



Sistemas & Telemática

ISSN: 1692-5238

EditorSyT@icesi.edu.co

Universidad ICESI

Colombia

Cardona Triana, Andrés; López Lasprilla, Sebastian; Arenas, Fernando Antonio  
Supply chain decision making: A system dynamics approach  
Sistemas & Telemática, vol. 14, núm. 37, 2016, pp. 73-86  
Universidad ICESI  
Cali, Colombia

Available in: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=411546577005>

- How to cite
- Complete issue
- More information about this article
- Journal's homepage in redalyc.org

redalyc.org

Scientific Information System

Network of Scientific Journals from Latin America, the Caribbean, Spain and Portugal

Non-profit academic project, developed under the open access initiative

# Supply chain decision making: A system dynamics approach

**Andrés Cardona Triana** / andres-cardona794@hotmail.com

**Sebastian López Lasprilla** / sebaslopez61@hotmail.com

**Fernando Antonio Arenas** / faarenas@icesi.edu.co

Universidad Icesi, Cali-Colombia

**ABSTRACT** This paper presents an analysis of the impact of delays, information management and type of demand, on the performance of a three echelons supply chain, based on the “beer game”. Four scenarios of access to information on final demand for different members of the chain were developed over a system dynamics model. For each of these scenarios delivery delay times and type of demand were changed and four indicators were used to measure the supply chain performance: return on assets, accumulated income, accumulated value of inventory and service level. The results show that the location (echelon) of the access to information is critical to the performance and in contrast to previous studies, this effect is independent of the type of demand. Moreover, the results are consistent with previous studies on the positive effect of the reduction in delays on the overall performance of the chain, regardless of the type of demand.

**KEYWORDS** System dynamics; modeling; simulation; supply chain; beer game; information sharing.

## Toma de decisiones en la cadena de abastecimiento: un enfoque desde la dinámica de sistemas

**RESUMEN** Este artículo presenta un análisis del impacto de los retrasos, el manejo de información y el tipo de demanda, en el desempeño de una cadena de abastecimiento de tres escalones, realizado con base en el “juego de la cerveza”. Se modelaron cuatro escenarios de acceso a información en la demanda final para varios miembros de la cadena usando dinámica de sistemas. Para cada uno de esos escenarios se realizaron cambios en los tiempos de retraso en la entrega y en el tipo de demanda; además, se usaron cuatro indicadores para medir el desempeño de la cadena de abastecimiento: el retorno sobre los activos, los ingresos acumulados, el valor de inventario acumulado y las inconformidades. Los resultados muestran que la localización (escalón) del acceso a la información es crítica para el desempeño y, en contraste con otros estudios, que este efecto es independiente del tipo de demanda. Los resultados obtenidos son consistentes con los de estudios previos, respecto del impacto positivo de la reducción de retrasos en el desempeño general de la cadena, sin importar el tipo de demanda.

**PALABRAS CLAVE** Dinámica de sistemas; modelado; simulación; cadena de abastecimiento; juego de la cerveza; información compartida.

## Tomada de decisões na cadeia de suprimentos: uma abordagem dinâmica do sistema

**RESUMO** Este trabalho apresenta uma análise do impacto dos atrasos, gestão da informação e tipo de demanda, sobre o desempenho de uma cadeia de suprimentos de três escalões, baseado no Jogo da Cerveja. Foram desenvolvidos quatro cenários de acesso à informação sobre a demanda final para diferentes membros da cadeia por meio de um modelo de dinâmica de sistemas. Para cada um destes cenários, os tempos de atraso na entrega e o tipo de demanda foram alterados e usaram-se quatro indicadores para medir o desempenho da cadeia de suprimentos: retorno sobre ativos, lucros acumulados, valor acumulado de inventário e nível de serviço. Os resultados mostram que a localização (escalão) do acesso à informação é crítico para o desempenho e em contraste com os estudos anteriores, este efeito é independente do tipo de procura. Além disso, os resultados são consistentes com estudos anteriores sobre o efeito positivo da redução em atrasos no desempenho global da cadeia, independentemente do tipo de demanda.

**PALAVRAS-CHAVE** Dinâmica de sistemas; modelagem; simulação; cadeia de suprimentos; Jogo da Cerveja; compartilhamento de informações.

## I. Introduction

The financial performance of supply chains has been associated with the “bullwhip effect”, which is defined as the change in demand information as it moves from the end customer to the supplier (Lee, Padmanabhan, & Whang, 1997). This phenomenon has been studied extensively because the distortion of demand information results in the links of the supply chain being fooled by the patterns of amplified demand, with adverse financial consequences. In order to reduce the bullwhip effect and its consequences, supply chains seek to improve their information systems, developing new systems of collaboration based on the transmission of information from the point of sale type “Point-of-Sales data” [POS] to members of the supply chain. This helps to reduce the bullwhip effect to prevent distortion in the information and amplification in demand, thereby contributing to improving the financial performance of the chain.

A relevant model for the study of bullwhip effect is the “beer game” (Sternan, 1989), which consists of a role play that attempts to show coordination problems that arise in a supply chain. The model shows how delays in the transfer of orders and shipments, and the absence of the exchange of information, cause the bullwhip effect, which generates inventory excess and therefore affects the financial results of companies involved in the chain.

In a study of decision-making in the supply chain (Steckel, Gupta, & Banerji, 2004), the availability of information at the point of sale [POS], delivery time (lead time) and patterns of customer demand are analyzed in terms of their effects on the efficiency of the supply chain. Information about the point of sale was found to be beneficial or harmful, depending on the pattern of demand; on the other hand, it was found that a shorter delivery time helps to improve the efficiency of the chain, regardless of the behavior of demand.

Some workers have studied the impact of sharing information on the financial performance of the chain (Danese, 2006; Sari, 2008; Carranza & Maltz, 2010); however, their measurements only focus on logistics costs, which are not representative of the financial performance of the chain. For a more comprehensive analysis, others have studied finance in the supply chain (Bowersox, Closs, & Cooper, 2002), as well as the impact of operational decisions on the financial risk of the chain (Romo, Daza, & Arenas, 2011); financial performance

## I. Introducción

El desempeño financiero de las cadenas de abastecimientos ha sido asociado con el “efecto látigo”, el cual es definido como la variación de la información sobre la demanda a medida que se avanza, desde el cliente final, hasta el proveedor (Lee, Padmanabhan, & Whang, 1997). Este fenómeno ha sido ampliamente estudiado porque la distorsión sobre la información de la demanda trae como consecuencia que los eslabones de la cadena de abastecimiento se dejen engañar por los patrones de demanda amplificados, con consecuencias financieras perjudiciales. Con el objetivo de reducir el efecto látigo y sus consecuencias, las cadenas de abastecimiento procuran mejorar sus sistemas de información, desarrollando nuevos sistemas de colaboración basados en la transmisión de información desde el punto de venta tipo “Point-of-Sales data” [POS] hacia los miembros de la cadena de abastecimiento. Lo anterior ayuda a la reducción del efecto látigo al evitar la distorsión en la información y la amplificación en la demanda, contribuyendo de esta manera a mejorar el desempeño financiero de la cadena.

Un modelo relevante para el estudio del efecto látigo es el “juego de la cerveza” (Sternan, 1989), el cual consta de un juego de roles en donde se pretende mostrar los problemas de coordinación que se presentan en una cadena de abastecimiento. En el modelo se observa cómo los retrasos en la transferencia de las órdenes y los despachos, además de la ausencia de intercambio de información, provocan el efecto látigo, el cual genera excesos de inventario y afecta, por consiguiente, los resultados financieros de las empresas involucradas en la cadena.

En un estudio sobre toma de decisiones en la cadena de abastecimiento (Steckel, Gupta, & Banerji, 2004), se analizó cómo la disponibilidad de información en el punto de venta [POS], el tiempo de entrega (lead time) y el patrón de demanda de los clientes, afectan la eficiencia de la cadena de abastecimiento. Se encontró que tener información sobre el punto de venta puede ser benéfico o perjudicial, dependiendo del patrón de demanda; por otro lado, se concluyó que tener un menor tiempo de entrega ayuda a mejorar la eficiencia de la cadena, sin importar el comportamiento de la demanda.

Algunos investigadores han estudiado el impacto de compartir información sobre el desempeño financiero de la cadena (Danese, 2006; Sari, 2008; Carranza & Maltz, 2010); sin embargo, las mediciones que han realizado solo se enfocan en los costos logísticos, los cuales no son representativos del desempeño financiero de la cadena. Para realizar un análisis más integral, y teniendo en cuenta a autores que han estudiado las finanzas en la cadena de abastecimiento (Bowersox, Closs, & Cooper, 2002), así como el impacto de las decisiones operativas sobre el riesgo financiero de la cadena (Romo, Daza, & Arenas, 2011), se considera conveniente medir el desempeño financiero con indicadores que muestren la gestión global de la cadena; estos indicadores están enfocados al manejo de los activos y de los ingresos operativos.

El presente trabajo tiene como objetivo presentar un acercamiento alternativo al realizado por Steckel et al., (2004), en donde, mediante un modelo de simulación y teniendo como base el

Juego de la Cerveza, se analizaron los efectos que tiene la disponibilidad de información en el punto de venta, el tiempo de entrega y el patrón de demanda, sobre el desempeño de la cadena de abastecimiento. Con respecto a Steckel et al., (2004), se trabajó con los mismos tiempos de entrega de una y dos semanas; en cuanto al acceso a la información hubo un cambio, ya que en el estudio de referencia la información estaba disponible para todos o para ninguno de los eslabones, mientras que en este documento se trabajaron adicionalmente escenarios en donde solo uno de los integrantes de la cadena tuviera acceso a dicha información. Por último, se utilizaron los mismos datos y patrones de demanda utilizados en el estudio base.

Encontramos que el acceso a la información ayuda a mejorar el desempeño financiero de cada uno de los eslabones y de la cadena en su totalidad, exceptuando al detallista, que no mostró una variación en los resultados al variar los escenarios.

Se concluyó que el mejor rendimiento para cada uno de los eslabones se obtenía cuando el mayorista era el único con acceso a la información, sin embargo, para tener un rendimiento en la totalidad de la cadena se debía tener compartida la información tanto en la fábrica como en el mayorista.

En nuestra investigación, a diferencia del estudio base, no se encontró que el patrón de demanda tuviera un efecto sobre el desempeño financiero de los eslabones y la cadena de abastecimiento, ya que el comportamiento era el mismo para los diferentes tipos de demanda. Por otra parte, se coincidió con el estudio de referencia en los beneficios de tener un menor tiempo de entrega y recibo de órdenes.

## II. Metodología

Para el estudio se elaboró un modelo con una cadena de abastecimiento de tres niveles siguiendo la estructura básica planteada por Sterman (1989) –fábrica, mayorista y detallista o “tienda”– y se evaluaron cuatro indicadores diferentes: el retorno sobre los activos [ROA, Return On Assets], los ingresos acumulados, el valor de inventario acumulado y las inconformidades. La simulación de base representa un escenario en donde se tiene un tiempo de respuesta a la demanda de dos semanas y entre los diferentes eslabones de la cadena no hay intercambio de información, esto quiere decir que la demanda real solo la conoce la tienda.

El horizonte de simulación utilizado en el estudio fue de 36 semanas y con los datos del último período para cada simulación se realizaron los respectivos análisis, ya que todos los indicadores son acumulativos. Se llevaron a cabo simulaciones utilizando tres tipos de demanda (incluida la demanda base) y utilizando tiempos de entrega de dos (base) y una semana para cada tipo de demanda.

### *Tipos de demanda*

Se utilizaron tres tipos de demanda: en escalón [SU], con 30 unidades de demanda durante las cuatro primeras semanas y un aumento en escalón hasta una demanda de 60 unidades, que se mantiene hasta la semana 36; demanda en S [SSE], se trabajó con los datos utilizados por Steckel et al., (2004), comenzando con veinte unidades en la semana uno y aumen-

indicadores are considered as an appropriate measure showing global chain management. These indicators are focused on the management of assets and operating income.

This study aims to present an alternative approach to that performed by Steckel et al. (2004), where, through a simulation model and on the basis of the “beer game,” the effects of the availability of information at the point of sale are analyzed, delivery time and pattern of demand on the performance of the supply chain. With respect to Steckel et al. (2004), we use the same delivery times of one and two weeks; with regards to access to information there was a change, because in the baseline study information was available for all or any of the links; here, scenarios are additionally worked where only one of the members of the chain had access to such information. Finally, the same data and demand patterns used in the base study were used.

We found that access to information helps to improve the financial performance of each link and the chain in its entirety, except for the retailer, which showed no variation in results with varying scenarios.

It was concluded that the best performance for each of the links is obtained when the wholesaler was the only one with access to information; however, to have good performance in the entire chain, the information should be shared both in the factory and wholesale.

In our study, unlike the baseline study, we did not find that the pattern of demand had an effect on the financial performance of the links and the supply chain, since the behavior was the same for different types of demand. However, we agreed with the baseline study on the benefits of having a shorter delivery and receipt of orders.

## II. Methodology

We developed a model with a supply chain of three levels following the basic structure proposed by Sterman (1989): factory, wholesaler and retailer or “store;” four different indicators were evaluated: the return on assets [ROA], accumulated income, the value of accumulated inventory and disagreements. The base simulation represents a scenario where there is a response time to the demand for two weeks. Between different links in the chain there is no exchange of information, meaning that only the store knows the real demand.

The simulation horizon used here was 36 weeks and the last period data for each simulation the respective analyses were performed, as all indicators are cumulative. We carried out simulations using three types of demand (including demand basis) and delivery times using two (base) and one week for each type of demand.

#### *Types of demand*

Three types of demand were used: in step [SU], with 30 units of demand during the first four weeks and increased step to a demand of 60 units, maintained through week 36; demand in S [SSE]. We worked with the data used by Steckel et al. (2004), starting with 20 units in week one and gradually increasing to stabilize at 90 units in week 33; and finally, S with error demand [SCE], which uses the same data as above but includes the random error generated by a normal function with zero mean and a standard deviation of six units.

#### *Delivery times*

Two deliveries, one week [LT1] and two weeks [LT2], are used.

#### *Scenario access to information*

Four simulation scenarios were conducted: the first consisted of not having availability of information on final demand or to the factory or to the wholesaler; in the second scenario, only the wholesaler had access to this information; in the third stage, this information was available only for the factory; and in the final stage it was available for both the factory and the wholesaler.

#### *Indicators*

- ROA was calculated for the store, factory, wholesale and chain. This indicator is calculated by dividing the accumulated income between the value of the accumulated inventory for each link and for the entire chain.
- Cumulative income: income is the result of multiplying the dispatch for the sales price, which for the store is \$100 per unit, for the wholesaler is \$90 and the factory is \$80. Accumulated income was calculated for each of the links and the entire chain.
- Cumulative value of the inventory: the inventory value is calculated by multiplying the inventory for the sales price on each step. The accumulated value chain inventory is the sum of the accumulated inventory of each link.
- Unconformities are considered as any lower dispatch of 85% of the order by the customer.

tando gradualmente hasta estabilizarse en noventa unidades en la semana 33; y finalmente, demanda en S con error [SCE], la cual utiliza los mismos datos que la anterior pero incluyendo un error aleatorio, generado mediante una función normal con media cero y desviación estándar de seis unidades.

#### *Tiempos de entrega*

En el estudio se utilizaron dos tiempos de entrega, de una semana [LT1] y dos semanas [LT2].

#### *Escenarios de acceso a la información*

Para este estudio se realizaron cuatro escenarios de simulación: el primero consistía en no tener disponibilidad de información sobre la demanda final ni para la fábrica ni para el mayorista; en el segundo escenario solo el mayorista tenía acceso a esta información; en el tercer escenario esta información estaba disponible solo para la fábrica; y en el último escenario estaba disponible, tanto para la fábrica, como para el mayorista.

#### *Indicadores*

- ROA: en este estudio se calculó el ROA para la tienda, fábrica, mayorista y la cadena. Este indicador se calculó dividiendo los ingresos acumulados entre el valor del inventario acumulado para cada eslabón y para la totalidad de la cadena.
- Ingresos acumulados: los ingresos son el resultado de multiplicar los despachos por el precio de venta, el cual: para la tienda es de \$100 por unidad, para el mayorista es de \$90 y para la fábrica es de \$80. Los ingresos acumulados se calcularon, tanto para cada uno de los eslabones, como para toda la cadena.
- Valor del inventario acumulado: el valor del inventario se calcula mediante la multiplicación del inventario por el precio de venta en cada eslabón. El valor del inventario acumulado de la cadena es la suma del inventario acumulado de cada eslabón.
- Inconformidades: se considera una inconformidad cualquier despacho inferior al 85% de lo pedido por el cliente.

### III. Estructura del modelo

El modelo representa una cadena de abastecimiento de tres niveles (fábrica, mayorista y tienda), la cual simula el juego de la cerveza y los niveles que tenía la cadena del artículo base (Steckel et al., 2004). En nuestro modelo, la estructura para cada eslabón de la cadena, así como la regla de decisión para definir el monto de las órdenes de compra al proveedor, siguen la estructura y regla de decisión propuesta por Sterman (2000) y descrita en la **FIGURA 1**. Es importante resaltar que se realizaron cambios a la estructura, entre los cuales está la introducción de nuevas variables y la omisión de algunas.

La **FIGURA 1** muestra la estructura de control de inventarios cuando no hay retrasos en la adquisición de los pedidos. La estructura se divide en dos partes, por un lado está el abastecimiento y el flujo, y por otro la regla de decisión. Para la estructura de abastecimiento y flujo se tiene que el Inventario está determinado por unas Entradas (pedidos que llegan)



y unas salidas o despachos, los despachos se ven afectados por unas Variables Endógenas y Exógenas. En cuanto a la regla de decisión, ésta depende del Ajuste de Inventario, el cual depende del Inventario Deseado, el cual puede ser entendido como la cantidad de producto que se quiere tener. Por otra parte, la Tasa Esperada de Despachos hace referencia al ritmo al cual se espera que se consuman las existencias. Finalmente, las Órdenes de Compra/Producción serán las que indiquen el monto a pedir al proveedor y dependerán del ajuste del Inventario y la Tasa Esperada de Despachos.

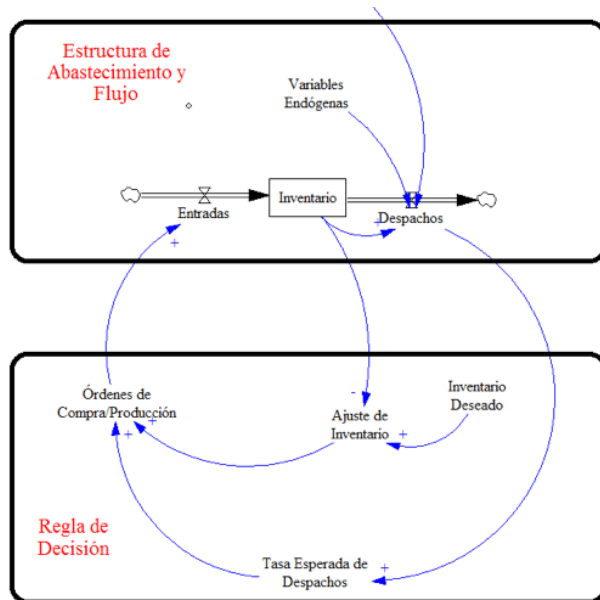


Figure 1. Structure for inventory management when there are no delays in acquiring orders / Estructura para manejo de inventarios cuando no hay retrasos en la adquisición de los pedidos

En la FIGURA 2 se muestra el modelo de decisión para la fábrica. El Inventario Deseado de la Fábrica depende, por una parte de la Política de Inventario, la cual representa las semanas de demanda presupuestada que la fábrica desea tener para responder a cambios en la demanda, y por otra parte, de las Órdenes Esperadas por parte del Mayorista, las cuales para el modelo serán iguales al pedido del mayorista de la semana inmediatamente anterior (no se utiliza una técnica de pronóstico). El Ajuste del Inventario se entiende como la diferencia entre el Inventario Deseado y el inventario que se tiene; si el resultado es positivo se decide emitir una orden de producción equivalente al ajuste del inventario; por otro lado, cuando el resultado es negativo, el modelo está diseñado para que no se abra ninguna orden de producción. Finalmente las Órdenes de Producción, una vez transcurrido el Ciclo de Manufactura, se convierten en Entradas a la Fábrica y aumentan el Inventario de la Fábrica, mientras que los despachos van al flujo de salida del fabricante.

Se trabajó con interruptores (variable switch en el modelo), con el fin de activar las opciones de acceso a la información entre los eslabones de la cadena, estos interruptores se definieron como variables binarias. En la FIGURA 2 se muestra el Switch POS Fab, el cual, cuando toma el valor de 1 se activa y permite

### III. Model structure

The model represents a supply chain of three levels (viz. the factory, wholesale and shop), which simulates the "beer game" and the levels present in the original article (Steckel et al., 2004). In our model, the structure for each link in the chain, as well as the decision rule to define the number of purchase orders to the supplier, follows the proposal structure and decision rule of Sterman (2000) and is shown in FIGURE 1. It is important to note that some changes to the structure, among which the introduction of new variables and the omission of others, were made.

FIGURE 1 shows the structure of inventory control when there are no delays in acquiring orders. The structure is divided into two parts: one side is the supply and flow; the other, the decision rule. For the structure of supply and flow, Inventory is determined by a few inputs (orders arrive) and outlets or dispatches, the dispatches are affected by some Endogenous and Exogenous Variables. As for the decision rule, it depends on the Inventory Adjustment, which depends on the Desired Inventory, which can be understood as the number of products one wants to have. Moreover, the Expected Rate Dispatches refers to the rate at which stocks are expected to be consumed. Finally, Purchase Orders / Production indicate the amount to ask of the supplier and depends on the adjustment of Inventory and the Dispatches Expected Rate.

In FIGURE 2, the decision model for the factory is shown. Factory Desired Inventory depends on the one hand on Policy Inventory, which represents the weeks of demand budgeted that the factory want to have to respond to changes in demand; on the other hand, Expected Orders by the Wholesaler, which for the model will be equal to the wholesale order in the week immediately prior (the forecasting technique is not used). Inventory Adjustment is defined as the difference between the Desired Inventory and inventory held; if the result is positive, an order equivalent production to inventory adjustment is issued; on the other hand, when the result is negative, the model is designed so that no production order is opened. Finally Production Orders, once passed Manufacturing Cycle, become Inputs to the Factory and increase the Inventory Factory, while dispatches go to the manufacturer's outflow.

We worked with switches (switch variable in the model); in order to activate options for accessing the information between the chain links, these switches are defined as binary variables. In **FIGURE 2** the switch POS Fab is shown, which, when taking the value of 1 is activated and allows the factory to have the information of expected customer orders; otherwise the factory works without access to the real demand information.

In **FIGURE 3** the decision model is shown to the wholesaler, which follows the same logic as explained earlier, but considers the variables concerning the factory and the store to perform such calculations.

Regarding access to information, in the case of wholesale, the POS May Switch when activated allows it to have access to the information in real demand. It is important to note that the switches (switch variables) can be activated simultaneously or one at a time, either for the wholesale or factory, allowing four scenarios to have access to information.

In **FIGURE 4** the decision process to the store is presented; this rule works the same as the previous two. The difference in the structure lies in the variables used to model the three types of demand.

To change the types of demand, we work with binary variables (Switch and Switch Application Error). In **FIGURE 3**

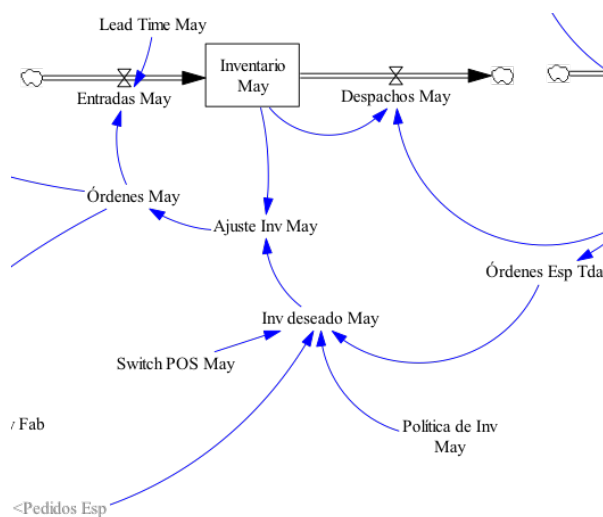


Figure 3. Structure of inventory control and decision rule for the wholesaler/  
Estructura de control de inventarios y regla de decisión para el mayorista

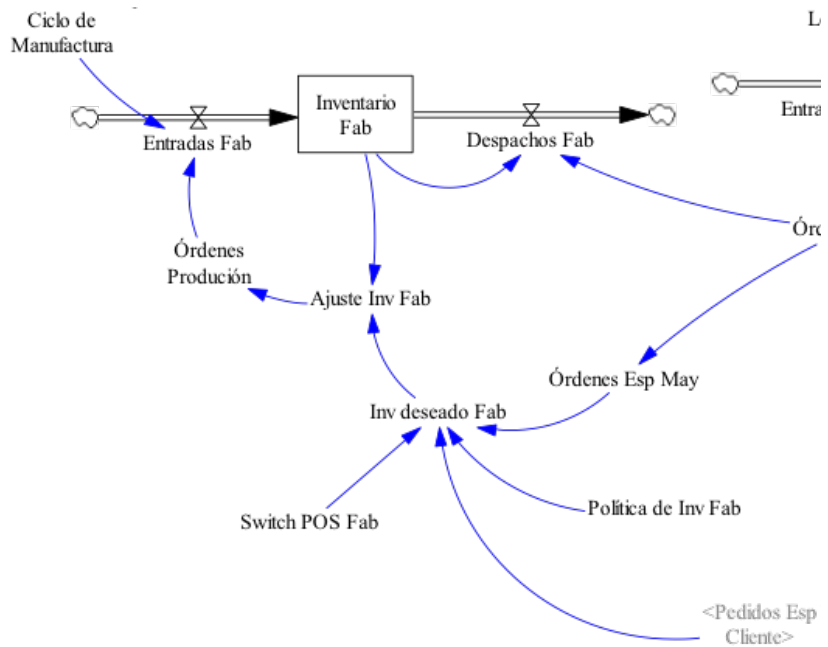


Figure 2. Structure of inventory control and decision rule for the factory /  
Estructura de control de inventarios y regla de decisión para la fábrica

que la fábrica tenga la información de los pedidos esperados del cliente, en caso contrario, la fábrica trabaja sin acceso a la información de la demanda real.

En la Figura 3 se muestra el modelo de decisión para el mayorista, el cual sigue la misma lógica explicada, pero teniendo en cuenta las variables referentes a la fábrica y a la tienda, para realizar los cálculos respectivos.

En cuanto al acceso a la información, para el caso del mayorista, el Switch POS May al estar activado le permite tener el acceso a la información de la demanda real. Es importante resaltar que los interruptores (variables switch) pueden estar activados al mismo tiempo o uno solo a la vez, ya sea el del mayorista o el de la fábrica, lo que permite tener cuatro escenarios de acceso a la información.

En la **FIGURA 4** se presenta el proceso de decisión para la tienda, esta regla funciona igual que las dos anteriores. La diferencia en la estructura radica en las variables utilizadas para modelar los tres tipos de demanda.

Para cambiar los tipos de demanda se trabajó con variables binarias (Switch Error y Switch Demanda). En la **FIGURA 4**, cuando el Switch Demanda y el Switch Error están desactivados se da origen a la demanda escalón (SU); si el Switch Demanda está activado y el Switch Error está desactivado, el modelo utiliza la variable Tabla Pedidos Cliente, la cual es una serie de datos en el tiempo que modela la demanda en forma de S (SSE). En el caso en donde el Switch Demanda esté activado y el Switch Error esté también activado, se genera un error mediante la función Random normal con media cero y desviación estándar de seis unidades, que se agrega a la demanda S, dando lugar a la demanda S con error [SCE].

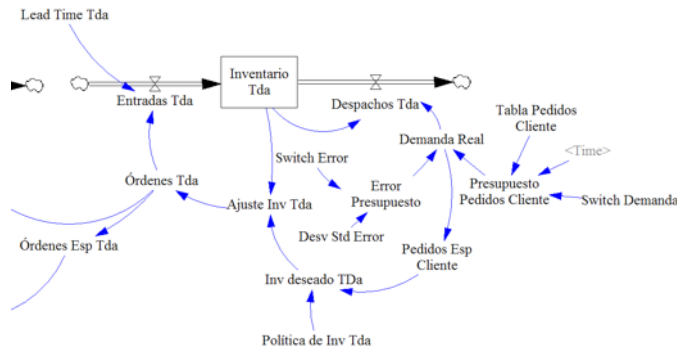


Figure 4. Structure of inventory control and decision rule for the store /  
Estructura de control de inventarios y regla de decisión para la tienda

## IV. Resultados

### A. Impacto de la información en cada uno de los eslabones

La FIGURA 5 muestra el ROA para cada uno de los eslabones y para la cadena en los diferentes escenarios de acceso a la información. Se puede observar que la tienda siempre obtiene el mismo resultado, por lo tanto, es indiferente si se tiene o no un sistema de información. Por otra parte, se encuentra que el mayorista es el miembro que debería tener el acceso a la información de demanda ya que se obtienen, en general, buenos resultados en los distintos escenarios; es importante resaltar que si se desea un beneficio en toda la cadena, el acceso a la información en ambos eslabones (mayorista y fábrica) brinda los mejores resultados, también se debe tener en cuenta que tener un sistema de información POS para ambos eslabones representa una mayor inversión para la cadena.

La FIGURA 6 muestra los ingresos para cada uno de los eslabones y para la cadena en los diferentes escenarios de acceso a la información. Como en el caso del ROA, la tienda no se ve afectada por el acceso a la información y obtiene el mismo resultado en todos los escenarios. Los ingresos en el mayorista no presentan una gran variación, como si sucede con la fábrica, la cual, de manera contraintuitiva, presenta los menores ingresos cuando tiene acceso a la información. Finalmente, para la cadena, los mayores ingresos se presentan cuando el POS está en el mayorista.

La FIGURA 7 muestra el valor acumulado del inventario para cada uno de los eslabones y para la cadena en los diferentes

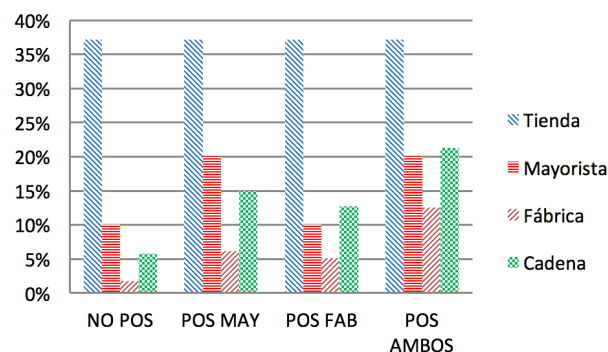


Figure 5. ROA for links and chain of base scenario /  
ROA para los eslabones y la cadena del escenario base

FIGURE 4, when the Demand Switch and Switch are disabled, the error source is given to the step demand (SU); if the Demand Switch is enabled and the Error Switch is disabled, the model uses the variable Customer Orders Table, which is a series of data over time modeling demand as S (SSE). In the case when the Demand Switch is enabled and the Error Switch is also activated, an error is generated by the normal Random function with zero mean and a standard deviation of six units, to which the S demand is added, resulting in S with error demand [SCE].

## IV. Results

### A. Impact of information on each of the links

FIGURE 5 shows the ROA for each of the links and the chain in the different scenarios of access to information. The store always obtains the same result; therefore, it is immaterial whether or not one has an information system. On the other hand, the wholesaler is the member that should have access to information on demand, and good results are generally obtained in different scenarios; it is important to note that if a benefit is desired throughout the entire chain, access to information on both links (i.e. wholesale and factory) provides the best results. Having an information system POS for both links represents an increased investment for the chain.

FIGURE 6 shows the incomes for each of the links and for the chain in the different access scenarios to information. As in the case of ROA, the store is not affected by access to information, and obtains the same result in all scenarios. Incomes in the wholesale do not show any major variation, as for the factory, which, in a counterintuitive way, has the lowest income when accessing information. Finally, for the chain, the highest incomes arise when the POS is in the wholesale.

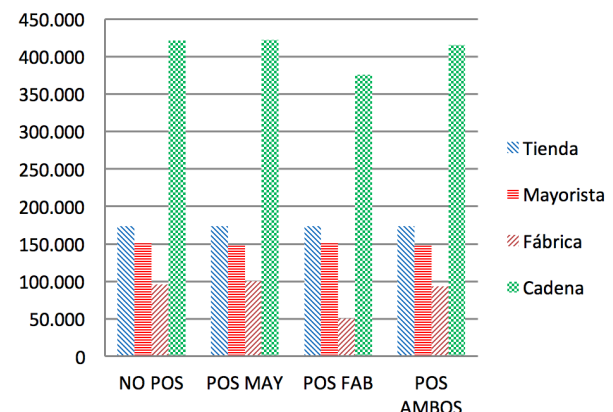


Figure 6. Income for links and for the chain in the base scenario /  
Ingresos para los eslabones y la cadena en el escenario base



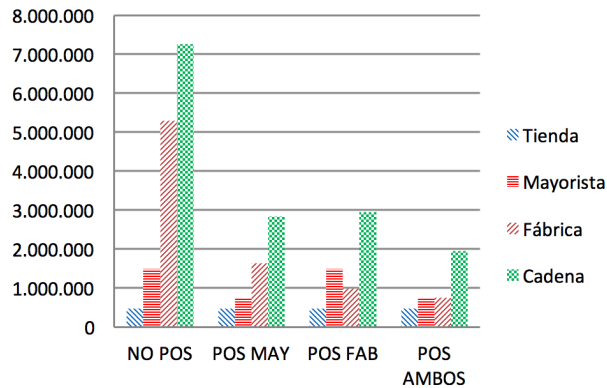


Figure 7. Cumulative value of inventory for links and chain of base scenario / Valor acumulado del inventario para los eslabones y la cadena del escenario base

FIGURE 7 shows the cumulative value of the inventory for each of the links and the chain in the different scenarios of access to information. As in the indicators above, the store is not affected by access to information in the other links. Unlike the previous indicators, this is achieved more easily to observe the impact of information on the entire chain, as the accumulated value of the inventory decreases for all nodes in the chain, except for the store.

FIGURE 8 shows the accumulated unconformities for each of the links and the chain in the different scenarios of access to information. Minor unconformities in the chain occur when there is no POS, followed by the scenario in which only the wholesaler has the POS. The store has the same behavior as the indicators above, while the wholesaler has the lowest unconformities having no POS or having it anywhere in the factory; it is in the factory's interest that the POS has it the wholesaler.

#### B. Impact of the demand pattern and delivery time

The percentage changes between each of the scenarios of access to information were analyzed. Scenarios where there is information at some point or both were compared to the stage where there is no POS; this analysis was performed with indicators for the entire chain. The formula for measuring percentage changes is presented in Equation (1):

$$\text{Percentage change} = \frac{V_2 - V_1}{V_1} \quad (1)$$

Where:  $V_1$  is the value for the scenario with no POS, and  $V_2$  is the value for the different scenarios of access to information.

Next, the results in each of the indicators are described.

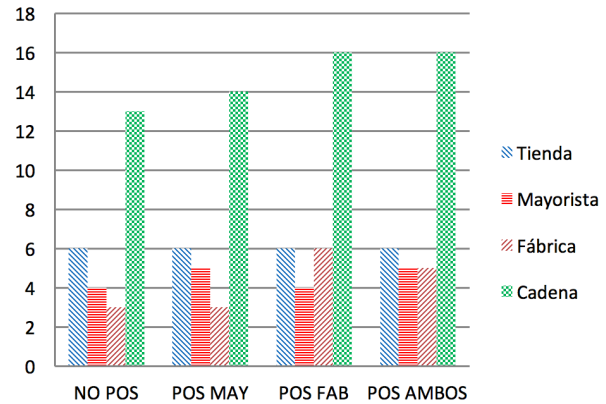


Figure 8. Unconformities for the links and the chain base scenario / Inconformidades para los eslabones y la cadena del escenario base

escenarios de acceso a la información. Al igual que en los anteriores indicadores la tienda no se ve afectada por el acceso a la información en los otros eslabones. A diferencia de los anteriores indicadores, en éste se logra observar con mayor facilidad el impacto de la información sobre toda la cadena, ya que el valor acumulado del inventario disminuye para todos los nodos de la cadena, con excepción de la tienda.

La FIGURA 8 muestra las inconformidades acumuladas para cada uno de los eslabones y para la cadena en los diferentes escenarios de acceso a la información. Se presentan menores inconformidades en la cadena cuando no hay POS, seguido por el escenario en el cual solo el mayorista tiene el POS. La tienda presenta el mismo comportamiento de los anteriores indicadores, mientras que el mayorista presenta menores inconformidades al no haber POS en ninguna parte o tenerlo en la fábrica; a la fábrica le conviene que el POS lo tenga el mayorista.

#### B. Impacto del patrón de demanda y tiempo de entrega

Se analizaron los cambios porcentuales que hay entre cada uno de los escenarios de acceso a la información. Se compararon los escenarios donde hay información en algún punto o en ambos contra el escenario donde no hay POS, este análisis se realizó con los indicadores para la totalidad de la cadena. La fórmula para la medición de los cambios porcentuales se presenta en la Ecuación 1.

$$\text{Cambio porcentual} = \frac{V_2 - V_1}{V_1} \quad (1)$$

Donde:  $V_1$  es el valor para el escenario donde no hay POS y  $V_2$  es el valor para los distintos escenarios de acceso a la información.

A continuación se describen los resultados en cada uno de los indicadores.

#### ROA

Con un tiempo de entrega de dos semanas, todos los tipos de demanda presentan un comportamiento en el cual el ROA más alto se presenta cuando la información la tienen mayorista y fábrica; al mismo tiempo, el menor ROA se presenta cuando solo la fábrica tiene la información.

Por otra parte, con un tiempo de entrega de una semana los

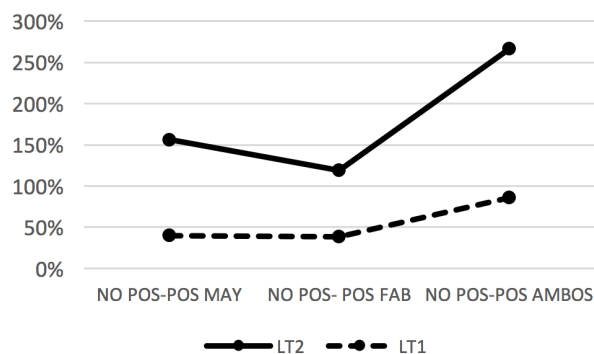


Figure 9. Change in ROA for the step demand /  
Variación del ROA para la demanda escalón

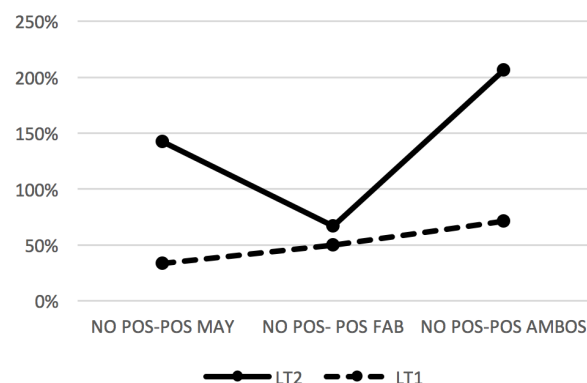


Figure 11. Change in ROA for S without error demand /  
Variación del ROA para la demanda S con error

resultados son diferentes, tanto en el comportamiento, como en la proporción de los cambios que se producen respecto del escenario donde no hay POS. Para todas las demandas el ROA más alto se presenta cuando la información está en ambos eslabones y el más bajo cuando el POS lo tiene el mayorista. Se encontró que al reducir el tiempo de entrega el impacto de la información se reduce, independientemente del patrón de demanda. Lo anterior se muestra en las FIGURAS 9, 10 y 11.

#### Ingresos acumulados

Al tener un tiempo de entrega de dos semanas, todas las demandas presentan el mismo patrón de comportamiento; el escenario donde el mayorista tiene acceso a la información es el único con variación positiva, lo cual indica que los ingresos fueron mayores a los del escenario donde no hay POS. Los menores ingresos se presentan cuando solo la fábrica tiene el POS.

Por otra parte, con un tiempo de entrega de una semana, los resultados responden de manera diferente, dependiendo de la demanda, y se obtienen menores ingresos en todos los escenarios. Los ingresos, cuando la demanda es tipo escalón, siguen el mismo patrón de las demandas con tiempo de entrega de dos semanas; sin embargo, la variación es mayor con respecto al escenario donde no se comparte información. Para las demandas S y S con error la variación también es negativa, lo que indica menores ingresos; sin embargo, para estas demandas, cuando solo la fábrica tiene el POS se presenta la menor variación, por lo tanto, es cuando menos se pierden ingresos.

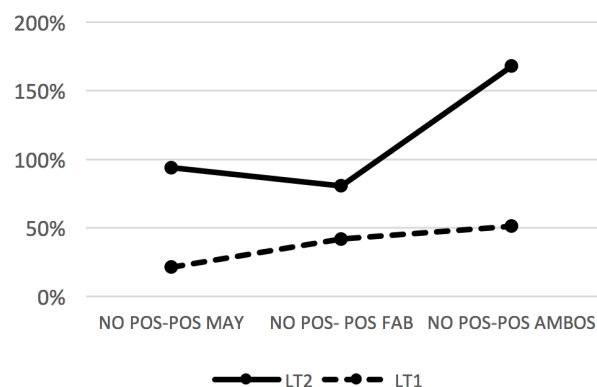


Figure 10. Change in ROA for S demand /  
Variación del ROA para la demanda S

#### ROA

With a delivery time of two weeks, all types of demand present a behavior in which the highest ROA is when the information is wholesale and factory; at the same time, the lowest ROA occurs when only the factory has the information.

Moreover, with a delivery time of one week, the results are different, both in behavior and in the proportion of changes that occur with respect to the scenario with no POS. For all demands, the highest ROA is when the information is in both links; the lowest, when the POS has the wholesaler. It was found that by reducing the delivery time, the information impact also reduces, regardless of the demand pattern. This is shown in Figures 9–11.

#### Cumulative incomes

By having a delivery time of two weeks, all claims have the same pattern of behavior; the scenario where the wholesaler has access to information is the only positive change, indicating that incomes were higher than the stage with no POS. Lower incomes arise when only the factory has the POS.

Moreover, with a delivery time of one week, the results respond differently depending on demand, and lower incomes in all scenarios are obtained. Incomes, when demand is the step type, follow the same pattern of demand with a delivery time of two weeks; however, the variation is higher than the stage where information is not shared. S and S with error demands variation are also negative, indicating lower incomes; however, for these demands, when only the factory has the POS, the least variation occurs. Therefore, it is when less income is lost. For these demands, lower incomes arise when both links have POS. This is shown in FIGURES 12–14.

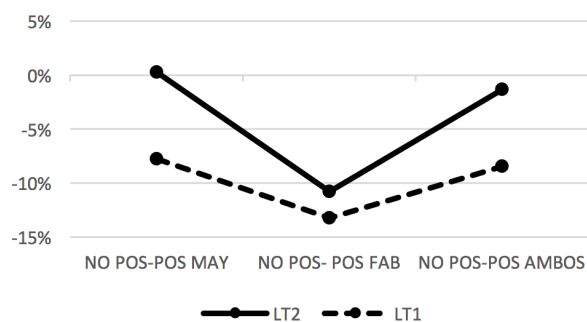


Figure 12. Cumulative incomes change for step demand /  
Variación de los ingresos acumulados para la demanda escalón

### Cumulative value of inventory

The cumulative value of inventory presents different behavior depending on the demand and delivery time. With a delivery time of two weeks [LT2], the accumulated value of inventory of step and S with error demands and is less than half the POS in wholesale and factory at the time; when only the factory has access to information, it has the highest value. On the other hand, the accumulated value of inventory to S demand is lower when the POS is in both, and is greater when the wholesaler is the only one that has access to information. It is important to note that the variation is negative for all scenarios, indicating that implementing information systems lowers the value of accumulated inventory.

As for the delivery time of one week [LT1], the behavior of the inventory value is the same for all three types of demand. When both factory and wholesale have POS, it presents a lower accumulated value of inventory, and the greatest value when the wholesaler has POS. For S Demand, the impact (i.e. variation with respect to the stage where there is no access to information) access to information was increased by having a delivery time of two weeks, as has been presented in the above indicators; however, in step and S with error demands, the impact of information was greater when the delivery time was one week. This is shown in FIGURES 15–17.

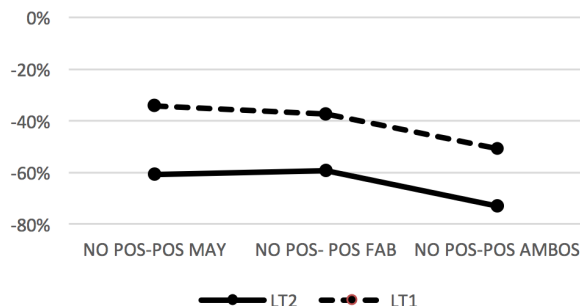


Figure 15. Variation in accumulated value of inventory for step demand /  
Variación del valor acumulado del inventario para la demanda escalón

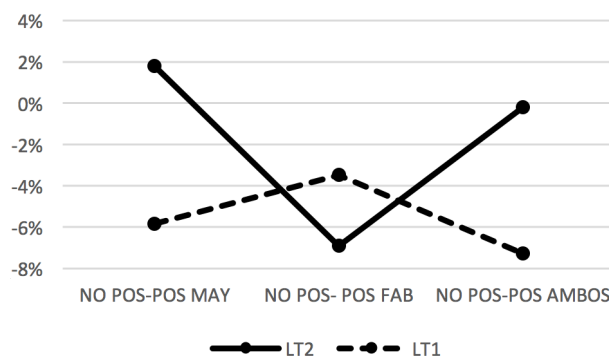


Figure 13. Cumulative incomes change for S demand /  
Variación de los ingresos acumulados para la demanda S

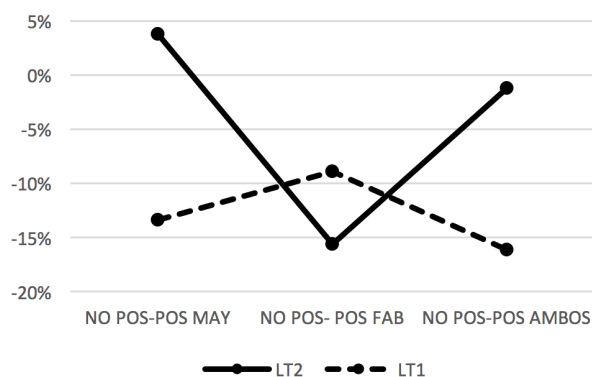


Figure 14. Cumulative incomes change for S with error demand /  
Variación de los ingresos acumulados para la demanda S con error

se presenta el mayor valor. Por otro lado, el valor acumulado del inventario para la demanda S es menor cuando el POS está en ambos, y es mayor cuando el mayorista es el único que tiene acceso a la información. Es importante resaltar que la variación es negativa para todos los escenarios, lo cual indica que al implementar sistemas de información baja el valor del inventario acumulado.

En cuanto al tiempo de entrega de una semana [LT1], el comportamiento del valor del inventario es igual para los tres tipos de demanda. Cuando ambos (fábrica y mayorista) tienen POS, se presenta un menor valor acumulado del inventario, y el mayor valor, cuando el mayorista tiene POS. Para la demanda S, el impacto (variación con respecto al escenario donde no se tiene acceso a la información) del acceso a la información fue mayor al tener un tiempo de entrega de dos semanas, como

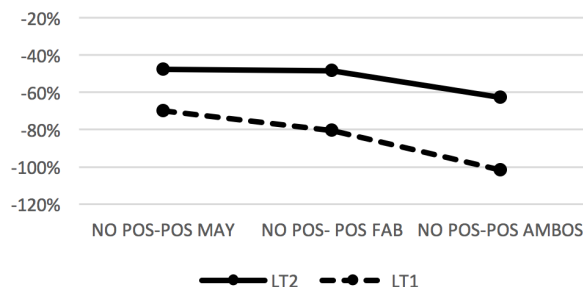


Figure 16. Variation of the aggregate value of inventory to S demand /  
Variación del valor acumulado del inventario para la demanda S

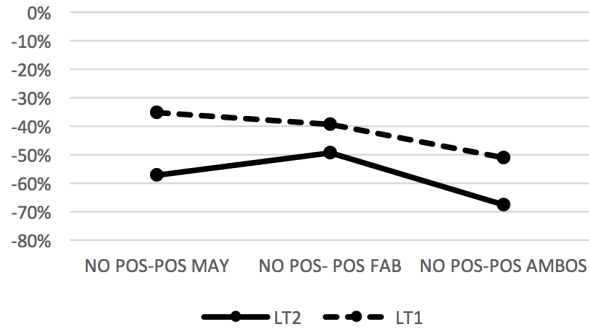


Figure 17. Variation in accumulated value of inventory to S with error demand / Variación del valor acumulado del inventario para la demanda S con error

se venía presentando en los anteriores indicadores; sin embargo, en las demandas escalón y S con error, el impacto de la información fue mayor cuando el tiempo de entrega era de una semana. Lo anterior se muestra en las FIGURAS 15, 16 y 17.

#### Inconformidades

Al tener un tiempo de entrega de una semana, todos los tipos de demanda presentan el mismo comportamiento, es decir, las inconformidades son mayores cuando ambos (fábrica y mayorista) tienen el POS. El escenario donde se presenta el menor número de inconformidades es cuando el POS está en la fábrica.

Cuando se tiene el tiempo de entrega de dos semanas, para los tres tipos de demanda, el escenario que mayor número de inconformidades presenta es cuando el sistema POS está en ambos eslabones. Tanto para la demanda escalón, como para la S, el escenario que tiene el menor número de inconformidades es con el POS en el mayorista. Para la demanda S con error, el escenario que presenta el menor número de inconformidades con respecto a no tener POS, es aquel en el que sólo la fábrica tiene acceso a la información. Lo anterior se muestra en las FIGURAS 18, 19 y 20.

## V. Conclusiones

En este trabajo hemos estudiado la toma de decisiones en los diferentes eslabones de una cadena de abastecimiento, con el soporte de un modelo de simulación usando dinámica de sistemas. Basados en el estudio realizado por otros investigadores (Steckel et al., 2004) sobre la toma de decisiones en la

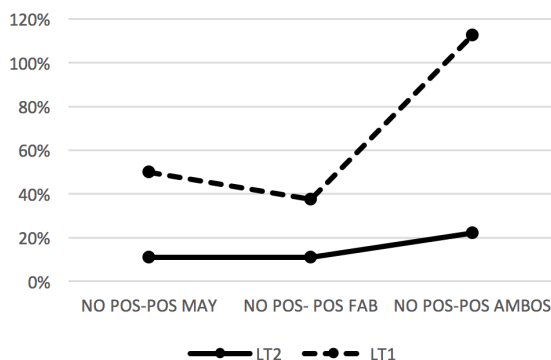


Figure 19. Variation of nonconformity for S without error demand / Variación de las inconformidades para la demanda S sin error

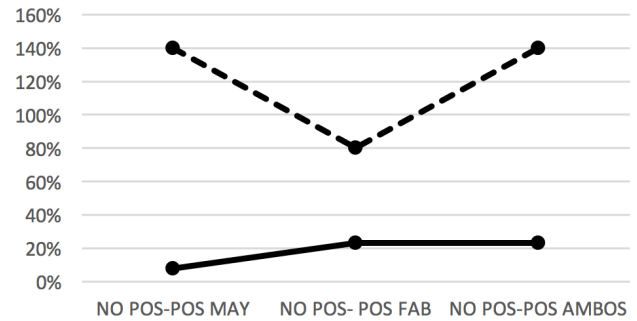


Figure 18. Variation of nonconformity for step demand / Variación de las inconformidades para la demanda escalón

#### Unconformities

By having a delivery time of one week, all types of demand exhibit the same behavior, meaning that the disagreements are higher when both factory and wholesale have the POS. The scenario where the least number of disagreements occurs is when the POS is in the factory.

For a delivery time of two weeks, for three types of demand, the scenario that presents the greatest number of disagreements is when the POS system is both links. For both step demand and for S, the scenario that has the least number of disagreements with the POS is in the wholesale. For S with error demand, the scenario that has the least number of disagreements regarding not having POS is that in which only the factory has access to information. This is shown in Figures 18–20.

## V. Conclusions

We have studied the decision-making on the various links in a supply chain, with the support of a simulation model using system dynamics. Based on Steckel et al. (2004) concerning decision-making in the supply chain, we analyzed a model of the “beer game” under different conditions of demand, delivery time and access to information. Specifi-

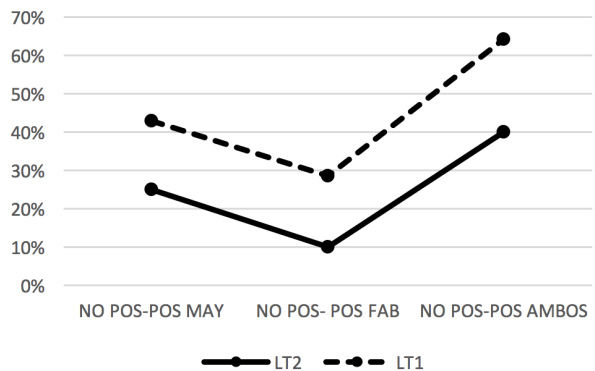


Figure 20. Variation of nonconformity for S with error demand / Variación de las inconformidades para la demanda S con error

cally, we have assessed how the financial performance and service supply chain is affected by the factors described.

Respect to the original study, it is important to note that we also worked with access to information “only in the factory” and “only in the wholesale”. Unlike Steckel et al., (2004), who concluded that sharing information only benefits the chain depending on demand, we concluded that, regardless of the pattern of demand, sharing information brings benefits, and that the best results generally occur when only the wholesaler has access to the end customer demand.

Regarding the delivery time, the results agree with the findings of the baseline study. By reducing the delivery time, the indicators are improved regardless of the type of demand: the ROA and incomes both increase, while the aggregate value of the inventory reduces the nonconformity.

It should be noted that our study was conducted with the results obtained through simulations and not with empirical data collected in experiments, as in the base study. The ability to validate our findings experimentally with real decision makers is left open. Similarly, subsequent studies that measure profitability based on cash flow, rather than only on income, could generate more generalizable results.

## Acknowledgments

We acknowledge the support received from the Industrial Engineering Department at the *Universidad Icesi*. 

cadena de suministro, analizamos un modelo del “juego de la cerveza” bajo diferentes condiciones de demanda, tiempo de entrega y acceso a la información. Específicamente, evaluamos cómo el desempeño financiero y de servicio de la cadena de abastecimiento se ve afectada por los factores descritos.

Con respecto al estudio base, es importante resaltar que en el nuestro se trabajó adicionalmente con acceso a la información solo en la fábrica o solo en el mayorista. A diferencia del estudio de Steckel et al., (2004), en el cual se concluyó que el compartir información sólo beneficia a la cadena, dependiendo de la demanda, en el nuestro se concluyó que, sin importar el patrón de la demanda, compartir información trae beneficios y que los mejores resultados, en general, se dan cuando solo el mayorista tiene acceso a la demanda del cliente final.

Con respecto al tiempo de entrega, los resultados coinciden con los hallazgos del estudio base. Al disminuir el tiempo de entrega se mejoran los indicadores sin importar el tipo de demanda, ya que el ROA y los ingresos aumentan, mientras el valor acumulado del inventario y las inconformidades disminuyen.

Se debe resaltar que nuestro estudio se realizó con los resultados obtenidos a través de simulaciones y no con datos recogidos en experimentos empíricos, como se hizo en el estudio base. Se deja abierta la posibilidad de validar los hallazgos de nuestro estudio mediante resultados que arrojen experimentos con decisores reales. Igualmente, posteriores estudios que basen las medidas de rentabilidad en el flujo de caja, en lugar de solamente sobre los ingresos, podrían generar resultados más generalizables.

## Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo recibido por parte del Departamento de Ingeniería Industrial de la *Universidad Icesi*. 



## References / Referencias

- Bowersox, D., Closs, D. J., & Cooper, M. B. (2002). *Supply chain logistics management*. New York, NY: Irwin McGraw-Hill.
- Carranza, O. & Maltz, A. B. (2010). Understanding the financial consequences of the bullwhip effect in a multi-echelon supply chain. *Journal of Business Logistics*, 31(1), 23-40.
- Danese, P. (2006). Collaboration forms, information and communication technologies, and coordination mechanisms in CPFR. *International Journal of Production Research*, 44(16), 3207-3226.
- Lee, H. L., Padmanabhan, V., & Whang, S. (1997). The bullwhip effect in supply chains. *Sloan Management Review*, 38(3), 93-102.
- Romo, F., Daza, H., & Arenas, F. (2011). Systemic Analysis of service and financial risks in a supply chain. *Sistemas & Telemática*, 11(25), 105-119.
- Sari, K. (2008). On the benefits of CPFR and VMI: A comparative simulation study. *International Journal of Production Economics*, 113(2), 575-586.
- Steckel, J. H., Gupta, S., & Banerji, A. (2004). Supply chain decision making: Will shorter cycle times and shared point-of-sale information necessarily help? *Management Science*, 50(4), 458-464.
- Sterman, J. (2000). Supply chains and the origin of oscillations. In: *Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world* (pp. 663-708). Boston, MA: McGraw-Hill.
- Sterman, J. D. (1989). Modeling managerial behavior: Misperceptions of feedback in a dynamic decision making experiment. *Management Science*, 35(3), 321-339.

## **CURRICULUM VITAE**

**Andrés Cardona** Student of Industrial Engineering at Universidad Icesi (Cali-Colombia). He is part of the Dinámica de Sistemas research group. Presently he investigates about decision making in the supply chain. Estudiante de Ingeniería Industrial y miembro del grupo de Dinámica de Sistemas de la Universidad Icesi (Cali-Colombia). Su foco de interés en investigación es la toma de decisiones en la cadena de suministros.

**Sebastián López** Student of Industrial Engineering at Universidad Icesi (Cali-Colombia). He is part of the Dinámica de Sistemas research group. Presently he investigates about decision making in the supply chain. Estudiante de Ingeniería Industrial y miembro del grupo de Dinámica de Sistemas de la Universidad Icesi (Cali-Colombia). Su foco de interés en investigación es la toma de decisiones en la cadena de suministros.

**Fernando Arenas** Professor of System Dynamics at Universidad Icesi (Cali-Colombia). He received a master degree in Environmental Engineering from Universidad Nacional de Colombia (1990). He is a Ph.D., student in Business Administration at Universidad de Valencia (Spain). His current research interest is the study of managerial decision making through simulation and micro-worlds / Profesor de Dinámica de Sistemas en la Universidad Icesi (Cali-Colombia). Es Máster en Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Colombia (1990) y estudiante del Doctorado en Administración de Empresas de la Universidad de Valencia (España). Actualmente investiga acerca de la toma de decisiones gerenciales a través de simulaciones y micromundos.