

Modelo dinámico para evaluar el impacto del uso de materia prima reciclada en la industria papelera

Dynamic model to assess the impact of using recycled raw material in the paper industry

Laura I. Rendón S. y MSc. Juan C. Osorio G.

Escuela de Ingeniería Industrial, Universidad del Valle

laurarendon08@gmail.com, juan.osorio@correounivalle.edu.co

Resumen— El presente artículo es en esencia un modelo de Dinámica de Sistemas, en el que se dimensiona el impacto del uso de material proveniente de la cadena de logística inversa en la industria papelera. Su finalidad es dar un aporte a la industria papelera y a las personas u organizaciones interesadas en el tema, para la toma de decisiones relacionadas con la gestión de inventarios de materias primas.

Con la herramienta VENSIM se simula el comportamiento de los principales componentes y variables de interés que hacen parte del estudio. Posteriormente se muestran algunos indicadores de gestión con los que se puede evaluar el sistema estudiado y tienen una participación importante entre los aspectos que se deben tener en cuenta para la toma de decisiones en una organización industrial.

Palabras Clave—Dinámica de Sistemas, logística inversa, industria papelera, gestión de inventarios, materias primas, indicadores de gestión.

Abstract— This article is essentially a system dynamics model, which is measuring the impact of the use of material from reverse logistics chain in paper industry. The main goal is giving a contribution to paper industry and individuals or organizations interested in the subject, for decision-making that has to do with inventory management of raw materials.

With VENSIM like a tool will be simulated the behavior of the main components and variables of interest that are part of the study. Later will be shown some performance indicators that help to assess the system studied and have significant participation among the aspects that should be taken into account in decision-making in an industrial organization.

Keywords— System Dynamics, reverse logistics, paper industry, inventory management, raw materials, management indicators.

INTRODUCCIÓN

El presente artículo aborda temas característicos de la Ingeniería Industrial como lo son la logística inversa y la dinámica de sistemas, los cuales se relacionan con el análisis y diseño de sistemas de información, mejoramiento de procesos, responsabilidad social, gestión de inventarios, enfoque sistémico y aspectos de calidad.

La logística inversa es definida por expertos en el tema como “la gestión, de manera eficiente y costo efectiva, del flujo de materiales, inventarios en proceso, productos terminados e información relacionada, destinados al reprocesamiento, reciclaje, reutilización o disposición final, desde el eslabón donde perdieron o disminuyeron su vida útil, para recuperar total o parcialmente su valor, disminuyendo el impacto medioambiental y los costos asociados.”[1]

La RSE¹ de la que se está creando conciencia debido a la escasez de recursos naturales y al deterioro del medio ambiente en general, es la que hace a los gobiernos tomar medidas legales para que las empresas apliquen logística inversa o algún tipo de actividad que beneficie a la población a largo plazo. Aunque existen algunas normas colombianas que promueven el reciclaje, es de resaltar que la cultura es la que en gran medida incide en la baja proporción de material reciclado comparado con el de países desarrollados.

¹ La RSE (Responsabilidad Social Empresarial) puede definirse como la contribución activa y voluntaria al mejoramiento social, económico y ambiental por parte de las empresas, generalmente con el objetivo de mejorar su situación competitiva y valorativa y su valor añadido.

Los procesos que se llevan a cabo en la logística inversa son recolección, inspección, almacenamiento, transporte, y transformación o tratamiento de productos recuperados [2]. De la definición de estos procesos, se derivan dos preguntas: ¿trae algún beneficio utilizar materia prima reciclada en una industria papelerera?, y ¿cuál es el impacto de utilizar materia prima reciclada en la industria papelerera?

La logística inversa de una industria papelerera es un caso valioso para analizar y conocer las diferentes variables cualitativas y cuantitativas que la afectan. Es por esto que en este artículo se aborda el análisis y medición del uso de material reciclado en una industria papelerera utilizando Dinámica de Sistemas.

Se considera de suma importancia emplear la herramienta dinámica de sistemas debido a que cada variable del sistema analizada sin tener en cuenta las demás variables, podría arrojar un resultado totalmente opuesto a lo que en realidad sucede en el sistema como un todo.

Para lograr realizar la simulación primero se debió conocer el proceso de fabricación del papel, reconocer factores cualitativos y cuantitativos que afectan la cadena de logística inversa de una industria papelerera, entender la forma en que se manejan los inventarios de materia prima y conocer la composición de material nuevo y material reciclado que se emplea para la elaboración del producto.

En el presente artículo se explican las características principales de la investigación realizada que aportan al estudio de este tema tan importante en la actualidad, utilizando una herramienta interesante y práctica como lo es la dinámica de sistemas. Que si bien, no ha sido muy utilizada en este campo, se está convirtiendo en una herramienta importante para los estudios de logística inversa. [3]

1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En la industria papelerera existe la opción de elaborar los productos con material que se va a usar por primera vez obtenida de la madera de los árboles proveniente de la cadena de suministro directa y también con material extraído de papel usado de la misma empresa y de la competencia proveniente de la cadena de suministro inversa. En algunas industrias se considera también otra opción para obtener la materia prima mediante una cadena de suministro inversa que involucra un desecho propio de la industria azucarera: el

bagazo de la caña. Por lo tanto, en la actualidad hay tres fuentes de obtención de la pulpa que se utiliza para elaborar papel:

1. Madera de los árboles.
2. Papel usado.
3. Bagazo de caña.

El material obtenido mediante logística inversa tanto proveniente de desechos propios de la empresa y de la competencia, como la proveniente de la industria azucarera presenta en la mayoría de los casos una dificultad al momento de su obtención, pues hay una variabilidad en la oferta cada mes debido a que influyen diferentes factores cualitativos y cuantitativos que muchas veces no dependen de la industria papelerera pero que afectan directamente la gestión de sus inventarios de materia prima. Por lo tanto, se reconoce una dificultad en la industria papelerera que se debe a la incertidumbre acerca de la capacidad que tienen los proveedores para suministrar material que se va a reutilizar.

Entre las consecuencias que trae esta situación se encuentra en primer lugar, como ya se mencionó el desequilibrio en el manejo y control del inventario de material de todos los tipos. En segundo lugar, la variabilidad en la cantidad de producto terminado, pues si varía el nivel de inventario de cualquiera de los materiales, se va a ver afectada la producción total de dicho producto. Además, algunos productos son hechos con cierto estándar, haciendo una combinación entre los materiales antes mencionados, por lo que no se puede cambiar la composición ya que el sistema de producción fallaría principalmente por la confusión que crearía en los clientes respecto a la calidad que se ofrece con cada producto.

Según expertos en el tema, el uso de papel reciclado no trae beneficios económicos, pues la obtención de papel usado en buenas condiciones es más costosa que obtener material de los árboles. Pero Smurfit Kappa Cartón Colombia², principal productor de papel y empaques en Colombia, expone que el reciclaje de papel y cartón a pesar de tener un costo de obtención más alto brinda muchos efectos positivos que hacen pensar que el reciclaje es más beneficioso también para la industria papelerera.

Es inevitable que alguna de las opciones no contamine, pero se reconoce que el proceso de

² Hoy, Smurfit Kappa Cartón de Colombia pertenece en un 30% a inversionistas colombianos y en un 70% al Grupo Smurfit Kappa, uno de los más grandes productores de empaques de papel y reciclaje en el mundo.

obtención de pulpa de la madera es el más contaminante además de que para extraer la raíz se debe consumir una cantidad de agua considerable. En el orden de procesos contaminantes sigue el bagazo de la caña, el cual a pesar de consumir menos agua que el proceso con la madera, también consume mucha cantidad de este recurso natural, y al igual que en la madera requiere muchos productos químicos para obtener el producto final. El papel usado también contamina, pero en una proporción mucho menor.

El presente artículo está enfocado en mejorar la gestión de inventarios de materias primas teniendo en cuenta la adquisición del material usado, y para ello se ha planteado la siguiente pregunta como punto de enfoque durante el transcurso del estudio:

Teniendo en cuenta factores cualitativos y cuantitativos, ¿en qué condiciones la industria papeleras complementa su producción con base en material reciclado? y ¿cómo afectan estas condiciones la gestión de inventarios de materias primas?

2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

En las industrias papeleras no existe uniformidad en la proporción de materias primas de cada tipo que se utiliza para elaborar los diferentes productos. Cada empresa resuelve el origen y tipo de materia prima a utilizar según el beneficio económico, la razón social de la empresa, el entorno, las facilidades de obtención de cierto material según la región donde está ubicada la empresa, entre otros aspectos de los cuales algunos son desconocidos por parte de la sociedad.

Como ya se explicó, para este caso se incluyen tres materiales a partir de los cuales se puede

obtener la materia prima de la industria papeleras colombiana: fibra de madera, bagazo de caña y papel usado.

La fibra de madera hace parte de la cadena de logística directa debido a que los árboles utilizados para la elaboración de papel, son exclusivamente sembrados para tal fin.

Un residuo de los ingenios azucareros: el bagazo de caña, es obtenido por las empresas de la industria papeleras intercambiándolo por carbón, el cual es un insumo esencial para las calderas de los ingenios azucareros y a la vez un residuo proveniente de la producción de papel. Este intercambio pertenece a un caso en el cual la empresa que recupera el producto es distinta a la productora, y este es utilizado para un proceso de producción completamente distinto al original, lo cual también es considerado como una cadena de logística inversa. [4]

El papel retorna al proceso de producción cuando hay defectos en la fabricación, y también en algunos casos retorna el papel que ha sido utilizado por los clientes para que luego de realizar procesos de recuperación sea posible utilizarlo para fabricar más papel. Es evidente que el caso del papel usado pertenece a la cadena de logística inversa.

Por lo tanto, en el sistema descrito hay dos cadenas de logística inversa: el bagazo de caña y el papel usado. Estas se emplean según las condiciones de cada empresa y son el punto clave de la investigación. Tal como se aprecia en la figura 1.

3. DIAGRAMA DE INFLUENCIAS

Con la herramienta VENSIM se simula el comportamiento de los principales componentes y variables de interés que hacen parte del estudio.

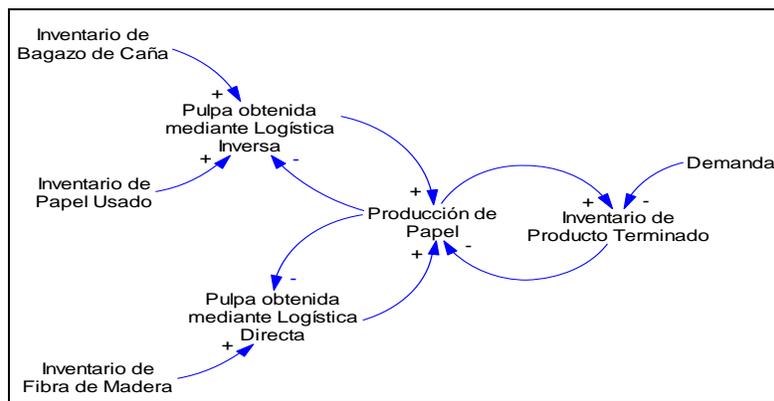


Figura 1. Diagrama de influencias

4. DIAGRAMA DE FORRESTER

El diagrama de Forrester (figura 2) tiene tres colores con los cuales se diferencian los materiales de la industria papelerera. Es así como el naranja indica que en dicho nivel está presente la fibra de madera, el azul indica que es papel usado, y el verde indica que es bagazo de caña.

Las empresas que utilizan la fibra de madera como materia prima principal tienen bosques en terrenos propios, lo cual reduce los costos de obtención de materia prima, pues los costos que se pueden asociar a la materia prima es el de la extracción de los troncos y la preparación de los mismos para que sean aptos para la elaboración de pulpa para la posterior fabricación de papel. Este detalle se encuentra en la variable de nivel color naranja “Inventario de Fibra de Madera sin procesar”, la cual está compuesta por un flujo de entrada “Tasa de entrada de Fibra de Madera” con el que se indica la cantidad de troncos que ingresan a la industria papelerera, y por otro lado hay un flujo de salida “Beneficio interno de Fibra de madera” con el que se indica la cantidad de fibra de dichos troncos que se procesan en la industria. Se observa en dicho espacio una variable auxiliar: “Capacidad de Beneficio de árboles propiedad de la empresa en estudio”, que indica precisamente la capacidad total que tiene la industria para procesar fibra de madera, y la misión de dicha variable auxiliar es limitar a un valor máximo la variable de flujo de salida mencionada.

Las empresas cuya materia prima principal es diferente a la fibra de madera pero que a pesar de ello utilizan cierta proporción de madera de los árboles, compran directamente la pulpa a empresas que se dedican a la comercialización de la pasta. Pues de hecho es una alternativa muy efectiva en el que las industrias papeleras deben

evaluar diferentes aspectos económicos, productivos y de tiempo, que posiblemente satisfagan mejor las necesidades de producción de papel para satisfacer en todos los sentidos a los clientes finales y al mismo tiempo generar el costo total óptimo para la empresa, en el cual todos los aspectos estén equilibrados, incluyendo entre dichos aspectos el costo de personal, de adquisición de materia prima, de transporte de dicha materia prima, de energía consumida, de mantenimiento de maquinaria, asistencia a anomalías en la producción, entre otros. Este aspecto mencionado se relaciona con la variable auxiliar “Importaciones de Pulpa de Fibra de madera”.

Es de resaltar que en el diagrama hay flujos de material en sentido contrario a todos los demás flujos del sistema, con lo cual se pretende recalcar el hecho de que en el sistema se presentan dos cadenas de logística inversa. Dichas cadenas se encuentran en el caso del papel reciclado y el bagazo de caña, representados por el color azul y por el color verde respectivamente y en ellas se encuentran relaciones similares a las descritas con la madera, añadiendo que para el caso del papel reciclado hay 3 posibles fuentes de obtención: proyectos de reciclaje, papel devuelto por Clientes y/o papel reciclado por defectos en la producción. Además es importante la relación que se involucra entre los ingenios azucareros y la industria papelerera; pues como ya se ha mencionado el bagazo de caña se obtiene intercambiando carbón, relación que se tuvo en cuenta en la estructura del diagrama de Forrester.

Observando el comportamiento de la simulación a partir del año 2010, se plantearon una serie de conclusiones acerca de lo que consideraron los autores a partir de la investigación realizada.

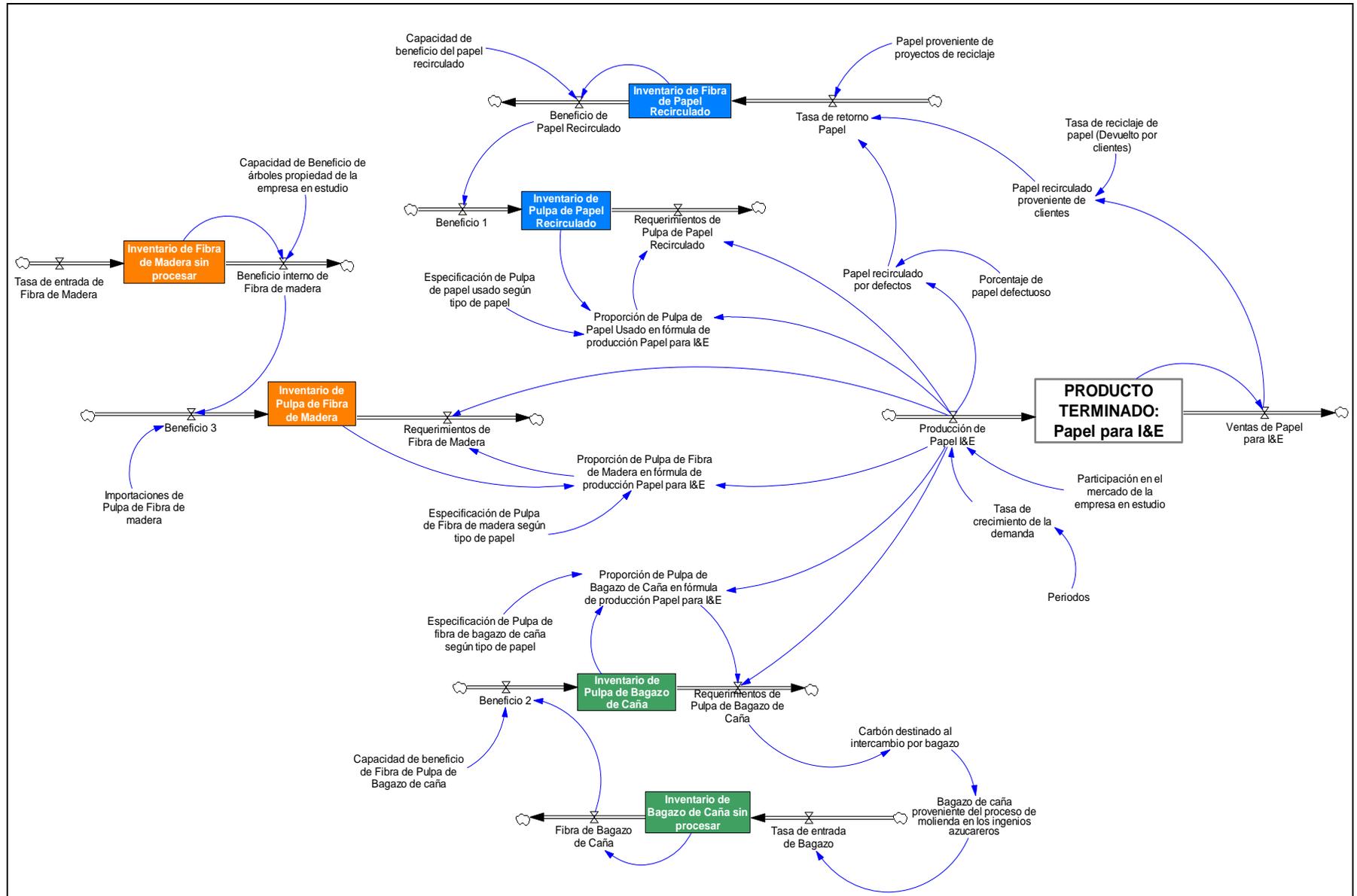


Figura 2. Diagrama de Forrester

5. VALIDACIÓN DEL MODELO

Para validar el modelo se simuló con datos de una empresa perteneciente a la industria papelera colombiana: la cual comprende aproximadamente $\frac{1}{4}$ del volumen en ventas a nivel nacional.

Para simular se eligió un producto representativo: el papel para imprenta y escritura.

5.1. CASO ESTUDIO

La Compañía del caso estudio es una empresa con 50 años de experiencia, ubicada en los Departamentos del Valle del Cauca y Cauca, Colombia, líder en la fabricación de papeles para impresión y escritura producidos a partir de la caña de azúcar.

En Colombia se fabrican anualmente aproximadamente 320 mil toneladas de papel, de las cuales esta empresa produce 250 mil. [5]

En esta empresa se utiliza en mayor proporción el bagazo de caña, en una proporción menor se utiliza la fibra de madera y en algunas ocasiones recirculan el papel defectuoso que identifican en la producción, y que no alcanza a llegar hasta el cliente. Además, se fabrica papel bajo pedido y debido a esto el tamaño de lote de cada tipo de papel está directamente relacionado con la demanda. Según información consultada con el Jefe de Pulpa Blanca de la empresa, se elabora un solo tipo de papel aproximadamente durante 4 o 5 días, y el cambio a otro tipo de papel le genera a la empresa pérdidas porque la pulpa que se obtiene durante el cambio de un tipo de pulpa a otro tiene una formulación que los clientes no compran. Por lo tanto, en esta empresa uno de los puntos clave es hacer que esos cambios se realicen en el menor tiempo posible, y para ello deben planear la producción de pulpa con la finalidad de que la empresa sea lo más productiva posible.

Esta empresa compra minas de carbón para abastecer la caldera de potencia donde se genera el vapor y energía eléctrica, y también lo compra para realizar el intercambio carbón-bagazo de caña con los ingenios azucareros.

El carbón se adquiere en minas de varios departamentos de Colombia, tales como el Valle del Cauca, Cundinamarca y Antioquia, los cuales proveen carbón que cumple con las especificaciones de poder calorífico requeridas tanto por la empresa como por los ingenios proveedores de bagazo de caña.

De dicho bagazo obtienen la fibra que luego de varios procesos, se convierte finalmente en pulpa.

Por otra parte, en esta empresa se utiliza también pulpa de fibra de madera importada de empresas que se dedican específicamente a la elaboración de pulpa para la

fabricación de papel. Los principales proveedores se encuentran en Chile porque se considera que es la pulpa de mejor calidad.

El papel para impresiones de la empresa está compuesto por 80% de pulpa de bagazo, 5% de pulpa de madera y el 15 % restante corresponde a otros químicos como carbonato de calcio, agentes de retención, entre otros. Además en algunas ocasiones se adiciona un pequeño porcentaje de pulpa obtenida de papel ya fabricado, que ha sido recirculado debido a defectos en la producción.

De acuerdo a las características de la Empresa y también al diagrama de Forrester estándar del sistema en estudio, algunas variables que no hacen parte de esta empresa tienen un valor nulo, y por lo tanto en las fórmulas pertenecientes a la simulación en VENSIM aparece un cero. Con esto se demuestra que el diagrama es aplicable a cualquier empresa en la que se elabore papel a partir de los materiales expuestos, y si no utiliza alguna rama de la estructura simplemente se anula dándole un valor de cero.

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El resultado de la simulación se acerca mucho a los valores reales. Como se muestra en la Figura 3, la producción de papel para imprenta y escritura en Colombia tiene una fuerte tendencia al crecimiento con el paso de los años. Por lo tanto, se tiene que la variable de flujo “Producción de Papel para I&E” para el caso estudio en cuestión tiene un comportamiento creciente y a partir de los datos obtenidos de la ANDI³ se puede predecir cuál es la pendiente de dicho crecimiento para así obtener en la simulación un comportamiento lo más semejante posible a lo real.

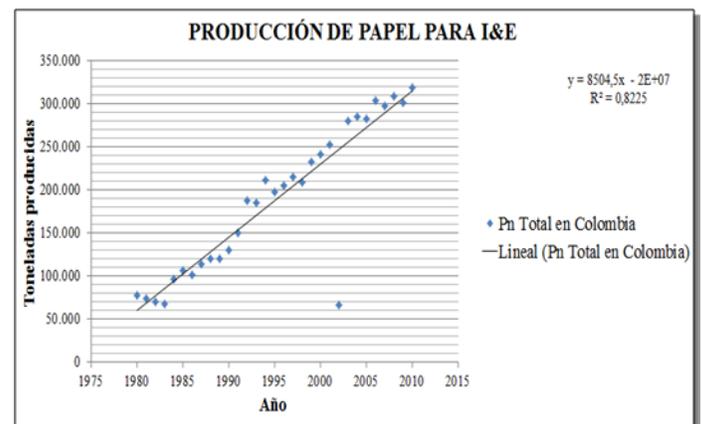


Figura 3. Producción de Papel para I&E en Colombia
Fuente: Cámara de Pulpa, Papel y Cartón ANDI [6]

En la Figura 4, se muestra el comportamiento de la variable de flujo “Producción de Papel I&E”, que se define por la

³ ANDI - Asociación Nacional de Empresarios de Colombia

multiplicación de dos variables auxiliares: “Tasa de crecimiento de la demanda” y “Participación en el mercado de la empresa en estudio”.

La “Tasa de crecimiento de la demanda” se refiere a la demanda total de papel para imprenta y escritura en toda Colombia, y se formuló a partir de la regresión lineal obtenida con la Figura 3, y adicionando valores aleatorios para así variar un poco el comportamiento lineal y hacerlo más cercano a la realidad.

Para la variable auxiliar “Participación en el mercado de la empresa en estudio” se tuvo en cuenta que varía año tras año pero que para la empresa en estudio corresponde aproximadamente a un ¼ del total de ventas en Colombia, como se mencionó anteriormente.

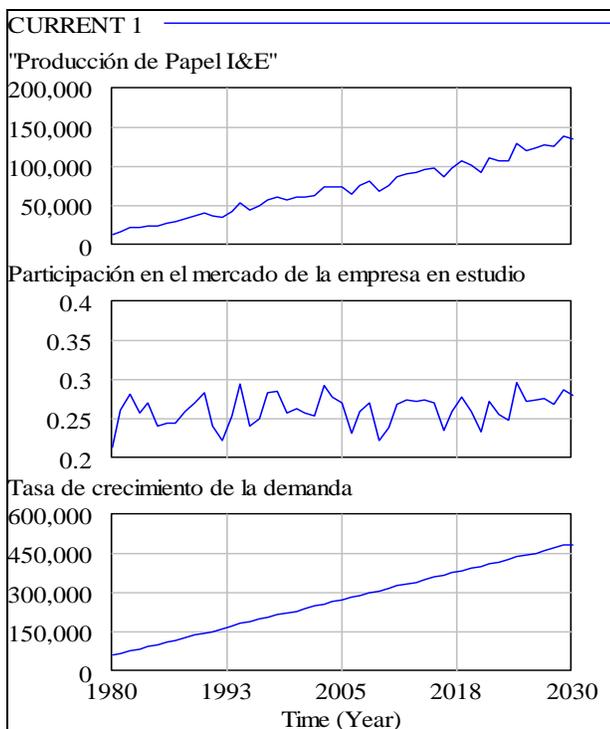


Figura 4. Producción de Papel para I&E en Carvajal Pulpa y Papel S.A., Real vs Simulación

En la Figura 5, se muestra el comportamiento real de la producción de papel para imprenta y escritura en la empresa donde se puede observar que el resultado de la simulación es muy similar a lo real, por lo cual se considera útil para ilustrar el comportamiento futuro de esta variable en el sistema.

A partir de este comportamiento creciente de la variable más importante del sistema, se considera que un punto crítico para esta empresa es analizar la disponibilidad de las materias primas en los próximos años si se presenta un escenario en el que la producción de papel en el año 2030 será aproximadamente el 150% de la producción actual. De hecho los directivos de la empresa están en búsqueda de

alternativas diferentes para obtener pulpa para asegurar la permanencia de la empresa en el mercado.

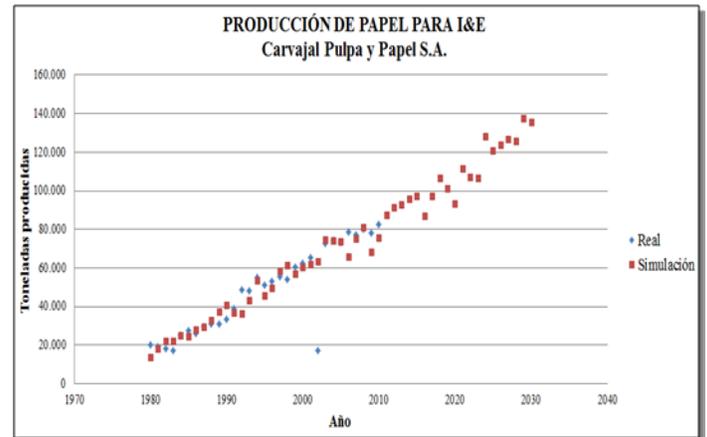


Figura 5. Producción de Papel para I&E en Carvajal Pulpa y Papel S.A., Real vs Simulación

7. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Con el fin de observar el comportamiento del modelo al cambiar sus principales variables, se realizó un análisis de sensibilidad utilizando el programa de simulación VENSIM. El análisis de sensibilidad es el proceso de modificar las hipótesis de los valores de las constantes del modelo y examinar los resultados debidos al cambio de esos valores. [7]

Primero se variaron las variables auxiliares: “Papel proveniente de proyectos de reciclaje” y “Tasa de reciclaje de papel (Devuelto por clientes)”, los cuales tenían un valor nulo en el modelo inicial. El impacto que genera sobre las principales variables se muestra en las figuras 6 a 9.

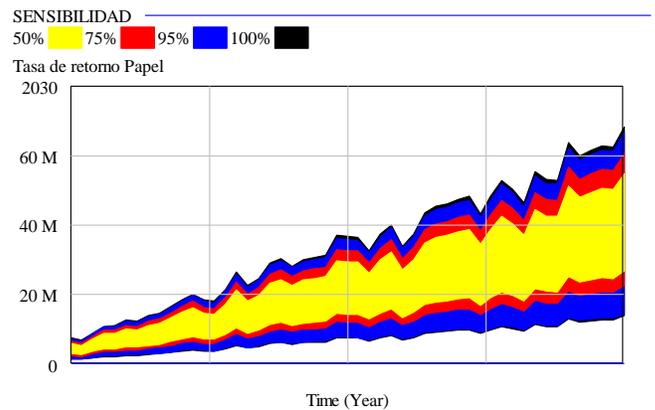


Figura 6. Sensibilidad de la Tasa de retorno Papel

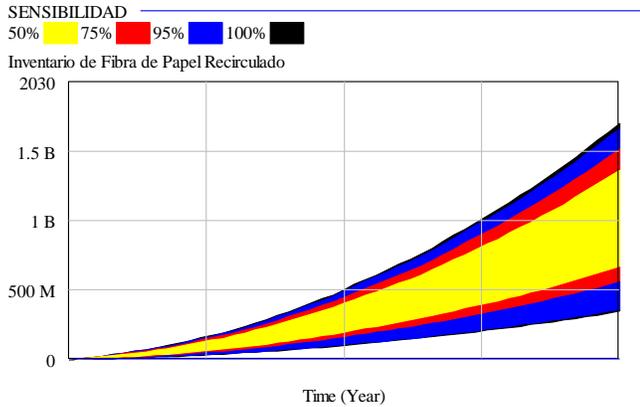


Figura 7. Sensibilidad de la Fibra de Papel Recirculado

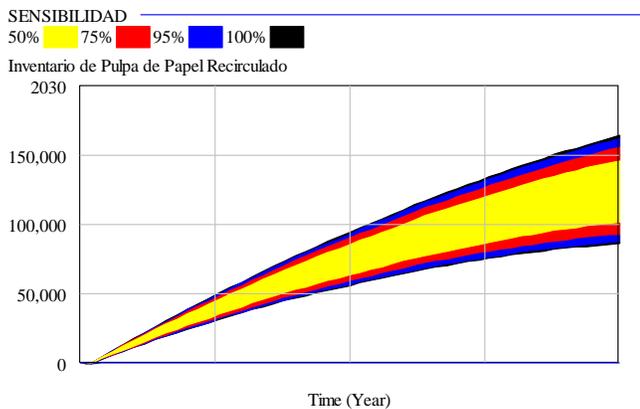


Figura 8. Sensibilidad del Inventario de Pulpa de Papel Recirculado

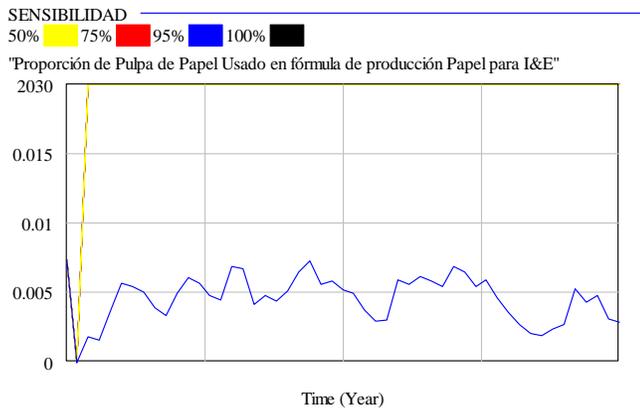


Figura 9. Sensibilidad de Pulpa de Papel Usado en fórmula de producción de Papel para I&E

Se puede observar en el anterior grupo de gráficos que las variaciones son significativas en las figuras 6, 7 y 8 lo cual es algo esperado debido a que las variaciones se hicieron en variables auxiliares directamente relacionadas con las variables que se observan en las figuras. Sin embargo, se

aprecia poca sensibilidad del modelo para la pulpa de papel usado en la fórmula de producción de papel (figura 9).

Por otro lado, al cambiar las capacidades de beneficio de las tres materias primas, se obtuvieron las figuras 10, 11 y 12 en representación del impacto sobre los inventarios de pulpa de los tres materiales. De estas figuras se puede observar que no hay ningún efecto sobre el Inventario de Pulpa de Papel Recirculado; mientras que por otro lado el Inventario de Pulpa de Fibra de Madera y el Inventario de Pulpa de Bagazo de Caña si tienen impactos representativos al realizar las variaciones anteriores.

Aunque quedan muchos otros elementos que pueden explorarse a partir de esta modelación, se plantearán para futuros estudios, concretándose este a mostrar que el modelo es una buena representación del sistema y que en la medida que se cuente con información confiable, se podrán tomar decisiones acertadas con el mismo.

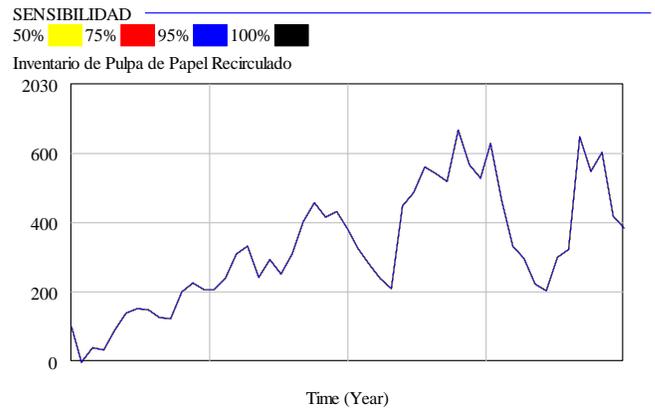


Figura 10. Sensibilidad de Inventario de Pulpa de Papel Recirculado

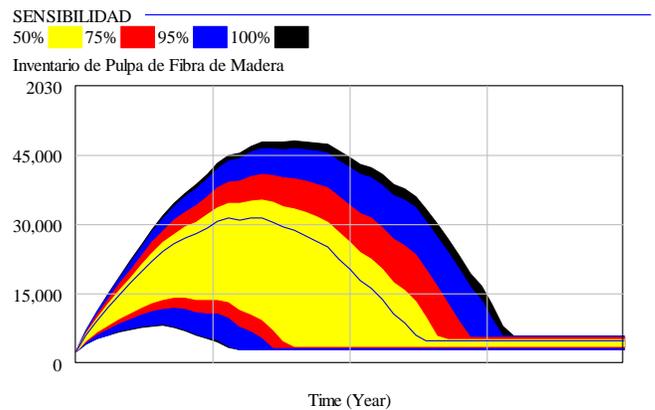


Figura 11. Sensibilidad de Inventario de Pulpa de Fibra de Madera

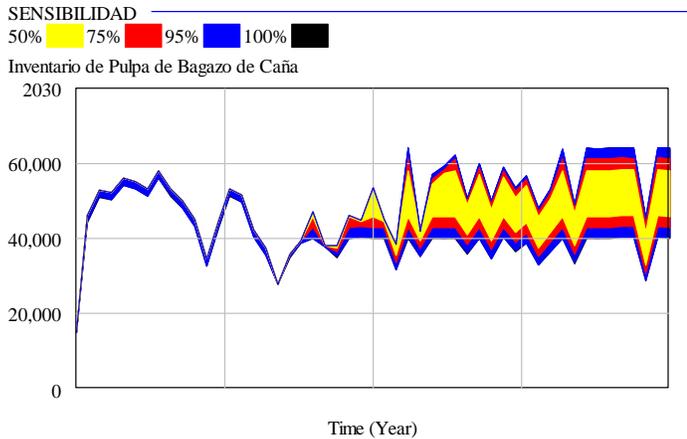


Figura 12. Sensibilidad de Inventario de Pulpa de Bagazo de Caña

8. CONCLUSIONES

Es notable la importancia de la definición de un sistema en el ambiente empresarial. Como se puede notar en el análisis de sensibilidad, las relaciones que en gran medida se considera que poco afectan al sistema, resultan determinar un comportamiento diferente de las variables más representativas del modelo estudiado que simula el comportamiento de la industria papelera.

La dinámica del sistema de la industria papelera es compleja de estudiar porque el sistema es complejo, porque las empresas son celosas con la información y debido también a que desean mantener la confidencialidad en la elaboración de sus productos, previniendo el plagio o mejoramiento de ideas por parte de sus posibles competidores. Debido a esto fue necesario realizar varios supuestos, con los cuales se pudo elaborar y comprobar el funcionamiento de un modelo de dinámica de sistemas, que muy posiblemente si las restricciones en las empresas fueran menores, resultaría muy útil para predecir situaciones futuras y saber qué cambios realizar en ciertos parámetros para así obtener el resultado deseado para el sistema.

Cabe destacar que algunas relaciones externas influyen en gran medida sobre el sistema, pero no se incluyeron en el diagrama de Forrester, pues son situaciones muy difíciles de predecir. Tal es el caso de la situación política a la cual se enfrenta el país, y que deteriora en muchos casos las relaciones de la industria papelera y sus indicadores. Por ejemplo la situación de las industrias papeleras que supuestamente explotan el territorio nacional, pero que se defienden manifestando que los cultivos de árboles se encuentran sobre un territorio antes infértil, caso sobre el cual se han tenido muchas diferencias y discusiones con personas que defienden los bosques. En muchas ocasiones de este tipo de conflictos

han surgido situaciones problemáticas que afectan en gran medida la producción de Pulpa de Fibra de madera y por ende la producción de Papel, incluido el papel para Imprenta y Escritura que se expone a lo largo de la investigación.

Además, en el territorio nacional se prevé una situación complicada para las industrias papeleras que elaboran productos utilizando en mayor proporción la Pulpa de Bagazo de Caña, pues precisamente en pocos años el bagazo de caña será muy difícil de gestionar para la industria papelera, debido a que se le están encontrando muchas formas de reutilizarlo en los mismos ingenios azucareros, en actividades como la cogeneración de energía (Generación de energía eléctrica, mecánica y térmica).

Aunque se mencionó en la presentación del caso, el modelo desarrollado no incluye elementos asociados a los indicadores ambientales que se ven afectados por la producción de papel de acuerdo con las diferentes materias primas que se pueden utilizar. Sería muy interesante para futuros trabajos, realizar estas consideraciones ambientales en el modelo, lo cual permitiría una mirada más holística de la situación.

También sería muy interesante considerar fuentes alternas de materias primas, debido al agotamiento mencionado del bagazo de caña, o realizar un estudio que contemple los dos eslabones de la cadena en relación con el impacto ambiental asociado a la utilización del bagazo en la producción de papel, versus su utilización en la cogeneración de energía por parte del ingenio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] D. S. Rogers and R. Tibben-lembeke, "An examination of reverse logistics practices," *Journal of Business*, vol. 22, no. 2, pp. 129-148, 2001.
- [2] R. A. Gómez Montoya, "Logística inversa un proceso de impacto ambiental y productividad," *Producción + Limpia*, 2010. [Online]. Available: <http://www.lasallista.edu.co/fxcu/media/pdf/RevistaLimpia/vol5n2/63-76.pdf>.
- [3] A. Victoria, G. Salinas, and J. C. Osorio, "Análisis del impacto del uso de materia prima reciclada en la gestión de inventarios mediante dinámica de sistemas en una industria vidriera del Valle del Cauca," in *IX Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas, II Congreso Brasileño de Dinámica de Sistemas*, 2011.

- [4] N. Monroy and M. C. Ahumada, “Logística Reversa: Retos para la Ingeniería Industrial,” *Revista de Ingeniería, Universidad de los Andes, Colombia*, vol. 23, pp. 23-33, 2006.
- [5] LOGyCA, “Carvajal Pulpa y Papel; hacia la excelencia logística- Consultoría Plan de Desarrollo Logístico,” 2011.
- [6] ANDI-Asociación Nacional de Empresarios de Colombia, “Estadísticas Cámara Industria Pulpa, Papel y Cartón,” 2010. [Online]. Available: www.andi.com.co/pages/proyectos_paginas/proyectos_detail.aspx?pro_id=43&Id=15&clase=8&Tipo=2. [Accessed: 29-Oct-2012].
- [7] Ventana Systems Inc., “Análisis de sensibilidad,” in *Guía del Usuario de Vensim*, no. c, Traducido al español con autorización por Juan Martín García, 2007, p. 23.



www.dinamica-de-sistemas.com

Libros

Cursos Online



[Ejercicios](#)



[Curso Básico Intensivo en Dinámica de Sistemas](#)



[Avanzado](#)



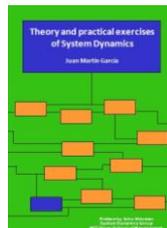
[Curso Superior en creación de modelos de simulación](#)



[Conceptos](#)



[Modelos de simulación en ecología y medioambiente](#)



[English](#)



[Planificación de empresas con modelos de simulación](#)



[Português](#)



[System Thinking aplicado al Project Management](#)