

USOS Y APLICACIONES DE LA SIMULACIÓN EN LA INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA

Por: Luis Felipe Rodríguez¹, Lilia Teresa Bermúdez C.²

INTRODUCCIÓN

La simulación es una herramienta de gran trascendencia e importancia para el análisis, diseño y operación de sistemas y procesos complejos. A través del presente escrito, se pretende hacer un breve resumen de los aspectos más relevantes de ella, a la vez que se destaca su papel en el contexto de la investigación científica en el campo de las ciencias agropecuarias, puntualizando sobre factores de suma cognación, tales como concepción, las etapas de su realización técnicas, los factores para considerar en el desarrollo de un modelo de simulación y, básicamente, lo competente a su articulación y ejemplos relevantes de aplicación en el marco de la investigación agropecuaria.

Es de recalcar que no hay principios ni teoremas de simulación, pero sí existen aspectos de ésta que pueden estudiarse con gran beneficio para la investigación científica, puesto que esta técnica presenta un desarrollo paralelo en sus etapas de realización con las del proceso de búsqueda y ampliación del conocimiento científico.

RESEÑA HISTÓRICA

Con la aparición de la computadora digital a principios de los años cincuenta, se dinamizó el desarrollo de gran cantidad de herramientas analíticas que han tenido un profundo impacto en el campo científico, cuyos usos y aplicación se han extendido a diversas disciplinas como economía, finanzas, sistemas, ciencias naturales, etc.

La palabra simulación fue utilizada por primera vez por Van Newman en el contexto de la historia moderna de 1940, cuando participaba en el proyecto Montecarlo durante la II la Guerra Mundial. Tal técnica fue implementada en la resolución de proble-

mas de reacciones nucleares. A partir de dicho logro, se amplió el espectro de aplicación es así como recientemente, en varios países en Desarrollo, se ha pretendido, con el uso de esta técnica, el establecimiento y Evaluación de políticas gubernamentales para el logro de un mayor desarrollo agropecuario, como es el caso de países, como Nigeria, Korea y Venezuela.

DEFINICIONES BÁSICAS

Para un mayor entendimiento del concepto Simulación, es preciso definir algunos términos que guardan con él una estrecha afinidad, tal es el caso de sistema y modelo.

Sistema

Según Betch, se entiende bajo la denominación de sistema, un arreglo de componentes físicos o un conjunto o colección cosas conectadas o relacionadas, de tal manera que forman y actúan como una unidad, como un todo.

El concepto de sistema tuvo su primera aplicación durante La II Guerra Mundial, cuando los E.E. U.U., Gran Bretaña debieron utilizar sus recursos en la forma más eficiente posible en el campo militar.

En la investigación de sistemas, es común encontrar tropiezos en el sistema real. En tal situación, se hace necesario la implementación de un modelo para el sistema real. Es de advertir de que, a pesar de que los modelos son fáciles de manejar, por el hecho de representar las características más notables e importantes de la realidad, no deja de ser nada más que un instrumento complementario de la Investigación del sistema real.

Modelo

Un modelo puede definirse como una representación de un sistema o de las relaciones entre los elementos de un sistema. Se puede afirmar, de manera más exacta, que un modelo es una descripción de la realidad intentando una explicación del funcionamiento de algunos aspectos de ella.

1 Profesor Asociado Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Colombia. Sede Santafé de Bogotá.

2 Profesora Auxiliar Facultad Seccional Duitama. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

El modelo es el resultado dentro de la práctica investigativa de un proceso, al cual se le denomina la modelación del sistema. Por lo tanto, esta faceta, dentro del contexto de la investigación de sistemas, se constituye en el proceso mediante el cual hacemos manejable la realidad, para así, llegar a poder estudiar más claramente las relaciones existentes a su interior.

Los modelos se valoran sobre tres propiedades fundamentales, a saber:

Realismo

Este se refiere al grado de cómo los enunciados o características del modelo corresponden a los conceptos que se suponen representar.

Precisión

Es la capacidad del modelo de producir cambios numéricos y de imitar los datos y características en que se basa.

Generalidad

Se refiere a la amplitud de aplicabilidad del modelo, esto es al número de situaciones distintas en las cuales se podrá aplicar.

Nadie puede desconocer la importancia del uso de los modelos en las ciencias, lo cual se evidencia en aspectos, tales como:

- * El uso de modelos permite realizar estudios del comportamiento de un sistema bajo diversas condiciones de operación, sin necesidad de construir el sistema y someterlo a las condiciones de operación real.
- * Los modelos se utilizan para determinar el comportamiento futuro de un sistema real ya existente.
- * Los modelos permiten llevar a cabo experimentos bajo condiciones más favorables de las que serían aceptables el sistema original.

También, se utilizan modelos en el proceso de diseño. En estos casos, la construcción de prototipos para las diversas alternativas de diseño resulta muy costosa y es necesario evaluar esas alternativas de diseño utilizando modelos.

Así como no es desconocida la importancia de los modelos en el trabajo Investigativo, tampoco se debe eliminar las limitaciones que el investigador encuentra para su uso y aplicación. Al interior de ese contexto, es de relevancia que, por mucho que un

modelo se "parezca" a su original, difiere con éste en el hecho de que no contiene todas las propiedades de lo representando.

Estarán presentes aquellos aspectos considerados imprescindibles al propósito para el cual el modelo ha sido construido.

Como los modelos son introducidos para la imaginación humana para un entendimiento descriptivo de los fenómenos naturales, éstos deben ser de naturaleza transitoria siendo superados en el tiempo por modelos mejores. Es conocida la dinámica del conocimiento y la aparición de nuevas teorías, las cuales hacen que sea necesario sustituir el modelo por un completamente nuevo o, en su defecto, reformarlo, de manera que se adecue a los nuevos conocimientos.

Los modelos tienen diferentes formas de tipificarse, ya de acuerdo con su presentación, con el uso que se le da al modelo, por el carácter mismo del modelo, etc. La tipología de los modelos más frecuente se da por su presentación, así es, como se consideran cuatro tipos:

Modelos icónicos

Modelos que representan a imagen, el sistema real, pero con un cambio de escala. Ejemplo, la maqueta de un edificio.

Modelos Analógicos

Modelos que utilizan un conjunto de propiedades de un sistema para representar otro sistema o representar un conjunto de propiedades que el sistema posee, mediante otro conjunto diferente. Ejemplo: El sistema de transporte, el cual puede representarse por medio de una red.

Modelos Simbólicos

Modelos que utilizan una nomenclatura simbólica (Letras, números y otros tipos de símbolos) para representar las variables y sus relaciones. Ejemplo: Diagramas de flujo, los modelos matemáticos y los modelos estadísticos.

Modelos de Simulación

Modelos en los cuales no se producen características físicas, sino que se encuentran soluciones numéricas a los modelos, cuando es imposible analizarlos paso a paso. Sobre las características y aplicaciones de este tipo particular de modelo se centra el presente escrito.

SIMULACIÓN

Generalidades

A causa de cierta confusión debida a la falta de una terminología generalmente aceptada, existen varias definiciones de simulación.

Para TOM H. NAYLON, bajo el término simulación se entiende la técnica que se utiliza para conducir experimentos en una computadora. Tales experimentos comprenden ciertos tipos de relaciones matemáticas y lógicas que son necesarias para describir el comportamiento y la estructura de sistemas complejos del mundo real a través de largos períodos de tiempo.

Según WRIGHT, "simular" significar duplicar la esencia de un sistema o una actividad sin llegar a la realidad misma y define la simulación como una técnica "que implica la preparación de un modelo de una situación real (sistema), para después realizar experimentos sobre el modelo.

Para MAISEL, simulación es una técnica numérica para realizar experimentos en una computadora, involucrando, para tal caso, el empleo de modelos matemáticos y lógicos que describen el comportamiento de sistemas reales que pueden ser económicos, biológicos, sociales, físicos o químicos durante largos períodos de tiempo. Según MANETSCH, la simulación puede ser considerada como un proceso iterativo de solución de un problema, en el cual las etapas o eslabones de éste son transcurridos repetidamente para lograr posibilitar la afirmación o mensajes orientadores del problema. En síntesis, podemos afirmar que la simulación puede ser designada como experimentos con modelos de sistemas. Para TAYLOR, la simulación puede ser definida como una técnica numérica para la realización de experimentos con determinados tipos de modelos matemáticos, los cuales describen el comportamiento de un sistema complejo en un amplio espacio de tiempo, mediante el empleo del computador.

Realización técnica de la simulación

La realización técnica de experimentos de cálculo con modelos de simulación exige normalmente una gran cantidad de cálculos y, por ello, supone de la disponibilidad de una ayuda electrónica para el procesamiento de datos. La ejecutoria de un experimento de simulación se fundamenta en la operacionalización de las siguientes etapas:

1. Formulación del problema de investigación.
2. Formulación del modelo de simulación, el cual, por lo general, es un modelo matemático.
3. Elaboración del programa computacional para el modelo de simulación. Aquí, se trata de escribir y desarrollar el programa de computación.
4. Juicio de validez, tanto del modelo, como del programa.
5. Desarrollo de experimento de simulación.

En esta fase, es donde tiene lugar el proceso de implementación y desarrollo del programa de computación constituido por las instrucciones que recibe la computadora sobre la secuencia de pasos que deberá seguir durante la ejecución del experimento. En síntesis, la experimentación con el modelo consiste en una serie de ejercicios de computación que permite, primero, eliminar errores en la construcción del modelo y, luego, validarlo.

Para la simulación, la validación consiste en comparar los resultados obtenidos de la operación con el modelo en la computadora contra datos reales, generalmente originados de la experimentación analítica tradicional realizada previamente. En efecto, se puede puntualizar que la principal limitación en el uso de los modelos de simulación radica, básicamente, en la validación de estos, en consideración a que, en muchas ocasiones, no se dispone de la información experimental pertinente.

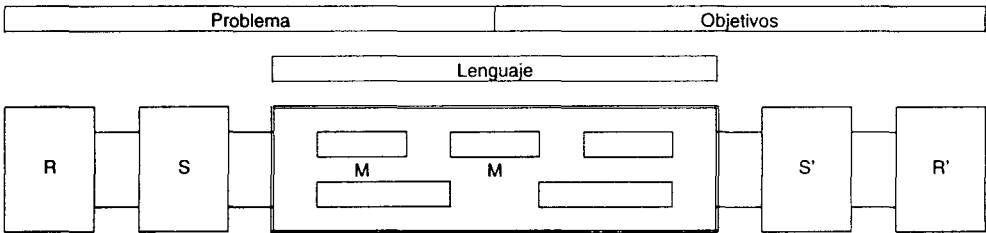
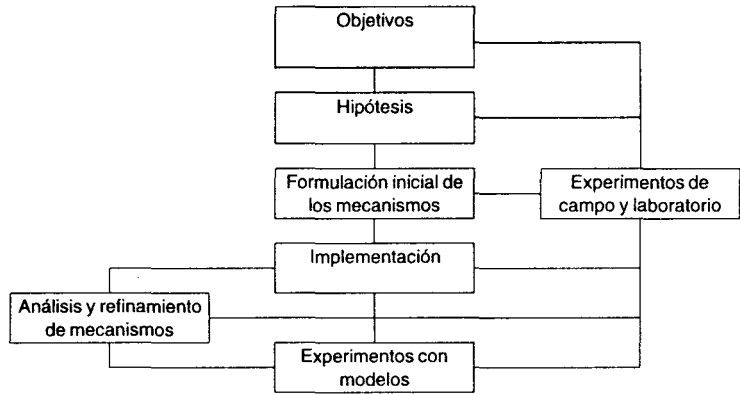
6. Análisis e interpretación de los resultados del experimento.

Según INNIS, G.S., 1975, los pasos en la construcción de un modelo de simulación se pueden sintetizar en el esquema que presenta la figura 1.

Es de resaltar, que dentro del contexto de la ejecución técnica de la simulación, la interpretación del modelo de simulación resultante, es de suma importancia para la toma de una decisión, puesto que es de entender que la computadora no está en capacidad de tomar una decisión, sino que la información que proporciona sí es una ayuda fundamental para la escogencia de la decisión acertada que, de por sí, guía a la obtención de los mejores resultados. Una visualización que, fácilmente, hace accequible la interpretación de un modelo de simulación respecto a la configuración de una metodología de sistemas es observable en la figura 2.

Figura 1: Pasos en la construcción de un Modelo de Simulación.

Fente: INIS, 197



Realidad	Delimitación del Sistema	Modelo de Simulación	Concretización del Sistema	Realidad
	- Limitación - Reconocimiento - Identificación	Formulación del modelo - Implementación - Prueba - Validez del Modelo - Expresión del Modelo	- Interpretación - Estructuración - Integración	
	ANÁLISIS Para la configuración del Procedimiento inverso	CONFIGURACIÓN Para el análisis del Procedimiento inverso		

Figura 2. Integración de un modelo de simulación en el contexto de la metodología de sistemas.

Interrelacion entre simulación e investigación agropecuaria

Fundamentos Básicos

La simulación no es otra cosa que la aplicación de las etapas de los diferentes tipos de la investigación en sistemas computables, donde se observan características, tales como:

1. Este tipo de investigación depende más de los datos observador por otros que de los recogidos por el investigador mismo.
2. Estos datos provienen de dos clases de fuentes: primarias, derivadas de la observación y registro directo de acontecimientos por su autor, secundarias, cuyo autor informa sobre las observaciones realizadas primariamente por otros.

3. Las fuentes deben de someterse a dos tipos de críticas. Crítica externa, la cual determina la autenticidad del documento o del programa y la crítica interna, que examina los posibles motivos, prejuicios y limitaciones que ha llevado al autor del documento que, posiblemente, haya exagerado, distorsionando u omitido información.

La simulación y la investigación científica se correlacionan, de igual manera, en las etapas seguidas normalmente en la realización del proceso investigativo, como, por ejemplo, es del caso de la investigación sobre hechos cumplidos y comúnmente denominada "Ex post facto", en la cual se procede siguiendo la secuencia de las etapas que a continuación se exponen:

- * Definición del problema.
- * Revisión de literatura.
- * Formulación de las hipótesis.
- * Descripción de los supuesto en los cuales se basan las hipótesis.
- * Determinación de los procedimientos para:
- * Seleccionar los sujetos o unidades de observación.
- * Determinar cuáles técnicas se van a utilizar en la recolección de los datos.
- * Probar si estas técnicas son confiables o no.

En la anterior secuencia de etapas, se observa un paralelo al procedimiento seguido para la construcción de un modelo de simulación, pudiéndose afirmar que la simulación es una herramienta analítica que ha tenido y tiene un profundo impacto en el campo científico. De su correcta aplicación, dependen los logros y la verdadera implicación que pueda llegar a tener esta técnica en el campo de la investigación.

En lo que respecta a la importancia y aplicación de la simulación en la investigación agropecuaria, ésta se deja notar en lo que respecta al mejoramiento de los sistemas de producción, los cuales requieren de un alto grado de reconocimiento por parte de investigadores y extensionistas, para la reorientación de acciones de generación y transferencia de tecnología que verdaderamente respondan a la solución de problemas prioritarios sentidos por el productor y su familia. Es así como el diseño de un modelo de finca, mediante el uso de la simulación, facilita al investigador y al extensionista el entender la realidad que pretenden cambiar. El producto del modelo de simulación se constituye en el resultado

predicho de los sistemas de producción que operan en la vida real.

No sobre por de más afirmar que la simulación en el contexto de la investigación agropecuaria se constituye en una herramienta fundamental para la formulación, desarrollo e implementación de estudios de políticas y programas alternativos, orientados hacia la promoción y fomento de la agroindustria. También, a través del uso de la técnica de la simulación, es como se facilita la obtención por adelantado de los resultados de los proyectos agropecuarios, lo cual, en última instancia, hace disminuir los riesgos en el proceso de toma de decisiones, para la realización de la etapa de inversión dentro del ciclo de éstos.

Aplicaciones de la Simulación en la Investigación Agropecuaria

En lo que corresponde al subsector agrícola, la simulación ha tenido aplicaciones de suma importancia, dentro de las cuales sobresalen las siguientes:

- * Formulación de modelos de simulación para la evaluación de rendimientos en producción de un elevado número de variedades de cultivos comerciales para la implementación de experimentos de campo, con las de mejores resultados según el modelo.
- * Estructuración de modelos de simulación para el manejo de poblaciones de plagas. Es el caso concreto de la construcción de un modelo de simulación del comportamiento de poblaciones de la mosca mexicana de la fruta sometidas a esterilización mediante radiaciones.

Con relación a la aplicación de la simulación en el subsector pecuario, se hace relevancia al campo de la producción animal vacuna, específicamente en el manejo de ganado de carne, ganado de leche y producción de forrajes. Dentro de tal contexto, sobresalen los siguientes ejemplos.

- * Simulación en ganado carne:
1. Cartwright (1979) estructura un modelo basado biológicamente sobre procesos de entrada y salida y controles de retroalimentación negativa, para el cual emplea el sistema de simulación A&M TEXAS. Este modelo fue utilizado para simular la producción de un hato utilizando solamente pasturas. La función objetivo fue la productividad, expresada en kilogramos de peso vivo producidos para la venta por año, di-

vidido por los kilogramos de materia seca consumida en el sistema de producción por año.

2. Brennan y Hoffman, (1989) desarrollaron un modelo de simulación para la identificación de sistemas óptimos de alimentación. La técnica matemática utilizada fue la de programación lineal. El objetivo de este trabajo fue el de contribuir al mejoramiento de las estrategias de manejo y, en especial, al incremento de la eficiencia de la producción en ganado de carne.
- * Simulación en ganado de leche

Jahn (1988) estructuró un modelo de simulación para diferentes opciones en la producción de leche en vacas holandesas. En este estudio, se efectuó el análisis biológico y económico de 88 opciones diferentes de producción para vacas que pastoreaban *Lolium perenne* y *Trifolium repens*. Dentro de las variables estudiadas, se consideraron época de parto, peso vivo en kilogramos, edad de la vaca en meses, potencial de producción en litros por vaca y por lactancia, forrajes suplementarios expresados en kilogramos de materia seca por vaca, porcentaje de digestibilidad de forraje y precio de la leche.

- * Simulación en el consumo de forrajes

Fernández - Rivera (1989) formularon un modelo de simulación en el cual se integraron los efectos del clima, la carga animal, la técnica de manejo y la producción, calidad y consumo de residuos de cosecha de maíz en el crecimiento y evolución de terneros. El programa de computación de este modelo fue escrito en Lotus, usando macromandos y es de resaltar que las predicciones obtenidas con los resultados del modelo fueron razonablemente adecuadas.

Ventajas y Desventajas del uso de la Simulación de la Investigación Agropecuaria

Según Naylor (1971), los estudios de simulación son muy recomendables en razón a que presentan fuertes ventajas que ofrecen un alto grado de confianza en los resultados.

Dentro de éstas, son de resaltar las siguientes:

1. Los estudios de simulación permiten analizar los efectos provocados por cambios internos y externos del sistema, al hacerle modificaciones en su comportamiento.
2. La técnica de simulación puede ser usada para adelantar experimentos en nuevas situaciones, de las cuales se tiene poco o ningún co-

nocimiento. Es de resaltar que, durante la experimentación articulada a la simulación, se puede llegar a anticipar sobre posibles mejores resultados no previstos.

3. La utilización de simulación en la investigación de sistemas complejos puede constituirse en una herramienta de suma importancia, puesto que permite una mayor operación del sistema, a la vez que facilita detectar las variables más importantes que interactúan en el sistema y, así mismo, poder entender mejor las interrelaciones entre ellas.

Indudablemente, el uso y aplicación de la simulación en la investigación científica en general y en Agropecuaria en particular, no, sólo, está revestida de ventajas, sino que esta técnica presenta algunas desventajas o limitaciones al mejor entender de los expertos. Normalmente, la simulación requiere de la utilización de equipo de computación y recursos humanos, los cuales implican un alto costo. Igualmente, para lograrse el desarrollo y perfeccionamiento pleno de un modelo de simulación, se requiere de un tiempo considerable, por las diversas actividades que hay necesidad de superar para lograr un modelo con un alto grado de refinamiento y que ofrezca confiabilidad y seguridad en sus resultados.

El diseño de experimentos y la simulación

En la actualidad el diseño de experimentos es considerado un tópico cuya relevancia en experimentos de simulación ha sido reconocida con gran énfasis, pero raramente explicado. El diseño experimental en estudios de simulación puede ser de varios tipos, dependiendo de los propósitos específicos que se hayan planteado. Entre los más comunes e importantes, se pueden mencionar los siguientes:

1. Comparación de las medias y varianzas de las alternativas analizadas.
2. Determinación de la importancia y el efecto de diferentes variables en los resultados de la simulación.
3. Búsqueda de los valores óptimos de un conjunto de variables.

La simulación y experimentación son dos formas de planeación y trabajo, siendo la primera teórica y la segunda, práctica. Mientras la simulación, generalmente, se realiza utilizando un sistema de computación para calcular cada una de las variables a evaluar, con base en predicciones y enfocada ha-

Cuadro 1. Comparación entre procedimientos analíticos, simulativos y experimento de campo.

Componentes Gastos/beneficios	Procedimientos Analíticos	Procedimientos Simulativos	Experimentos de Campo
Costos de Elaboración	Alto	Bajo	Alto
Costos de Ejecución (Gastos de Cálculo)	Bajo	Alto	Alto
Gasto de Tiempo	Alto	BAJO, BUENO Influidible	ALTO, BUENO Influidible
Perspectivas de Éxito	BAJA Mal Estimable	ALTO Buen Estimable	MEDIO
Características de la Solución	Elegante, Exacto Complicado (En General)	Cercano a la Practica Útil, Transparente, más especial	Cercano a la Práctica Fácilmente Transparente (Especial)
Método de Trabajo	Abstracto	Concreto	Concreto

cia el futuro, la experimentación se compone de actividades desarrolladas de manera real, tanto a nivel de laboratorio, como en el campo, especialmente en las parcelas de los agricultores y llevadas a cabo en tiempo presente. De lo anterior, se consolida la Tesis de que la simulación y la experimentación se articulan para constituirse en aspectos complementarios en el desarrollo de procesos de investigación.

Una forma más explícita de la articulación entre simulación y experimentación se puede expresar mediante los aspectos que se exponen en el cuadro uno.

CONCLUSIONES

La simulación es una herramienta de carácter analítico que ha tenido un profundo impacto en el campo científico.

Para el desarrollo y perfeccionamiento de los modelos de simulación, comúnmente, se requiere de un tiempo considerable.

Los modelos de simulación pueden ser manipulados en diferentes formas, las cuales serían imposibles, poco factibles y demasiado costosa si se realizara a través de otras metodologías.

En el sector agropecuario, la simulación no ha tenido una amplia divulgación, y es, de por sí, bastante desconocida para una gran parte de éste.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **CARTWRIGHT, T.** The use of systems analysis in animal science with emphasis on animal breeding. *Journal of Animal Science* 49: 817 - 825.
2. **COSS, R.,** Simulación México. Limusa, 1986.
3. **GALLEGER A. Y H. WATSON.** Métodos cuantitativos para la toma de decisiones en administración. México. Mc. Graw Hill, 1982.
4. **GROUSSKOPF, W.** Simulation - Anwendungsmöglichkeiten in der Agrarökonomie. Frankfurt. DLG - Verlag, 1985.
5. **KUHLMANN, F.** Zur Verwendung des Systemtheoretischen Simulationsansatzes für die betriebswirtschaftliche Forschung. Frankfurt. DLG - Verlag, 1983.
6. **MUÑOZ, J y J. CEBALLOS.** Modelos y aplicaciones. Palmira. Universidad Nacional de Colombia, 1989.