

PROPUESTA DE UN SISTEMA SIMULADOR DE ASERRADEROS PARA LA INDUSTRIA FORESTAL VENEZOLANA

María A. Quintero M. y Franz Rosso

Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Laboratorio Nacional de Productos Forestales, SIDEVIM Sección de Investigación y Desarrollo de la Vivienda y el Mueble, Mérida-Venezuela.
Email:mariaq@forest.ula.ve / franzrosso@cantv.net

RESUMEN

La simulación es una poderosa herramienta de planificación, diseño, análisis y control de sistemas. A través de modelos de simulación es posible obtener una mejor comprensión del comportamiento de un sistema y las interacciones entre sus componentes. En la industria del aserrío se han utilizado modelos de simulación para estudiar el funcionamiento de un aserradero considerando maquinarias, diferentes diagramas de corte, características de las trozas y productos finales, transporte de materiales y procesos gerenciales. La simulación también puede ser utilizada para diseñar un aserradero o planificar cambios. En este artículo se describen las ventajas de la simulación y sus aplicaciones en el análisis de sistemas de manufactura y sistemas de aserrío. Además, se presenta un propuesta de un nuevo sistema simulador de aserraderos que integra (a) simulación de diagramas de corte, (b) simulación de aserraderos usando animación, (c) diseño interactivo de aserraderos y (d) herramientas gerenciales.

Palabras clave: simulación, simulador de aserrado, modelos, programa de computación.

ABSTRACT

Simulation is a powerful tool for the planning, design, analysis and control of systems. Through simulation models, it is possible obtain a better understanding of the behaviour of a system and interaction of its components. In the sawmill industry, simulation models have been used for study the functioning of sawmills taking in account machinery, features of logs and end products, different cutting patterns, material transport and management process. Simulation can be used in order to design sawmills or plan changes of existing sawmills. This paper describes advantages of simulation and applications in analysis of manufacturing systems and sawing systems. Furthermore, a new sawmill simulator system is proposed, it includes (a) sawing patterns simulator, (b) sawmill simulator with animation, (c) interactive sawmill designer and (d) management tools.

Key words: simulation, sawing simulator, models, computer software.

INTRODUCCIÓN

La simulación es una técnica experimental que utiliza un modelo representativo de un sistema real para imitar su comportamiento en un período de tiempo. A través de simulación se pueden analizar las características y el desempeño de un sistema, investigar posibles mejoras en el mismo y descubrir los efectos de diferentes políticas.

Los continuos avances tecnológicos en hardware y software han permitido un amplio desarrollo de la simulación, siendo actualmente una técnica utilizada en todas las ramas de la ciencia e ingeniería. Los tipos de sistemas que pueden ser modelados usando simulación son variados e incluyen diferentes aplicaciones, tales como diseño y análisis de sistemas de manufactura, control de inventario, diseño y operación de sistemas de transporte, análisis de

sistemas ambientales, análisis de sistemas financieros y económicos, estudio y planificación de sistemas boscosos.

Los miembros de la industria de productos forestales han comprendido los beneficios potenciales de los modelos de simulación y muchos de ellos están usando simulación para mejorar sus procesos. Específicamente, en la industria del aserrío, la simulación ha sido utilizada como técnica para maximizar la productividad y el rendimiento en valor de trozas, para evaluar políticas de producción de madera, en la comparación de diferentes alternativas de diseño de los aserraderos y para evaluar el desempeño de sus fábricas.

En el análisis de sistemas de aserrío, la simulación es una técnica que tiene aplicaciones muy

interesantes, ya que puede considerar conjuntamente muchas de las variables que intervienen en este tipo de industria, tales como características de las trozas, disposición de máquinas y estaciones de trabajo, transporte de materiales, variables económicas y características de los productos finales.

Este artículo persigue dos propósitos generales, el primero de ellos es presentar una visión general acerca de los usos y ventajas de la simulación, su aplicación en sistemas de manufactura y usos potenciales en la industria del aserrío. El segundo, es establecer los lineamientos básicos del diseño de un sistema simulador de aserraderos. El diseño propuesto podrá ser desarrollado para crear un nuevo software de simulación de aserraderos y de los procesos de aserrado.

UTILIDAD Y VENTAJAS DE LA SIMULACIÓN

Las técnicas de simulación intentan representar las operaciones de los sistemas reales para su análisis y estudio. En un proyecto de simulación se desarrolla un modelo descriptivo de un sistema real, se construye un programa de computación que represente el modelo, y se llevan a cabo experimentos con el objeto de entender el comportamiento y estimar características específicas del sistema modelado (Kalenatich y López, 1995).

Una de las razones que justifican el uso de la simulación, es su capacidad para representar sistemas complejos que no pueden ser estudiados a través de modelos analíticos, ya que su solución es demasiado difícil o imposible (Kelton *et al.*, 1998). En tal sentido, la simulación permite investigar y experimentar en sistemas cuyos elementos interactúan en forma compleja.

Otra situación en la cual la simulación constituye una excelente alternativa es cuando la experimentación sobre el sistema real no es factible, debido a los costos involucrados o a la naturaleza destructiva de los experimentos. Es posible practicar en sistemas simulados eliminando el riesgo que implicaría practicar en el sistema real. Además, la simulación permite estimar los efectos de condiciones extremas, hacer esto sobre el sistema real puede ser peligroso o algunas veces ilegal.

En muchos casos el sistema a modelar aun no existe, y el objetivo es probar diferentes estrategias

para su futuro funcionamiento. En esta situación es imposible experimentar en forma directa sobre el sistema, una herramienta útil es el uso de un modelo de simulación, mediante el cual es posible representar e investigar el funcionamiento de sistemas aun no implantados y averiguar por anticipado sus posibles ventajas y fallas (Gordon, 1980).

Una factor que ha incrementado el uso de modelos de simulación, es la existencia de los lenguajes de simulación, tipo de software que proporciona automáticamente muchas de las características necesarias para programar un modelo. Existe gran variedad de lenguajes de simulación, como por ejemplo los clásicos GPSS, Siman, Slam, Simscript, Dynamo, y algunos más recientes como Arena, SLX, Modsim, Simple++, entre muchos otros.

La simulación presenta múltiples ventajas, entre las cuales pueden citarse las siguientes:

1. Mediante el uso de la simulación se puede determinar cuáles son las variables más importantes de un sistema. Esto puede ser útil para la construcción de un modelo refinado del sistema real o en la elaboración de modelos diferentes a los de simulación.
2. Con un modelo de simulación es posible estimar el desempeño de un sistema bajo determinadas condiciones operativas (Law y Kelton, 1991)
3. La simulación permite comparar los efectos de diferentes políticas y estrategias, para determinar cuáles son las mejores alternativas (Azarang y García, 1996).
4. La simulación posibilita un análisis detallado del comportamiento de un sistema, siendo de gran utilidad en los procesos de toma de decisiones (Kalenatich y López, 1995).
5. Se puede utilizar un modelo de simulación para validar los supuestos de un modelo analítico (Gordon, 1980).
6. La simulación permite tener un mejor control sobre las condiciones experimentales, lo que no es posible al experimentar con el sistema real (Law y Kelton, 1991).
7. Una simulación puede ser usada para evaluar la introducción de nuevos elementos en el sistema, para prevenir cuellos de botella y otros problemas que se puedan originar en el comportamiento del sistema (Kalenatich y López, 1995).
8. A través de la simulación, es posible estudiar el comportamiento de un sistema durante un período

de tiempo largo en un tiempo de simulación corto. Se puede simular semanas, meses, años, en segundos o minutos.

APLICACIONES DE LA SIMULACIÓN EN SISTEMAS DE MANUFACTURA

La simulación es una de las técnicas más utilizadas en el diseño y análisis de sistemas de manufactura, por cuanto permite a gerentes e ingenieros obtener una visión del efecto de determinados cambios sobre una empresa o sobre procesos específicos, antes y después de su implantación.

Los sistemas de manufactura se caracterizan por poseer elementos que se relacionan en forma compleja, por tal razón resultan inadecuados los métodos analíticos convencionales. La simulación es una alternativa que facilita el análisis de sistemas de manufactura completos, permitiendo explorar tecnologías de producción, técnicas gerenciales y estrategias de control, antes de su costosa implementación en el sistema real (Kline *et al.*, 1992).

La simulación puede tratar una serie de problemas en los sistemas de manufactura, como por ejemplo, determinación del número y tipos de máquinas para un fin específico, evaluación de cambios en el volumen de producción, evaluación de inversiones, planificación de mano de obra, control y políticas de inventarios, evaluación de estrategias, planificación de la producción, control de calidad, análisis de confiabilidad, entre otros. Además, a través de la simulación es posible evaluar el desempeño de una fábrica utilizando análisis de productividad, análisis de cuellos de botella y análisis de tiempos en el sistema (Law y Kelton, 1991).

Los modelos de simulación pueden ser usados para ayudar a la gente a comprender cómo funcionan los procesos de manufactura y cómo diferentes situaciones pueden cambiar el comportamiento del proceso. A través de la visualización de posibles situaciones, gerentes y empleados obtienen una comprensión total de sus procesos.

La simulación es un excelente medio que gerentes y analistas pueden utilizar para diseñar y probar planes de desarrollo industrial. Con la ayuda de un modelo de simulación, un sistema de manufactura puede ser planificado mejor y posibles problemas con sus respectivas soluciones pueden ser evaluados. Un modelo de simulación también ayuda a comprender

cómo las inversiones pueden afectar a la organización y a otros procesos como el mercadeo y las ventas.

Las técnicas de simulación son utilizadas en sistemas de manufactura bajo dos enfoques (Pedgen *et al.*, 1990). El enfoque tradicional se refiere al uso de la simulación como herramienta de apoyo en el diseño y análisis de fábricas, para estudiar decisiones de equipamiento, diferentes políticas de operación, estrategias de desarrollo, etc. El segundo enfoque es utilizar la simulación en el proceso de planeación, lo que permite a quienes están encargados de tomar decisiones explorar y programar cambios en los planes actuales y encontrar la planificación óptima bajo las condiciones existentes.

Los beneficios potenciales de la simulación en los sistemas de manufactura incluyen el incremento de la productividad, mejor utilización de máquinas y personal, reducción de los requerimientos de capital y de los gastos operativos. Además, brinda la seguridad de que un sistema propuesto va a funcionar de la manera esperada y permite evaluar las ganancias que se obtendrán de una inversión en nuevos procesos de manufactura o en mejoras de un producto, evitando así decisiones erróneas.

En la actualidad existe en el mercado software de simulación especial para sistemas de manufactura, los cuales incluyen módulos, plantillas para soluciones específicas que se adaptan a los problemas que usualmente se presentan en este tipo de sistemas, funciones predefinidas, herramientas de animación y otras características que facilitan el desarrollo de modelos de simulación. Algunos de estos paquetes de simulación son AutoMod, Promodel, Quest y Witness.

USO DE LA SIMULACIÓN EN LA INDUSTRIA DEL ASERÍO

La construcción de modelos y el análisis de sistemas de aserrío no es una tarea fácil debido a la gran cantidad de variables relacionadas a este tipo de industria, tales como interacción entre las unidades de procesamiento, técnicas de producción, procedimientos de aserrado, especificación de los equipos, inventarios, materia prima y transporte de materiales. Además, la naturaleza biológica de la madera introduce un alto grado de variabilidad en ciertas propiedades, como la calidad de las trozas y de los productos finales, lo cual trae como

consecuencia, cierta dificultad para comparar alternativas experimentalmente o detectar diferencias significativas entre ellas; la simulación es una técnica que permite vencer esta dificultad (Pnevmaticos y Mouland, 1978).

En la industria del aserrío, la simulación es una herramienta de experimentación y análisis que ha sido usada en diferentes contextos. Pueden utilizarse las técnicas de simulación para estudiar el funcionamiento de un aserradero, considerando sus características y posibles interacciones entre sus componentes. En este contexto, un modelo de simulación de un aserradero puede definirse como la representación dinámica de un sistema de aserrío, que considera los procesos que se llevan a cabo en las maquinarias y el transporte de materiales, desde la llegada de las trozas hasta la salida de los productos finales (Aune, 1974). Este tipo de modelos, llamado también modelos integrales de aserraderos pueden incluir varias etapas del proceso aserrado y de los procesos gerenciales de toma de decisiones.

Un modelo de simulación para un aserradero permite analizar con facilidad varios escenarios o estrategias en áreas problemáticas, comparar políticas de aserrado, estudiar el flujo de materiales, detectar cuellos de botella, determinar factores de producción; proporcionando a los gerentes información necesaria para implementar cambios y desarrollar planes de producción.

Ejemplos de modelos de simulación de aserraderos son los desarrollados por Martin (1971) citado por Meimban *et al.* (1992), Aune (1974), Wagner y Taylor (1983), Van Wyk y Eng (1986) citados por Meimban *et al.* (1992), Martin (1988) citado por Meimban *et al.* (1992), Tochigi, Amemiya, Tadakoro y Hashimoto (1988a y 1988b), Howard (1988), Kline, Wiedenbeck y Araman (1992), Meimban, Mendoza, Araman y Luppold (1993), entre otros.

Desde el punto de vista del diseño, un modelo de simulación puede ser utilizado para evaluar la factibilidad operacional y la eficiencia de un sistema propuesto antes de que sea implementado. Es posible determinar si algunas modificaciones a un aserradero existente pueden incrementar su productividad.

En la literatura existe gran cantidad de trabajos donde se simulan etapas específicas del proceso de aserrado. Desde este punto de vista, un modelo de simulación puede ayudar a un analista a

evaluar los efectos de diferentes diagramas de corte sobre el volumen y nivel de calidad de la madera producida de una troza. Además, permite estudiar los factores que influyen en la productividad y en el rendimiento en valor y en volumen de las trozas.

Es posible simular las trozas y su geometría, defectos externos e internos de las trozas, las operaciones de corte, troceado, canteado, y el nivel de calidad de los productos finales. Simulaciones de este tipo permiten una mejor comprensión de las interacciones entre calidad de las trozas, patrones de aserrado y maquinaria. Basándose en este conocimiento, se puede mejorar la escogencia de diagramas de corte para una troza con ciertas características.

Se han desarrollado sistemas simuladores de los procesos de aserrado y del funcionamiento de aserraderos, entre los cuales se encuentran BOF (Best Opening Face), AutoSaw, DESIM (Design Simulator) y SAWSIM.

PROPUESTA DE UN SISTEMA SIMULADOR DE ASERRADEROS

Con esta propuesta se pretende establecer los lineamientos generales del diseño de un nuevo simulador de aserraderos, que integra (a) simulación de diagramas de corte con representación tridimensional de trozas y productos finales, (b) simulación del aserradero usando animación, (c) diseño interactivo de aserraderos y (d) herramientas gerenciales.

Simulador de diagramas de corte

El objetivo de este simulador es elegir el diagrama de corte correcto para una troza o un lote de trozas. El simulador de diagramas de corte presentará tres opciones (a) diagramas de corte de maderas coníferas, (b) diagramas de corte de maderas latifoliadas y (c) todos los diagramas de corte. Estas tres opciones podrán incluir (1) sólo características externas de la troza ó (2) defectos internos.

Las características externas de la troza son: diámetro y forma. Las formas pueden ser cilíndrica, elíptica, cónica, alabeada y torcida. Los defectos internos a considerar son nudos, médulas y extensiones internas de las ramas.

Las máquinas que podrán seleccionarse en la opción de aserrado son (1) descortezador, (2) sierra principal, (3) sierra secundaria, (4) canteador, (5) sierra trozadora, (6) astilladora, (7) clasificador y (8) empaquetador. Los datos de las máquinas estarán disponibles en una base de datos donde se especificarán marcas, modelos, y otras características de interés. Además, el usuario podrá introducir nueva información y actualizar la existente.

La información acerca de los tipos de trozas estará disponible en una base de datos de materia prima. Esta base de datos contendrá los datos necesarios para llevar a cabo la simulación, tales como nombre científico, nombre comercial, propiedades físicas y mecánicas, diámetro, longitud, conicidad, ramas, defectos internos, información económica, sistema de clasificación, etc.

Los datos de los productos finales podrán obtenerse de una base de datos que contendrá tamaño de los productos y clasificación (referidos a reglas de clasificación internacional). El usuario podrá especificar otros tamaños y clasificaciones.

El simulador de diagramas de corte mostrará en pantalla a) representación bidimensional de la troza que muestre los productos finales dimensionados e indique las máquinas involucradas, b) representación tridimensional de la troza y del producto final, c) representaciones de planta, cara frontal y cara posterior de la troza que se esté cortando, y (d) información estadística acerca del proceso (Figura 1).

La información de salida será la producción total (número de piezas y volumen) considerando longitud, ancho, clasificación para cada troza o grupo de trozas. Además se mostrará el volumen de astillas y aserrín producidos. El rendimiento será calculado por producto final y clasificación de la madera aserrada.

Simulador de aserraderos

El objetivo de este simulador es proporcionar una herramienta para estudiar el rendimiento de un aserradero; calcular costos de producción; identificar cuellos de botella; observar la influencia de la disposición de las máquinas y otros elementos sobre el proceso de producción; estudiar el rendimiento de las máquinas; evaluar el comportamiento general del sistema; planificar y programar esquemas de producción tomando en cuenta mano de obra, maquinaria, transporte de materiales; y calcular indicadores económicos.

Antes de simular un aserradero en particular, será necesario seleccionar el archivo que contiene el modelo del aserradero que se desea simular, si este no existe, debe elaborarse el diseño correspondiente, usando el diseñador interactivo de aserraderos.

El simulador de aserraderos tendrá dos opciones (a) animación, donde el usuario podrá observar a través de animación lo que está pasando en los diferentes procesos y obtener información estadística

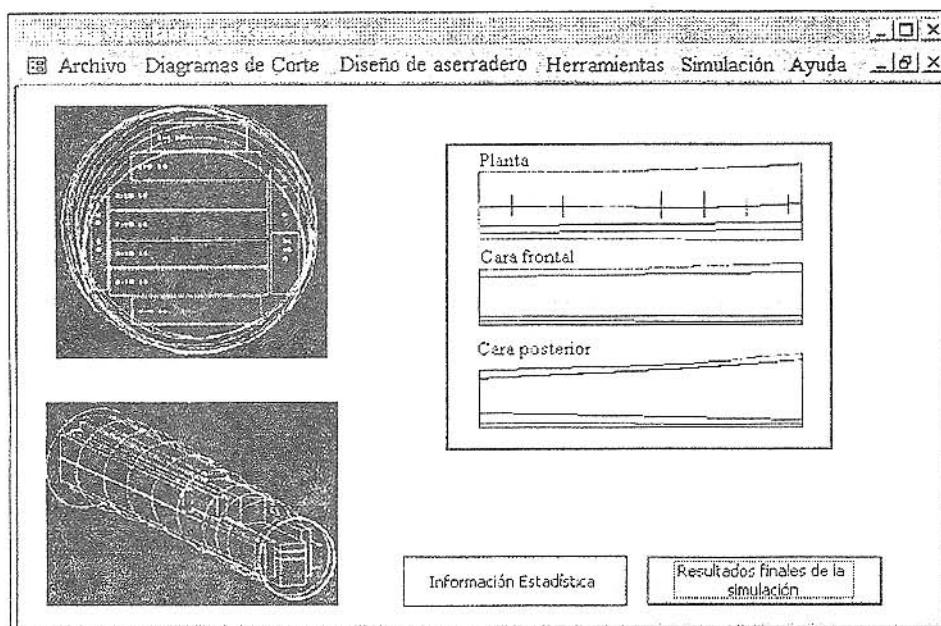


Figura 1. Salida del Simulador de diagramas de corte.

del desempeño del sistema, y (b) resultados finales, donde sólo se mostrarán los resultados finales de la simulación sin incluir animación.

Durante la simulación animada el usuario podrá visualizar todo el proceso de aserrado, desde que llegan las trozas al aserradero hasta que son convertidas en productos finales. También podrá observar trozas, cortes de tablas, transporte de materiales, y el proceso de producción de astillas y aserrín.

Diseño interactivo de aserraderos

Esta herramienta permitirá construir un modelo de la disposición de las maquinarias y centros de trabajo de un aserradero. Los elementos que podrán ser incluidos en el diseño son patios de trozas, muelles de carga, depósitos de madera verde, sistemas de aspiración de aserrín y astilla, sistemas de transferencia, puentes grúa, montacargas, cargadores frontales y todas las maquinarias que pueden utilizarse en el simulador de diagramas de corte.

Para facilitar el diseño, estará disponible en la pantalla un área de diseño y barras de herramientas con íconos correspondientes a cada uno de los elementos que pueden incluirse (máquinas y centros de trabajo), de manera que puedan ser seleccionados haciendo uso del ratón y colocados en la posición que el usuario desee. Además podrá especificarse la distancia entre cada máquina o centro de trabajo.

Es necesario resaltar que no se presentarán facilidades para realizar un dibujo perfecto y completamente detallado, lo importante será mostrar la disposición de las estaciones de trabajo, transportadores de materiales y sus relaciones, considerando su ubicación y las distancias entre ellos. El diseño realizado podrá guardarse en un archivo, para utilizarlo en el simulador de aserraderos o para abrirlo posteriormente si se desea hacer algunas modificaciones.

Herramientas gerenciales

Como herramienta gerencial, el sistema permitirá evaluar la estructura de costos, estimar beneficios del aserradero y calcular algunos indicadores económicos. El sistema proporcionará tanta

información financiera como sea posible. Para lograr este objetivo utilizará la información generada por el simulador de diagramas de corte y el simulador de aserraderos.

El sistema será capaz de calcular el costo de los productos finales de acuerdo a tamaño, clasificación, especies de madera, volumen de producción, costos de mano de obra y otros costos de producción. De esta forma el sistema mostrará la estructura de costos con suficientes detalles, presupuestos de producción, flujo de caja, y algún tipo de análisis de inversiones. Asimismo, proporcionará indicadores acerca del desempeño del aserradero.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La simulación es una excelente herramienta de experimentación y análisis que se utiliza para estudiar diferentes tipos de sistemas. En la industria del aserrío la simulación puede utilizarse para analizar nuevos métodos de producción, estudiar el desempeño de un aserradero, evaluar diferentes diagramas de corte, identificar cuellos de botellas, diseñar aserraderos, planificar cambios en aserraderos existentes y comparar sistemas alternativos.

La simulación de aserraderos es un instrumento utilizado en diferentes centros de investigación en el mundo. Es más fácil, más rápido y menos costoso brindar asesorías a industrias de aserrío usando modelos de simulación. Además, los modelos de simulación brindan información confiable y oportuna a gerentes, necesaria para tomar decisiones que influyen en el desempeño de sus empresas, en la capacidad para adaptarse a los cambios y en la capacidad para competir con otras empresas nacionales e internacionales. Por tales razones, se cree conveniente incorporar el uso de modelos de simulación de aserraderos en la industria forestal venezolana.

En este artículo se establecen las características generales del diseño de un nuevo sistema simulador de aserraderos. El sistema propuesto puede desarrollarse bajo plataforma Windows y deberá ofrecer una interfaz gráfica que facilite su uso. En la etapa de programación del sistema será necesario estudiar dos enfoques, utilizar un lenguaje de simulación o un lenguaje de programación de propósito general.

Los lenguajes de simulación tienen la ventaja de poseer funciones de simulación integradas que facilitan el proceso de programación. Para programar el sistema de simulación de aserraderos usando este enfoque es necesario utilizar un lenguaje de simulación que incluya herramientas de animación. Por otra parte, los lenguajes de propósito general brindan mayor flexibilidad de programación que ciertos lenguajes de simulación. Sin embargo, el tiempo de desarrollo y programación puede ser mayor, pues no poseen herramientas de simulación predefinidas. Para decidir el enfoque a utilizar, es importante evaluar las ventajas y desventajas de los lenguajes de simulación y de los lenguajes de programación de propósito general, en virtud del sistema que se desea desarrollar. Se recomienda estudiar la posibilidad de utilizar un enfoque mixto, donde se programen algunos módulos del sistema usando un lenguaje de programación y otros usando un lenguaje de simulación.

Además se debe considerar el diseño y construcción de las bases de datos de materias primas, maquinarias y productos finales. Será necesario utilizar un sistema manejador de bases de datos que permita integrar las bases de datos al sistema simulador de aserraderos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AUNE, J. E. 1974. System simulation - a technique for sawmill productivity analyses and design. *The Forestry Chronicle*, 50(2): 66-69.
- AZARANG, M. R. y E. GARCÍA. 1996. *Simulación y análisis de Modelos estocásticos*. McGraw-Hill. México. 282p.
- GORDON, G. 1980. *Simulación de sistemas*. Editorial Diana. México. 334p.
- KALENATICH, D. y C. A. LÓPEZ. 1995. *Técnicas de Simulación en Producción*. Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería de Sistemas. Bogotá, Colombia. 143p.
- KELTON, W. D., R. P. SADOWSKI y D. A. SADOWSKI. 1998. *Simulation with Arena*. McGraw-Hill Inc. Nueva York. 547p.
- KLINE, D. E., J. K. WIDENBECK y P. A. ARAMAN. 1992. Management of wood products manufacturing using simulation/animation. *Forest Products Journal*, 42(2): 45-52.
- LAW, A. M. y W. D. KELTON. 1991. *Simulation Modeling & Analysis*. McGraw-Hill, Inc. Nueva York. 759p.
- MEIMBAN, R. J., G. A. MENDOZA, P. ARAMAN y W. LUPPOLD. 1992. A Simulation Model for a hardwood Sawmill Decision Support System. *Journal of Forest Engineering*, 4(1):39-47.
- PEDGEN, C. D., R. E. SHANNON y R. P. SADOWSKI. 1990. *Introduction to Simulation using SIMAN*. McGraw-Hill Inc. Nueva York. 615p.
- PVNEMATICOS, S. M. y P. MOULAND. 1978. Hardwood Sawing Simulation Techniques. *Forest Products Journal* 28(4): 51-55.
- TOGICHI, T., R. AMEMIYA, C. TADAROKO y H. HASHIMOTO. 1998a. Improving productions systems of timber-processing plants I, Development of the computer simulation procedure to design the production line. *Mokusai Gakkaishi Journal of the Japan Wood Research Society*, 34(4):314-319.
- TOGICHI, T., R. AMEMIYA, C. TADAROKO y H. HASHIMOTO. 1998b. Improving productions systems of timber-processing plants II, Appropriate positioning of processing machines in sawmills. *Mokusai Gakkaishi Journal of the Japan Wood Research Society*, 34(4):320-325.
- WAGNER, F. G. y F. TAYLOR. 1983. SPSM - A Southern pine sawmill model. *Forest Products Journal*, 33 (4): 37-43.
- WIDENBECK, J. K. y E. KLINE. 1994. System Simulation Modeling: A case study illustration of the model development life cycle. *Wood and fiber Science*, 26(2):192-204.