

## IMPACTO DEL MATERIAL RECICLADO EN LOS INVENTARIOS DE MATERIAS PRIMAS DE UNA EMPRESA MANUFACTURERA

GUILLERMO ANTONIO SALINAS LÓPEZ<sup>\*</sup>  
ANTHONY VICTORIA MORENO<sup>\*\*</sup>  
JUAN CARLOS OSORIO GÓMEZ<sup>\*\*\*</sup>

### RESUMEN

En el presente trabajo, se diseña un modelo de dinámica de sistemas, que junto con algunos indicadores de gestión, se usan para dimensionar el impacto del uso del material reciclado en una industria. Lo anterior, con el fin de proveer mejores elementos en la toma de decisiones sobre la gestión de las existencias de materias primas. Para esto se hace una revisión de los principales elementos que inciden en el esquema productivo de una empresa caso de estudio, con la cual se obtiene, una caracterización de la industria y posterior configuración de la estructura y las relaciones del sistema, para modelar y simular utilizando el *software* Vensim DSS. A partir de dichas simulaciones, se revisa el comportamiento del sistema, así como las variaciones que presenta, ante diferentes escenarios y cambios en sus parámetros más relevantes. Al final, se obtiene un modelo que ilustra el comportamiento de los niveles de inventario de distintos tipos de materiales, así como los valores de algunos indicadores logísticos y energéticos, que revelan el importante trabajo por realizar, en materia de reciclaje en la región del Valle del Cauca y Colombia en general.

PALABRAS CLAVES: dinámica de sistemas; simulación; logística de reversa; materias primas.

---

<sup>\*</sup> Ingeniero industrial, Universidad del Valle, Escuela de Ingeniería Industrial. Cali, Colombia.  
Correo electrónico: guillermo.salinas@correounivalle.edu.co

<sup>\*\*</sup> Ingeniero industrial, Universidad del Valle, Escuela de Ingeniería Industrial. Cali, Colombia.  
Correo electrónico: anthonyvm123@hotmail.com

<sup>\*\*\*</sup> Ingeniero industrial, MSc. Profesor Titular, Universidad del Valle, Escuela de Ingeniería Industrial. Cali, Colombia.  
Correo electrónico: juan.osorio@correounivalle.edu.co.

#### Historia artículo

Artículo recibido 10-V-2012

Aprobado 16-V-2013

Discusión abierta hasta 01-VI-2014

## IMPACT OF RECYCLED MATERIAL ON INVENTORIES OF RAW MATERIALS OF A MANUFACTURING COMPANY

### ABSTRACT

In this paper, a system dynamics model is designed. This model, together with some management indicators is used to measure the impact of recycled material in an industry. This, in order to provide best elements in decision making process related to the management of raw materials stocks. For this purpose, a review of the main elements that influence the production plan of a business case study is performed. Thus, a characterization of the industry and subsequent configuration of the structure and relationships of the system is obtained, in order to model and simulate using the software Vensim DSS. From these simulations, a review and analysis of the system behavior, as well as variations proposed, in different scenarios and changes in relevant parameters, is executed. At the end, a model that illustrates the behavior of inventory levels of different types of materials as well as the values of some logistics and energy indicators is obtained, revealing the important work ahead in recycling on the region of Valle del Cauca, Colombia.

KEY WORDS: system dynamics; simulation; reverse logistics; raw materials.

## IMPACTO DO MATERIAL RECICLADO NOS ESTOQUES DE MATÉRIAS-PRIMAS DE UMA EMPRESA MANUFATUREIRA

### RESUMO

No presente trabalho, desenha-se um modelo de dinâmica de sistemas, que junto com alguns indicadores de gestão, se usam para dimensionar o impacto do uso do material reciclado numa indústria. O anterior, com o fim de prover melhores elementos na tomada de decisões sobre a gestão das existências de matérias primas. Para isto se faz uma revisão dos principais elementos que incidem no esquema produtivo de uma empresa caso de estudo, com a qual se obtém, uma caracterização da indústria e posterior configuração da estrutura e as relações do sistema, para modelar e simular utilizando o software Vensim DSS. A partir de ditas simulações, revisa-se o comportamento do sistema, bem como as variações que apresenta, ante diferentes palcos e mudanças em seus parâmetros mais relevantes. Ao final, obtém-se um modelo que ilustra o comportamento dos níveis de inventario de diferentes tipos de materiais, bem como os valores de alguns indicadores logísticos e energéticos, que revelam o importante trabalho por realizar, em matéria de reciclação na região do Vale do Cauca e Colômbia em general.

PALAVRAS-CÓDIGO: dinâmica de sistemas; simulação; logística reversa; matérias-primas.

### 1. INTRODUCCIÓN

Algunas empresas, tales como la industria del vidrio, tienen la ventaja de que sus productos son ciento por ciento reciclables y pueden en cierta medida suplir sus necesidades de materias primas originales, pero también es cierto que el flujo inverso de estos productos acarrea una serie de costos (Logožar et al., 2006) y elementos tales como la incertidumbre que dificultan su planeación y adquisición (Karavezyris et al., 2002). De hecho, una de las principales dificultades asociadas a la logística inversa es el grado de

incertidumbre en cuanto al tiempo, cantidad y calidad de los productos a retornar, lo cual se ve reflejado en sistemas de información más costosos y problemas a la hora de planear con ellos (Brito y Van der Lann, 2007).

El flujo de retorno de materiales reciclados, determinará en gran medida la disponibilidad que tenga la empresa de hacer uso de la materia prima y así mismo, el efecto asociado a la fabricación del producto; así, una empresa deberá cambiar las proporciones de materia prima con respecto a la reciclada para poder satisfacer la demanda y los requerimientos de los clientes en cuanto a calidad



del producto se refiere. Otra implicación de conocer el flujo de retorno del producto reciclado es el impacto que tendría éste en el manejo de inventarios de materia prima, la cual en muchas ocasiones, resulta ser más costosa que la reciclada.

La dinámica de sistemas es una importante herramienta de simulación que permite estudiar el comportamiento de un sistema en el tiempo, al considerar los elementos que lo componen y las interrelaciones presentes entre dichos elementos. Este artículo se organiza como sigue: un capítulo donde se presenta la revisión del estado del arte más importante relacionado con la temática, siguiendo con el desarrollo de un caso aplicado donde se evalúa a través de la dinámica de sistemas, el efecto de la recirculación de materias primas en el estado de los inventarios y algunos indicadores importantes en la sostenibilidad, tales como el consumo energético en una empresa productora de envases de vidrio, finalmente, las conclusiones y recomendaciones con respecto al estudio realizado.

## 2. REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE.

En la literatura existen pocos trabajos que traten el tema de la logística reversiva con dinámica de sistemas, sin embargo es importante mencionar a Nativi y Lee (2012) quienes presentan un trabajo en el cual consideran el uso de material reciclado en el proceso logístico, y a partir de la modelación matemática evalúan el impacto del uso de este material en indicadores ambientales y económicos. Por otra parte, Poles (2013) presenta un modelo de dinámica de sistemas para un proceso de manufactura con logística de reversa enfocándose en la capacidad de planeación del sistema y el efecto del lead time. Ozbayrak et al. (2007) presentan un modelo de dinámica de sistemas para un sistema de manufactura en el cual evalúan una gran cantidad de escenarios enfocados en indicadores tales como el trabajo en proceso (WIP), la satisfacción del cliente y los niveles de inventarios. Georgiadis y Vlachos (2004) presentan un modelo de dinámica de sistemas para representar un sistema de logística reversiva que incluye productos remanufacturados. Analizan además la influencia de aspectos tales como la imagen verde y las políticas ambientales proteccionistas. Por otro lado, Prahinski y Kocabasoglu (2006) presentan un trabajo en el cual destacan algunos aspectos que deben ser considerados en las investigaciones sobre logística reversiva, tales

como los relacionados con los niveles de inventarios. Otros trabajos que vale la pena mencionar son Gutiérrez y León (2012), Georgiadis y Besiou (2008), De Marco et al (2012), Choiet al (2012), Besiou et al (2012). Si bien, no son muchos los trabajos, estos coinciden en la importancia de abordar los sistemas de logística de reversa y el tema de los indicadores de inventarios como uno de los más importantes a la hora de realizar los estudios.

Adicionalmente, las aplicaciones empresariales de la dinámica de sistemas han ido creciendo en los últimos años, y en particular los trabajos de Georgiadis et al (2005), Suryani et al (2010), Fan et al (2010), Campuzano et al (2010), Kumar y Nigmatullin (2011), Ozguven y Ozbay (2011) y De Marco et al (2011) presentan recientes aplicaciones en el campo de la logística y la gestión de la cadena de suministro.

## 3. DESCRIPCIÓN DEL CASO

El objetivo es analizar y medir el impacto del uso de material reciclado en la industria vidriera, haciendo un especial énfasis en la tasa de retorno de dicho material y su incidencia en demás factores tales como: órdenes de compra de materias primas (diferentes al material de reciclaje), nivel de inventarios tanto de materias primas como de producto reciclado y composición final del producto, es decir la fórmula del vidrio.

Para este caso, se trabajó con datos provenientes de las personas encargadas del área de aprovisionamiento y materiales, de una empresa productora de envases de vidrio del país, además de informes anuales de reciclaje de la misma empresa. La empresa cuenta con dos plantas, sin embargo se modeló con base a la más grande, que se ubica en el centro del país.

El vidrio reciclado que ingresa al sistema, posee tres fuentes principales: recirculación por defectos e ineficiencias del proceso productivo, que representa en promedio el 16% del total, envases retornados por los clientes que tienen una participación de aproximadamente el 9% y el 85% restante, corresponde al reciclaje informal.

La empresa procesa aproximadamente 9,290 toneladas de material y aproximadamente 21 millones de envases mensualmente.

Todo el conjunto de elementos y factores que están presentes en la industria vidriera se relacionan

de manera interdependiente y algunos de ellos tienen en cuenta variables de tipo cualitativo y cuantitativo, lo cual hace que el sistema adquiera cierto grado de complejidad, razón por la cual es necesario utilizar una herramienta que permita involucrar el efecto no sólo de los elementos sino de sus relaciones y la retroalimentación presente, tal como la dinámica de sistemas (Sterman (2000), Aracil (1995)).

Para esto, se presenta a continuación la caracterización del sistema y mediante el uso del software Vensim DSS se realiza la simulación dinámica que permitirá realizar el estudio planteado para finalmente analizar los principales indicadores que se definirán más adelante.

### 3.1 CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA

La industria en la cual se realiza el estudio posee una estructura compuesta por un conjunto de elementos que comprenden los procesos de recolección, acopio, beneficio, y procesamiento de vidrio, específicamente para la fabricación de envases.

En primer lugar se encuentra la “fuente de material reciclado”, la cual es alimentada por tres elementos que son: vidrio roto vendido por los clientes o devoluciones, vidrio producto de la cadena de reciclaje, y el vidrio reprocesado o recirculado dentro del mismo proceso.

Esta fuente alimenta los centros de acopio de la compañía que se encuentran en distintos lugares del país, en estos centros se almacena el casco (vidrio reciclado) y se envía de acuerdo a la cercanía o menor costo de fletes a cada una de las dos plantas procesadoras de vidrio.

La empresa, en su conjunto, opera con dos sistemas para tratar el vidrio reciclado proveniente de las fuentes anteriormente mencionadas, uno de ellos involucra un tratamiento o beneficio tercerizado, y el otro es realizado por la misma empresa, para este estudio se va a tratar de manera híbrida y se investigará si existe alguna incidencia de este hecho en la producción con material reciclado. Es así entonces, que los centros de acopio alimentan a estos dos sistemas de beneficio del vidrio, los cuales a su vez alimentarán en conjunto al inventario de vidrio reciclado. Vale la pena resaltar que el inventario de vidrio reciclado se distribuye entre las dos plantas procesadoras de vidrio, y es en éstas donde se encuentra el inventario efectivo, a partir del cual se deriva el proceso de planeación de la producción.

Por otra parte, para la producción de vidrio se requieren materias primas tales como: Sílice, carbonato de sodio, dolomita, bórax, hierro, bromo, entre otras. La adquisición de éstas se hace por medio del departamento de compras de la empresa, siguiendo por supuesto las políticas de inventario planteadas por el equipo de planeación y logística. Todos estos componentes conforman el inventario de materia prima.

Lo anterior integra el primero de los elementos fundamentales del sistema, el nivel de inventario de materia prima y material reciclado. Ambas corrientes convergen en la fórmula de producción, la cual establece la proporción de uso de cada uno de los componentes, pero que a su vez, está condicionada por los niveles de inventario de ambos tipos de materia. Un elemento que vale la pena anotar aquí, es que por la anterior condición, también puede existir una relación directa entre los dos tipos de materias que condicionen una a la otra de acuerdo a su comportamiento.

Es de resaltar en esta parte, un aspecto bastante importante ligado al material reciclado, y es el problema asociado al grado de incertidumbre en la recolección del mismo, debido a que en la región, todavía obedece a un tipo de actividad sustentada en el reciclaje informal y poco tecnificado y no a una actividad empresarial especializada. En relación a lo anterior, la empresa caso de estudio, maneja una política de recibir todo el material reciclado que se oferte por parte de los recicladores, al precio que ella misma ha establecido.

Como se menciona anteriormente, los componentes de materias primas y material reciclado, convergen en la fórmula de producción. En este mismo punto, otros elementos entran a jugar con la misma y el proceso como tal, un ejemplo son las especificaciones de calidad de los clientes, que pueden hacer que los valores de las proporciones en la fórmula varíen o posean algún tipo de restricción. A partir de lo anterior se deriva la planeación de la producción y que, en conjunto con la demanda, afecta otro de los elementos de interés en el estudio, el nivel de inventario de producto terminado, el cual puede estar a su vez, condicionado por las políticas de inventario de la empresa o las proyecciones de demanda, pero principalmente por el flujo de salida o ventas del producto terminado.



Los autores son conscientes, que algunos otros elementos, tanto exógenos como endógenos a la empresa, pueden afectar en alguna medida el desempeño de todo el sistema, algunos de ellos pueden ser: eficiencias del proceso productivo, paradas y mantenimientos, descuentos ofrecidos por proveedores, volatilidad en los precios internacionales de los materiales, ritmo de consumo y entorno económico, etc. Aunque no han sido tenidos en cuenta para este estudio, se considera que los aquí trabajados para el modelo, ofrecen una aproximación que permite estudiar el comportamiento objeto de la investigación. Opinión que compartió el personal encargado del área relacionada con materiales, de la empresa caso de estudio.

### 3.2 DIAGRAMA CAUSAL

A partir de la caracterización descrita anteriormente, se ha podido construir un diagrama causal, el cual no es más que la representación gráfica de los componentes o elementos del sistema y la relación que existe entre cada uno de ellos, al igual que su polaridad.

Este se muestra en la *Figura 1*. En él se identifican 4 bucles principales los cuales son:

**Bucle de beneficio del casco:** Representa la cantidad de casco que será beneficiado de manera interna y externa y que llegará al inventario de casco beneficiado que a su vez se alterará a partir de la información dada por la proporción de casco que se utilizará en la fórmula de producción.

**Bucle de producción de envases:** Representa la cantidad de envases que deben ser producidos, para mantener un inventario de producto terminado que en últimas se encargará de satisfacer la demanda con unos parámetros de un nivel de servicio correspondiente.

**Bucle de materias primas:** Representa la cantidad de materias primas que debe ser comprada a los proveedores según la proporción de casco que será utilizado en la fórmula de producción, y este a su vez está determinado por las especificaciones que los clientes exigen.

**Bucle de retorno del casco:** Muestra como el vidrio que fue liberado por la empresa regresa al esquema productivo de la misma; por un lado por medio del reproceso externo e interno representado en las

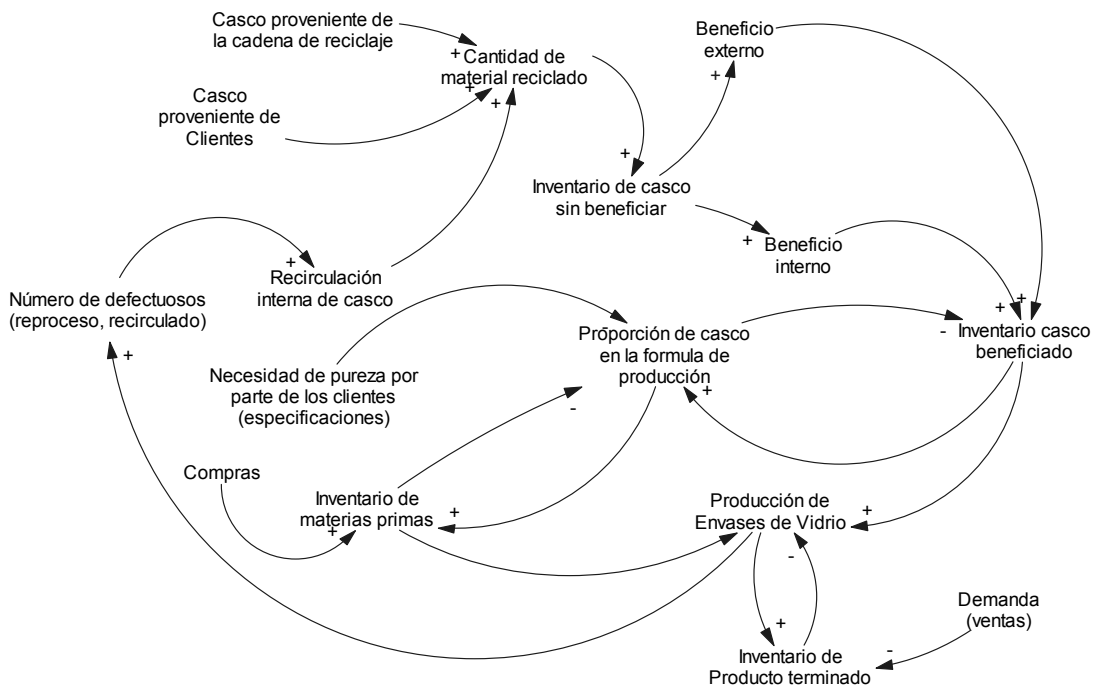


Figura 1. Diagrama Causal del sistema caso de estudio



devoluciones y el producto defectuoso respectivamente, y por otro la cadena de reciclaje.

Con base en el diagrama causal presentado y los elementos anteriormente descritos, se procedió a diseñar un modelo de dinámica de sistemas para realizar el proceso de simulación, este se representó mediante un diagrama de Forrester que muestra la interacción dinámica del sistema estudiado, y permite asemejarse a la situación real a la que se enfrentan las empresas. Este se muestra en la *Figura 2*. Se presentan en detalle las variables de nivel consideradas en este modelo.

**Inventario de Producto terminado:** Se define como la diferencia entre la producción de envases y las ventas. El valor inicial se obtuvo a partir de datos suministrados por la empresa.

**Inventario de casco Beneficiado:** Se define como la diferencia entre el beneficio de vidrio reciclado y los requerimientos de casco. El valor inicial se obtuvo a partir de datos suministrados por la persona encargada de la recolección de vidrio a nivel nacional.

**Inventario de Materias Primas:** Se define como la diferencia entre las compras y los requerimientos de materias primas. Igual que con las dos variables

de nivel anteriores, el valor inicial se obtuvo a partir de un estimado suministrado por la empresa.

**Inventario de Casco sin beneficiar:** Se define como la diferencia entre la tasa de retorno de material reciclado y las dos salidas de beneficio tanto interno como externo. Al igual que con los otros niveles, el valor inicial se obtuvo a partir de valores estimados y suministrados por la empresa.

#### 4. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

Para las simulaciones se ha optado por trabajar en forma mensual, principalmente por ser esta la base de los datos originales. La simulación comienza en el mes uno y finaliza en el mes sesenta, es decir que se simulan cinco años.

La *figura 3* muestra el comportamiento del principal inventario del modelo, en ella se puede apreciar que presenta comportamientos cíclicos con el particular patrón de diente de sierra para un sistema de revisión continua (s, S).

En las *figuras 4 y 5*, se muestran los gráficos arrojados por Vensim® para las variables de nivel

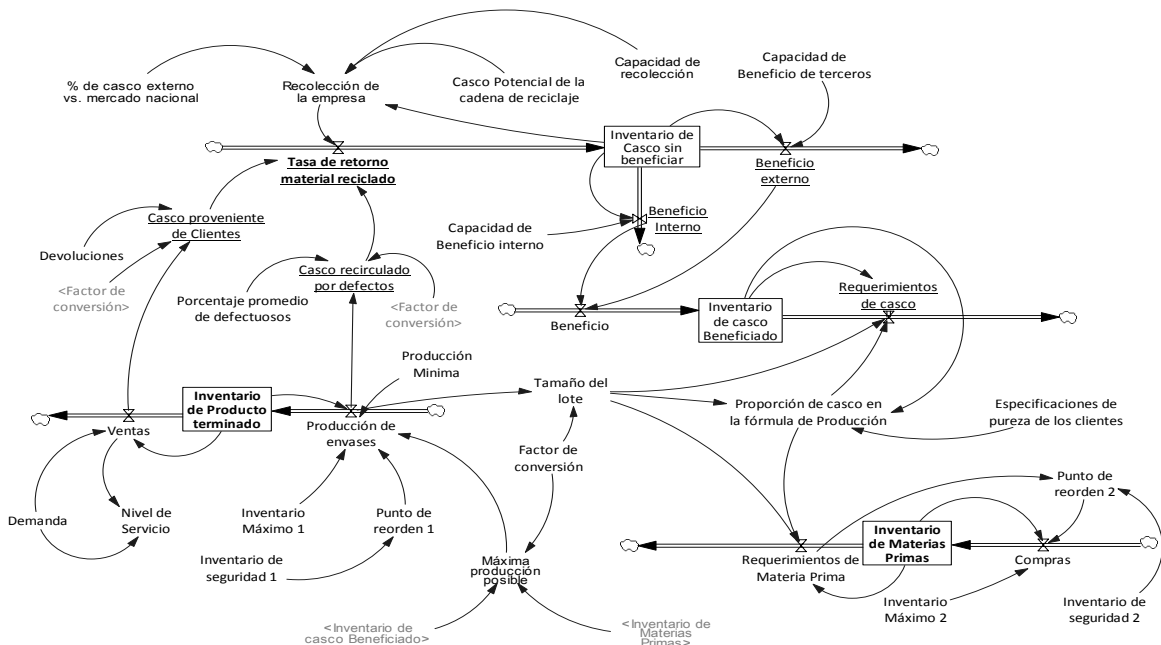
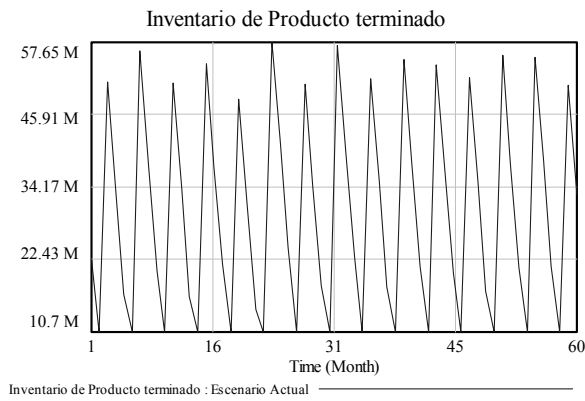
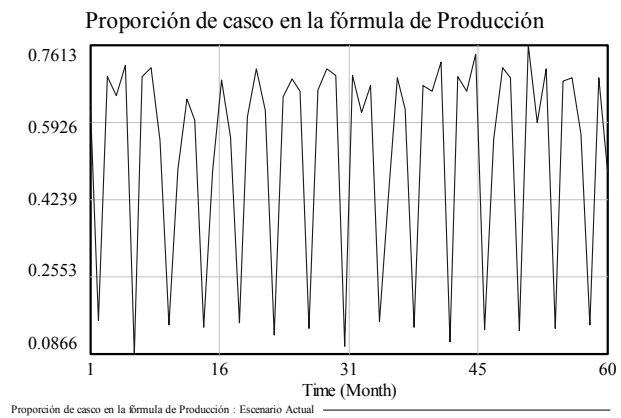


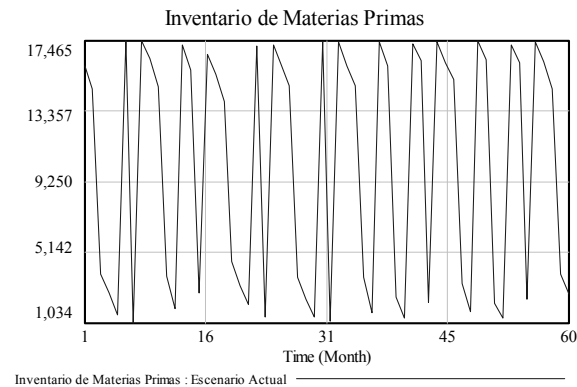
Figura 2. Diagrama de Forrester del sistema caso de estudio



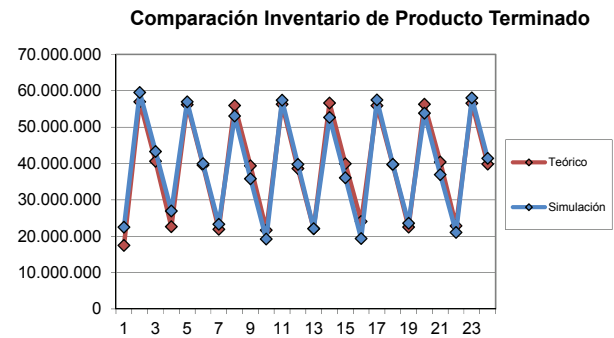
**Figura 3.** Comportamiento del inventario de producto terminado durante los 60 meses simulados (Vensim)



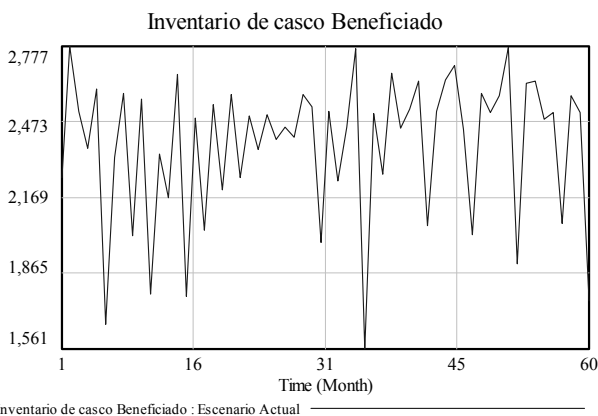
**Figura 6.** Proporción de casco en la fórmula de producción



**Figura 4.** Comportamiento del inventario de materias primas durante los 60 meses simulados (Vensim)



**Figura 7.** Comparación del comportamiento del inventario de producto terminado simulado con el teórico



**Figura 5.** Comportamiento del inventario de casco beneficiado durante los 60 meses simulados (Vensim)

de inventario de materias primas y para el casco beneficiado, las cuales representan, las dos fuentes de aprovisionamiento para el esquema productivo.

Se observa que el inventario de materias primas, para el cual existe una planeación, posee también el patrón diente de sierra, mientras que el de casco beneficiado, presenta un comportamiento cíclico pero un poco más errático, precisamente por la incertidumbre asociada a la recolección y procesamiento del mismo.

Otro de los elementos importantes en el estudio, es el de la proporción de casco en la fórmula de producción. La variación de este parámetro es importante porque significa el uso del material reciclado y determina los ahorros de materias primas.

Esta variable obtuvo en la simulación, un valor mínimo de 8,66% y un valor máximo de 76,13%, con una media de 51,87% y desviación estándar de 23,0%. Como se puede concluir a partir de las estadísticas, la proporción del casco se comporta en forma muy variable y está lejos, del 78%

Adicionalmente, en la figura 7 se presenta la comparación entre el resultado de la simulación y el comportamiento real de dicho inventario según los datos históricos, con lo cual se valida el modelo y se demuestra que el comportamiento reflejado por él corresponde con el comportamiento. Este elemento es fundamental dado que garantiza la utilidad del modelo para el estudio de políticas y análisis de escenarios.

## 5. INDICADORES DE GESTIÓN

Para la revisión de los resultados y escenarios provenientes de la simulación del modelo de dinámica de sistemas propuesto, se definieron una serie de indicadores con el fin de medir el impacto que tiene uso del material reciclado en la gestión de los inventarios de la industria. Estos indicadores son la base para la evaluación de las medidas o políticas que se puedan adoptar, además de dimensionar la problemática de estudio.

Para lo anterior, se establecieron tres escenarios para el modelo, en los que varía la proporción de casco en la fórmula de producción; en primera instancia se encuentra el porcentaje utilizado actualmente en la industria que es el 48% que se denominará escenario actual y es el que arroja el modelo originalmente, por otro lado se encuentra el escenario meta con un porcentaje del 58%, el cual pertenece a un propósito de la compañía a mediano plazo, y por último el escenario ideal que sería de un 68% aproximadamente y corresponde al deseo de la industria a largo plazo.

Para variar la proporción de casco en la fórmula de producción, siendo esta una salida del modelo, y a partir de esto establecer los escenarios meta e ideal, fue necesario determinar las variables que eran determinantes en la tasa analizada, por medio de un análisis interno de sensibilidad, para lo cual se encontró la capacidad de recolección como la más influyente, y asociadas a esta las capacidades de beneficio interno y externo. A partir de este análisis se decidió entonces aumentar

las capacidades de beneficio interno y externo, para obtener los porcentajes asociados a cada escenario.

En primera instancia se han seleccionado algunos indicadores correspondientes a la parte logística que contemplan los aspectos de inventarios y almacenamiento, estos tienen como objetivo medir las variables relacionadas con el nivel de los inventarios y la utilización de los espacios de almacenamiento. Los indicadores se calcularon para un periodo de cinco años de evaluación dividido en intervalos mensuales, al igual que la validación y por ende las simulaciones y la modelación del sistema. A continuación se muestran los indicadores utilizados con su correspondiente análisis:

### 5.1 INVENTARIOS

Índice de rotación del inventario: Proporción entre las ventas y las existencias promedio, indica el número de veces que el capital invertido se recupera a través de las ventas.

$$\frac{\text{Ventas acumuladas}}{\text{Inventario promedio}}$$

Generalmente es recomendable tener un índice de rotación elevado, sin embargo se debe ser cuidadoso en cómo afecta esto al nivel de servicio. El índice de rotación del inventario proveniente del modelo caso de estudio, se determinó a partir de las ventas promedio y el inventario promedio del producto terminado, durante las correspondientes simulaciones, lo que se podrá ver a continuación:

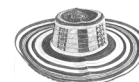
*Escenario Actual*

$$\frac{25.663.435 \text{ Envases}}{39.051.011 \text{ Envases}} = 0,66$$

Lo cual se puede entender como las veces que rota el inventario en el periodo en cuestión, en otras palabras el inventario de producto terminado, en promedio es renovado cada 0,66 veces por mes o lo que es lo mismo cada 45.4 días.

Tanto en el escenario meta como en el ideal, este indicador arroja un resultado muy aproximado, por lo cual se ha omitido colocarlos. Lo anterior obedece principalmente a que a pesar de que cambiaron los valores





de vidrio reciclado, las ventas y la política de inventario de producto terminado se mantienen estables.

## 5.2 LOGÍSTICA REVERSIVA Y ALMACENAMIENTO

**Costos de almacenamiento por envase de producto terminado:** Indicador que mide el costo por cada envase almacenado en la industria en un periodo específico de tiempo.

$$\frac{\text{Costo de almacenamiento de producto terminado}}{\text{Envases promedio almacenados}}$$

Sirve para establecer el costo por envase almacenado.

*Escenario Actual*

$$\frac{\$762.811.334}{39.051.011 \text{ Envases}} = \$\text{COP } 19,53/\text{Envase}$$

*Escenario Meta*

Gracias a un aumento de aproximadamente 10 puntos en el porcentaje de casco en la fórmula de producción, se logra reducir en casi un 10% el costo del envase, según información brindada por la coordinadora de reciclaje de la industria analizada. Teniendo en cuenta esto el indicador se modifica de la siguiente manera:

$$\frac{\$704.334.088}{40.063.725 \text{ Envases}} = \$\text{COP } 17,58/\text{Envase}$$

*Escenario Ideal*

Para el escenario ideal, con un porcentaje de 68% de casco en la fórmula se logra una reducción del 17% en el costo del envase, según información brindada por la coordinadora de reciclaje de la industria analizada, por lo cual el indicador cambia de la siguiente manera:

$$\frac{\$650.069.898}{40.095.635 \text{ Envases}} = \$\text{COP } 16,21/\text{Envase}$$

**Costos de almacenamiento por tonelada de materia prima:** Indicador que mide el costo por cada tonelada de materia prima almacenada en la industria sin incluir el casco, en un periodo específico de tiempo.

Costo de almacenamiento de materias primas

*toneladas promedio de Materias primas almacenadas*

*Escenario Actual*

$$\frac{\$337.250.995}{9.725 \text{ Ton.}} = (\$ \text{COP } 34.676)/\text{Ton}$$

Este muestra el costo por tonelada de materia prima para el promedio actual que se maneja y representa un punto de partida para comparaciones con el casco. Esta relación aplica para los demás escenarios por lo cual no se colocan al arrojar el mismo resultado, sin embargo es importante resaltar que; el inventario promedio para el escenario actual es de 9.725 toneladas, el del escenario meta es de 8.570 toneladas, y el del ideal es de 8.293 toneladas, y refleja una tendencia decreciente en el volumen y en el costo de mantener inventarios, esto se puede comprobar al analizar los datos de compras de los tres escenarios como se muestra en la tabla 1.

**Tabla 1.** Variaciones en las compras de materias primas

Indicador/ Escenario	Actual	Meta	Ideal
Compras Materias Primas (Toneladas)	378.081	329.838	240.348
Variación con respecto al actual	-	-13%	-36%

Lo anterior muestra que habría menos compras de materia prima a medida que se aumenta el uso del casco en la fórmula de producción, lo que influye considerablemente en los costos totales de almacenamiento, así como los costos operativos dentro del esquema productivo de la industria analizada.

Aunque no se presenta el valor correspondiente, es importante anotar que algunos indicadores asociados a la gestión ambiental, tales como el ahorro energético se ven positivamente influenciados por el aumento de casco en la fórmula de producción, lo cual incrementa el interés por fortalecer el proceso de reciclaje para esta industria.

## 6. CONCLUSIONES

La literatura resalta el papel de la logística reversiva para diferentes tipos de industria en donde se obtienen importantes beneficios de su práctica. Para el caso estudiado, se pudo observar que aunque se es consciente de estos, aún se requieren muchos esfuerzos para desarrollar una mejor forma de aprovechar el reciclaje del vidrio y elevar su reutilización en la industria y fabricación de nuevos envases, debido a que el beneficio es muy bajo con respecto al potencial de vidrio que puede reutilizarse.

A partir del estudio de los elementos más relevantes del esquema productivo de la empresa caso de estudio, se planteó un modelo de dinámica de sistema que tiene la capacidad de representar el comportamiento de diversas variables en un intervalo de tiempo específico, con lo que se pueden establecer medidas para hacer frente a situaciones concretas.

La dinámica de sistemas, como herramienta de simulación, permitió dentro del proyecto poder visualizar los efectos de diferentes decisiones o escenarios y comprobar las interacciones entre los elementos del sistema estudiado, así como poder determinar de manera simultánea, el comportamiento de diferentes variables a lo largo del tiempo.

A partir de distintos escenarios en donde varía la proporción del casco en la fórmula de producción, se pudo percibir la gran incidencia de este dentro de la estructura productiva de la empresa caso de estudio; con esto se puede evidenciar el gran potencial que está por venir si se implementan políticas para aumentar el uso de la materia prima reciclada en búsqueda de las grandes ventajas ya evidenciadas.

Es claro que se puede realizar un análisis más profundo, en el cual se involucren demás variables de la empresa y momentos anteriores a la recolección hecha por la empresa. Así mismo, se puede formar un sistema más complejo que abarque a todos los participantes de la cadena de reciclaje del vidrio, sin embargo este no es el alcance del presente estudio y se invita a la realización de trabajos posteriores que permitan ahondar más en el tema.

Adicionalmente, si bien se ha abordado en este trabajo el proceso del vidrio, queda abierta la puerta

para trabajos en otros sistemas manufactureros como el papel y el plástico, que también tienen la combinación de materias primas recicladas y materias primas vírgenes para su desarrollo.

## REFERENCIAS

- Aracil, Javier. *Introducción a la Dinámica de Sistemas*. Madrid: Alianza Universidad Textos. 1992. 398 p.
- Campuzano, Francisco; Mula, Josefa; Peidro, David (2010). "Fuzzy estimations and system dynamics for improving supply chains". *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 161, No 11 (June), pp. 1530-1542.
- Besiou, Maria; Georgiadis, Patroklos; Van Wassenhove, Luk N (2012). "Official recycling and scavengers: Symbiotic or conflicting?". *European Journal of Operational Research*, vol 218, No 2, (April), pp 563-576
- Choi, Kanghwa; Narasimhan, Ram; Kim, SooWook (2012). "Postponement strategy for international transfer of products in a global supply chain: A system dynamics examination", *Journal of Operations Management*, vol 30, No 3, (March), pp. 167-179.
- De Brito, Marisa P; Dekker Rommert (2003). "A framework for Reverse Logistic". *Erasmus University Rotterdam, Report Series Research in Management*.
- De Marco, A; Cagliano, A. C; Nervo, M. L; Rafele, C (2012). "Using System Dynamics to assess the impact of RFID technology on retail operations". *International journal of production economics*, vol 135, No 1, (January), pp. 333-344.
- Díaz, Adenso; Álvarez, María José; González, Pilar. *Logística inversa y medio ambiente. aspectos estratégicos y operativos*. Madrid: McGraw-Hill, 2004
- Fan, C-Y; Fan, P-S; Chang, P-C. (2010) "A system dynamics modeling approach for a military weapon maintenance supply system". *International Journal of Production Economics*, vol. 128, No 2 (December), pp. 457-469.
- Fleischmann, Moritz; Bloemhof-Ruwaard, Jacqueline; Dekker, Rommert; Van der Laan, Erwin; Van Nunen, Jo A. E.E; Van Wassenhove, Luk N (1997). "Quantitative models for reverse logistics: A review". *European Journal of Operational Research*, vol. 103, No 1 (November), pp. 1-17.
- Georgiadis, Patroklos; Vlachos, Dimitrios, (2004). "The effect of environmental parameters on product recovery". *European Journal of Operational Research*, Vol 157, No 2 (September), pp. 449 -464.
- Georgiadis, Patroklos; Besiou, Maria (2008). "Sustainability in electrical and electronic equipment closed-loop supply chains: A SystemDynamics approach". *Journal*



- of *Cleaner Production*, vol 16, No 15 (October), pp. 1665-1678.
- Georgiadis, Patroklos; Vlachos, Dimitrios; Iakovou, Eleftherios (2005). "A system dynamics modeling framework for the strategic supply chain management of food chains". *Journal of Food Engineering*, vol. 70, No 3 (October), pp. 351-364.
- Gutierrez, María de los M; Leone, Horacio P (2012). "An environment for developing distributed and executable Enterprise models", *Advances in engineering software*, vol 47, No 1 (May), pp 80-103.
- Kumar, Sameer; Nigmatullin Anvar (2011). "A system dynamics analysis of food supply chains – Case study with non-perishable products". *Simulation Modelling Practice and Theory*, vol. 19, No 10 (November), pp. 2151-2168.
- Nativi, Juan José y Lee, Seokcheon (2012). "Impact of RFID information-sharing strategies on a decentralized supply chain with reverse logistics operations". *International Journal of Production Economics*, vol 136, No 2 (April), pp. 366 – 377.
- Ozbayrak, Mustafa; Papadopoulou, Theopisti; Akgun, Melek (2007). "Systems dynamics modeling of a manufacturing supply chain system". *Simulation Modelling Practice and Theory*, vol. 15, No 10, pp.1338-1355.
- Ozguven, Eren Erman; Ozbay, Kaan (2013). "A secured and efficient inventory management system for disasters". *Transportation Research Part C*, Vol 29, (April), 171 – 196.
- Poles, Roberto (2013). "System Dynamics modelling of a production and inventory system for remanufacturing to evaluate system improvement strategies". *International Journal of Production Economics*, vol 14, No 1 (July), pp. 189 – 199.
- Prahinski, Carol y Kocabasoglu, Canan (2006). "Empirical research opportunities in reverse supply chains". *Omega*. Vol, 34, No 6 (December), pp 519 – 532.
- Sterman, Jhon. D. *Business Dynamics Systems. Thinking and Modeling for a Complex World*. United States of America: McGraw-Hill Higher Education, 2000.
- Soto Zuluaga, Juan Pablo. *Reverse Logistics: Models and applications*. Barcelona: Universitat Pompeu Fabra, Department of Economics and Business, 2005.
- Suryani, Erma; Chou, Shuo-Yan; Hartono, Rudi; Chen, Chih-Hsien (2010). "Demand scenario analysis and planned capacity expansion: A system dynamics framework". *Simulation Modelling Practice and Theory*, vol. 18, No 6 (June), pp. 732-751.