

# Simulación de una Cadena de Abastecimiento

Ma. de Lujan Betria, Luis P. Lara

Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura,  
Universidad Nacional de Rosario, Av. Pellegrini 250 (S2000BPT) Rosario, Argentina  
lujanbetria@hotmail.com; lplara@fceia.unr.edu.ar

**Abstract.** El objetivo de este trabajo es el estudio del comportamiento dinámico del nivel de inventarios en una cadena de abastecimiento con recolección de los ítems utilizados. A través de la Dinámica industrial, se propone un modelo matemático conformado por ecuaciones diferenciales que relacionan los niveles de inventarios y los flujos entre ellos. El modelo constituye una herramienta de simulación experimental que puede ser utilizada bajo diferentes condiciones del sistema.

**Palabras Clave:** Dinámica industrial, Simulación, Cadena de abastecimiento.

## 1 Introducción

Este trabajo presenta el desarrollo de un modelo matemático de una cadena de abastecimiento cerrada. El modelo incluye el canal tradicional constituido por la fábrica, un distribuidor y los clientes; y el canal reverso [5,10] que incluye las actividades de recolección, inspección y remanufactura de los ítems utilizados. Los productos recolectados vuelven a la fábrica a través de este canal reverso. Se considera un único producto. El modelo no considera el reaprovisionamiento de materia prima.

Estas características hacen al modelo especialmente aplicable a casos en que la materia prima constituye un recurso escaso, ya sea por ser no renovable o por cualquier otro factor limitante. El mismo se podría aplicar en la industria de la madera a la fabricación de muebles, en la industria del aluminio a la fabricación de ollas, en la industria del cobre a la fabricación de cables. De hecho, actualmente, diversas empresas de los rubros mencionados alientan a los consumidores, a través de políticas promocionales a canjear su producto usado por uno nuevo. El producto usado se da en parte de pago y la empresa lo remanufactura para su posterior venta.

El objetivo general de este trabajo es analizar el comportamiento dinámico del sistema [3]. El objetivo específico, es estudiar el impacto del canal reverso sobre el canal tradicional, en particular, sobre el comportamiento de los inventarios y sobre el tiempo de agotamiento de la materia prima.

Si bien, el comportamiento de los inventarios, constituye un fenómeno discreto, la descripción del sistema se realizó considerando que los cambios ocurren continuamente.

El modelo constituye una herramienta de simulación experimental, que puede ser utilizada para analizar el comportamiento del sistema bajo diferentes condiciones [9].

La metodología utilizada es la Dinámica Industrial. La dinámica industrial es una metodología de análisis del comportamiento en el tiempo de sistemas organizacionales desarrollada por Jay W. Forrester [6,7] y sus colaboradores en el MIT en la década del 60. Su objetivo es la comprensión y el mejoramiento del desempeño de los sistemas bajo estudio. Esta metodología considera a la empresa como un todo con el fin de percibir todas las interacciones que caracterizan su comportamiento. Identifica las diversas funciones que se llevan a cabo (producción, comercialización, contabilidad, investigación y desarrollo, etc.) como actividades de un sistema; y considera a los trabajadores, materiales, dinero, pedidos, equipos e información como entidades del mismo. La dinámica industrial estudia las características de la retroalimentación de la información en la actividad industrial con el fin de demostrar cómo la estructura, las demoras y las amplificaciones interactúan e influyen en el éxito o fracaso de la empresa.

Los pasos en un estudio de dinámica industrial son los siguientes: identificación del problema y de los objetivos a alcanzar, descripción del sistema, formulación del modelo matemático, simulación, identificación de cambios en el sistema, capacitación e implementación de las nuevas políticas.

El trabajo “The effect of environmental parameters on product recovery” [8] sirvió de base en la elección del tema de investigación. Sus autores, Georgiadis y Vlachos proponen también, un modelo de una cadena de abastecimiento cerrada. Este trabajo incluye severas modificaciones con respecto al citado. En primer lugar, el objeto de estudio es diferente. Como ya se dijo, el objetivo del presente trabajo es el análisis de la influencia del canal reverso sobre el canal tradicional mientras que el objetivo principal de Georgiadis y Vlachos es el estudio de la influencia del canal reverso sobre la demanda.

Por otra parte, el modelo desarrollado incluye muchas diferencias. Las más relevantes son: la demanda es una variable externa (no se ve afectada por la dinámica del sistema), en el canal tradicional se modela el flujo de materiales (desde la fábrica hacia los clientes) y se modela también un flujo de pedidos (desde los clientes hacia la fábrica), y por último, las demoras se modelaron constantes y de primer orden.

Para resolver el sistema de ecuaciones diferenciales que constituye el modelo se utilizó el software *Mathematica*, una herramienta muy poderosa a la hora de construir modelos y realizar simulaciones.

## 2 Descripción del Modelo

El sistema a estudiar es una cadena de abastecimiento cerrada constituida por un canal tradicional y un canal reverso.

La fábrica produce un único ítem que es vendido a un distribuidor. El distribuidor recibe los pedidos de los clientes y luego entrega el producto (canal tradicional). Una vez que el producto cumple su vida útil es recolectado, inspeccionado y re manufacturado. Finalmente el producto re manufacturado ingresa al inventario de productos terminados en fábrica, constituyéndose así un bucle cerrado (canal reverso).

## 2.1 Cursograma

Un cursograma es una representación gráfica de un procedimiento [1]. Para la confección de los mismos se utilizan símbolos y reglas convencionales. Un cursograma detallado complementa a un conjunto de ecuaciones y ayuda a clarificar el modelo.

Un modelo de dinámica industrial contiene variables de nivel y variables de tasa.

Las variables de nivel son las acumulaciones a lo largo del sistema. Por ejemplo: el nivel de inventarios, el nivel de pedidos pendientes, etc. Las tasas definen los flujos entre los niveles y son resultantes de un proceso de toma de decisión.

El cursograma del modelo propuesto se muestra en la Fig.1. Los rectángulos representan los niveles. Las válvulas representan las tasas. Las tasas pueden depender de niveles, de otras tasas o de constantes (representadas por círculos). Las líneas rosas representan el flujo de información.

La parte superior del gráfico corresponde al canal tradicional. En el canal tradicional podemos distinguir dos flujos, el de materiales (líneas sin relleno) y el de pedidos (líneas rellenas). A través del flujo de materiales transitan los productos desde la fábrica al consumidor. Se observan tres variables de nivel: nivel de materias primas (Lrm: level of raw material), nivel de inventarios en fábrica (Li: level of inventory) y nivel de inventarios del distribuidor (Ldi: level of distributor). Este flujo está controlado por pedidos que se desplazan del consumidor a la fábrica.

En el flujo de pedidos se distinguen tres variables de nivel: órdenes pendientes de fabricación, pedidos del distribuidor no satisfechos y pedidos de los clientes no satisfechos.

La parte inferior del gráfico corresponde al canal reverso. Los productos usados son recolectados por la empresa o bien dispuestos por el consumidor. Los productos recolectados son inspeccionados. Los que superan dicha inspección son remanufacturados o bien dispuestos controladamente (sujeto a la capacidad de remanufactura). Finalmente, los productos remanufacturados ingresan al inventario en fábrica de productos terminados.

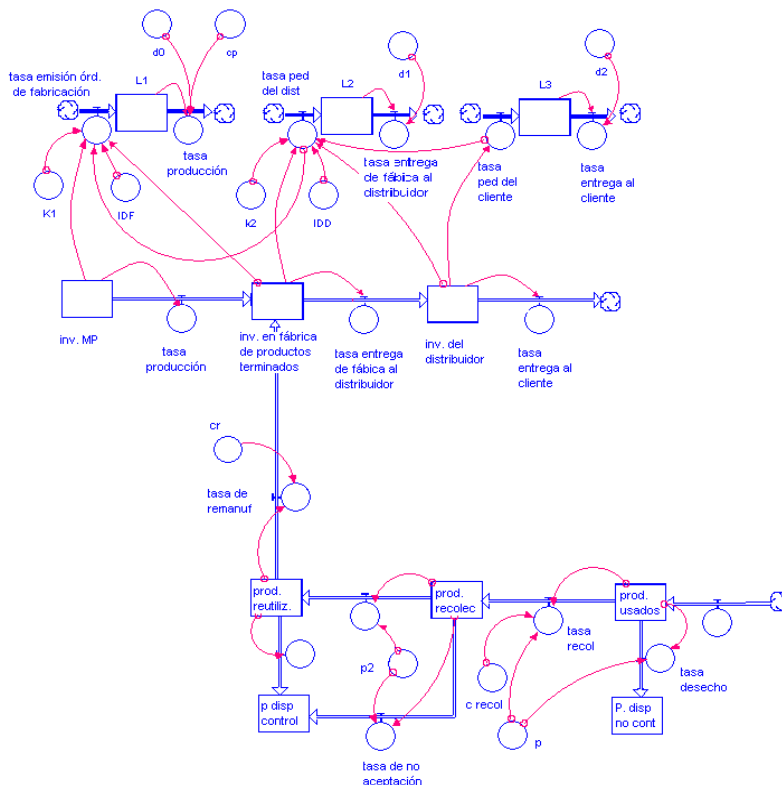


Fig. 1. Cursograma del modelo de una cadena de abastecimiento cerrada.

### 3 Formulación Matemática

#### 3.1 Ecuaciones del Canal Tradicional

$Ldi(t)$  es el nivel de inventarios del distribuidor y queda definido por:

$$\frac{dLdi}{dt} = R_1 - R_2 . \quad (1)$$

donde  $R_1(t)$  es la tasa de entrega de fábrica al distribuidor y  $R_2(t)$  es la tasa de entrega del distribuidor a los clientes.

$$R_1(t) = \begin{cases} 0, & Li(t) \leq 0 \\ \frac{L2(t)}{d_1}, & Li(t) \geq 0 \end{cases} . \quad (2)$$

donde  $Li(t)$  es el nivel de inventarios en fábrica,  $L2(t)$  es el nivel de pedidos pendientes de la fábrica al distribuidor y  $d_1$  es la demora o el tiempo promedio de entrega de fábrica al distribuidor. En este trabajo se utilizan demoras de 1er orden.  $R_1(t)$  va a ser cero si no hay inventarios en fábrica o si no hay pedidos pendientes del distribuidor.

$$R_2(t) = \begin{cases} 0, & Ldi(t) \leq 0 \\ \frac{L3(t)}{d_2}, & Ldi(t) \geq 0 \end{cases} . \quad (3)$$

donde  $L3(t)$  es el nivel de pedidos pendientes de los clientes y  $d_2$  es el tiempo promedio de entrega del distribuidor al cliente.

$Li(t)$ , como ya se dijo, es el nivel de inventarios en fábrica y queda definido por:

$$\frac{dLi}{dt} = R_p + T_2 - R_1 . \quad (4)$$

donde  $R_p(t)$  es la tasa de producción,  $R_1(t)$  como ya se explicó, es la tasa de entrega de fábrica al distribuidor y  $T_2(t)$  es la tasa de remanufactura la cual se define en el canal reverso.

$$R_p(t) = \begin{cases} 0, & Lrm(t) \leq 0 \\ \text{Min} \left\{ \frac{L1(t)}{d_0}; c_p \right\}, & Lrm(t) \geq 0 \end{cases} . \quad (5)$$























