

Modelado de la cadena de suministro de la soja en Argentina: análisis de flujos.

María de los Milagros, Verrengia¹ y Aldo Vecchiatti¹

¹ INGAR – CONICET-UTN, Santa Fe (3000), Argentina
mverrengia@santafe-conicet.gov.ar
aldovec@santafe-conicet.gov.ar

Resumen: En este trabajo se presenta un modelo de la cadena de suministro de la soja en Argentina. Este es el primer modelo matemático de una serie de éstos para analizar el comportamiento de la industria de la soja. Este sector agroalimentario tiene un importante peso en la economía argentina, tanto en la producción, como en el empleo; es el sector generador de divisas por excelencia, de allí la importancia de contar con modelos sistemáticos para analizar su comportamiento y apoyar a la toma de decisiones que mejoren el rendimiento de la cadena. Particularmente, se presenta un modelo mixto entero lineal, que representa a la cadena de suministros en tres niveles: zona de producción, acopios y zonas de destino final. En este trabajo se analizan los flujos entre los distintos niveles y los transportes. La función objetivo del modelo es minimizar los costos de transporte y almacenamiento. Se resuelve un caso de estudio del año 2014 y se lo compara con los resultados obtenidos por el Ministerio de Transporte de Argentina para el mismo año. El modelo presenta un buen ajuste con los resultados del estudio del Ministerio.

Palabras claves: Soja, Cadena de Suministros, Análisis de Flujo, Transporte

1 Introducción

Argentina tiene un rol importante como proveedor privilegiado de alimentos a todo el mundo. Tanto factores de origen interno como la abundancia de recursos naturales, la eficiencia en la producción primaria, los cambios tecnológicos y organizacionales, y algunas oportunidades a nivel internacional, como la demanda actual y futura de alimentos, fundamentan que Argentina está en condiciones de fortalecer su competitividad internacional y su inserción en las cadenas de valor de los alimentos a nivel global, a través de una profundización de su especialización productiva en la cadena agroalimentaria. El sector agroalimentario tiene un importante peso en la economía argentina, tanto en la producción como en el empleo; es el sector generador de divisas por excelencia y, también, realiza un enorme aporte a la igualdad geográfica dado su amplia presencia territorial en el país [1].

Por su importancia en la economía nacional y la participación en los internacionales, es que resulta de gran interés estudiar las cadenas de suministro (CS) agroalimentarias desde diversas perspectivas: sus procesos de producción, comercialización y logística.

Es necesario generar información estratégica sobre las tendencias de mercados, su dinámica de funcionamiento, la caracterización de sus principales actores, las estrategias de producción, así como los desafíos y oportunidades en las cadenas de valor, buscando generar una mayor sinergia entre los actores públicos y privados de los sistemas regionales y nacionales [2].

En este artículo se propone analizar los flujos de producción, transporte, almacenamiento y comercialización de la soja, su consumo y transformación en productos finales, generando una herramienta de apoyo a la toma de decisiones, tal que permita definir políticas y mejoras a la gestión de los recursos, para incrementar los rendimientos y beneficios de toda la cadena.

En la literatura existen diversos trabajos relacionados con la propuesta de este artículo. Courtonne y col. [3] efectúan un análisis del flujo de materiales en la cadena de suministros de cereales en Francia. Los autores aplican un análisis de flujo de materiales (AFM) que es una evaluación sistemática de los flujos y existencias de materiales dentro de un sistema definido en el espacio y el tiempo. Particularmente aplican la metodología para mapear los flujos de los cereales y su economía, tanto desde un punto de vista espacial como de procesamiento; el objetivo es vincular los flujos asociados a la extracción de materias primas, su procesamiento, comercialización y consumo de los productos derivados. Estos autores señalan los obstáculos para generar estos modelos: contar con recursos humanos calificados y recursos financieros que permitan realizar los análisis pertinentes. También destacan que el método aplicado constituye una importante herramienta de ayuda a la toma de decisiones para mejorar la gestión de recursos en el sector cerealero.

Mogale y col. [4] estudian el problema de almacenamiento y transporte de trigo a granel en la India, en una red de cadena de suministro de dos etapas que depende del Sistema de Distribución Pública (PDS) de ese país. Para ello, desarrollan un modelo de programación no lineal mixto entero (MINLP), cuyo objetivo es minimizar el transporte, el almacenamiento y el costo operativo del grano alimentario desde los estados productores a los estados consumidores. Los autores resaltan que el problema abordado es complejo y con grandes desafíos, debido a la cantidad de actores que intervienen, lo estacional de algunas de sus operaciones, la limitada capacidad de almacenamiento, el transporte y la infraestructura existente. Emplean un algoritmo heurístico basado en Tabú Search para resolver el problema.

He y Li [5] abordan el problema de recolección y el transporte de trigo en China, como un sistema integrado a optimizar, con el objetivo de reducir los costos operativos totales. Los autores proponen un modelo de programación mixto entero, basado en problemas de ruteo de vehículos en conjunto con un problema de transporte. Para resolver el problema emplean un algoritmo genético híbrido. Para analizar las capacidades de la propuesta, resuelven cinco casos de estudio, los resultados muestran que se pueden lograr mejoras significativas en los costos de recolección y transporte de trigo. Por lo tanto, concluyen que el modelo y el algoritmo propuesto son un enfoque eficaz para ayudar a los agricultores a reducir costos.

Por su parte, Asgari y col. [6] presentan un problema de logística del transporte de trigo en Irán. Formulan un programa matemático lineal mixto entero (MILP) para determinar las cantidades óptimas a transportar entre las diferentes provincias de ese país, en un

modelo multiperíodo mensual. Para resolverlo también emplean un algoritmo genético. El modelo propuesto incluye las particularidades de la comercialización del trigo en Irán, que comprende diversos actores gubernamentales y privados. El objetivo del trabajo era lograr una representación ajustada del problema y resolverlo en un tiempo de cómputos aceptable, es por eso que el énfasis del artículo se puso en el desarrollo del algoritmo genético que resuelve el problema.

El presente trabajo constituye el comienzo de un proyecto que tiene como objetivo final generar modelos que permitan analizar la cadena de suministro de la soja en Argentina, para cubrir aspectos económicos, ambientales y sociales. El artículo presenta, en primer lugar, una descripción de las hipótesis propuestas en el modelo y se caracteriza el problema, luego se exponen las restricciones y ecuaciones del modelo para, posteriormente, presentar los resultados obtenidos, las conclusiones y trabajos futuros.

2 Metodología

2.1 Descripción del problema

En este trabajo se busca analizar la cadena de suministro de la soja desde la perspectiva de sus flujos, desde la zona de producción del grano hasta su conversión en producto final. Se persigue como objetivo contar con un modelo que permita sistematizar y comprender los flujos de las cargas, los transportes involucrados, de manera que permita analizar los costos vinculados, la infraestructura del transporte y con ello poder determinar políticas que mejoren su rendimiento.

El modelo se basa en las siguientes suposiciones:

- La cadena de suministro consta de tres niveles: el primer nivel corresponde a las zonas de producción (i), donde se siembra y cosecha el grano de soja, el segundo nivel está formado por las zonas de acopio (j) y, el tercer nivel, son las zonas destino k donde se demanda el grano de soja para su procesamiento o exportación. En la Fig. 1 se muestra la estructura de la CS,
- Se considera que más del ochenta por ciento de la soja producida se almacena en acopios privados, previo a su destino final ya sea para su procesamiento en harinas, aceite ó biodiesel, como exportación de granos al exterior.
- Se trabaja sobre un año calendario, es decir, con 12 períodos de tiempo correspondiente a cada mes.
- Se propone una cantidad ilimitada de camiones para el transporte.
- El país se divide en zonas con sus centroides. Las distancias entre las zonas se miden por las distancias entre sus centroides. Esta propuesta se basó en lo presentado en [7].
- Las zonas de producción, acopio y consumos son las mismas, representadas por sus centroides.
- Se considera que la soja solo se transporta en camiones, esta suposición se basa en el hecho que, internamente, el 85% de la soja se transporta por camiones, el 13% por ferrocarril y el 2% por barco. En un futuro trabajo se incluirán los otros transportes.

4

- Se dividen las zonas en dos regiones diferentes, según la producción de este producto. La región núcleo, la cual abarca toda la región pampeana del país, donde se cosecha la soja principalmente en los meses de febrero y marzo, mientras que la región norte lo hace en los meses de abril y mayo.
- Se plantea que las distancias desde los campos donde se cosecha la soja hasta los acopios no son mayores a 80 kilómetros.
- El costo de inventario se calcula en función de las toneladas almacenadas por mes.
- Para el costo de transporte, existen dos aranceles diferenciados, los costos de “arrime” que son los que van desde las chacras a los acopios, que se hacen en camiones más antiguos, y el otro costo, desde los acopios a las zonas de producción ó los puertos de exportación, que se realizan en camiones más nuevos.

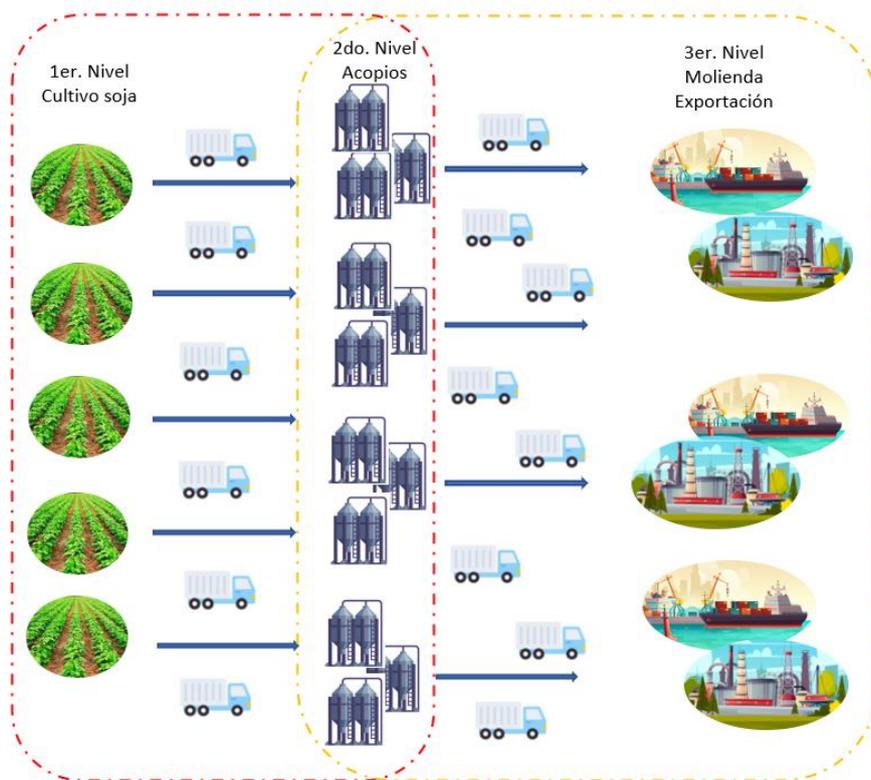


Fig. 1. Estructura de tres niveles de la cadena de suministro de la soja

Los datos de entrada necesarios son los siguientes:

- Listado de las zonas con sus centroides.
- Distancia promedio en kilómetros entre los centroides de todas las zonas.
- Demanda en toneladas de soja por mes en las distintas zonas.

- Producción en toneladas de soja por mes en cada zona.
- Capacidad de transporte máxima y mínima de los camiones, en toneladas.
- Capacidad de almacenamiento en silos por zona, en toneladas.
- Costo de inventario por toneladas por mes.
- Costo de transporte entre las zonas de producción y los acopios, en \$/km.
- Costo de transporte entre los acopios y zonas destino, en \$/km.

Las variables de decisión del modelo son:

- Asignación de nodo de origen y destino en cada período de tiempo para ambos tramos del modelo.
- Flujos de soja, en toneladas, enviadas en los camiones desde i a j y de j a k en tiempo t .
- Número de camiones enviados entre nodos i a j y desde j a k en tiempo t .
- Inventario de soja, en toneladas, en cada zona de acopio, en el tiempo t .

2.2 Formulación del Modelo

El programa matemático propuesto se corresponde con uno mixto entero lineal multiperíodo, que contiene las siguientes restricciones:

La restricción (1) establece que si hay un flujo (EIJ_{ijt}) de soja desde la zona de producción i al acopio j en el tiempo t , para lo cual la variable binaria (y_{ijt}) debe ser igual a 1, el flujo debe ser menor o igual a la cantidad de camiones ($NCIJ_{ijt}$) enviados entre estos nodos en dicho período por la capacidad máxima de los mismos ($KCMAX$). Estas restricciones que representan decisiones discretas se modelaron como del tipo Big.M [10].

$$EIJ_{ijt} \leq NCIJ_{ijt} * KCMAX + M * (1 - y_{ijt}) \quad \forall i, \forall j, \forall t \quad (1)$$

La restricción (2) establece que si hay un flujo (EIJ_{ijt}) de soja desde la zona de producción i al acopio j en el tiempo t , para lo cual la variable binaria (y_{ijt}) debe ser igual a 1, el flujo debe ser mayor o igual a la cantidad de camiones ($NCIJ_{ijt}$) enviados entre estos nodos en dicho período por la capacidad mínima de los mismos ($KCMIN$).

$$EIJ_{ijt} \geq NCIJ_{ijt} * KCMIN + M * (1 - y_{ijt}) \quad \forall i, \forall j, \forall t \quad (2)$$

En la restricción (3) se indica que hay flujo desde i a j en el tiempo t si se activa la variable binaria correspondiente.

$$EIJ_{ijt} \leq M * y_{ijt} \quad \forall i, \forall j, \forall t \quad (3)$$

En la restricción (4) se acota el número de camiones enviados desde una zona de producción hacia un silo en el tiempo t en función de la cota superior propuesta para

6

esta variable ($NCIJ.UP_{ijt}$), siempre que se encuentren asignados dichos nodos por la variable binaria correspondiente.

$$NCIJ_{ijt} \leq NCIJ.UP_{ijt} * y_{ijt} \quad \forall i, \forall j, \forall t \quad (4)$$

La restricción (5) indica que los envíos de soja que se realicen desde las zonas de producción y los acopios deben superar el 80% de lo que se elabore en la zona i según cada período de tiempo, pero en la restricción (6) impide superar el total producido por zona.

$$\sum_j EIJ_{ijt} \geq 0,8 * PS_{it} \quad \forall i, \forall t \quad (5)$$

$$\sum_j EIJ_{ijt} \leq PS_{it} \quad \forall i, \forall t \quad (6)$$

La restricción (7) establece que si hay envío desde el acopio j a la zona de producción k en el tiempo t (EJK_{jkt}), la variable binaria (w_{jkt}) tiene que ser igual a 1, el flujo no debe superar la cantidad de camiones enviados entre estos nodos en dicho período ($NCJK_{jkt}$) por la capacidad máxima de los mismos.

$$EJK_{jkt} \leq NCJK_{jkt} * KCMAX + M * (1 - w_{jkt}) \quad \forall j, \forall k, \forall t \quad (7)$$

La restricción (8) establece que si hay envío desde j a k en el tiempo t ($w_{jkt}=1$), este debe ser igual o mayor que la cantidad de camiones enviados entre estos nodos en dicho período por la capacidad mínima de los mismos.

$$EJK_{jkt} \geq NCJK_{jkt} * KCMIN + M * (1 - w_{jkt}) \quad \forall j, \forall k, \forall t \quad (8)$$

En la restricción (9) se indica que solo se envía desde un acopio hacia una zona destino en el tiempo t si se activa la variable binaria correspondiente.

$$EJK_{jkt} \leq M * w_{jkt} \quad \forall j, \forall k, \forall t \quad (9)$$

En la restricción (10) se acota el número de camiones enviados desde silo j a zona destino k en el tiempo t en función de la cota superior propuesta para esta variable ($NCIJ.UP_{ijt}$), siempre que se encuentren asignados dichos nodos por la variable binaria correspondiente.

$$EJK_{jkt} \leq NCJK.UP_{jkt} * w_{jkt} \quad \forall j, \forall k, \forall t \quad (10)$$

Luego se realiza el balance de materia de los silos por período de tiempo (I_{jt}) en la restricción (11), donde el inventario al tiempo t es igual al inventario en el tiempo $t-1$

(I_{jt-1}) , más los envíos recibidos de la zona de producción ($\sum_i EIJ_{ijt-1}$) menos los flujos enviados a las zonas de consumo, ambos en el tiempo t-1.

$$I_{jt} = \sum_i EIJ_{ijt-1} - \sum_k EJK_{jkt-1} + I_{jt-1} \quad \forall j, \forall t, t > 1 \quad (11)$$

En la restricción (12) se limita el inventario de acuerdo con la capacidad de almacenamiento de los silos.

$$I_{jt} \leq KAC_k \quad \forall j, \forall k, \forall t \quad (12)$$

La restricción (13) establece que el inventario en el acopio j , en el tiempo $t=1$, es igual al parámetro IO_j .

$$I_{j1} \leq IO_j \quad \forall j \quad (13)$$

La restricción (14) indica que la suma de todos los envíos desde todos los acopios a cada zona destino en el tiempo t debe igualar o superar la demanda de la misma (DS_{kt}).

$$\sum_j EJK_{jkt} \geq DS_{kt} \quad \forall k, \forall t \quad (14)$$

Finalmente, en las restricciones (15) - (17) representan las variables binarias, enteras y no negativas respectivamente

$$w_{jkt}, y_{ijt} = \{0,1\} \quad \forall i, \forall j, \forall k, \forall t \quad (15)$$

$$NCJK_{jkt}, NCIJ_{ijt} \in N_0 \quad \forall i, \forall j, \forall k, \forall t \quad (16)$$

Donde $N_0 = \{0,1,2,3 \dots\}$

$$EJK_{jkt}, EIJ_{ijt}, I_{jt} \geq 0 \quad \forall i, \forall j, \forall k, \forall t \quad (17)$$

Función Obejtivo:

La función objetivo (18) es la minimización de los costos total de transporte y de almacenamiento de la soja, desde la zona de producción hasta los destinos finales.

$$CT = CA + CIJ + CJK \quad \text{Donde } CIJ, CA, CJK \geq 0 \quad (18)$$

En la ecuación (19) se representa el costo de mantener el inventario en los silos, donde CI corresponde al costo financiero de tenerlo

$$CA = \sum_j \sum_t I_{jt} * CI \quad (19)$$

La ecuación (20) representa el costo de transporte desde las zonas de cosecha hacia los acopios para su almacenamiento, representado por la sumatoria de los productos del

costo de transporte/km (CAR) multiplicado por el flujo EIJ_{ijt} y por la distancia entre la zona de cosecha i a la de acopio j (DA_{ij}).

$$CIJ = \sum_i \sum_j \sum_t CAR * EIJ_{ijt} * DA_{ij} \quad (20)$$

Por último, el tercer término se desarrolla en la ecuación (21) donde se obtienen los costos asociados a envío desde los acopios a las zonas destinos. El primer término de la ecuación representa un costo fijo, que se corresponde a un costo por camión (CFK) multiplicado por la cantidad de camiones, mientras el segundo un término es un costo variable en función del flujo y la distancia recorrida.

$$CJK = \sum_j \sum_k \sum_t (CFK * NCJK_{jkt} + CVK * EIJ_{ijt} * DA_{ij}) \quad (21)$$

3 Resultados

El modelo se aplicó para resolver un ejemplo con los datos de producción y transporte que se encuentra en un trabajo [7] que realizó la Subsecretaría de Planificación de Transportes de Carga y logística perteneciente al Ministerio de Transporte de la Argentina. El estudio se presentó en el año 2017, con datos relevados del año 2014. De este trabajo, se tomaron 64 de las 123 zonas definidas en nuestro país. Estas 64 zonas producen el 90% de la soja total.

El modelo es un problema de programación lineal de enteros mixtos (MILP) que se planteó en el sistema GAMS [8] y se resolvió con CPLEX 12.6.3 en una computadora personal con un procesador Intel i7 con 12 GB de RAM. El modelo consta de 127.249 ecuaciones, 204.581 variables y 105504 variables discretas (binarias y enteras). Se necesitaron 10 segundos de CPU para llegar a la solución.

En la *Tabla 1* se muestra el costo total junto con un desglose de los costos parciales obtenidos. El valor de la función objetivo indica que el costo total de transporte y almacenamiento de la soja es de 1.236.950.000 dólares. El costo del transporte del tramo 1 corresponde desde las zonas de producción hasta los acopios y, los del tramo 2, desde estos últimos hacia las zonas de consumo. Los costos desde los acopios hacia las zonas de destino final son 3 veces más que los del tramo 1, esto es así porque los recorridos para acarrear la soja son más largos y, por ende, más costosos. Se consideró un costo de 0,072 dólares por toneladas kilómetros de soja enviada desde un acopio hacia una zona destino, dato extraído del informe de la Bolsa de Comercio de Rosario del mes de enero del presente año [9].

El costo de almacenamiento es importante, debido a que la soja se cosecha en cortos períodos de tiempo y en grandes volúmenes, por lo tanto, deben almacenarse hasta que pueda ser enviada a los destinos finales: elaboración de aceite/biodiesel/torta ó exportación.

En la Fig. 2, se presenta un gráfico de barras donde se puede observar la magnitud de los distintos tipos de costos involucrados medidos en porcentaje respecto del total.

Tabla 1: Composición de Costos Totales en dólares.

COSTO TOTAL	USD
TRANSPORTE TRAMO 1	190.320.000
ALMACENAMIENTO EN SILOS	437.180.000
TRANSPORTE TRAMO 2	609.450.000
TOTAL	1.236.950.000

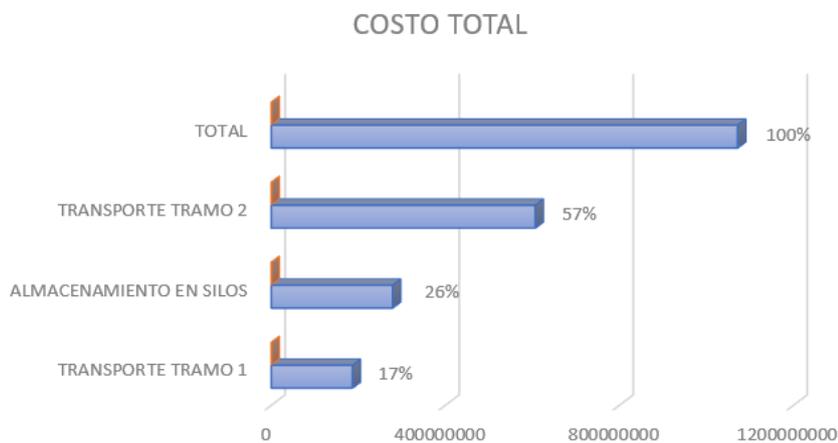


Fig. 2. Comparación de los costos parciales obtenidos como porcentajes del costo total.

Para analizar la calidad de la solución obtenida, se realiza una comparación entre la solución óptima del modelo y los datos del transporte de soja realizadas por el estudio del Ministerio de Transporte del año 2014, en cuanto a la cantidad de viajes realizados a los destinos finales.

En la Tabla 2 se presenta la comparación del total de soja transportada y viajes realizados entre la solución óptima del modelo y los datos relevados del informe del año 2014. Se puede observar en ambos escenarios que hay una diferencia del 40% entre la cantidad de soja producida total y la cantidad de soja transportada (número de viajes multiplicado por carga promedio), esto se debe a que la cadena de suministro está compuesta por los 3 niveles mencionados, necesitando ser transportada desde las zonas de producción a los acopios en primera instancia y, luego, hacia las zonas de consumo, por lo que la soja, en general, se transporta dos veces. Además, no toda la soja producida se comercializa en el mismo año, se almacena un porcentaje de soja anual de aproximadamente del 15%. Las diferencias de soja producida totales entre ambos escenarios se deben a la reducción de zonas tenidas en cuenta en el modelo, donde se utilizaron solo 64 zonas, que manejan el 90% de la producción.

Tabla 2: Comparación de la solución del modelo vs. 2014.

	2014	MODELO
TOTAL DE VIAJES	4.230.861	4.138.100
SOJA TRANSPORTADA TOTAL [TN]	114.233.254	111.479.925
SOJA PRODUCIDA TOTAL [TN]	66.315.529	62.604.034

En la Fig. 3 se puede observar la comparación del total de viajes realizados por zona. El modelo presenta una muy buena aproximación con los datos del estudio, considerando que en el informe se emplean los datos de las “cartas de porte” del INDEC, mientras que en nuestro caso los resultados son provistos por la ejecución del modelo. Para lograr este resultado los camiones se cargaron con 28 tn. de soja en promedio, siendo la cota inferior de la carga de 25 tn (*KCMIN*), y la superior de 30 tn. (*KCMAX*) Estas cotas pueden ser modificadas para lograr un mejor ajuste del modelo.

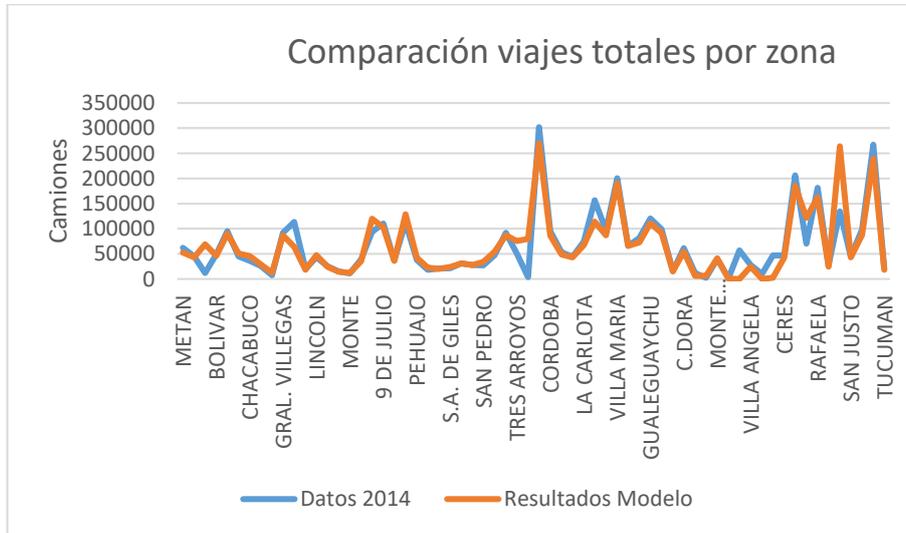


Fig. 3. Comparación de la cantidad de viajes por zona entre los resultados del modelo y el estudio del Ministerio de Transporte para el año 2014.

En la Fig. 4 se presentan los porcentajes de las toneladas totales que se consumen en cada zona. Como se observa en la figura, la zona de Rosario tiene el mayor porcentaje correspondiente al 34% del total. En el puerto de Rosario se realiza la mayor cantidad de exportaciones de soja y sus productos elaborados (aceite, torta, biodiesel), de allí el

valor obtenido. El puerto de Bahía Blanca, por las mismas razones que el de Rosario, es el siguiente con un 17% del total. La zona de Santa Fe tiene una gran cantidad de aceiteras y de producción de biodiesel. Algo similar ocurre en la zona de Rio Cuarto y Villa María en la provincia de Córdoba.

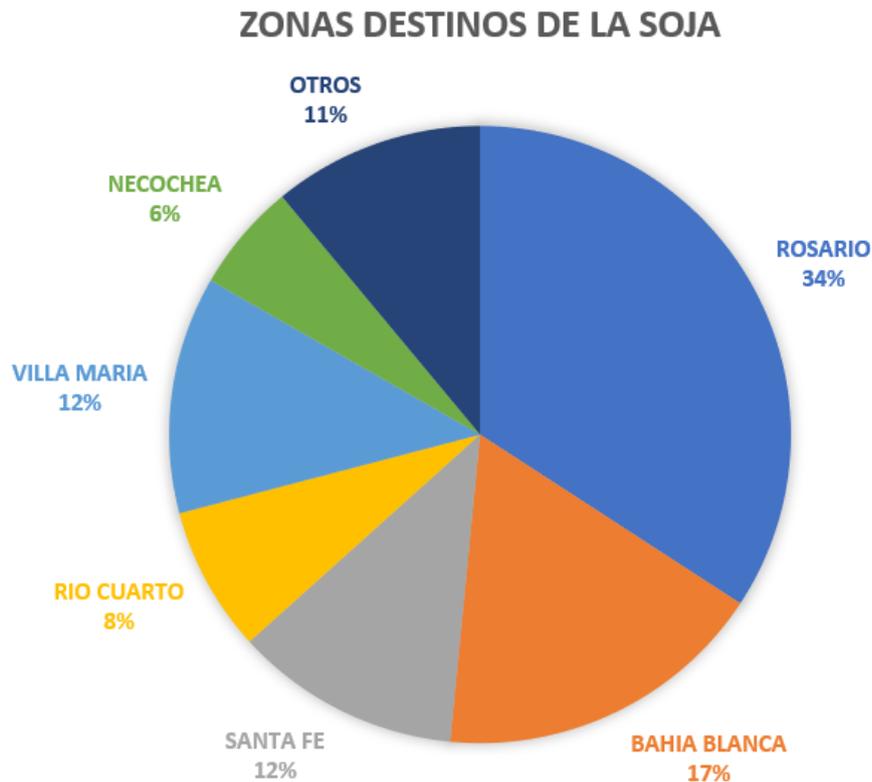


Fig. 4. Toneladas recibidas en las zonas de destino (productos finales y exportación) en porcentajes del consumo total

4 Conclusiones

En este trabajo se propuso un modelo de la cadena de suministros del cultivo de soja para la Argentina. El modelo se corresponde con un programa matemático mixto entero lineal (MILP) para representar la cadena de suministro en tres niveles: zona de producción, acopios y zonas de destinos final, que corresponden al procesamiento del grano ó la exportación de los mismos. Si bien en nuestro país se ha estudiado la industria de la

soja desde diferentes perspectivas, según el conocimiento de estos autores, no existe ninguna propuesta que modele con un programa matemático la CS y los flujos de materiales y su transporte. El modelo se aplicó a un caso de estudio de la campaña de soja para el año 2014 y se compararon sus resultados con un estudio del Ministerio de Transporte logrando una muy buena aproximación. La propuesta constituye una herramienta de análisis para apoyar la toma de decisiones en el sector productivo de la soja, mejorar su rendimiento y proponer políticas que permitan mejorar al sector. En trabajos futuros se analizará la incidencia del transporte ferroviario y fluvial, se incluirá la infraestructura existente, y se analizarán los impactos ambientales y sociales de la explotación del grano de soja.

Referencias

1. Ódola A., Morra F., Picon N. Año 2020 “Cadenas de valor agroalimentarias”. Recuperado de <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/cadenasagroalimentarias-febrero2020.pdf>.
2. Giancola S.I, Salvador M.L, Covacevich M, Iturrioz G. “Análisis de la cadena de soja en la Argentina”, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, ISSN 1852-4605, (2009).
3. Courtonne J., Alapetite J., Longaretti P., Dupré D. y Prados E. “Downscaling material flow analysis: The case of the cereal supply chain in France”. *Ecological Economics* 118, p. 67–80, (2015).
4. Mogale D.G., Krishna Kumar S., García Márquez F.P. y Tiwari M.K. “Bulk wheat transportation and storage problem of public distribution system” *Computers & Industrial Engineering* 104, p. 80–97, (2017).
5. He P. y Li J. “A joint optimization framework for wheat harvesting and transportation considering fragmental farmlands” *Information Processing in Agriculture* 8, 1, p- 1-14, (2021).
6. Asgari N., Zanjirani Farahani R., Rashidi-Bajgan H. y Sajadieh M.S. “Developing model-based software to optimise wheat storage and transportation: A real-world application” *Applied Soft Computing* 13, p. 1074–1084, (2013).
7. Matrices OD Año 2014. ARGENTINA.GOB.AR. <https://www.argentina.gob.ar/transporte/cargas-y-logistica/estudio-nacional-de-cargas/estudio-nacional-de-cargas-matrices-origen-destino-2014>. Última vez accedido: 01/03/2021.
8. Brooke A., Kendrick D., Meeraus A., Raman R. and Rosenthal R.E. *GAMS A User’s Guide*; GAMS Development Corporation: Washington, DC, 1998.
9. Julio Calzada, Blas Rozadilla. “Continúa el fuerte peso del flete camionero granelero en las largas distancias.”, Año XXXVII, N° Edición 1937, (2020). Recuperado de <https://www.bcr.com.ar/es/mercados/investigacion-y-desarrollo/informativo-semanal/noticias-informativo-semanal/continua-el-0>.
10. Vecchiotti A, Lee S. y Grossmann I.E. "Modeling of discrete/continuous optimization problems: characterization and formulation of disjunctions and their relaxations". *Computers & Chemical Engineering*, 27,3, p. 433-448, (2003).