

Modelo de simulación de Dinámica de Sistemas en el área comercial y operacional para una empresa de transporte terrestre.

RESUMEN

Las empresas de transporte tienen un rol fundamental en la cadena de suministros y en la producción del país. El servicio entregado por este tipo de empresas es el de transportar desde un punto a otro una determinada carga, considerando el tiempo y lugar con su cliente, de una manera rápida y eficiente. El área comercial y operacional en su proceso de toma de decisiones considera como variables fundamentales: el nivel de flota de camiones lo que corresponde a la -oferta-, la cantidad de kilómetros -demandada-, el control de las operaciones, las ventas, el presupuesto disponible, y las inversiones, entre otras. Utilizando los conceptos de dinámica de sistemas, se desarrolla un modelo general para una empresa de transporte terrestre con algunos casos de estudio. Porque hay algunas empresas cuyas estrategias de decisión son fáciles y rápidas de replicar, dada las características de su actividad y servicios.

En este estudio se obtiene el diagrama causal que presenta la estructura básica de las áreas comercial y operacional, luego se traduce a un diagrama de flujos y de niveles (Forrester, 1961) para hacer el desarrollo en el software Vensim® (García J. M., 2012). Luego, se realiza un análisis de escenarios, y se prueban diferentes estrategias y políticas a través de un proceso de simulación, que permite sustentar las decisiones estratégicas en las áreas respectivas.

SUMMARY

Transportation companies have a key role in the supply chain and production in the country. The service provided by such companies is to transport from one point to another a certain load, considering the time and place with their customer, in a quick and an efficient manner. The commercial and operational area in its decision-making process considers as fundamental variables: the level of truck fleet that corresponds to the -offer-, the amount of kilometers -demand-, the control of operations, sales, available budget, and investments, among others. Using the concepts of system dynamics, a general model for a trucking company with some case studies was developed. These strategic decisions are feasible to replicate, given the nature of the activities and services of these companies.

In this study is obtained the causal diagram showing the basic structure of the commercial and operational areas, then is translated to a flowchart and levels (Forrester, 1961) for development in the Vensim® software (JM Garcia, 2012). Then a scenario analysis is performed, and different strategies and policies are tested through a simulation process that can support strategic decisions in their respective areas.

Keywords: system dynamics, modeling and simulation.

I. INTRODUCCIÓN

En las empresas de transporte y en general en todo tipo de organizaciones, contar con información de calidad es de gran importancia para tomar decisiones estratégicas. En cada momento surgen problemáticas de mayor o menor relevancia las cuales requieren que se tome una decisión sobre aplicar una u otra política. En un mundo donde las empresas están caracterizadas por el dinamismo y la complejidad, se necesitan instrumentos que estén a la altura y ofrezcan información confiable. Con el fin de abordar estas situaciones (Fowler, 2003), los ejecutivos, especialmente los que operan en un nivel estratégico, necesitan herramientas adecuadas para desarrollar los paradigmas de pensamiento y aprendizaje que permitan el logro de una perspectiva más holística y dinámica.

La ingeniería, las ciencias y la tecnología de la información, han jugado un importante rol en esto, donde producto del nacimiento de la Teoría General de Sistemas y de los avances tecnológicos, nace en la década de los 60 en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) con el profesor Jay Forrester (Forrester, 1961) la Dinámica de Sistema. Corresponde a una metodología que permite crear modelos de simulación a partir de una percepción de la realidad basada en el enfoque sistémico, para así obtener información para la toma de decisiones. El enfoque sistémico (Aracil, 1995) (García J. M., 2012) se basa en la relación entre los conceptos de sistemas y teoría de control, conceptos de complejidad, y procesos de negocios. De la teoría de control se utilizan los conceptos de **bucles de retroalimentación o feedback**, es decir, la consecuencia de una determinada acción emitida por un elemento puede repercutir en el mismo elemento, es decir, circularidad en las relaciones causa-consecuencia. Los modelos de simulación (Aracil, 1995) de Dinámica de Sistemas relacionan de forma sencilla, la percepción de la realidad bajo una mirada sistémica, con el comportamiento asociado.

Para aumentar la capacidad de análisis y diagnóstico se debe aplicar una metodología de sistemas holístico. Hay dos enfoques diferentes que se pueden elegir (Papageorgiou, G; Hadjis, A, 2011). La metodología analítico-objetivista se manifiesta en el paradigma econométrico, y el método sistémico evolutivo o cibernético (Aracil, 1995) (García J. M., 2012) se presenta en el paradigma de la dinámica del sistema. Ambos paradigmas son necesarios, porque los problemas en las empresas podrían ser tanto estáticos como dinámicos en la naturaleza. Se necesitan ambos enfoques (Papageorgiou, G; Hadjis, A, 2011), para predicciones realistas a corto plazo, que es el resultado del paradigma de modelos econométricos, así como para los cambios del sistema de mediano-largo plazo, que es el resultado de la dinámica del sistema. Sólo entonces se puede gestionar estratégicamente, y hacer frente de forma proactiva a los cambios en el entorno empresarial, mediante la instauración de un sistema de organización (Beer, 1972), viable, dinámico y homeostático.

II. OBJETO DE LA APLICACIÓN

Se aplica la Dinámica de Sistemas para **empresas de transporte de camiones en Chile**, desarrollando un **modelo del subsistema comercial y operacional**.

El subsistema comercial y operacional es clave para realizar un buen servicio, y al mismo tiempo, para que la empresa tenga finanzas estables. Dicho subsistema abarca entre sus

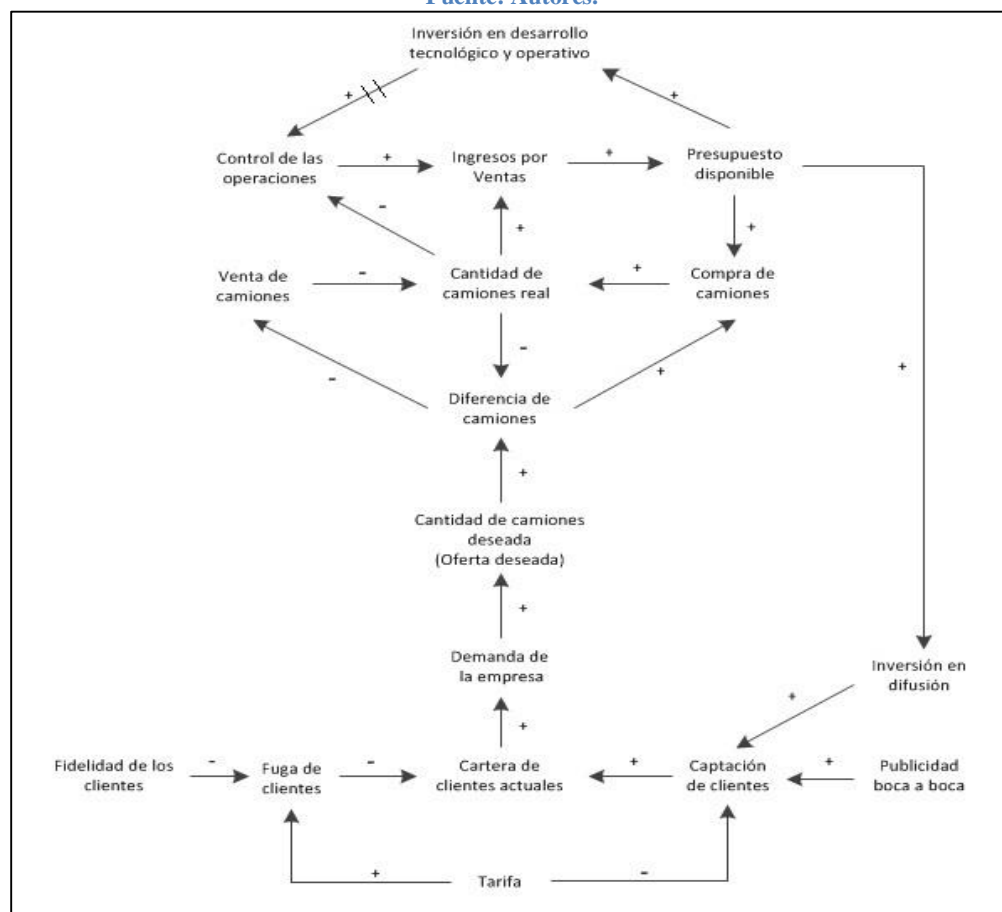
principales variables: demanda, oferta, ingresos por ventas, presupuesto disponible, entre otras.

Tener un modelo del subsistema comercial y operacional le significa a la empresa poder simular estrategias o políticas para enfrentar problemáticas tales como: el descontrol de la compra-venta de camiones, el manejo del presupuesto entre las diferentes opciones de inversión dentro de la empresa (flota, tecnología y marketing), amenazas externas que afectan a factores críticos, entre otras situaciones. En síntesis, información sobre el comportamiento de las variables del sistema en el tiempo.

1. Desarrollo del modelo

- **Diagrama Causal:** Se representa el Diagrama Causal (Garcia J. M., 2011), expresando los elementos y relaciones fundamentales del subsistema. Se puede visualizar como la relación **Demanda-Oferta** gobierna el resto de las variables. Además, de como la cantidad de camiones y el control de las operaciones determinan el nivel de ventas, y a su vez éste último, define el presupuesto disponible para las inversiones (ver figura N° 1).

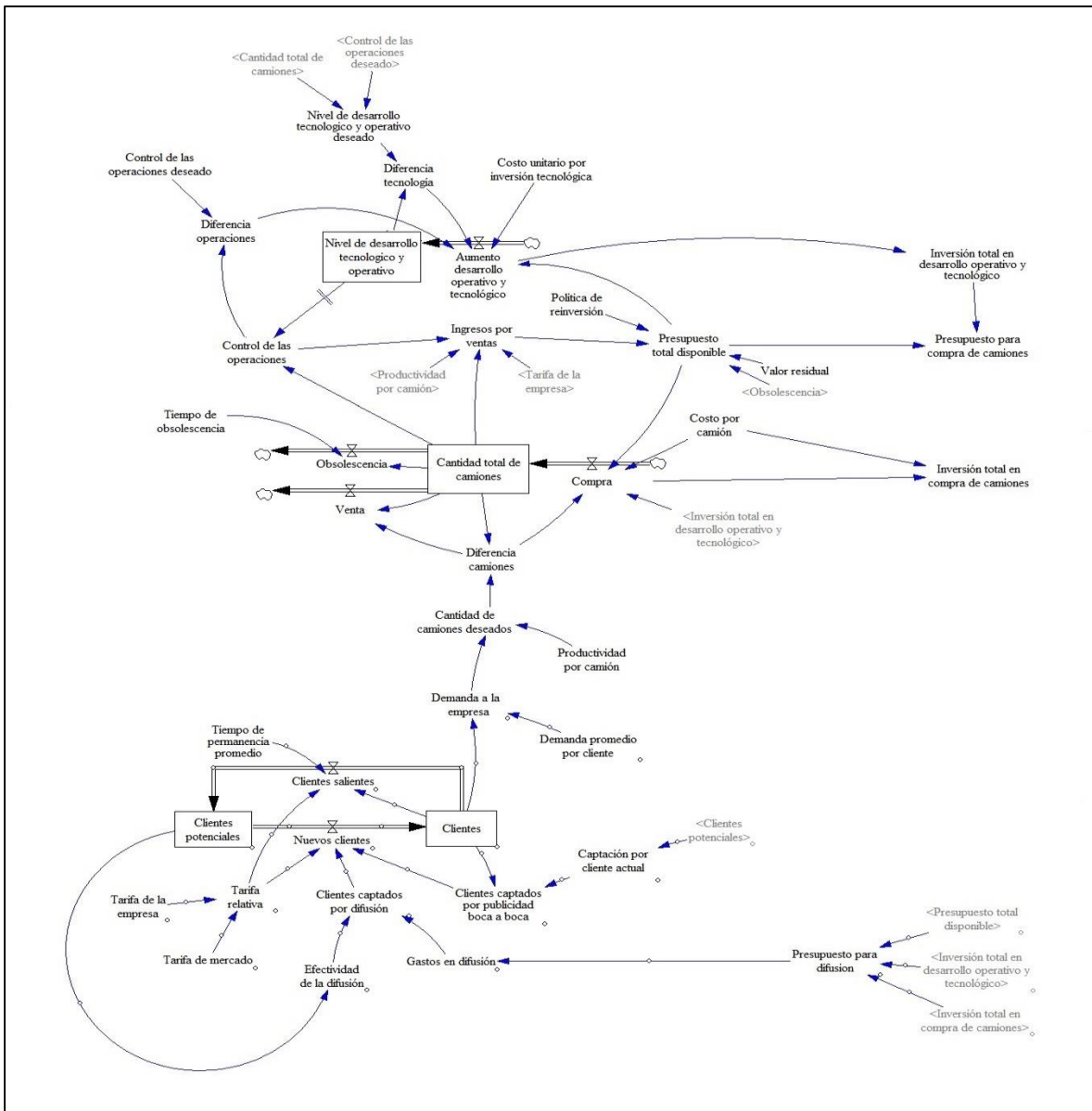
Figura 1: Diagrama Causal
Fuente: Autores.



- **Diagrama de flujos-niveles:** recoge la idea de Forrester (Forrester, 1961) de que si es capaz de controlar los flujos de un sistema, de hecho se está controlando todo el comportamiento del sistema. La razón es que los elementos de acumulación, o niveles,

únicamente varían en función de los flujos. Considerando como base el diagrama causal (García J. M., 2011) (Aracil, 1995), se desarrolla el diagrama de flujos-niveles identificando las variables de nivel, flujo y auxiliares. Una vez que se ha dibujado el diagrama de flujos en la pantalla del computador (Vensim®, 1988-2002) se tiene que definir las relaciones entre los elementos, es decir, establecer las ecuaciones. Podemos clasificar las ecuaciones en varios grupos (García J. M., 2012): aritméticas, con funciones, con tablas, con retrasos, y condicionales. Para lograr definir las ecuaciones, se agregan otras variables auxiliares, las cuales son en su mayoría del tipo parámetro. El diagrama de flujos-niveles de este caso cuenta con 40 variables en total, siendo 4 de ellas de nivel, 6 variables de flujo y 30 variables auxiliares. En consecuencia, el modelo desarrollado tiene 40 ecuaciones.

- **Figura 2: Diagrama de flujos-niveles**
Fuente: Autores.



2. Ecuaciones: Las ecuaciones corresponden a la representación de los elementos y sus relaciones. Las cuales permitirán simular el comportamiento del sistema:

Diferencia Camiones =

| | |
|-----------|--|
| Equations | Cantidad de camiones deseados-Cantidad total de camiones |
|-----------|--|

Cantidad Tota de Camiones =

| | |
|-----------|----------------------------|
| Equations | Compra-Venta-Obsolescencia |
|-----------|----------------------------|

Compra =

| | |
|-----------|---|
| Equations | IF THEN ELSE(Diferencia camiones)>1, MIN(Diferencia camiones, INTEGER((Presupuesto total disponible-Inversión total en desarrollo operativo y tecnológico)/Costo por camión)) , 0) |
|-----------|---|

3. Software para la simulación: Con la ayuda de la tecnología de la información, se puede analizar mediante modelos informáticos el comportamiento que presenta un sistema con una determinada estructura. El software que se utilizó en el trabajo es Vensim® (Vensin®, 1988-2002), presenta ventajas básicamente por las prestaciones en la organización de los datos y las herramientas para el análisis estadísticos. Presenta un formato amigable y simple para el usuario, en él se puede fácilmente construir los diagramas, realizar simulaciones de forma rápida, obtener varios tipos de representación gráficas, descargar reportes, y una característica que otras versiones gratuitas de otros softwares no tienen, guardar el modelo creado.

4. Validación del modelo: Simulación y análisis de potenciales estrategias

Una vez que se ha desarrollado el modelo es necesario corroborar su validez. Diversos autores se han planteado el problema de la validación, y entre ellos Sterman (Sterman, 2000) establece que, en rigor, la validación y verificación son imposibles. El software Vensim® provee una herramienta útil para verificar el funcionamiento del modelo, el Reality Check (Vensin®, 1988-2002). Un Reality Check no es exactamente una verificación de ajuste a la realidad, sino más bien del comportamiento lógico del modelo. Pero se puede complementar con una validación externa, dónde se trata de verificar si el modelo realiza alguna aportación nueva a la visión general del problema.

En el caso aplicado se simula el modelo para un horizonte de 24 de periodos de 1 mes, es decir, 2 años. El software utilizado es Vensim® PLE Plus. **Para los parámetros dados,** la simulación arroja gráficas y datos de las 40 variables, a continuación se muestran algunas relevantes, como el presupuesto disponible, inversiones, y cantidad total de camiones:

Figura 3: Grafica de presupuesto total disponible e inversiones
Fuente: Autores.

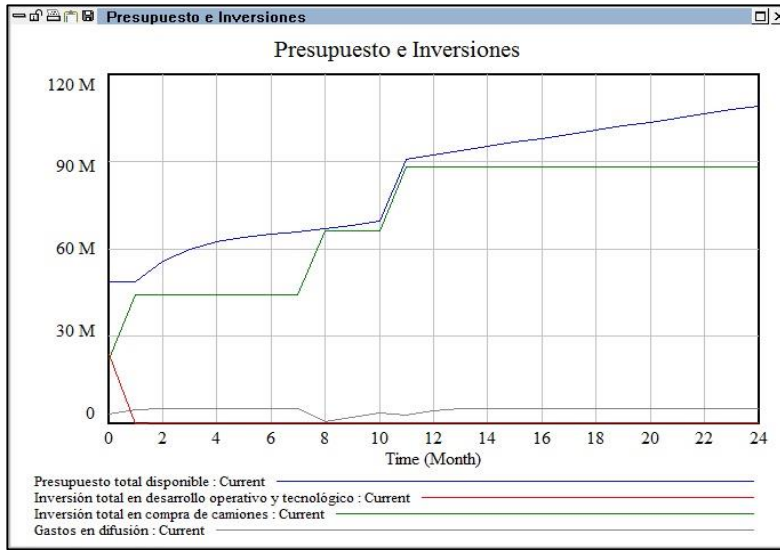
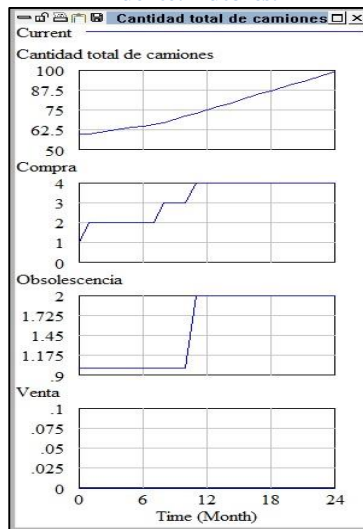


Figura 4: Gráficas de cantidad total de camiones y sus causas
Fuente: Autores.

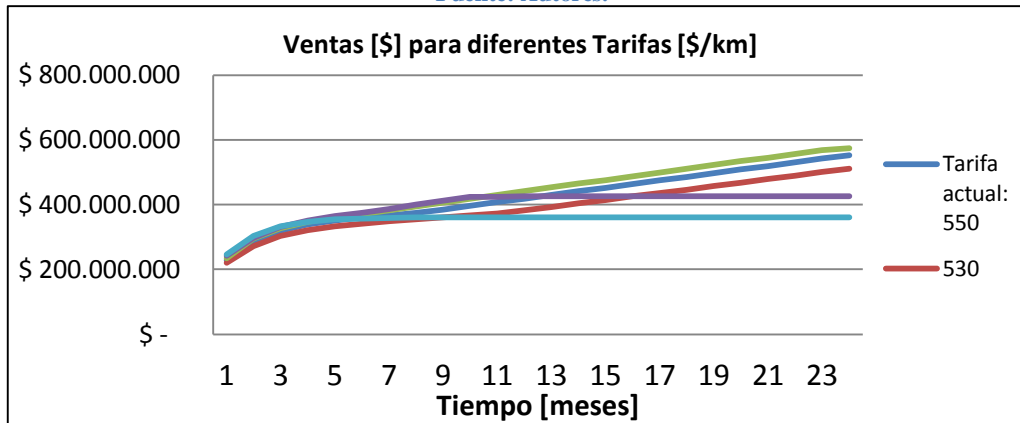


El modelo puede simular el impacto que tienen diferentes sucesos, mediante la sensibilización de los parámetros afectados, para de esta forma planear estrategias o políticas adecuadas. Se muestran 3 ejemplos:

- Ejemplo 1: Cambio en la tarifa de la empresa

Se estudia un cambio en la tarifa a cobrar. Mediante la sensibilización de este parámetro se observa su **impacto en las ventas**, obteniendo los siguientes resultados:

Figura 5: Ventas para diferentes Tarifas [\$/km]
Fuente: Autores.

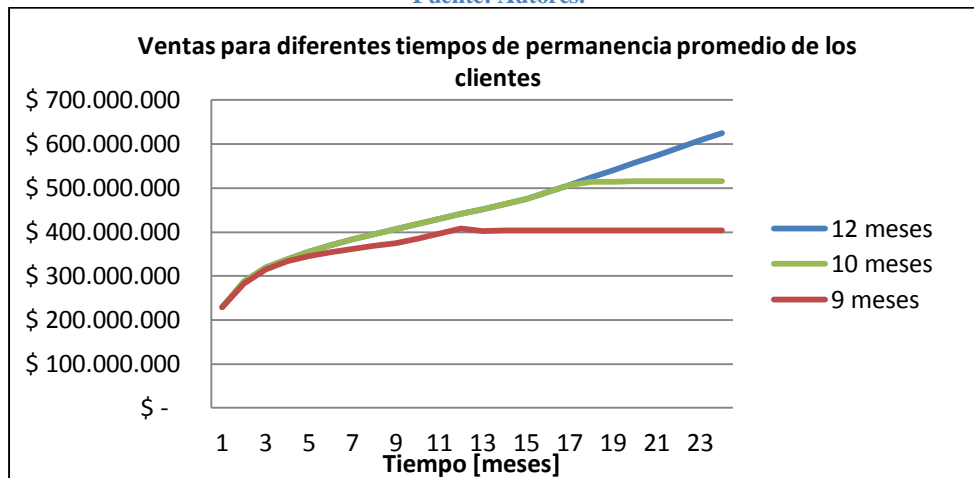


Según el modelo, si la empresa cambia su tarifa a 565[\$/km], obtendría un mayor nivel de ventas a lo largo del horizonte de simulación.

- Ejemplo 2: Impacto de un cambio en la fidelidad de los clientes

Se simula la situación en que cae la fidelidad de los clientes, traducida al tiempo de permanencia promedio que están con la empresa, es decir, que se cambien más rápido de empresa transportista. Mediante la sensibilización del parámetro “tiempo de permanencia promedio” se simula para tiempos de 9, 10 y 12 meses, obteniendo los siguientes resultados en el nivel de ventas:

Figura 6: Ventas para diferentes tiempos de permanencia promedio de los clientes
Fuente: Autores.



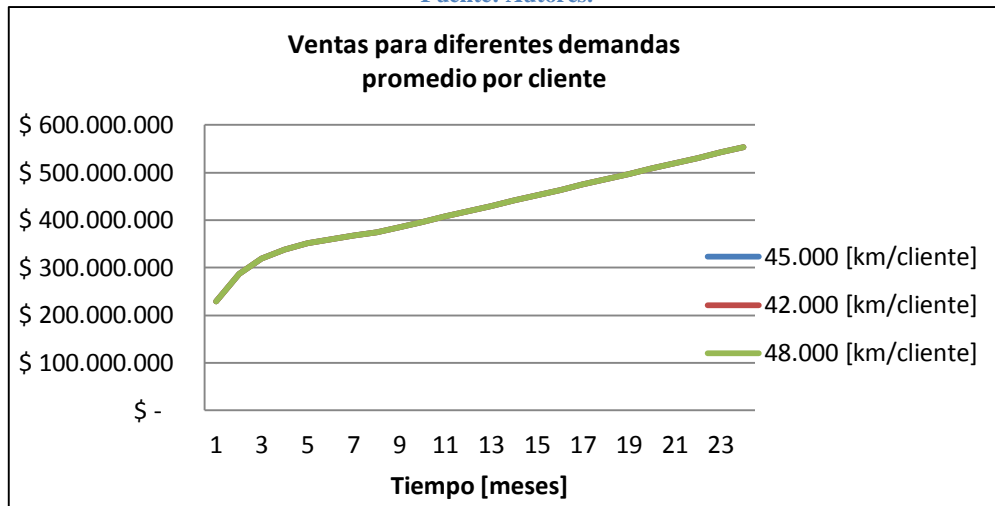
En el gráfico mostrado se muestra el impacto en las ventas de diferentes tiempos de permanencia promedio de los clientes. Por ejemplo, subir de 9 a 10 meses muestra una considerable diferencia en las ventas desde el mes 12 en adelante. La diferencia entre los tiempos de 10 y 12 meses ocurriría principalmente desde el mes 18.

El modelo de simulación entrega información para estrategias de fidelización de clientes, arrojando la magnitud del impacto de aplicarlas.

- Ejemplo 3: Estudio de una política de búsqueda de grandes clientes

Se busca valorizar el impacto en las ventas de una política de captación de grandes clientes, de forma tal de aumentar la demanda promedio por cada uno. Según el modelo, un aumento de 3000[km] y 6000[km] promedio por cliente significaría para las ventas lo siguiente:

Figura 7: Ventas para diferentes demanda promedio por cliente
Fuente: Autores.

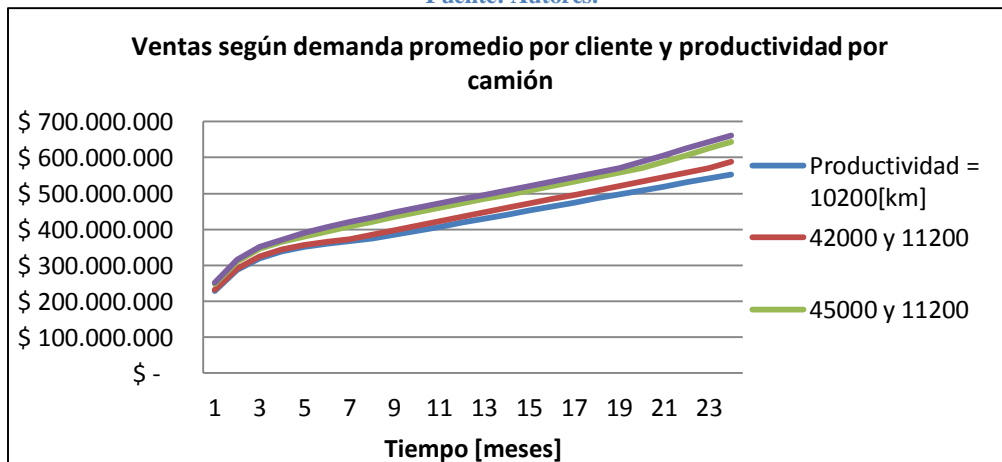


La simulación del modelo indica que no aumentaría en nada los ingresos por ventas si se incrementa la demanda promedio por cliente, ya sea para el caso de un aumento de 3000 [km] o como para 6000[km]. Esto debido a que en las condiciones actuales, no es posible hacer frente a este incremento de demanda por cliente.

Sin embargo, con una estrategia complementaria se podría enfrentar dicho aumento de demanda, de forma tal que se vea efectivamente reflejado en mayores ingresos por ventas.

Se simula ahora una estrategia de “Aumento de la productividad por camión”, incrementando esta de 10.200[km/camión] a 11.200[km/camión] al mes. La simulación arroja los siguientes resultados:

Figura 8: Ventas según demanda promedio por cliente y productividad por camión
Fuente: Autores.



Como se observa en la gráfica, un aumento en la productividad por camión haría que un incremento en la demanda por cliente se viera reflejado en las ventas de la empresa. Cabe decir que la línea de color azul muestra las ventas para una productividad de 10.200[km/camión] y las 3 demandas (42.000[km/cliente], 45.000[km/cliente] y 48.000[km/cliente]), ya que estas últimas no provocan variación en las ventas dada esa productividad.

Según el modelo, las dos estrategias se complementarían, obteniendo un aumento en las ventas en el horizonte de simulación considerado. Es importante destacar que la simulación mostró que un incremento en la demanda no necesariamente va a repercutir en los ingresos de la empresa.

III. CONCLUSIONES

La dinámica de sistemas, cuyo principal fundamento es el enfoque sistémico con los conceptos de las retroalimentaciones del sistema. Este método tiende a internalizar, o si se quiere, a incorporar como parte del sistema en estudio, variables que otros modelos se dejan como externas. Asume que muchos cambios estructurales tienen que ver con las retroalimentaciones dominantes, y al efectuar la validación, le interesa conocer el comportamiento futuro en distintos escenarios. No obstante, hay varios autores que tienen críticas a los modelos creados según esta metodología. Las principales observaciones son que las relaciones funcionales recogen ideas y criterios que no cuentan siempre con el apoyo de la teoría, de la evidencia o de la experiencia; los resultados son sensibles a variaciones de algunas entradas y parámetros; y la falta de contenido empírico de los modelos. Pero se debe señalar que los modelos de Dinámica de Sistemas no son modelos predictivos, no pretenden hallar valores exactos, sino comparativos, es decir han de permitir comparar diferentes políticas alternativas en base al escenario al que conducen.

El propósito de este estudio fue convencer a ejecutivos, empresarios y dirigentes en general que en el complejo y dinámico mundo que nos toca vivir es preciso utilizar nuevos métodos y herramientas para la eficiente y efectiva toma de decisiones. Por esta razón, se propuso un modelo para una empresa de transporte de camiones genérica. El cual da respuestas sobre el impacto que se tiene al simular varios tipos de estrategias, relacionadas con situaciones particulares. Según el modelo, y observando el comportamiento del sistema para los 3 ejemplos presentados, se podrían obtener mayores ventas si se realizan las decisiones estratégicas adecuadas. Como se ve con estos ejemplos, los modelos de Dinámica de Sistemas, simulan el impacto de posibles políticas potenciales, brindando información para la toma de decisiones. El modelo es general, sin embargo, cada empresa de ésta industria puede tener aspectos particulares que la diferencian, lo que hay que hacer es modificar algunos parámetros, pero se debe mantener la estructura general de este modelo.

La reflexión final de este estudio sugiere que el mundo no es unidireccional, que los problemas en las organizaciones no son estáticos. En realidad se vive en un entorno circular continuo, cada acción está basada en las condiciones actuales, tales acciones afectan las condiciones y este cambio de condiciones se transforma en el punto de partida para futuras

acciones. No hay un principio o fin de los procesos. Las organizaciones están interconectadas y son muchos los lazos que intervienen. La verdadera naturaleza de las estructuras dinámicas con realimentación que conforman los sistemas sociales puede conducir erróneamente a las personas a realizar actos inefectivos o bien contraproducentes. Por otra parte, el modelado por computadora orienta la toma de decisiones. Desarrolla la perspicacia dentro de la complejidad del mundo real y los problemas de gestión estratégica, permitiendo la identificación de los puntos críticos y conducir los sistemas en su correcta dirección con el menor costo posible. Es decir, identificar los correctos puntos de apalancamiento. Además, la simulación por computadora es fácil de usar, permitiendo realizar análisis tan poderosos para explorar los límites de la complejidad y el caos. Admite integrar los distintos componentes de un sistema y es una poderosa herramienta para planificación de empresas.

Bibliografía

- Aracil, J. (1995). *Dinámica de sistemas*. Madrid, España: Graficas Marte, S.A.
- Beer, S. (1972). *Brain of the Firm*. London: Allen Lane, The Penguin Press.
- Forrester, J. W. (1961). *Industrial Dynamics*. Cambridge, Massachusetts, USA: The MIT Press.
- Fowler, A. (2003). Systems modelling, simulation, and the dynamics of strategy. *Journal of Business Research* 56, 135-144.
- García, J. M. (2011). *Dinámica de sistemas - avanzado*. Barcelona, España: JMG.
- García, J. M. (2012). *Dinámica de sistemas. conceptos*. Barcelona, España: JMG.
- Kunc, M. (2005). Illustrating the competitive dynamics of an industry: the fast-moving consumer goods industry case study. *Revista de Dinámica de Sistemas Vol. 1 (1)*, 53-105.
- Papageorgiou, G; Hadjis, A. (2011). Strategic Management via System Dynamics Simulation Models. *World Academy of Science, Engineering and Technology (59)*, 227-232.
- Papageorgiou, G; Hadjis, A;. (2011). Strategic management via system dynamics simulation models. *World academy of science, engineering and technology*, 59.
- Sterman, J. D. (2000). *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. NY: McGraw-Hill Higher Education.
- Vensin®. (1988-2002). *Ambiente de simulación PLE PLUS*. USA: Ventana Systems, Inc.
- Warren, K. D. (2005). Improving strategic management with the fundamental principles of system dynamics. *System Dynamics Review* 21(4), 329-350.