mentes de los investigadores. Pero si se espera trabajar por medio de equipos multidisciplinarios, va a ser necesario elaborar estos modelos conceptuales en una forma escrita o gráfica. Como primer resultado, esto va a ayudar a integrar el equipo.

Posteriormente los modelos servirán para identificar aspectos donde falta información y donde se debe hacer investigación. Por último,

* Especialista en Sistemas de Producción de Cultivos. CATIE, Turrialba, Costa Rica.

si merece el caso y existe la información, los modelos pueden servir como herramienta de análisis.

Lo que sigue es un resumen de los tipos de modelos que se pueden usar como herramienta en la investigación y desarrollo agrícola.

En este resumen se presenta una descripción de los pasos principales en la elaboración de un modelo; así mismo, se bosquejan algunos usos prácticos que se puedan dar a un modelo.

Tipos de Modelos

Diferentes autores han elaborado esquemas para clasificar modelos; por ejemplo, Innis (1975) divide modelos entre abstractos y físicos, y después subdivide estos tipos entre dinámicos y estáticos, lineal y no lineal, estable y no estable, etc. Al combinar estos tipos de características, se produce un esquema de clasificación; muchos de estos tipos de modelos no serán de utilidad en la investigación con sistemas agrícolas en el futuro próximo, y por lo tanto no serán discutidos en este documento.

Pero si vale la pena revisar algunos aspectos generales asociados con los diferentes tipos de modelos que se pudieran usar en la investigación y desarrollo agrícola.

Abstractos o Físicos

Los modelos físicos son fenómenos reales. Por ejemplo, mucha de la investigación aerodinámica y diseño de aviones se basa en los resultados obtenidos de avioncitos pequeños. Estos son modelos físicos de aviones grandes. En vez de conducir experimentos costosos con aviones grandes los investigadores usan los aviones modelos.

En la investigación agrícola es muy común usar modelos físicos. La parcela experimental es una simplificación (un modelo) de un campo real dentro de una finca. A pesar de que la parcela experimental en muchos sentidos es diferente a un campo real, se supone que es suficientemente similar a la realidad que los resultados obtenidos con el modelo (la parcela experimental) son extrapolables a fincas reales.

Otro ejemplo del uso de modelos físicos en la agricultura es la elaboración de módulos de producción animal. Dentro de un campo experimental se construye complejos físicos con superficies fijas y con un número específico de animales. Después de probar el módulo (un modelo físico) por un tiempo y conseguir resultados satisfactorios, se transmite una descripción del módulo a los productores.

Modelos abstractos son muy diferentes a modelos físicos. La idea de simplificar la realidad y experimentar con el modelo en vez de con fenómenos reales a veces es similar, pero los modelos abstractos son representaciones conceptuales. Pueden ser de tipos dibujos, gráficos, diagramas, ecuaciones y otros. Como modelos abstractos no tienen características físicas o bióticas, son mucho más manejables y flexibles que modelos físicos. Las siguientes características de modelos, en general, están relacionadas con modelos abstractos:

Cualitativo o cuantitativo

Modelos son conjunto de hipótesis. Un sistema es un arreglo de componentes que funciona como una unidad; un modelo de un sistema es, por lo tanto, un conjunto de hipótesis sobre la relación entre el arreglo de los componentes y el desempeño del sistema.

Los modelos que describen esta relación pueden ser hipótesis que plantean la existencia o no existencia de una relación entre los componentes (un modelo ^{cualitativo} ~~cuantitativo~~) o puede ir más allá de la simple existencia o no existencia de una relación, y cuantificar esta relación (un modelo cuantitativo). La diferencia entre estos dos tipos de modelos es más fácil explicar con unos ejemplos.

Si un sistema de cultivos (un arreglo espacial y cronológico de cultivos que funciona como una unidad) incluye dos cultivos (por ejemplo maíz y frijol); se puede elaborar un modelo (una hipótesis) relacionando la fecha de siembra relativa de los dos cultivos y la producción del sistema. Un ejemplo de un modelo cualitativo de esta relación sería: "La producción máxima del sistema maíz y frijol intercalado ocurre cuando los dos cultivos se siembran en la misma fecha; al cambiar este arreglo cronológico, sembrado cualquiera de los cultivos antes o después, reduce la producción del sistema". Esta descripción escrita como está arriba, o descrita con un gráfico o diagrama es un modelo cualitativo porque no cuantifica la relación. Un ejemplo de un modelo ^{cualitativo} ~~cuantitativo~~ de esta relación pudiera ser: "Para cada 10 días de diferencia entre la siembra de los dos cultivos, la producción del sistema es reducido por 5%".

Estático o dinámico

Los modelos pueden ser de tipo estático o de tipo dinámico. Modelos estáticos no toman en cuenta el factor tiempo. Modelos estadísticos, como modelos de regresión son ejemplos de este tipo de modelo. Si se elabora una ecuación de regresión relacionando nivel de fertilizante y rendimiento de un cultivo, el modelo producido es un modelo estático porque no toman en cuenta el desempeño del cultivo y uso de fertilizantes en el tiempo.

Un modelo dinámico describe el desempeño de un sistema. Un modelo dinámico de un fenómeno como un sistema de cultivo, describe el crecimiento de los cultivos en el tiempo, no solamente el rendimiento de los cultivos en un instante del tiempo. Matemáticamente, estos modelos son ecuaciones diferenciales.

Elaboración de Modelos

Muchos de los pasos a seguir en la elaboración de un modelo requieren decisiones subjetivas y hasta hay científicos que han expresado la opinión que el modelaje es más un arte que una ciencia. Pero si hay unos pasos obvios que se puedan resumir. Hay que enfatizar que modelos se elaboran por un proceso de evolución en donde el modelo es progresivamente modificado y mejorado. No es necesario terminar los ocho pasos resumidos abajo para producir un modelo con utilidad. El paso donde se pare dependerá del uso que se espera dar al modelo.

Lo siguiente es un resumen general de los pasos que se siguen para elaborar un modelo de un sistema agrícola.

Colección de información

Antes de empezar la elaboración de un modelo de un sistema agrícola es necesario reunir lo que es ya conocido sobre el tema. No es necesario buscar información muy específica antes de tomar decisiones sobre el tipo de modelo que se espera elaborar o el uso que se espera dar al modelo, pero si es útil tener una imagen global del fenómeno bajo estudio.

Definición del uso esperado

Este es un paso muy importante porque el tipo de modelo que se va a elaborar depende principalmente del uso que se espera dar al modelo.

Identificación de componentes, límites, entradas y salidas.

En muchas situaciones este es un paso difícil porque a veces no hay límites obvios que formen unidades claramente separables. Es importante recordar que los límites de un sistema no son puramente arbitrarios. Hay que estar seguro que se ha identificado un complejo de componentes que funciona como una unidad. Antes de seguir al próximo paso se debe tener escrito (o en mente) una lista de los componentes, entradas y salidas del sistema que se espera modelar.

Elaboración de un diagrama cualitativo

Tomando los componentes, entradas y salidas identificadas en el último paso y usando cualquier tipo de simbología (cuadro, círculos, etc.), se elabora un diagrama que claramente identifica los límites del sistema, los componentes que interactúan dentro del sistema, y los flujos que entran y salen del sistema. El próximo paso es conectar los flujos que entran al sistema y los flujos que salen del sistema con uno o más de los componentes dentro del sistema. Por último, hay que conectar los componentes dentro del sistema.

Todo componente tiene que estar conectado con otro componente. Si no hay conexión real (por ejemplo competencia para un nutriente o flujo de energía de uno al otro), el componente no conectado no es componente del sistema y se debe eliminar del diagrama.

Elaboración de un diagrama cuantitativo

El diagrama cualitativo dibujado en el último paso es una hipótesis o conjunto de hipótesis sobre la estructura del sistema que se espera modelar. El dibujo incluye los flujos que entran y salen del sistema y los flujos entre los componentes del sistema. El próximo paso es calcular (cuantificar) todos los flujos incluidos en el modelo cualitativo. Generalmente, lo que ocurre es que no existe información para poder cuantificar todos los flujos. Esto requiere la búsqueda de más información y a veces la realización de experimentos específicos para llenar los huecos en la información disponible. Si solo falta poca información, en muchos casos se puede hacer una "adivinanza" de los datos que faltan y seguir con el modelaje.

Descripción matemática

Una manera de describir el modelo en términos matemáticos es de elaborar una ecuación para cada componente del sistema. La variable que describe el componente, (por ejemplo biomasa de un cultivo, milímetros de agua en el suelo) es definido como una variable de estado (Van Dyne y Abramsky, 1975). La ecuación elaborada para cada componente describe el desempeño del componente como una función de los flujos que entran y salen del componente. Estos flujos pueden venir de fuera del sistema (variables determinantes) o de otros componentes. Los flujos que salen también pueden salir del sistema (salidas) o ir de otro componente.

Los flujos entre los componentes y los que entran y salen son procesos de transferencia (de materiales, energía, información, dinero, etc.). Cada transferencia tiene que ser definida como una función de una o más de las variables de estado. Como todos los componentes del sistema están conectados por lo menos con otro componente, las ecuaciones que describen las variables de estado siempre van a tener por lo

menos un término en común con otra ecuación. Como resultado final, es posible combinar las ecuaciones y formar una ecuación grande, pero generalmente se dejan las ecuaciones separadas para facilitar el cálculo de los parámetros (los coeficientes de las ecuaciones del modelo).

Simulación del modelo

Simulación es el proceso de poner a funcionar el modelo. Hacer una distinción entre modelos físicos y modelos abstractos es más difícil cuando se llega a este paso.

Al simular un modelo matemático (abstracto) en un computador, es necesario crear dentro del computador unos procesos electrónicos (un modelo físico) que son análogos a procesos reales. Simular es dar vida al modelo para ver si funciona o no. Si todas las plantas mueren o si el maíz produce 500 toneladas métricas/hectarea es obvio que el modelo no está simulando la realidad y algo está malo. Cuando se ha encontrado el error y el modelo funciona dentro de la realidad, la próxima pregunta es si el modelo es una fiel representación de un sistema específico.

Validación y modificación del modelo

Validación es comparar el desempeño de un modelo con el desempeño de un sistema real. Antes de simular el modelo matemático, se especifica un conjunto de variables determinantes (entradas) en un caso real.

Durante la simulación del modelo se sigue el desempeño de uno o más de los componentes o una salida específica y se compara estos datos del computador con observaciones del sistema real. Un punto muy importante es que la validación tiene que ser con datos no usados para elaborar el modelo.

Si el desempeño del modelo es suficientemente similar al desempeño del sistema real para el uso que se espera dar al modelo, el proceso de elaborar el modelo a terminado.

Si hay diferencias significativas entre el modelo y el sistema real, hay que modificar el modelo hasta llegar a un modelo válido.

Generalmente un elaborador de modelos nunca está completamente satisfecho con un modelo. Al usar el modelo, se aprende más, y se modifica otra vez el modelo. En un sentido nunca se termina el proceso.

El uso de modelos

La elaboración de modelos es una actividad muy interesante, y hasta divertida para mucha gente. Es por esto que es muy fácil caer en la trampa de elaborar modelos y después buscar un uso práctico para el modelo. Los cinco usos de modelos descritos abajo están en un orden relacionado con el nivel de complejidad del modelo necesario. Los usos también están relacionados con los pasos descritos para elaborar un modelo.

Por ejemplo, el primer uso requiere solamente un modelo cualitativo y la necesidad de seguir los pasos hasta el número cuatro, el quinto uso requiere un modelo matemático y la necesidad de seguir los pasos hasta número ocho.

Integración de un equipo multidisciplinario

Un problema que a veces ocurre en la investigación con sistemas agrícolas es que los miembros de un equipo multidisciplinario necesario para hacer este tipo de investigación, todos tienen una diferente conceptualización del fenómeno que están estudiando. Cuando un grupo, que trabajan juntos, elaboran un diagrama cualitativo del sistema bajo investigación, el modelo funciona para mostrar a cada miembro del equipo como su disciplina (componente del sistema) interactúa con las otras disciplinas del equipo. Aunque nunca se llega a cuantificar los flujos del modelo, el modelo ha jugado el papel muy importante de integrar el equipo.

Identificación de información que falta

Si se toma el modelo cualitativo y se empieza a poner números reales dentro del diagrama, inmediatamente se nota cual información no existe. Cuando se planifican experimentos con el sistema real, es lógico preguntarse si los resultados obtenidos ayudarían a llenar estos huecos o si solamente serían una repetición de información que ya se tiene. El modelo cuantitativo es un resumen de lo que se sabe y lo que se haga.

Clasificación de hipótesis específicas

Al elaborar las ecuaciones que describen las variables de estado de un modelo, es necesario plantear hipótesis específicas. Por ejemplo si se define el desempeño de un cultivo como una función de agua, N.P. radiación solar, insectos y enfermedades, se está planteando hipótesis específicas. El no incluir azufre en la ecuación es una hipótesis que este elemento no es un factor limitante. Si no hay evidencia para

aceptar o rechazar esta hipótesis, lo lógico es conducir un experimento para evaluar la hipótesis. Este uso de un modelo cuantitativo puede ser muy importante, aunque nunca se llega a un nivel matemático para simular el modelo con un computador.

Evaluación de principios generales

Cuando existe suficiente información para elaborar un modelo matemático que funciona más o menos bien, aunque no representa exactamente un sistema real específico, el modelo puede servir para evaluar principios generales. El objetivo principal al hacer simulaciones de este tipo es entendimientos de como funciona el sistema. Este tipo de modelaje es muy común en ecología (E.P. Odum, 1972; H.T. Odum, 1971). Se usa modelos generales de competencia, interacción entre poblaciones de tipo depredador - presa, etc. para evaluar relaciones entre características como diversidad y estabilidad. Smith (1974) ha hecho un resumen de este tipo de uso de modelo en ecología. Hay pocos ejemplos de este tipo de modelaje con sistema agrícola.

Predicción de resultados específicos

Este uso de modelos requiere un tipo de modelo sofisticado. Cuando este tipo de modelo existe, es posible conducir un experimento con un modelo en unos minutos que requeriría muchos años para realizar con el sistema real. El problema es, obviamente que la elaboración de un modelo de este tipo requiere mucha información. En general, procesos físicos son más fáciles para modelar que procesos bióticos (procesos sociales son aún más difíciles). Es lógico, por lo tanto, que el mayor éxito que se ha tenido en la investigación agrícola con este tipo de modelaje ha sido con sistemas de riego.

Si el uso principal que se espera dar a un modelo es predicción y no hay mucha necesidad de entender como funciona el sistema, se puede elaborar modelos matemáticos de tipo "caja negra". Bajo este enfoque, no se pone mucha atención a las interacciones que ocurren dentro del sistema. Con suficiente información sobre las entradas y salidas, se puede dejar al computador describir una relación matemática entre estas variables. El enfoque caja negra ha tenido algún éxito como herramienta en las disciplinas de producción animal.

Modelos, Investigación y Desarrollo

Los Modelos tienen una relación directa con investigación y también con el proceso de desarrollo agrícola.

La elaboración de modelos es solamente una actividad dentro de un programa de investigación y desarrollo. La Figura 1 describe gráficamente el papel que los modelos pueden jugar dentro de este contexto así como la relación entre modelaje y otras actividades como experimentación y estudios empíricos.

La investigación agrícola es más importante que la experimentación. El objetivo principal de la investigación de sistemas agrícolas es entender como funcionan para poder diseñar alternativas y mejorar los sistemas. En la figura 1 se ha dividido este proceso de investigación en tres ramas; estudios, experimentos y modelos. Los estudios empíricos, como observaciones estructuradas encuestas, registros, etc. generan información para alimentar las ramas de experimentación y modelaje. Después de conducir experimentos exploratorios (si es necesario), el equipo de investigadores elabora un modelo cualitativo para orientar el equipo y servir de base para plantear experimentos analíticos. Estos experimentos en conjunto con diagnósticos específicos sirven para entender mejor como funciona el sistema real. Este entendimiento es resumido en un modelo cuantitativo que es constantemente mejorado al conseguir más información. Este conjunto de información es usado para generar alternativas al sistema real que son evaluados por medio de experimentos.

La investigación puede terminar en este punto o bien puede seguir con más estudios y más experimentos. Si se llega al punto de entender el sistema real suficiente para elaborar un modelo matemático, hay la posibilidad de simular el sistema en una computadora y evaluar un gran número de alternativas sin la necesidad de conducir experimentos. La necesidad de seguir la investigación de un sistema al punto de elaborar un modelo de este tipo depende de los recursos disponibles y los objetivos del programa.

Los modelos son el punto de enlace entre investigación y desarrollo. Muchos técnicos no reconocen esto, pero un folleto de extensión es un modelo. El documento es una simplificación de un fenómeno real y un descripción de una alternativa, sea de manejo, cambio en el sistema mismo (variedades mejoradas, diferente distancia de siembra, etc) o ambas. El autor de un folleto de extensión tiene que usar un modelo del sistema (casi siempre un modelo mental) para escribir recomendaciones. Un modelo cuantitativo sirve no solamente como herramienta en la investigación sino también como vehículo de comunicación entre investigación y los agentes de desarrollo.

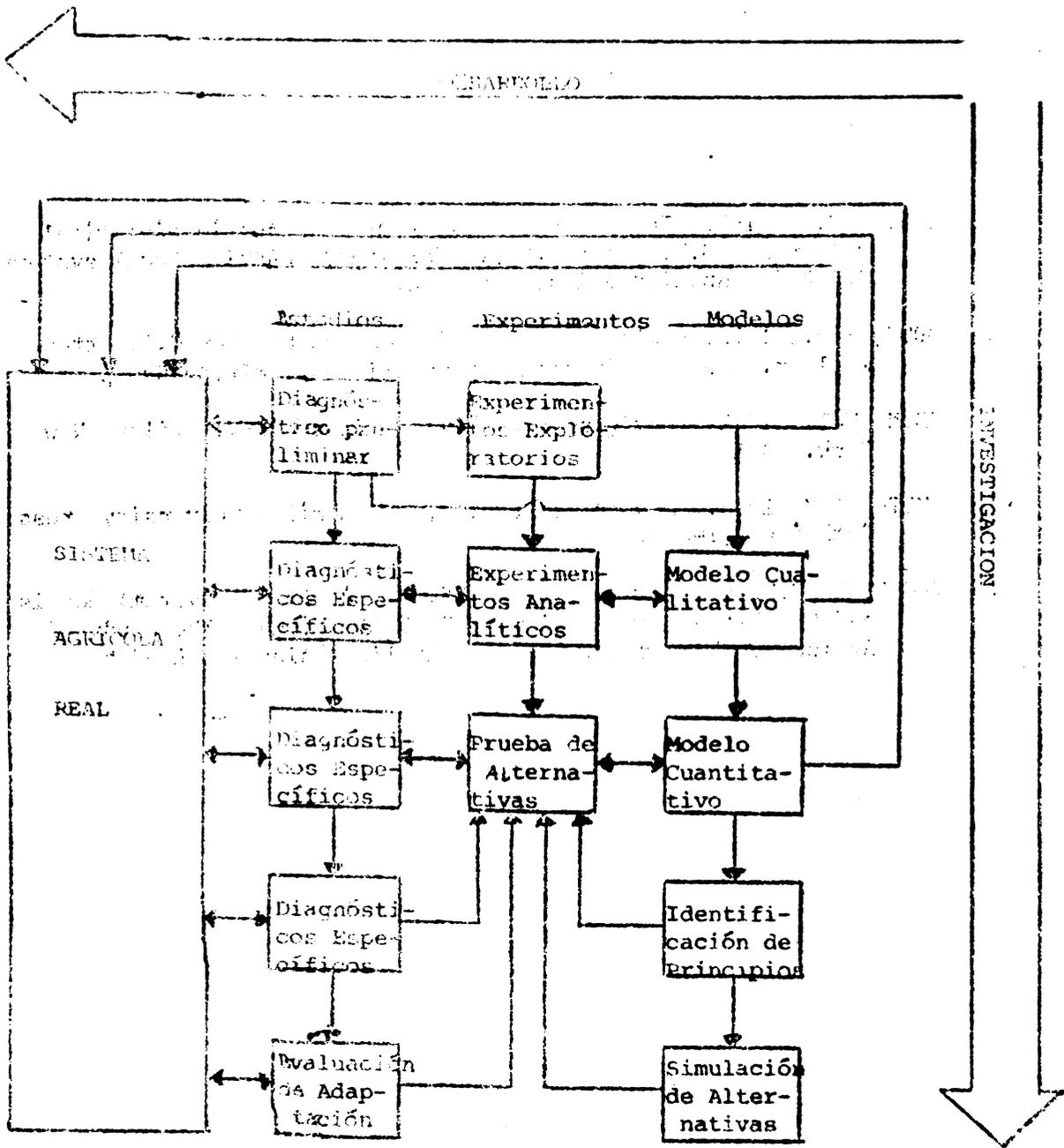


Figura 1. La función de modelos dentro de un programa de investigación y desarrollo.

LITERATURA CITADA

1. INNIS, G.S., 1975 The use of the systems approach in biological research. G.E. Dalton (ed). The study J. Agricultural systems. 369-392. Applied Science, London.
2. ODUM, E.P., 1972. Ecología, Traducido al español por C.G. Ottenwaelder. Nueva Editorial Interamericana. México 639 p.
3. ODUM, H.T., 1971. Environmente, Power, aid society. Wiley, New York. 331 p.
4. SMITH, J.M. 1974. Models in Ecology. Cambridge University Press. Cambridge. 146 p.
5. VAN DYNE, G.M. y Z. Ambramsky, 1975. Agricultural Systems Models and Modellign: an surviev. G.E. Dalton (ed). The study of Agricultural Systems. 23-100. Applied Science. London.

64032