



Designing a Collaborative Logistics Management System for Small Agricultural Producers

Jennifer Arellana-Guzman, Julian Arellana, Victor Cantillo and Carlos Otero-Palencia

EasyChair preprints are intended for rapid dissemination of research results and are integrated with the rest of EasyChair.

February 26, 2024

Diseño de un sistema de Gestión Logística Colaborativa para Pequeños Productores Agrícolas

Jennifer Arellana-Guzman¹, Julián Arellana¹, Víctor Cantillo¹, Carlos Otero-Palencia²

1: Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Norte, Colombia.

2: Department of civil and environmental Engineering, UC Davis, California, U.S.A.

Resumen

En América Latina, frecuentemente los pequeños productores agrícolas enfrentan dificultades para acceder a mercados con precios competitivos, marginándolos así, económica y socialmente. En consideración, esta investigación propone el diseño de un modelo logístico basado en colaboración y apoyado en TICs, que permite reducir costos logísticos y de transporte mediante la explotación conjunta de economías de escala. Las sinergias entre productores permitirían no sólo reducir el costo, sino también aumentar el acceso a nuevos mercados más competitivos, facilitar procesos de consolidación, la agregación de valor sobre los productos, y una mayor participación y poder de negociación. El modelo consiste en una red de centros de acopios compartidos donde se considera multi-jugadores y múltiples familias de agro-productos. El modelo saca provecho del concepto de justicia provisto por el Valor de Shapley para primero determinar la formación de coaliciones y segundo asignar individualmente los beneficios obtenidos. En su diseño y para un caso de estudio, el modelo está apoyado en una plataforma web prototipo que permite recoger la información necesaria para la compra y venta de agro-productos, del que se sirven pequeños productores agrícolas del Departamento del Atlántico-Colombia.

Palabras claves: Logística agrícola, teoría de juegos cooperativos, TICs, optimización, localización de instalaciones.

1. Introducción

En Colombia, los trabajadores en el sector agropecuario son, en su gran mayoría, pequeños productores agropecuarios y ocupan un papel importante en la economía. Sin embargo, presentan diversas problemáticas que les dificulta en gran medida su desarrollo en el mercado y crecimiento, tales como el poco acceso a los mercados grandes, altos costos de transporte de carga, bajo acceso a nuevas tecnologías(TICs), y bajo desempeño logístico en el transporte de carga consolidada e integrada(1).

Este proyecto busca disminuir dichas dificultades, respondiendo a la siguiente pregunta ¿cómo mejorar las condiciones de los productores agropecuarios para avanzar hacia una agricultura más eficiente, equitativa y sostenible utilizando un modelo logístico colaborativo apoyado en TICs? Este trabajo propone estrategias colaborativas como la formación de coaliciones entre los productores y el diseño de una red logística con facilidades compartidas. El desarrollo involucra dos etapas. En la primera, se desarrolla un problema de localización de instalaciones para los centros de acopio minimizando costos de transporte y costos de instalaciones. La segunda etapa propone integrar al modelo la asignación de los pagos de una forma equitativa que incentive a los productores a ser parte de la estrategia colaborativa por el método de la función de valor de Shapley de teoría de juegos cooperativos.

El sistema propuesto se apoya en una plataforma web prototipo que servirá para recolectar parte de la información para correr el modelo, facilitar el flujo de información y el comercio electrónico. La plataforma web permite al administrador del sistema obtener información de la oferta de los pequeños productores y de los niveles de demanda determinados por los compradores. El sistema facilita la asociación de manera que se puedan sumar las ofertas de los pequeños productores para satisfacer la demanda, utilizando para tal propósito los centros de acopios de la red diseñada.

2. Revisión de la literatura

El sector agropecuario en Colombia presenta bajos niveles de tecnificación, por lo que ha visto disminuir con el tiempo su participación en el PIB(2). Para crecer, este sector debe adaptar sus modelos comerciales tradicionales, mejorar la eficiencia de los procesos y su interacción en toda la cadena de suministros. Sin embargo, hay obstáculos para tal propósito, destacando el limitado acceso a los grandes mercados de pequeños productores, altos costos de transporte, bajo acceso a nuevas tecnologías(TICs), bajo desempeño logístico en el transporte de carga consolidada e integrada(1).

Un impulsador que pudiera compensar en parte las dificultades que se presentan en el desarrollo económico del sector es lograr asociaciones colaborativas, para lo cual resulta particularmente útil la aplicación de TICs. El comercio electrónico facilita la expansión hacia nuevos mercados, aumenta la competitividad y calidad de servicio, y otorga respuesta rápida a las necesidades y cadenas de entrega más cortas o inexistentes lo que puede dar lugar a una reducción de precios finales e incremento de la producción(3). Un ejemplo relevante del alcance del comercio electrónico es Taobao en China, que es la tienda en línea No. 1 para el comercio de agro alimentos con un modo de comercio Business To Consumer(4). En Colombia, la plataforma Comproagro funciona gratuitamente como una market place, donde los agricultores se registran, comparten la información de sus productos y se publica el clasificado, para que posteriormente el comprador y el vendedor cuadren la logística(5).

Una de las contribuciones de este artículo radica en formular un modelo de localización de instalaciones usando el valor de Shapley de teoría de juegos cooperativos. Adicionalmente, la aplicación del modelo usando TICs, permite priorizar la unificación de productos de pequeños productores agropecuarios, que es otra de las contribuciones del estudio, las cuales pueden ser escalables a otros contextos geográficos.

La revisión literaria de modelos colaborativos muestra que existen modelos multi-nivel en redes de cadenas de suministros como Tsiakis et al.(6) consideran multi-producto, incertidumbre en la demanda, costos por manipulación de productos, costos de transporte, costos de establecer una instalación; además, utiliza el concepto de familias de productos y considera que la capacidad de almacenamiento de una bodega está sujeta al flujo que pasa por ella.

Estudios recientes han potenciado los modelos basados en teoría de juegos cooperativos. Otero et al.(7) resolvieron un problema de reabastecimiento conjunto de productos con entornos de colaboración más realista, consideran demanda estocástica, capacidad limitada en las bodegas y en el transporte, multi-compradores, productores y vendedores. El estudio involucra además el método de asignación de ganancias con sentido de la equidad del valor de Shapley de teoría de juegos cooperativos, logrando economías de escala que facilitan reducir los costos de operación y de reabastecimiento al compartir gastos. Dror et al.(8) examina el comportamiento de miles de muestras aplicando diferentes métodos de solución de teoría de juegos cooperativos y afirma que el valor de Shapley se caracteriza por la propiedad de la equidad. Entretanto, Elomri et al.(9) advierten que la propiedad de equidad no garantiza estabilidad en el sentido del núcleo; es decir, no puede garantizar siempre una solución óptima, con excepción de juegos convexos.

3. Metodología

Para este proyecto se plantea un modelo logístico apoyado en TICs que utiliza estrategias colaborativas en cadenas logísticas agropecuarias. El modelo se basa en la formación de coaliciones(miembros/jugadores dispuestos a colaborar) entre los productores, quienes comparten centros de acopio para la consolidación y gestión de los productos agrícolas y su posterior envío hasta los mercados destino. Dado que los jugadores son distintos en cuanto su participación en volumen de carga, localización y comparten recursos y riesgos, se propone el uso de las técnicas de la Teoría de Juegos Colaborativa para asignar individualmente los beneficios alcanzados de forma coalicional. En particular se tiene interés en una estrategia de asignación justa, es decir, que sea capaz de considerar el mérito y/o esfuerzos de los jugadores en proporción a sus beneficios, es por esto se escogió el uso de la función de Shapley(10); una técnica conocida por su imperante concepto de justicia.

En una primera instancia, se resuelve un problema de localización para decidir de manera eficiente la ubicación de bodegas/centros de acopio minimizando los costos logísticos asociados. En particular el modelo aquí propuesto, considera múltiples compradores, vendedores y familias de productos bajo una demanda determinística y capacidades de almacenamiento limitadas. Los costos asociados son relativos al transporte y los flujos de carga de viajes tanto directos; desde los orígenes hasta los destinos como viajes con paradas en centros de acopio, además, se consideran costos de almacenar y manipular la carga, y costos relacionados con la administración de los centros de acopio.

Luego en segunda instancia, se realiza la asignación de beneficios mediante función de Shapley(10); método que asigna beneficios individuales proporcionales a la contribución marginal que cada miembro/jugador aporta para reducir los costos de toda la coalición. Cuando se puede garantizar que la mejor coalición es aquella formada por todos los jugadores y los axiomas de simetría, eficiencia, juego ficticio y linealidad, el Valor del Shapley garantiza que los jugadores reciben la mejor asignación de beneficios o pagos posible, haciendo la coalición estable. Esto implica el cálculo de los beneficios que obtendría cualquier sub-coalición del conjunto N , representando un total de $2^{|N|} - 1$ iteraciones del modelo de localización para obtener los aportes relativos a cada miembro para finalmente determinar las contribuciones de estos a la gran coalición. En este caso particular dado que la función objetivo del problema de localización es de minimización de costos, los beneficios percibidos y asignados entre los jugadores se cuantifican como la diferencia que existe entre los costos asociados con la operación individual de cada miembro y los costos que tendría al operar de forma colaborativa. La naturaleza exponencial del modelo y su tiempo computacional requerido es la mayor limitante para su aplicación, sin embargo, la posibilidad de la paralelización del código reduce el tiempo computacional considerablemente.

Como caso de estudio se escogió el del Departamento del Atlántico y sus pequeños productores agrícolas. Inicialmente se diseña una red logística que involucra resolver un problema de localización de instalaciones codificado en AMPL® y luego se conecta con MATLAB®, donde se resuelve el valor de Shapley. La información fue tomada de la base agrícola EVA del Ministerio de Agricultura(11), complementada con una encuesta realizada durante la investigación. Para estimar los costos logísticos se realizó un estudio de mercado. Cabe destacar que se optó por utilizar como conjuntos de orígenes las unidades productoras agropecuarias y como conjunto de productos, familias de productos derivados de un subgrupo de productos proveniente de cultivos.

El sistema se apoya en una plataforma web, de la cual se desarrolla un prototipo, que permite gestionar los procesos de comercio electrónico y recolectar parte de la información necesaria. La modalidad de compraventa consiste en aplicar estrategias colaborativas por medio de ventas de tipo subasta al por mayor para el aprovechamiento de economías a escala, pero con la particularidad de que los productores aquí podrán consolidar sus productos. Los compradores registrarán en el sistema los niveles de demanda. El administrador del sistema consolidará la oferta suficiente para satisfacer los niveles de demanda, utilizando eficientemente los centros de acopio.

4. Resultados y conclusiones

El modelo logístico colaborativo apoyado en TICs define la cantidad y ubicación de los centros de acopio necesarios junto con los flujos y la asignación de la carga, minimizando costos. Además, asigna los pagos a los miembros que hacen parte de la coalición. Todo ello soportado en una herramienta de tecnología de información para realizar comercio electrónico con modalidad colaborativa.

Uno de los principales problemas que se presentan en las estrategias colaborativas es la desconfianza entre los participantes a formar una coalición(12, 13). En respuesta, se propone el uso de comercio electrónico mediante una plataforma web que suministra información relevante y transparente. Algunas de las ventajas del sistema son las siguientes:

- Acceso a nuevos mercados.
- Disminución de intermediarios.
- Creación de oportunidades de negocio
- Mayor participación de los pequeños productores en el mercado.
- Nuevas formas de comercialización y distribución de los productos.

- Aumento de la competitividad y calidad del servicio que puede derivar a incrementar la producción.
- Respuesta rápida a las necesidades y cadenas de entrega más cortas.
- Mejora en el control de calidad de los productos.

Para futuras investigaciones se puede expandir el tamaño del modelo escalándolo a otros contextos geográficos y ser más específicos en la toma de datos de los conjuntos de orígenes y de productos, reemplazándolos por unidades productoras y por productos individuales, respectivamente. Otra extensión consiste en que el modelo de localización puede involucrar la posible existencia de productos defectuosos y/o pérdidas en los envíos de los productos, considerar los diferentes periodos de tiempo en el año y la naturaleza estocástica de la demanda.

Referencias

1. UPRA, Plan de desarrollo: Atlántico líder. *Minist. Agric.*, 54 (2017).
2. S. Montiel Paternina, Impacto del tlc con estados unidos sobre los sectores económicos colombianos. *Saber, Cienc. y Lib.* **8**, 125–130 (2013).
3. S. Murillo, “Beneficios del comercio electrónico” (2011).
4. J. Yang, Z. Wang, Research on the application of e-commercial modes for agro-food in mainland China: O2O and B2C. *2015 Int. Conf. Logist. Informatics Serv. Sci. LISS 2015* (2015), doi:10.1109/LISS.2015.7369645.
5. L. G. Benavides, La tienda virtual Comproagro llegó a 26.000 usuarios y lanzará su propia app. *AGRONEGOCIOS* (2019) (available at <https://www.agronegocios.co/agricultura/la-tienda-virtual-comproagro-llego-a-26000-usuarios-y-lanzara-su-propia-app-2838760>).
6. P. Tsiakis, N. Shah, C. C. Pantelides, Design of multi-echelon supply chain networks under demand uncertainty. *Ind. Eng. Chem. Res.* **40**, 3585–3604 (2001).
7. C. Otero-Palencia, R. Amaya-Mier, R. Yie-Pinedo, A stochastic joint replenishment problem considering transportation and warehouse constraints with gainsharing by Shapley Value allocation. *Int. J. Prod. Res.* **57**, 3036–3059 (2019).
8. M. Dror, B. C. Hartman, Survey of cooperative inventory games and extensions. *J. Oper. Res. Soc.* **62**, 565–580 (2011).
9. A. Elomri, A. Ghaffari, Z. Jemai, Y. Dallery, Cost allocation in a full truckload shipment consolidation game. *Int. J. Invent. Res.* **2**, 127 (2013).
10. Shapley, *The Shapley Value: Essays in Honor of Lloyd S. Shapley*. (Cambridge University Press, 1991), vol. 58.
11. Agronet, Evaluaciones Agropecuarias (EVA) (2019), (available at <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=59>).
12. B. C. Hartman, M. Dror, Optimizing centralized inventory operations in a cooperative game theory setting. *IIE Trans. (Institute Ind. Eng.)* **35**, 243–257 (2003).
13. M. Nagarajan, G. Sošić, Game-theoretic analysis of cooperation among supply chain agents: Review and extensions. *Eur. J. Oper. Res.* **187**, 719–745 (2008).