

CUADERNOS DE ECONOMÍA

ISSN 0121-4772



Facultad de Ciencias Económicas
Escuela de Economía
Sede Bogotá



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

ASESORES EXTERNOS

COMITÉ CIENTÍFICO

Ernesto Cárdenas

Pontificia Universidad Javeriana-Cali

José Félix Cataño

Universidad de los Andes

Philippe De Lombaerde

NEOMA Business School y UNU-CRIS

Edith Klimovsky

Universidad Autónoma Metropolitana de México

José Manuel Menudo

Universidad Pablo de Olavide

Gabriel Misas

Universidad Nacional de Colombia

Mauricio Pérez Salazar

Universidad Externado de Colombia

Fábio Waltenberg

Universidade Federal Fluminense de Rio de Janeiro

EQUIPO EDITORIAL

Daniela Cárdenas

Karen Tatiana Rodríguez

María Paula Moreno

Estudiante auxiliar

Proceditor Ltda.

Corrección de estilo, armada electrónica,
finalización de arte, impresión y acabados
Tel. 757 9200, Bogotá D. C.

Gabriela Bautista Rodríguez

Fotografía de la cubierta

Indexación, resúmenes o referencias en

SCOPUS

Thomson Reuters Web of Science

(antiguo ISI)-SciELO Citation Index

ESCI (Emerging Sources Citation Index) - Clarivate Analytics

EBSCO

Publindex - Categoría B - Colciencias

SciELO Social Sciences - Brasil

RePEc - Research Papers in Economics

SSRN - Social Sciences Research Network

EconLit - Journal of Economic Literature

IBSS - International Bibliography of the Social Sciences

PAIS International - CSA Public Affairs Information Service

CLASE - Citas Latinoamericanas en Ciencias Sociales y Humanidades

Latindex - Sistema regional de información en línea

HLAS - Handbook of Latin American Studies

DOAJ - Directory of Open Access Journals

CAPEs - Portal Brasileiro de Informação Científica

CIBERA - Biblioteca Virtual Iberoamericana España / Portugal

DIALNET - Hemeroteca Virtual

Ulrich's Directory

DOTEC - Documentos Técnicos en Economía - Colombia

LatAm-Studies - Estudios Latinoamericanos

Redalyc

Universidad Nacional de Colombia

Carrera 30 No. 45-03, Edificio 310, primer piso

Correo electrónico: revcuaco_bog@unal.edu.co

Página web: www.ceconomia.unal.edu.co

Teléfono: (571)3165000 ext. 12308, AA. 055051, Bogotá D. C., Colombia

Cuadernos de Economía Vol. 42 No. 90 - 2023

El material de esta revista puede ser reproducido citando la fuente. El contenido de los artículos es responsabilidad de sus autores y no compromete de ninguna manera a la Escuela de Economía, ni a la Facultad de Ciencias Económicas, ni a la Universidad Nacional de Colombia.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Rectora

Dolly Montoya Castaño

Vicerrector Sede Bogotá

Jaime Frankly Rodríguez

FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS

Decana

Juanita Villaveces

ESCUELA DE ECONOMÍA

Directora

Nancy Milena Hoyos Gómez

CENTRO DE INVESTIGACIONES PARA EL DESARROLLO

- CID

Karoll Gómez

DOCTORADO Y MAESTRÍA EN CIENCIAS ECONÓMICAS Y PROGRAMA CURRICULAR DE ECONOMÍA

Coordinadora

Olga Lucía Manrique

CUADERNOS DE ECONOMÍA

EDITOR

Gonzalo Cómbita

Universidad Nacional de Colombia

CONSEJO EDITORIAL

Juan Carlos Córdoba

Iowa State University

Liliana Chicaiza

Universidad Nacional de Colombia

Paula Herrera Idárraga

Pontificia Universidad Javeriana

Juan Miguel Gallego

Universidad del Rosario

Mario García

Universidad Nacional de Colombia

Iván Hernández

Universidad de Ibagué

Iván Montoya

Universidad Nacional de Colombia, Medellín

Juan Carlos Moreno Bríd

Universidad Nacional Autónoma de México

Manuel Muñoz

Universidad Nacional de Colombia

Ömer Özak

Southern Methodist University

Marla Ripoll

Universidad de Pittsburgh

Juanita Villaveces

Universidad Nacional de Colombia

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia.

Usted es libre de:

Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

Bajo las condiciones siguientes:

- **Atribución** — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante. Si utiliza parte o la totalidad de esta investigación tiene que especificar la fuente.
- **No Comercial** — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.
- **Sin Obras Derivadas** — No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.

Los derechos derivados de usos legítimos u otras limitaciones reconocidas por la ley no se ven afectados por lo anterior.



El contenido de los artículos y reseñas publicadas es responsabilidad de los autores y no refleja el punto de vista u opinión de la Escuela de Economía de la Facultad de Ciencias Económicas o de la Universidad Nacional de Colombia.

The content of all published articles and reviews does not reflect the official opinion of the Faculty of Economic Sciences at the School of Economics, or those of the Universidad Nacional de Colombia. Responsibility for the information and views expressed in the articles and reviews lies entirely with the author(s).

**UNA APLICACIÓN DE JUEGOS DE SEÑALES
PARA EL ANÁLISIS DEL INTERCAMBIO
DE INFORMACIÓN EN UNA CADENA DE
SUMINISTRO**

Karla Flores-Zarur
William Olvera-López

Flores-Zarur, K., & Olvera-López, W. (2023). Una aplicación de juegos de señales para el análisis del intercambio de información en una cadena de suministro. *Cuadernos de Economía*, 42(90), 465-486.

En este artículo exploramos un enfoque diferente para el modelado de una cadena de suministro desde la perspectiva de la teoría de juegos. En particular, explicamos una cadena de suministro de dos escalones y un solo canal bajo supuestos comunes a través de un juego de señales con la estructura clásica. Probamos que, en nuestro pri-

K. Flores-Zarur

Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP), Facultad de Economía, San Luis Potosí, México. Correo electrónico: karla.zarur@uaslp.mx

W. Olvera-López

Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP), Facultad de Economía, San Luis Potosí, México. Correo electrónico: william.olvera@uaslp.mx

Sugerencia de citación: Flores-Zarur, K., & Olvera-López, W. (2023). Una aplicación de juegos de señales para el análisis del intercambio de información en una cadena de suministro. *Cuadernos de Economía*, 42(90), 465-486. <https://doi.org/10.15446/cuadernos.v42n90.106083>

Este artículo fue recibido el 28 de noviembre de 2022, ajustado el 13 de junio de 2023 y su publicación aprobada el 21 de junio de 2023.

mer enfoque, existen varias maneras racionales de actuar que conducen a los agentes a equilibrios del juego, sin embargo, la mayoría de estas estrategias no implican necesariamente un comportamiento de cooperación entre los agentes. Posteriormente, proponemos algunas modificaciones a los supuestos originales que nos permiten obtener un equilibrio único que además garantiza la cooperación entre los agentes favoreciendo la calidad en el intercambio de información.

Palabras clave: teoría de juegos; juegos de señales; equilibrios agrupadores; equilibrios separadores; cadenas de suministro.

JEL: C72, C73, L14, L81.

Flores-Zarur, K., & Olvera-López, W. (2023). An application of signaling games for the analysis of information exchange in a supply chain. *Cuadernos de Economía*, 42(90), 465-486.

This paper explores a different approach to supply chain modeling through the game theory perspective. Particularly, we explain a two-echelon one single channel supply chain under common assumptions through a signaling game with the classical structure. In our first approach, we prove that there are many different ways to obtain an equilibrium, but too many of these strategies do not necessarily imply cooperative behavior between agents. Later, we propose some modifications to the original assumptions which let us obtain a unique equilibrium that ensures a cooperative behavior between agents.

Keywords: Game theory; signaling games; separating equilibrium; pooling equilibrium; supply chain.

JEL: C72, C73, L14, L81.

INTRODUCCIÓN

Las relaciones y diferentes maneras de interactuar y coordinarse entre los agentes involucrados en alguna de las fases de producción o abastecimiento de bienes de consumo disponibles en el libre mercado se conocen como cadena de suministro. Una cadena de suministro entre un vendedor y un comprador representa a un productor que vende al por mayor un producto a un minorista, quien lo adquiere con el propósito de venderlo al por menor a un consumidor final. La relación anterior representa una cadena de suministro de dos escalones y un único canal. En general, los escalones representan las fases o eslabones de la cadena y los canales representan las opciones para llevar a cabo una misma fase del proceso. Por ejemplo, la relación productor-minorista donde existe un solo proveedor y dos minoristas sería descrita como una cadena de suministro de un solo escalón y dos canales. Sarmah *et al.* (2006) estudian cómo se coordinan un vendedor y un comprador en un ambiente determinístico y donde además se clasifican diversos modelos bajo dicha estructura.

El estudio de cadenas de suministro abarca una amplia serie de temas como inventarios, desabastecimiento, logística inversa, cooperación entre los eslabones, etc., existiendo así diferentes enfoques dentro de la literatura. Yang y Zhou (2006) examinan las decisiones sobre el establecimiento de precios y cantidad de producción para un caso que considera un solo productor que abastece a dos minoristas competitivos en un marco de competencia duopolística para tres diferentes tipos de economías: Cournot, coalición y Stackelberg. Por otro lado, García y You (2015) ofrecen un marco más actual y amplio acerca de las principales áreas de oportunidad para la investigación y los retos en el diseño de cadenas de suministro enfocados principalmente en la optimización de la cadena considerando variables como energía y sostenibilidad.

Como puede verse, los temas asociados al estudio de cadenas de suministro son muy variados y complejos debido al número de variables que hay que analizar y establecer en cada situación. Además, la interacción entre los agentes que forman parte de la cadena de suministro toma protagonismo por la importancia que tiene sobre las posibles consecuencias para cada uno de ellos. Es por esto que la teoría de juegos, en sus inicios propuesta por Von Neumann y Morgenstern (1947), comienza a tener valor en esta línea de investigación, gracias a sus extensos resultados y conceptos de solución, como los propuestos por Nash Jr. (1950, 1951), los cuales son útiles para explicar las interacciones dentro de la cadena. Así mismo, en la teoría de juegos existen diferentes perspectivas, siendo las más aplicables la cooperativa y la no cooperativa. Osborne y Rubinstein (1994) y Maschler *et al.* (2020) ofrecen una amplia literatura acerca de los principales temas que se desarrollan en dichos enfoques.

Existen varios trabajos que respaldan el uso de la teoría de juegos para el estudio de cadenas de suministro. Ma y Wang (2014) analizan una cadena de suministro entre un minorista y un proveedor que deben coordinarse para las operaciones

dentro de la cadena de manera directa e inversa. Para los autores, la teoría de juegos examina diferentes problemáticas bajo una fenomenología dinámica donde las condiciones iniciales que se plantean toman fuerte relevancia en la resolución de cada caso. Un ejemplo más general es el de Cachon y Netessine (2006), quienes ofrecen un *handbook* que muestra diversas aplicaciones de la teoría de juegos en este campo. Madani y Rasti-Barzoki (2017) plantean un análisis sobre determinación de precios, estrategias ecológicas y tarifas gubernamentales; parte de este análisis se realiza mediante la teoría de juegos. Vasnani *et al.* (2019) brindan una revisión completa de aplicaciones recientes de teoría de juegos en cadenas de suministro desde los enfoques cooperativo y no cooperativo.

En este artículo nos concentraremos en ciertos aspectos relacionados con el intercambio de información entre productores y minoristas, que surgen de la implementación de una política de producción y pedidos diseñada con enfoques de optimalidad. Aquí se considera a la demanda de mercado estocástica, lo cual es supuesto recurrente en el estudio de las cadenas de suministro muy al margen del enfoque que se esté desarrollando. Por ejemplo, Chiang y Monahan (2005) analizan un modelo de inventario entre un productor que se asocia con dos minoristas: uno vende los productos en una tienda física y otro posee un canal directo habilitado para ventas por Internet.

Por lo común, la literatura sobre cómo encontrar la política óptima de producción y pedidos entre el vendedor y el comprador se puede clasificar en tres grupos según los siguientes supuestos: (i) la interacción entre el vendedor y el comprador se ve gobernada por una demanda constante; (ii) el vendedor y el comprador estudian de forma independiente cómo varía la demanda; y (iii) la interacción entre el vendedor y el comprador favorece la calidad de la información respecto a la demanda. En este último escenario, que implica cierta asimetría e imperfección de la información, buscaremos contrastar las implicaciones de ciertas políticas de producción y pedidos con la calidad de la información que se intercambia como resultado de dicha interacción. Existen modelos que previamente han considerado como una ventaja estratégica la cantidad y calidad de la información y donde se plantea la interrogante sobre compartir o no dicha información, por ejemplo, el que proponen Iida y Zipkin (2010).

Aquí se examinará una cadena de suministro entre un único proveedor y un único minorista, donde la calidad de la información respecto a la demanda de mercado se ve favorecida por la cooperación entre los agentes, quienes poseen diferentes estructuras de información. En específico, analizaremos el caso que supone que el minorista posee mejor información del mercado al estar más cerca de él y conocerlo mejor. Además, tomaremos en cuenta las diversas maneras en que comúnmente se coordina la cadena de suministro referente a variables como las políticas de recompra o devolución, la flexibilidad y compromiso de cantidad de compra, los costos de logística inversa y el costo por rotura de *stocks*, de modo similar a como se plantea en el modelo de Slimani y Achchab (2014).

La forma en que nosotros abordaremos el análisis es mediante los juegos de señales propuestos originalmente por Harsanyi (1968). La utilización de un juego de señales para modelar una cadena de suministro resulta ser un aporte novedoso que permite darle un nuevo enfoque de interés al análisis de los modelos previamente estudiados, sin necesidad de dar por hecho que el comportamiento de los agentes presupone una cooperación constante entre ellos como única alternativa que respalde el comportamiento estratégico de los mismos en cada situación. Antes, Spence (1978) propuso el uso de juegos de señales como herramienta de estudio para explicar las consecuencias de transferir información u ocultarla mediante la emisión de señales en un contexto donde los agentes interactúan dentro de un mercado. Trataremos entonces de analizar los equilibrios bayesianos perfectos del juego y darles una interpretación de acuerdo con los comportamientos que implica cada uno.

Con el propósito de mantener la simplicidad, utilizaremos el esquema básico de los juegos de señales donde supondremos que el emisor es el minorista y el receptor es el proveedor. La variable aleatoria asociada a la demanda del mercado indicará si la demanda de producto será alta o baja posteriormente, el minorista observará esta información y podrá emitir una señal al productor respecto de la información que observó y donde este último podrá decidir si seguir la señal o no. Como se puede advertir, el juego que proponemos modela una situación que considera que mentir es una alternativa para el minorista. Esta consideración refleja el hecho de que mentir es una opción real para el minorista y además pudiera ser un opción racional si se sabe de antemano que el proveedor podría no seguir la señal. Por su parte, el proveedor podría no seguir la señal debido, por ejemplo, a cuestiones de logística o producción, o bien, por falta de confianza en el minorista.

Nuestro modelo busca comprobar si existe algún comportamiento racional que implique que el minorista mienta, o bien, para el caso del proveedor, si existe algún comportamiento racional que conlleve no seguir la señal. Se busca detectar cuál sería el componente en las funciones de pago que incentiva a los agentes a tomar actitudes de no cooperación, con el afán de proponer modificaciones en las funciones de pago que desmotiven esta clase de comportamiento poco deseado en situaciones reales. Aunado a lo anterior, las interpretaciones de los tipos de señales incrementan el interés por estudiar las interacciones entre agentes bajo esta clase de modelos. Las señales agrupadoras representan la situación en la que el minorista tratará de reservarse siempre la información del mercado mandando siempre una misma señal sin tomar en cuenta la verdadera situación del mercado. Por su parte, las señales separadoras representan los casos donde el minorista dice siempre la verdad, o bien, miente siempre.

Existen ejemplos prácticos donde se observa que los agentes involucrados tratan de minimizar los costos de comercialización, rotura de *stocks* o por piezas no vendidas mediante el flujo de información. La observación de estas situaciones motiva nuestro estudio y sugiere el uso de juegos de señales como herramienta natural para analizar dichos casos. Los ejemplos pueden abarcar desde el análisis

de un puesto de periódicos hasta aplicaciones más modernas, como la reciente técnica de comercialización de corporativos de invitar a los inversionistas a administrar, operar e invertir en conjunto con ellos, tal y como lo llevan a cabo las empresas cerveceras, tiendas de conveniencia o hasta empresas de comercio electrónico, que ponen a disposición de los inversionistas la apertura de puntos de venta de sus productos a lo largo y ancho de cierta región o bien otras opciones de inversión financiera.

En todo caso, para las empresas es importante obtener información del mercado mediante la cooperación de sus socios. En los ejemplos anteriores, normalmente se puede observar que las políticas de producción y pedidos favorecen más al minorista. La razón principal del porqué analizamos este esquema en particular es que estudiar las políticas que rigen la relación uno a uno entre los agentes permitirá reparar en las variables que para ellos resulten ser más relevantes para fortalecer la relación comercial. Por ejemplo, para los productores analizar las políticas respecto a la capacidad de comercialización de sus socios, o bien, la de gestión de pedidos por parte de los mismos puede resultar determinante en la manera en que ellos deciden distribuir su producción.

Además, parte de la problemática observable que motiva nuestro análisis refiere a situaciones donde el productor –que se encarga de abastecer los puntos de venta– no siempre sigue la señal (pedido) que recibe por parte del minorista, cosa que a su vez podría impulsar al minorista a mentir. Una posible explicación de este hecho es la poca capacidad productiva de la empresa con respecto de los socios minoristas con los que trabaja en conjunto, o también, los grandes riesgos económicos que una empresa absorbe debido a que por lo común es el corporativo quien se hace responsable de asumir los costos implicados derivados de la logística inversa.

Alshamsi y Diabat (2015) destacan la importancia de esta área logística desde la perspectiva económica, social y ambiental. Así, vemos que los motivos por los que un proveedor pueda preferir entre los diferentes socios minoristas obedecen a una amplia variedad de factores, los cuales pueden depender de variables como el tamaño y capacidad de comercialización del minorista. Tomando esto en cuenta proponemos una modificación del modelo original en favor de premiar la cooperación entre agentes como el factor destacado que favorece la relación uno a uno entre ambos, ya que al lograrse dicha cooperación, productores y minoristas podrán tener un mejor control de las variables gracias al flujo y la calidad de la información.

Por último, nuestro modelo se desarrolla en los siguientes supuestos de mercado: ambos agentes operan en un mercado de competencia perfecta, el productor debe abastecer a diferentes minoristas, quienes a su vez poseen un punto de venta donde solo se comercializan los productos que abastece el proveedor. Por otra parte, nuestro modelo analiza la relación uno a uno entre un solo productor y un solo minorista que negocian la cantidad de un único bien homogéneo. Los anteriores supuestos pueden ser consultados de forma más amplia y con mejor detalle en el

trabajo de Triani (2023). La demanda de mercado es una variable aleatoria y los precios de mercado están fijos, lo que implica que los precios no dependen de la demanda. Con esto buscamos representar la negociación de cierto tipo de mercancías que buscan subsistir en un mercado con un alto nivel de competencia, donde la competencia en precios es para los corporativos (que aquí se representan como productores) una técnica recurrente, lo que comporta que dichos bienes no presenten un alto grado de elasticidad del precio ante los cambios de la demanda.

Adida y DeMiguel (2011) publican un estudio de cadenas de suministro que se desarrolla en un ambiente de competencia perfecta similar al que se propone. Ejemplos específicos de este tipo de bienes son bebidas, comida rápida, neumáticos, combustibles, entre otros bienes de consumo donde la estacionalidad de la demanda afecta de manera más abrupta a las estrategias de *marketing* que a los precios de manera directa. Dichos bienes poseen un gran respaldo en la literatura; por ejemplo, Georgiadis *et al.* (2005) exploran un marco teórico que examina el manejo de las cadenas de suministro que comercializan alimentos, y Pedram *et al.* (2017) muestran la importancia de la logística y la logística inversa para el caso particular de cadenas de suministro que comercializan neumáticos.

Otro contexto de mercado similar al que se propone en este estudio se reporta en Yan *et al.* (2014), quienes examinan las condiciones cuando el proveedor proporciona un crédito comercial al minorista a petición de este, sumado al análisis del fenómeno económico que provoca que el proveedor limite la cantidad que ordena el minorista.

El artículo sigue la siguiente estructura: en la sección dos mostraremos el modelo general y analizaremos los equilibrios agrupadores y separadores. En la sección tres propondremos una modificación que asegura que, en el equilibrio, se tenga la cooperación entre agentes. En la última sección hablaremos de las posibles generalizaciones directas de nuestro juego de señales y discutiremos algunos mecanismos de pago considerando otras variables como transporte o almacenamiento.

FORMULACIÓN DEL MODELO

Sabemos que la característica fundamental de un juego de señalización radica en que los agentes involucrados poseen diferentes estructuras de información y se dividen en agentes mejor informados y agentes menos informados. Los agentes con menos información tienen que esperar a que los agentes mejor informados actúen, es decir, esperan una señal antes de elegir una acción. En particular, aquí desarrollamos un modelo para analizar la relación uno a uno entre un solo proveedor y un solo minorista que negocian la cantidad de un determinado bien homogéneo a producir y comercializar, respectivamente en un mercado con las siguientes características:

- Ambos agentes operan en un mercado de competencia perfecta

- P debe abastecer a diferentes minoristas en un mercado donde existen otros productores que producen bienes similares. P es responsable de producir y abastecer su producto
- M tiene un punto de venta donde solo comercializa productos abastecidos por P
- La demanda de mercado es una variable aleatoria
- Los precios de mercado están fijos y no dependen de la demanda

Los anteriores supuestos retratan características propias de un mercado donde se comercializa cierto tipo de mercancías que buscan subsistir en un ambiente con un alto nivel de competencia, y además, el posicionamiento a través de precios es una técnica recurrente, lo cual implica que dichos bienes no presenten un alto grado de elasticidad del precio ante los cambios de la demanda. Nuestro modelo identifica a la naturaleza como la variable aleatoria asociada a la demanda del mercado y por simplicidad supondremos que tendrá distribución Bernoulli con parámetro $p \in [0,1]$, lo que se denotará por $N \sim B(p)$. Además, dado que M está más cerca del mercado posee mejor información sobre él, siendo este el agente mejor informado, esto es, el emisor. Por tanto, P será el receptor o agente menos informado. Supondremos que tanto el emisor como el receptor tendrán dos posibles acciones cada uno. El emisor observará la demanda real del mercado y podrá enviar una de dos señales posibles: demanda baja Q_- o demanda alta Q_+ . El receptor, por su parte, tendrá que decidir con base en la señal si producir un lote de productos grande q_+ o un lote de productos pequeño q_- .

Así, las estrategias del juego de señales serán las siguientes:

- $S_M = \{(Q_+, Q_-), (Q_-, Q_+), (Q_-, Q_-), (Q_+, Q_+)\}$
- $S_p = \{(q_+, q_-), (q_-, q_+), (q_-, q_-), (q_+, q_+)\}$

Vemos que la estrategia $s_M \in S_M$ dada por $s_M = (Q_+, Q_-)$ representa que M comunica al proveedor que la demanda del mercado es alta cuando lo es y que es baja cuando resulta ser baja, es decir, manda una señal verdadera. Por su parte, $s_p \in S_p$ dada por $s_p = (q_-, q_-)$ indica que el proveedor siempre producirá un lote pequeño de producción sin importar la señal que reciba.

Para favorecer la simplicidad del análisis, consideraremos que los costos asociados a las diferentes variables son costos unitarios. Las variables involucradas en nuestro modelo serán denotadas como se muestra en la tabla 1.

En este modelo asumimos que el compromiso del minorista respecto de la mercancía que debe comercializar es siempre por la cantidad completa que el proveedor decida fabricar, siga esta la señal o no. Por ejemplo, si P recibe como señal Q_- y aun así decide producir q_+ , M se compromete a comercializar el lote completo. Así, el costo total de comercialización para el minorista estará en función del número de bienes que le surta el proveedor.

Tabla 1.
Resumen de las variables

| Notación | Definición | Costo a cargo de |
|----------|--|------------------|
| c_M | Costo unitario de comercialización | M |
| c_p | Costo unitario de producción | P |
| S_M | Costo unitario por rotura de <i>stocks</i> | M |
| S_p | Costo unitario por rotura de <i>stocks</i> | P |
| h | Costo unitario por cada unidad no vendida | P |
| r | Costo unitario de adquisición que M paga a P | M |
| P_r | Precio unitario al que M vende cada bien al consumidor final | No aplica |

Fuente: elaboración propia.

Los costos por rotura de *stocks* apuntan a la pérdida por haber producido o comercializado una menor cantidad de unidades que las que requería el mercado. En este modelo asumimos que este costo siempre afecta a ambos agentes. El costo unitario debido a las unidades no vendidas representa el caso contrario al de rotura de *stocks*, ya que se considera que por cada unidad no vendida se genera un costo por retirar los artículos sobrantes del mercado. Las políticas de devolución para este caso implican que al ser el proveedor responsable del abastecimiento de la mercancía este correrá siempre con el costo h .

Por otro lado, las políticas de compromiso de compra para este modelo comportan que, aunque el minorista se comprometa a comercializar el lote completo de producción, este únicamente se compromete a pagar al proveedor las unidades que ha logrado vender al por menor y se acuerda que las piezas sobrantes serán retiradas del mercado. Así, la utilidad esperada de los agentes estará dada por las expresiones (1) y (2).

$$\pi_M = E[(p_r > r > c_M) \min\{Q, N\} + s_M(N - Q)^+] \quad (1)$$

$$\pi_p = E\left[r \min\{Q, N\} - c_p Q - s_p(N - Q)^+ - h(Q - N)^+\right] \quad (2)$$

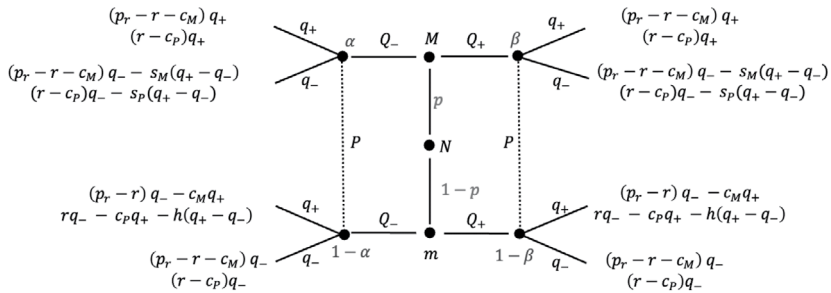
Donde π_M y π_p representan el rendimiento esperado del minorista y del proveedor respectivamente, Q la cantidad producida y se tiene que $(x)^+ = \max\{0, x\}$.

Considerando que en nuestro modelo se plantea la situación donde el minorista conoce la verdadera demanda del mercado y el proveedor solo conoce la distribución podemos presentar un juego de señales que consta de tres etapas. En la pri-

mera la naturaleza revela la demanda del mercado al minorista. En la segunda el minorista envía una señal al proveedor. Y en la tercera el proveedor determinará el nivel de producción basándose en la señal que recibió. Denotemos por α la creencia del proveedor de haber recibido la señal Q_- cuando la verdadera demanda del mercado es Q_+ . Por su parte, β la creencia asociada a recibir la señal Q_+ cuando esta es la verdadera demanda del mercado.

Así, el juego de señales queda representado por el esquema que se muestra en la figura 1, donde el nodo m queda asociado al momento de M decisión de cuando la demanda del mercado es baja y el nodo M cuando es alta.

Figura 1.
Juego de señales $G1$



Fuente: elaboración propia.

Con la figura 1 podemos enunciar nuestro primer teorema:

Teorema 1. Para el juego de señales $G1$, las estrategias:

$$s_{G1}^{s_1} = ((Q_+, Q_-), (q_+, q_+))$$

$$s_{G1}^{s_2} = ((Q_+, Q_+), (q_+, q_-))$$

son equilibrios separadores. Aún más, si la siguiente desigualdad se cumple

$$(p)[(r - c_p)q_+] + (1 - p)[rq_- - c_pq_+ - h(q_+ - q_-)] > (p)[(r - c_p)q_- - s_p(q_+ - q_-)] + [(1 - p)(r - c_p)q_-] \tag{3}$$

tenemos que para todo $a \in [0, 1]$,

$$s_{G1}^{a_1} = ((Q_-, Q_-), (q_+, (aq_+, (1 - a)q_-)))$$

$$s_{G1}^{a_3} = ((Q_+, Q_+), (q_+, (aq_+, (1 - a)q_-)))$$

son equilibrios agrupadores. Finalmente, si (3) no se cumple, entonces,

$$s_{G_1}^{a_2} = ((Q_-, Q_-), (q_-, q_-))$$

$$s_{G_1}^{a_4} = ((Q_+, Q_+), (q_+, q_+))$$

son equilibrios agrupadores.

Demostración. Esta prueba se dividirá en dos partes de acuerdo con el tipo de señal.

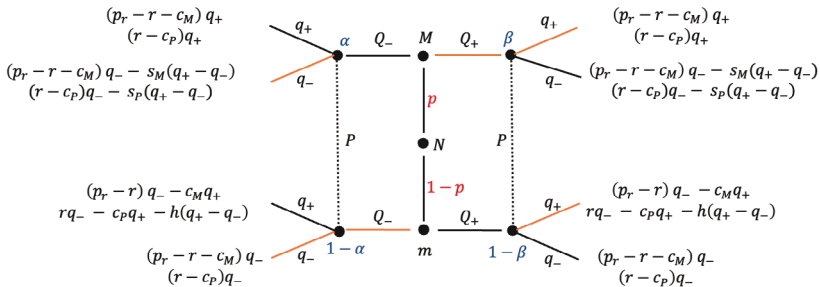
Señales separadoras

Analizaremos dos estrategias que implican que, cuando el emisor manda la señal, el receptor debe decidir su mejor respuesta considerando que no sabe con certeza en qué conjunto de información se encuentra en esa etapa del juego. Esto es, en el momento en el que el receptor recibe la señal este deberá determinar su mejor respuesta en cada conjunto de información.

La estrategia $s_M = (Q_+, Q_-)$ se interpreta como que el minorista siempre revela al proveedor la verdadera señal del mercado, es decir, coopera con él. Las líneas naranjas en la figura 2 representan las decisiones de los agentes que se analizan bajo esta circunstancia.

En este caso vemos que $\alpha = 0$ y $\beta = 1$, lo que implica que P hará q_- en el conjunto de información de α , siempre que $(r - c_p)q_- > rq_- - c_p q_+ - h(q_+ - q_-)$ lo cual siempre ocurre; y hará q_+ en el conjunto de información de β siempre que $(r - c_p)q_+ > (r - c_p)q_- - s_p(q_+ - q_-)$, lo que también se cumple siempre. Así mismo, observamos que si M cambia su estrategia en el nodo asociado a p no mejora. Lo mismo sucede en el nodo asociado a $(1 - p)$. Por lo tanto, la estrategia $s_{G_1}^{s_1} = ((Q_+, Q_-), (q_+, q_-))$ es un equilibrio separador del juego.

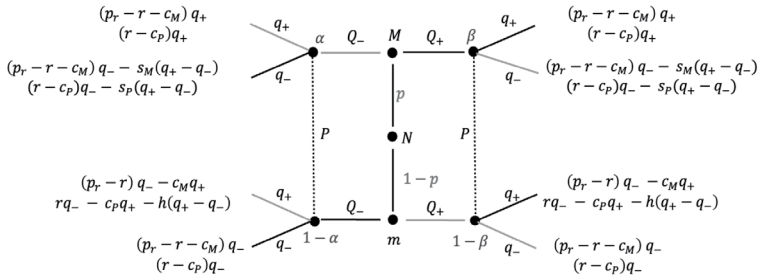
Figura 2.
Nunca mentir y seguir la señal en G_1



Fuente: elaboración propia.

El análisis de la estrategia $s_M = (Q_-, Q_+)$ es análogo pero con una interpretación contraria. Dicha estrategia implica que el minorista siempre manda la señal equivocada al proveedor: le miente siempre. El esquema correspondiente a este caso se muestra en la figura 3.

Figura 3.
Mentir siempre y nunca seguir la señal en G1



Fuente: elaboración propia.

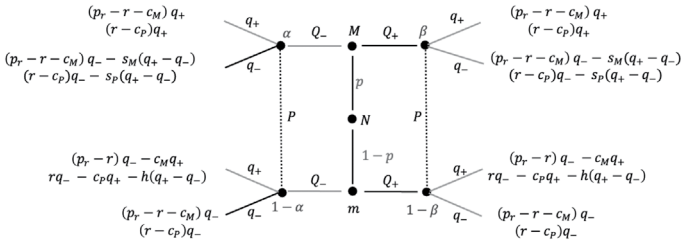
Para este caso se tiene que $\alpha = 1$ y $\beta = 0$. Así, P decidirá q_+ en el conjunto de información de α , siempre que $(r - c_p) q_+ > (r - c_p) q_- - s_p (q_+ - q_-)$, lo cual siempre se cumple; y decidirá q_- en el conjunto de información de β siempre que $(r - c_p) q_+ > (r - c_p) q_- - s_p (q_+ - q_-)$ lo que también se cumple siempre sin importar el valor de las variables. También observamos que para cada nodo de decisión de M si se cambia de estrategia la utilidad no mejora, por ende, la estrategia $s_{G1}^{s2} = ((Q_-, Q_+), (q_+, q_-))$, que implica mentir siempre y no seguir la señal, es también un equilibrio separador.

Señales agrupadoras

En esta parte analizamos dos estrategias que comportan que el emisor manda siempre la misma señal, por lo tanto, el receptor debe construir una creencia basada en la distribución de la demanda para poder elegir su mejor respuesta. Recibir esta clase de señales conlleva para el receptor conocer en esa etapa del juego en cuál de los dos conjuntos de información se encuentra, y con fundamento en esta información deberá determinar su mejor respuesta considerando que está en el conjunto de información asociado a la señal que recibió. Es importante destacar que para este caso el receptor tiene la libertad de elegir cualquier estrategia en el otro conjunto de información no asociado a la señal, ya que esta decisión no repercutirá en su utilidad obtenida.

La estrategia $s_M = (Q_-, Q_-)$ representa cuando el emisor decide mentir algunas veces y algunas otras no. Esto es, la señal que manda al receptor es siempre la misma. El esquema correspondiente a este caso es como se muestra en la figura 4.

Figura 4.
Mentir algunas veces en $G1$



Fuente: elaboración propia.

Observamos que para este caso $\alpha = p$ y que P elegirá q_+ en el conjunto de información de α siempre que se cumpla la siguiente desigualdad:

$$\begin{aligned}
 & (p) \left[(r - c_p) q_+ \right] + (1 - p) \left[r q_- - c_p q_+ - h(q_+ - q_-) \right] \\
 & > (p) \left[(r - c_p) q_- - s_p (q_+ - q_-) \right] + (1 - p) \left[(r - c_p) q_- \right]
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

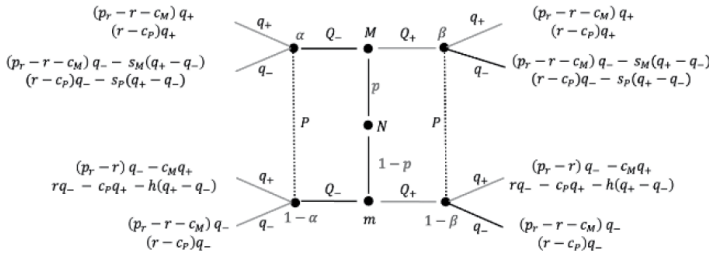
De la expresión (4) podemos concluir que dependerá enteramente del valor de las variables el que q_+ sea una mejor respuesta para el conjunto de información de α y además, cuando se cumpla dicha desigualdad, $s_{G1}^{a1} = ((Q_-, Q_-), (q_+, (a q_+, (1 - a) q_-)))$ para todo $\alpha \in [0, 1]$ es equilibrio agrupador. Por otro lado, si la desigualdad no se cumple, tenemos que $s_{G1}^{a2} = ((Q_-, Q_-), (q_-, q_-))$ es un equilibrio agrupador. En resumen, resulta que, bajo este esquema, mentir a veces es equilibrio aun si se sigue la señal o no dependiendo del valor de las variables.

Por su parte, cuando M manda la señal agrupadora $s_M = (Q_+, Q_+)$, es decir, cuando siempre le dice al receptor que la demanda de mercado es alta, tenemos la representación gráfica del juego como en la figura 5. Para este caso observamos que $\beta = p$ y que P elegirá q_+ en el conjunto de información de α , siempre que:

$$\begin{aligned}
 & (p) \left[(r - c_p) q_+ \right] + (1 - p) \left[r q_- - c_p q_+ - h(q_+ - q_-) \right] \\
 & > (p) \left[(r - c_p) q_- - s_p (q_+ - q_-) \right] + (1 - p) \left[(r - c_p) q_- \right]
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

De la expresión (5) podemos deducir las mismas conclusiones que se desprendieron de la expresión (4), concluyendo así que $s_{G1}^{a3} = ((Q_+, Q_+), ((a q_+, (1 - a) q_-), q_+))$ es un equilibrio agrupador y que, si la desigualdad no se cumple, entonces $s_{G1}^{a4} = ((Q_+, Q_+), (q_-, q_-))$ es equilibrio agrupador. Demostrando así lo que se quería probar.

Figura 5.
Mentir algunas veces en G1



Fuente: elaboración propia.

En este esquema el juego muestra varias maneras racionales de llevarse a cabo, las cuales no necesariamente se relacionan con mandar señales correctas y seguirlas, resultado que no es del todo deseado, ya que sigue implicando que el comportamiento racional no necesariamente va de la mano con la cooperación entre agentes.

Estas conclusiones nos motivan a proponer en la siguiente sección una modificación de la política bajo la cual se establece la relación entre los agentes.

Una modificación al modelo

En esta sección propondremos una manera diferente de llevar a cabo las políticas de compra, devolución, compromiso de cantidad de compra y comercialización, y costo por rotura de *stocks*. Nuestra propuesta no ha sido estudiada en otros trabajos y está claramente adaptada a la situación simplificada que hemos trabajado en este artículo, la cual fue pensada principalmente para conseguir un modelo donde para los agentes la única manera racional de actuar sea mediante la cooperación.

La primera modificación se hará al costo unitario de comercialización, donde en la sección anterior el minorista estaba obligado a comercializar el lote completo de producción, sin embargo, aquí proponemos que cuando el minorista envíe la señal Q_- y esta sea verdadera, pero el proveedor decida producir q_+ , es decir, que no siga la señal, entonces, el costo de comercialización para el minorista será de $c_M q_-$, esto significa que el minorista no está obligado a comercializar lotes grandes cuando sepa que sobrarán piezas y haya comunicado esta información al proveedor. Por otro lado, si el minorista envía la señal falsa Q_+ y el proveedor decide seguirla, entonces el costo de comercialización del minorista seguirá siendo de $c_R q_-$ pero este absorberá por completo el costo por unidades sobrantes h como consecuencia de haber mentado.

Respecto de los costos por rotura de *stocks* proponemos que cuando el minorista envíe la verdadera señal Q_+ , pero el proveedor decida producir q_- , entonces, el costo por rotura de *stocks* únicamente afectará al proveedor como efecto de no

haber seguido la señal. Por otro lado, si el minorista envía la señal falsa Q_- y el proveedor sigue esta señal, entonces, el costo por rotura de *stocks* afectará al minorista como consecuencia de haber mentido.

Por último, para los casos en los que el minorista mienta y el proveedor no siga la señal, el primero será penalizado con un costo de pérdida de confianza denotado por $e > 0$. Este caso puede ser explicado como una situación en donde el proveedor solicita información que ya conoce al minorista con el único propósito de averiguar si el otro agente está cooperando o no. La tabla 2 resume las políticas de compraventa de nuestro caso.

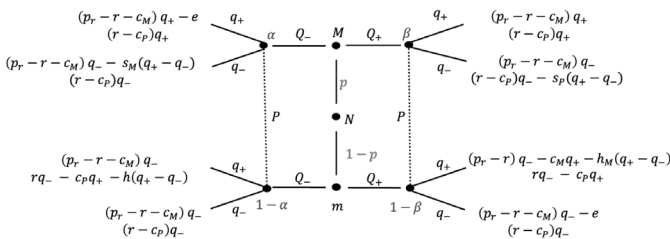
Tabla 2.
Resumen de las políticas de compraventa

| Caso | Costos para P | Costos para M |
|---|----------------------------|---------------------------------|
| <i>Demanda alta</i> | | |
| M envía señal verdadera y P la sigue | $c_p q_+$ | $(r + c_M)q_+$ |
| M envía señal verdadera y P no la sigue | $c_p q_- + s_p(q_+ - q_-)$ | $(r + c_M)q_-$ |
| M envía señal falsa y P la sigue | $c_p q_-$ | $(r + c_M)q_- + s_M(q_+ - q_-)$ |
| M envía señal falsa y P no la sigue | $c_p q_+$ | $(r + c_M)q_+ + e$ |
| <i>Demanda baja</i> | | |
| M envía señal verdadera y P la sigue | $c_p q_-$ | $(r + c_M)q_-$ |
| M envía señal verdadera y P no la sigue | $c_p q_+ + h(q_- - q_+)$ | $(r + c_M)q_-$ |
| M envía señal falsa y P la sigue | $c_p q_+$ | $(r + c_M)q_- + h(q_+ - q_-)$ |
| M envía señal falsa y P no la sigue | $c_p q_-$ | $(r + c_M)q_- + e$ |

Fuente: elaboración propia.

De esta forma, el juego de señales asociado a nuestra propuesta queda dado como se muestra en la figura 6.

Figura 6.
Juego de señales G_2



Fuente: elaboración propia.

A continuación mostraremos nuestro segundo teorema.

Teorema 2. Para el juego de señales $G2$ la estrategia

$$s_{G2}^{s1} = ((Q_+, Q_-), (q_-, q_+))$$

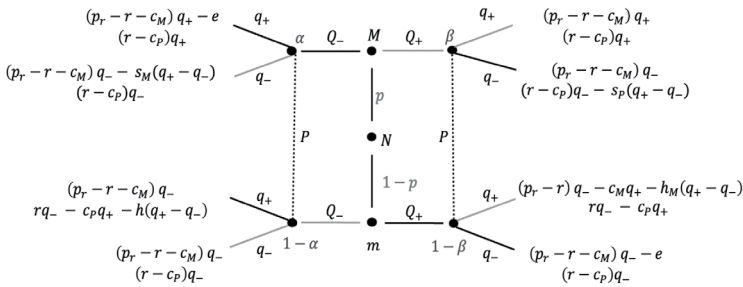
es el único equilibrio separador del juego. Más aún, si $e > (p_r - r - c_M)(q_+ - q_-)$ no existen equilibrios agrupadores.

Demostración. Esta prueba se dividirá en dos secciones de acuerdo con los tipos de señales y se llevará a cabo mostrando los casos de forma exhaustiva.

Mediante esquemas analizaremos qué implicaciones tiene para los agentes que el minorista diga siempre la verdad, esto es, mande la señal $s_M = (Q_+, Q_-)$. En la figura 7 observamos que en este caso $\alpha = 0$ y $\beta = 1$, entonces, P elegirá q_- en el conjunto de información de α , siempre que $(r - c_p)q_- > rq_- - c_pq_+ - h(q_+ - q_-)$, lo cual siempre sucede sin importar el valor de las variables; y elegirá q_+ en el conjunto de información de β siempre que $(r - c_p)q_+ > (r - c_p)q_- - s_p(q_+ - q_-)$, lo que siempre sucede. Por lo tanto, $s_{G2}^{s1} = ((Q_+, Q_-), (q_-, q_+))$ es un equilibrio separador.

Figura 7.

Nunca mentir y seguir la señal en $G2$

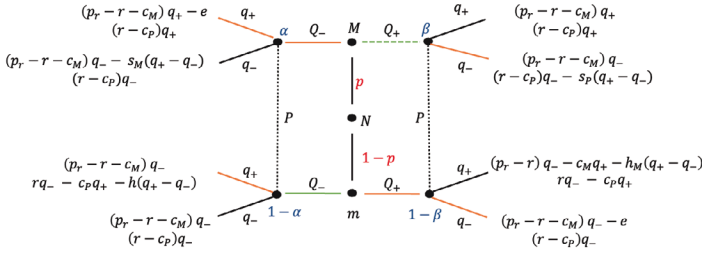


Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, cuando el minorista decide mandar la señal $s_M = (Q_-, Q_+)$ obtenemos el esquema mostrado en la figura 8, en donde podemos advertir que $\alpha = 1$ y $\beta = 0$, lo que implica que q_+ es la mejor respuesta para P en el conjunto de información de α siempre que $(r - c_p)q_+ > (r - c_p)q_-$, lo cual siempre se cumple sin importar el valor de las variables; y elegirá q_- en el conjunto de información de β siempre que $(r - c_p)q_- > rq_- - c_pq_+$, lo que siempre se cumple. También observamos que a M le conviene cambiar su estrategia en el nodo asociado a $(1 - p)$ ya que mejoraría su pago, tal y como se destaca en el esquema con la línea sólida color verde. Por otra parte, si $e > (p_r - r - c_M)(q_+ - q_-)$, para M cambiar de estrategia en el nodo asociado

a p es mejor respuesta. Así, concluimos que no existe ningún equilibrio asociado a la señal que implica mentir siempre.

Figura 8.
Mentir siempre en $G2$



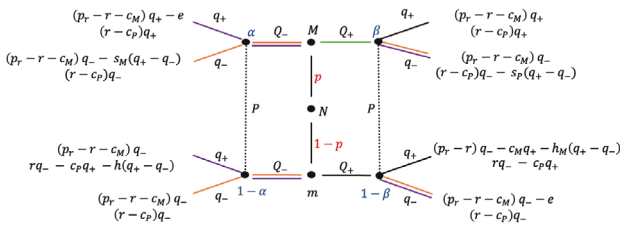
Fuente: elaboración propia.

Señales separadoras

Enseguida analizaremos los casos en que el emisor decide mandar una misma señal sin importar la verdadera demanda del mercado.

Así, para la señal $s_M = (Q_-, Q_-)$ tenemos la figura 9.

Figura 9.
Mentir a veces en $G2$



Fuente: elaboración propia.

Vemos que $\alpha = p$ y entonces, P elegirá q_+ en el conjunto de información de α , siempre que:

$$(p)[(r - c_p)q_+] + (1 - p)[rq_- - c_pq_+ - h(q_+ - q_-)] > (r - c_p)q_- \tag{6}$$

De la expresión (6) podemos observar que, según el valor de las variables, habrá ocasiones en donde para P elegir q_+ en el conjunto de información de α sea mejor

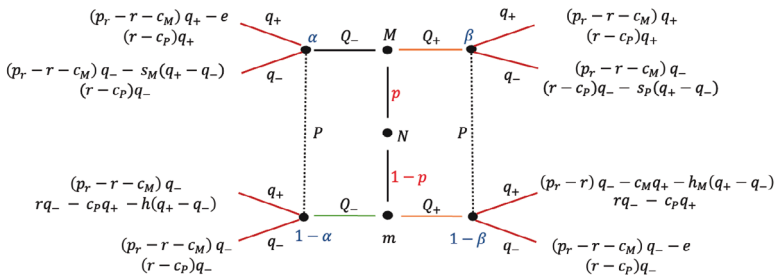
respuesta, tal y como se señala con las líneas púrpuras, y además, si $e > (q_+ - q_-)$ ($pr - r - c_M$) entonces M no estará eligiendo su mejor respuesta en el nodo asociado a p . Después, si consideramos el caso en donde q_- sea mejor respuesta para P en el conjunto de información de α entonces M no estará eligiendo de manera racional el nodo asociado a p tal y como lo señala la línea verde. Así, demostramos que no existen equilibrios asociados a la señal $s_M = (Q_-, Q_-)$.

Señales agrupadoras

Tenemos por último el caso donde la señal es $s_M = (Q_+, Q_+)$, la cual corresponde al gráfico de la figura 10. Para este caso tenemos que $\beta = p$ y que P elegirá q_+ en el conjunto de información de β siempre que:

$$\begin{aligned}
 & (p)[(r - c_p)q_+] + (1 - p)[rq_- - c_pq_+] \\
 & > (p)[(r - c_p)q_- - s_p(q_+ - q_-)] + (1 - p)[(r - c_p)q_-]
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

Figura 10.
Mentir a veces en $G2$



Fuente: elaboración propia.

De la expresión (7) podemos observar que, según el valor de las variables, habrá ocasiones en donde q_+ sea mejor respuesta para P en el conjunto de información de β . Sin embargo, cualquiera que sea la mejor respuesta de P en el conjunto de información de β y para cualquier estrategia en el conjunto de información de α , como se ilustra con las líneas rojas, tendremos que para M siempre es mejor respuesta elegir Q_- en el nodo asociado a $(1 - p)$, como se indica con la línea verde. Así, demostramos que no es posible construir un equilibrio a partir de la señal $s_M = (Q_+, Q_+)$.

Podemos concluir entonces que con políticas propuestas en esta sección se puede obtener una y sola una manera racional de actuar que implica la cooperación entre los agentes.

CONCLUSIONES

El principal aporte de este estudio se concentra en proponer el uso de juegos de señales como herramienta para analizar los diferentes modelos de cadenas de suministro que se muestran normalmente en la literatura. Sobre todo, son de interés los modelos donde la demanda de mercado, o bien, el estudio de cualquier otra variable aleatoria se fortalezca mediante la cooperación entre los agentes. El propósito de nuestro estudio se enfoca en analizar las variables que influyen a favor o en contra de la cooperación entre agentes.

En la sección 2 encontramos diversas estructuras con las que se transmite información derivada de la interacción entre agentes. Respecto a los equilibrios $\{s_{G1}^{s_2}, s_{G1}^{a_1}, s_{G1}^{a_2}, s_{G1}^{a_3}, s_{G1}^{a_4}\}$ se destaca que debido a las políticas de producción, pedidos y devolución que imponen obligaciones a los agentes que únicamente dependen de la demanda de mercado, se respaldan comportamientos estratégicamente correctos que implican actitudes de no cooperación.

En la sección 3 destacamos un único equilibrio s_{G2}^{s1} que respalda un comportamiento cooperativo entre agentes que favorece la calidad del intercambio de información durante la interacción en la cadena de suministro. Lo anterior se garantiza por medio de cambios en las políticas de producción, devolución y pedidos, las cuales ahora dependen directamente de los comportamientos de los agentes y no solo de la demanda del mercado. En esta parte se destacan de manera explícita los cambios en las funciones de pago que tienen un efecto positivo sobre las acciones de cooperación por parte de los agentes, lo cual ayuda a generar un flujo de información de mejor calidad entre ellos.

Cuando las políticas de producción, devolución y pedidos se centran en disminuir costos, podemos advertir que, de manera incidental, se fomenta un tipo de interacción entre agentes que se enfoca en la sola obtención de mejores rendimientos para cada agente sin tomar en cuenta que estos mismos propósitos se pueden lograr garantizando un mejor flujo y calidad de la información. Es por eso que analizar las diferentes generalizaciones de nuestro modelo y compararlas con los modelos que se estudian de forma común en la literatura es una tarea de interés para esta área de investigación.

Las generalizaciones más directas de nuestro modelo podrían girar en torno al replanteamiento de los espacios de estrategias de los agentes. Por ejemplo, considerar que el espacio de estrategias de P está dado por $S_p = [q_-, q_+] \times [q_-, q_+]$ podría resultar en la obtención de un análisis más completo al tener un espacio de decisión más grande. Por su parte, el espacio de estrategias de M podría considerar señales más complejas, como lo puede ser un intervalo continuo que represente distintos estados de la naturaleza. Esto último representaría un reto teórico debido a la dificultad para analizar y establecer la clasificación de las señales en función de su interpretación.

Otro posible ángulo desde donde se puede modificar nuestra propuesta es considerar que M solo obtiene información parcial respecto de la demanda del mercado, es decir, la información que obtiene concierne a la distribución de la demanda, lo cual implicaría que la verdadera cantidad demandada se revelará hasta la última etapa del juego cuando los agentes ya hayan realizado las acciones que eligieron de entre sus posibles estrategias. Esto representaría una situación más realista debido al tiempo que requiere la mercancía para llegar hasta el consumidor final y así los agentes puedan observar la demanda del mercado.

Las posibles modificaciones antes mencionadas son, en varios aspectos, características más apegadas a los problemas que enfrentan los agentes en una cadena de suministro y, además, destacan la importancia de tomar en cuenta la cooperación como herramienta para favorecer los objetivos individuales y comunes de cada agente.

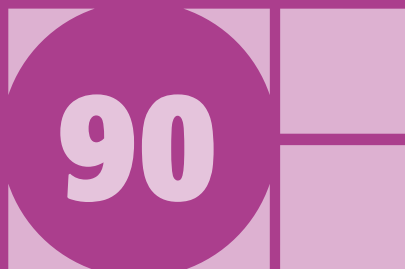
Destacamos que la simplicidad de nuestro modelo tiene la intención de establecer una visión panorámica de lo que deberían cumplir las políticas de producción y pedidos, de tal manera que surja el interés y la motivación por abordar este tipo de problemáticas desde nuestro enfoque, tomando en cuenta todas las posibles aproximaciones que se pueden abordar desde el mismo.

REFERENCIAS

1. Adida, E., & DeMiguel, V. (2011). Supply chain competition with multiple manufacturers and retailers. *Operations Research*, 59(1), 156-172.
2. Alshamsi, A., & Diabat, A. (2015). A reverse logistics network design. *Journal of Manufacturing Systems*, (37), 589-598.
3. Cachon, G. P., & Netessine, S. (2006). Game theory in supply chain analysis. *Models, Methods, and Applications for Innovative Decision Making*, 200-233.
4. Chiang, W. Y. K., & Monahan, G. E. (2005). Managing inventories in a two-echelon dual-channel supply chain. *European Journal of Operational Research*, 162(2), 325-341.
5. Garcia, D. J., & You, F. (2015). Supply chain design and optimization: challenges and opportunities. *Computers & Chemical Engineering*, (81), 153-170.
6. Georgiadis, P., Vlachos, D., & Iakovou, E. (2005). A system dynamics modeling framework for the strategic supply chain management of food chains. *Journal of Food Engineering*, 70(3), 351-364.
7. Harsanyi, J. C. (1968). Games with incomplete information played by "bayesian" players part II. Bayesian equilibrium points. *Management Science*, 14(5), 320-334.

8. Iida, T., & Zipkin, P. (2010). Competition and cooperation in a two-stage supply chain with demand forecasts. *Operations Research*, 58(5), 1350-1363.
9. Ma, J., & Wang, H. (2014). Complexity analysis of dynamic noncooperative game models for closed-loop supply chain with product recovery. *Applied Mathematical Modelling*, 38(23), 5562-5572.
10. Madani, S. R., & Rasti-Barzoki, M. (2017). Sustainable supply chain management with pricing, greening and governmental tariffs determining strategies: a game-theoretic approach. *Computers & Industrial Engineering*, (105), 287-298.
11. Maschler, M., Zamir, S., & Solan, E. (2020). *Game Theory*. Cambridge University Press.
12. Nash Jr., J. F. (1950). Equilibrium points in n-person games. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 36(1), 48-49.
13. Nash Jr., J. F. (1951). *Theory of non-cooperative games* [Tesis doctoral, Princeton University] Princeton.
14. Osborne, M. J., & Rubinstein, A. (1994). *A Course in Game Theory*. MIT Press.
15. Pedram, A., Yusoff, N. B., Udoncy, O. E., Mahat, A. B., Pedram, P., & Babalola, A. (2017). Integrated forward and reverse supply chain: a tire case study. *Waste Management*, (60), 460-470.
16. Sarmah, S. P., Acharya, D., & Goyal, S. K. (2006). Buyer vendor coordination models in supply chain management. *European Journal of Operational Research*, 175(1), 1-15.
17. Slimani, I., & Achchab, S. (2014). Game theory to control logistic costs in a two-echelon supply chain. International Conference on Logistics Operations Management. IEEE.
18. Spence, M. (1978). Job market signaling. En *Uncertainty in Economics* (pp. 281-306). Academic Press.
19. Triani, N. V. (2023). Perfect competition market. <https://ssrn.com/abstract=4338530>
20. Vasnani, N. N., Chua, F. L. S., Ocampo, L. A., & Pacio, L. B. M. (2019). Game theory in supply chain management: current trends and applications. *International Journal of Applied Decision Sciences*, 12(1), 56-97.
21. Von Neumann, J., & Morgenstern, O. (1947). *Theory of Games and Economic Behavior*. 2ª rev. Princeton University Press.
22. Yan, J., Cheng, H., & Wang, X. (2014). Study of trade credit strategies and conditions in supply chain based on perfectly competitive suppliers. En J. Xu, V. A. Cruz-Machado, B. Lev & S. Nickel (Eds.), *Proceedings of the Eighth International Conference on Management Science and Engineering Management: Focused on Intelligent System and Management Science* (pp. 677-686). Springer Berlin Heidelberg.

23. Yang, S. L., & Zhou, Y. W. (2006). Two-echelon supply chain models: considering duopolistic retailers' different competitive behaviors. *International Journal of Production Economics*, 103(1), 104-116.



CUADERNOS DE ECONOMÍA

ISSN 0121-4772

ARTÍCULOS

- ALEJANDRO MÁRQUEZ-VELÁZQUEZ
Growth and the real exchange rate: The role of technology 403
- ALVARO LALANNE
Measuring upstreamness and downstreamness based on exports 429
- KARLA FLORES-ZARUR Y WILLIAM OLVERA-LÓPEZ
Una aplicación de juegos de señales para el análisis del intercambio
de información en una cadena de suministro 465
- NOEMI LEVY ORLIK
La globalización de capital, las crisis del siglo XXI y el rezago de América Latina: ¿qué sigue? 487
- JAVIER ROZO BONILLA Y ALEJANDRA SÁNCHEZ VÁSQUEZ
Greenium en Colombia: estudio de caso del mercado de bonos verdes
a partir de un modelo estructural de dos factores 517
- GERMÁN SÁNCHEZ-PÉREZ, JORGE E. SÁENZ-CASTRO Y LUZ AYDÉE HIGUERA-CÁRDENAS
Crecimiento multisectorial colombiano, 1975-2016 549
- JOSÉ MAURICIO GIL LEÓN Y JHANCARLOS GUTIÉRREZ AYALA
El comercio interindustrial e intraindustrial de un producto agrícola:
una evaluación de la papa en Colombia, 1992-2019 573
- OMAR CASTILLO NÚÑEZ
La respuesta de la oferta de yuca al precio en los departamentos de Córdoba y Sucre,
Colombia: una regresión cointegrante, 1976-2019 603
- ELMER SÁNCHEZ DÁVILA
The Peruvian mining boom and dutch disease. Empirical evidence from 2003 to 2020 629
- FACUNDO BARRERA INSUA Y DEBORAH NOGUERA
Determinantes salariales intersectoriales en la Argentina: un modelo
de análisis para las dinámicas desiguales del capital y el trabajo 651
- JOSÉ CARLOS ESPINOZA
Crecimiento económico y alternancia política en México a nivel estatal 677
- JONATHAN ANDREY BARRANDEY CHAVIRA
La disminución de la participación del trabajo en el ingreso en México, 2004-2019 695
- AMÉRICA IVONNE ZAMORA TORRES Y RENÉ AUGUSTO MARÍN-LEYVA
Análisis econométrico de las aduanas en México: una estimación de
Hausman-Taylor y Amemiya-MaCurdy 723

ISSN 0121-4772

