

Modelo predictivo para calcular el costo de la operación logística usando dinámica de sistemas

^a Rubén Esneyder Morales-Barbosa, ^b Santiago Rivera-Sanchez & ^c Andrés Mauricio Zapata-Rincón

^a Analista de Planeación Centralizada. Ingeniero Industrial. Universidad Nacional de Colombia remoralesb@rentingcolombia.com

^b Jefe Nacional de Operaciones Logísticas. Ingeniero Industrial. Universidad Nacional de Colombia. srivera@rentingcolombia.com

^c Analista de Planeación Centralizada. Ingeniero Industrial. Universidad Nacional de Colombia azapatar@rentingcolombia.com

Resumen

La importancia de la industria cementera radica en que el cemento se ha convertido en un insumo fundamental para el desarrollo de un país [1]. Con el objetivo de obtener un modelo predictivo que permita determinar el costo de la operación logística en el sector cementero de Colombia se hace uso de la dinámica de sistemas a través del programa Vensim para primero, entender las causalidades entre las principales variables que intervienen en el entorno y segundo, establecer a través de un diagrama de flujos y niveles realizado en Powersim, cómo se puede tener una visual a un periodo corto de tiempo sobre el costo total de la operación. Como resultado se obtuvo un modelo que predice al 98% de confianza los costos totales de la operación.

Palabras clave: costo; dinámica de sistemas; operación logística

Predictive model to calculate the cost of the logistics operation using system dynamics

Abstract

The importance of the cement industry is based on the fact that cement has become a fundamental input for the development of a country [1]. With the objective of obtaining a predictive model that allows determining the cost of the logistics operation in the Colombian cement sector, system dynamics is used through the Vensim software to first understand the causalities between the main variables that intervene in the environment and second, establish through a flow and level diagram made in Powersim, how you can have a visual to a short period of time on the total cost of the operation. As a result, a model was obtained that predicts 98% of confidence the total costs of the operation.

Keywords: cost; dynamic of systems; logistic operation

1. Introducción

El mercado del cemento en Colombia se caracteriza por ser oligopólico, es decir, es una estructura de mercado en donde existen pocos fabricantes que venden productos relativamente homogéneos [2]. La producción de cemento consiste en una mezcla de arcilla molida y otros materiales calcificados, que luego de un proceso adquieren propiedades adherentes, siendo esta la materia prima más importante para la construcción [1]. El producto final se transporta en vehículos

equipados con tolvas a los centros de distribución o directamente al cliente final [3].

En este documento se encuentran los resultados obtenidos luego de usar la dinámica de sistemas para obtener un modelo que permite predecir estos valores.

1.1. Dinámica de sistemas

La dinámica de sistemas es una metodología para el análisis y la resolución de problemas, en la que cualquier aspecto del mundo se define como la interacción causal entre atributos que lo describen. De esta forma, se

construyen representaciones sistémicas con flechas y puntos, denominadas diagramas causales, que capturan todas las hipótesis propuestas por el modelador, a partir de las cuales se puede aprender del sistema para intervenir sobre él en el ejercicio de toma de decisiones [4].

- **Diagrama causal:** los diagramas causales son una herramienta útil en la dinámica de sistemas, ya que ilustran la estructura de retroalimentación del sistema. Además, sirven como guías para la elaboración y comprensión de los modelos [5].
- **Diagrama de flujos y niveles:** El diagrama de flujo es una forma de representar la estructura de un sistema con información más detallada que la utilizada en un diagrama causal. El estado de los niveles es esencial para comprender el comportamiento de un sistema; los flujos son las causas que los hacen cambiar [6].

2. Diagrama causal

Como se mencionó anteriormente, un diagrama causal representa las relaciones de influencia que ocurren entre los elementos de un sistema y, por lo tanto, nos permite conocer su estructura. La relación entre las variables del sistema está representada por una flecha (\rightarrow), en la cual el tipo de relación se indica mediante un signo $+$ o $-$, siendo positivo cuando las variaciones entre una variable y la otra están en la misma dirección, y negativo en el caso de variaciones en la dirección opuesta [7].

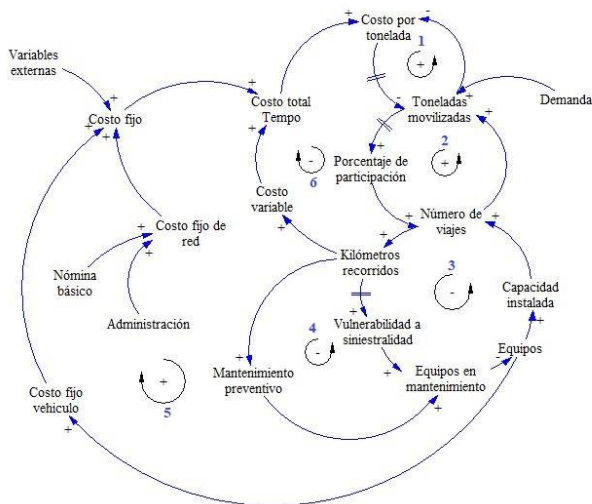


Figura 1. Diagrama causal

La Figura 1 muestra el diagrama para esta operación logística. En el ciclo de refuerzo 1, a más

toneladas movilizadas es menor el costo por tonelada porque el divisor es más grande, y para cerrar el ciclo si se es más costoso, se pierde competitividad en el mercado, por lo cual se tendrá menos toneladas movilizadas a largo plazo.

En el ciclo de refuerzo 2 se observa que a mayor demanda se tendrán mayores toneladas movilizadas, y así mayor porcentaje de participación en el mercado cementero con un retardo ya que no se percibe inmediatamente esa porción de mercado que gana la empresa, si se crece más se tiene mayor número de viajes que se traduce en más toneladas movilizadas al finalizar cada período de análisis.

En el ciclo de balance 3 se muestra que a mayor número de viajes se aumentarán los kilómetros recorridos porque se tendrá más mercado que cubrir, por lo que a más kilómetros recorridos a largo plazo se estará más vulnerable a la siniestralidad, por ende, si ocurren más incidentes viales existirán más vehículos en mantenimiento para sus respectivas reparaciones tanto correctivas como preventivas y esto generará que haya menos vehículos disponibles para realizar entregas. Cuantos más equipos disponibles habrá mayor capacidad instalada que finalmente se refleja en más viajes para la empresa.

Cuando se tienen más viajes (ciclo de balance 4) se recorren más kilómetros por lo que la flota debe ir a mantenimientos preventivos con mayor frecuencia, de darse esto, los equipos en mantenimiento aumentan y se tendrían menos equipos operativos. Por el contrario, y como se mencionó anteriormente, si se tiene mayor número de equipos operativos, existirá mayor disponibilidad para realizar más viajes.

Si leemos el ciclo de refuerzo número 5 se tiene que cuantas más variables externas que afecten la operación y más costo de nómina y/o más de administración, el costo fijo de red se incrementará y por consecuencia aumentará el costo fijo. Si es mayor el costo fijo, el costo total de la operación será mayor, cuando esto sucede la empresa se vuelve más costosa con respecto al mercado por lo cual a largo plazo se tendrá una menor cantidad de toneladas movilizadas que a su vez refleja con un retardo una menor participación en el mercado cementero del país.

Cuando hay mayor participación de mercado siendo competitivos se tendrán más viajes por realizar por lo que incrementarán los kilómetros recorridos, y así existirá más flota en mantenimiento preventivo y menos flota operativa. En caso de tener más vehículos en la operación logística existirán más costos fijos por la cantidad de

equipos disponibles, lo cual se refleja en un incremento del costo fijo para la empresa.

Por último, en el ciclo de balance 6, cuando el total de la operación logística es mayor se tiene un incremento en el costo por tonelada ya que el numerador es más grande, por esto se pierde mercado con respecto a la competencia a largo plazo. Además, si hay mayor participación en el mercado se realizan más viajes, lo que se traduce a tener más kilómetros y los costos variables incrementarán, éste es el punto clave para la empresa porque se margina de los variables que se generen en la operación.

3. Diagrama de flujos y niveles

Según García, en su libro Teoría y ejercicios prácticos de dinámica de sistemas [8], el diagrama de flujo y niveles es una traducción del diagrama causal a una terminología que permite escribir las ecuaciones en computador para validar el modelo, observar la evolución temporal de las variables y hacer análisis de sensibilidad.

Los niveles son aquellos elementos que nos muestran en todo momento la situación del modelo, presentan una acumulación y varían solo dependiendo de otros elementos llamados flujos que son elementos que pueden definirse como funciones temporales. Se puede decir que recopilan las acciones resultantes de las decisiones tomadas en el sistema, determinando las variaciones en los niveles.

Las "variables auxiliares" y las "constantes" son parámetros que permiten una mejor visualización de los aspectos que determinan el comportamiento de los flujos.

3.1. Declaración de variables

Costo fijo

- Variables externas: variables tales como variación en el canon por DTF o variables que se deban considerar por fuera del contrato.
- Costo fijo vehículo: corresponde al valor de los cánones de los cabezotes y los trailers.
- Costo fijo de red: corresponde a
 - Administración (transporte personal, casino, administración parte fija).
 - Nómina básico (nómina de operaciones y nómina

de conductores)

Costo variable

- Descuentos: por consumo de combustible con proveedores del convenio.
- Kilómetros: corresponde a los calculados según el plan granel del mes en estudio.
- Costo variable por kilómetro: parámetro calculado a partir de comportamientos históricos.

Variables externas

- Otros: incluye administración Gravamen Financiero, administración ICA, seguros de vida, salud ocupacional, calidad de vida, bono CES, porcentaje alpha AIU.
- Extraordinarios: incluye variables como devolución por incapacidades, notas créditos, descuentos por proyectos en la operación, cuota de sostenimiento y gastos de viaje.

Costo total: corresponde a la suma del costo fijo, costo variable y los factores como extraordinarios y otros.

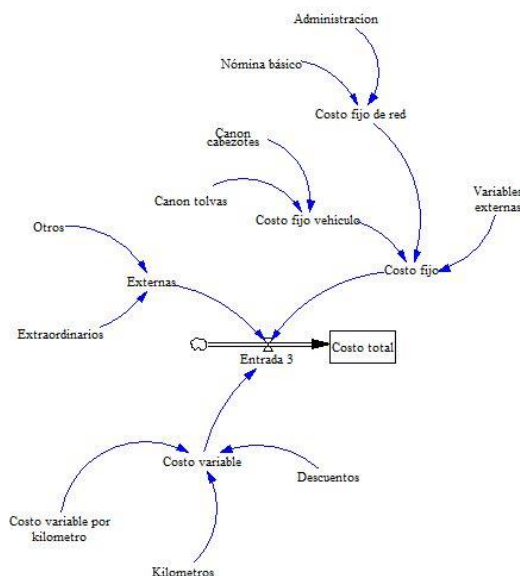


Figura 2. Diagrama de flujos y niveles

Para este diagrama el único nivel es el costo total de la operación logística que es lo que se pretende simular al final del ejercicio y los flujos se dividen en 3 grandes ramas: costos variables, costos fijos y variables externas o exógenas.

Primero, los costos variables dependen del costo variable por kilómetro (se calculó a partir de datos históricos), de la cantidad de kilómetros a recorrer y de los descuentos que se tengan como por ejemplo en el combustible. Por otro lado, los costos fijos dependen de

tres grandes rubros: costo fijo de vehículo, costo fijo de red y variables externas (que corresponden únicamente a costos fijos). En el gráfico en la parte superior se pueden ver los principales ítems tanto del costo fijo de vehículo como del costo fijo de red. Por último, unas variables externas que se pueden dar por requerimiento del cliente o novedades puntuales, como la emergencia sanitaria que se vive en el mundo actualmente.

4. Simulación

Para validar la confianza del modelo se decidió correr los costos de los meses de: marzo, abril, mayo, junio, julio y agosto del 2019 y compararlos con los costos reales que se tuvieron. La desviación es de aproximadamente 2%, lo que refleja que se tiene un modelo que predice al 98% de confianza los costos totales de la operación. En la tabla 1 se encuentran los valores monetarios tanto de la simulación como los valores reales y en el gráfico 3 se puede visualizar la desviación en cada uno de los meses analizados.

Se encontró que el modelo es muy sensible a variaciones en los rubros que no se pueden controlar, es decir, a novedades que afecten o acuerdos comerciales con el cliente, entre otras.

Tabla 1. Resultados de la simulación

Month	Real	Simulation
March	\$ 8.766.580.688	\$ 8.766.620.000
April	\$ 8.552.429.920	\$ 8.589.890.000
May	\$ 8.842.330.972	\$ 9.006.290.000
June	\$ 8.363.253.226	\$ 8.232.150.000
July	\$ 8.789.212.540	\$ 8.715.580.000
August	\$ 8.642.191.759	\$ 8.525.240.000

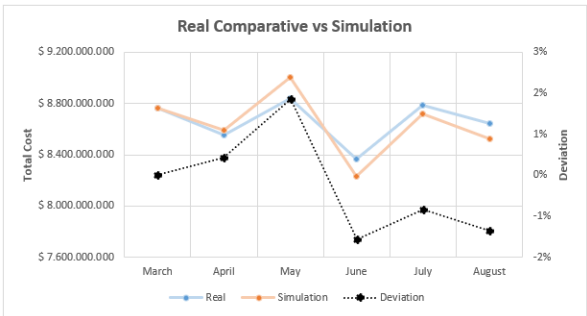


Figura 3. Desviación del modelo

5. Conclusiones

Los resultados de este trabajo permiten visibilizar que el modelo de simulación para predecir los costos de la operación logística es

preciso en un 98% con respecto a los valores obtenidos históricamente, esto permite tomar mejores decisiones con respecto al tamaño de la flota, la programación y el manejo y control de los elementos principales para minimizar los costos improductivos y también maximizar la productividad.

Referencias

[1] Aktiva, «La industria del cemento en Colombia 2016,» 2016.

[2] Portafolio, «El mercado del cemento en Colombia,» *Portafolio*, 3 de marzo de 2009.

[3] S. Montoya, Optimización de una red de transporte del cemento a granel en Colombia, Medellín, 2017.

[4] D. Ibarra y J. Redondo, «Dinámica de sistemas, una herramienta para la educación ambiental en ingeniería,» 27 de noviembre de 2014. [En línea]. Disponible: <http://vip.ucaldas.edu.co/lunazul/index.php/english-version/91-coleccion-articulos-espanol/108-dinamica-de-sistemas>.

[5] S. Jaén, «Ayudas para la elaboración de diagramas causales,» [En línea]. Disponible: <http://aprendeenlinea.udea.edu.co/lms/moodle/file.php/311/Causales.pdf>.

[6] ATC Innova, «Recursos de Vensim,» [En línea] Disponible: <http://atc-innova.com/>.

[7] J. Fernández, Seminario dinámica de sistemas Málaga University

^a **R.E. Morales-Barbosa**, Ingeniero Industrial. Tiene especialización en Gestión Empresarial de la Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia, en 2020. Analista de Planeación Centralizada en Transportempo SAS.

^b **S. Rivera-Sanchez**, Ingeniero Industrial. Tiene especialización en Dirección de Operaciones y Logística en la Universidad Eafit, Medellín, Colombia, en 2017. Gerente de Sostenibilidad en Transportempo SAS.

^c **A.M. Zapata-Rincón**, Ingeniero Industrial. Tiene especialización en Analítica de la Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia, en 2020. Analista de Planeación Centralizada en Transportempo SAS.