



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

Escola Politécnica Superior. Ferrol

TRABAJO FIN DE GRADO



**GRADO EN INGENIERÍA EN
TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

Título:

**ANÁLISIS BASADO EN SIMULACIÓN DE LA CADENA
PRODUCTIVA DE LA SOJA EN EL NORDESTE DE BRASIL**

Autor:

CAMILO BONFIGLIO BUENDÍA

Fecha: **Febrero 2016**



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

Escola Politécnica Superior. Ferrol

TRABAJO FIN DE GRADO



**GRADO EN INGENIERÍA EN
TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

Título:

**ANÁLISIS BASADO EN SIMULACIÓN DE LA CADENA
PRODUCTIVA DE LA SOJA EN EL NORDESTE DE BRASIL**

Autor:

CAMILO BONFIGLIO BUENDÍA

Tutores:

**DIEGO CRESPO PEREIRA
ROSA RIOS PRADO**

Fecha: **Febrero 2016**



Índice

Capítulo 1. Introducción	7
1.1 Definición del proyecto	7
1.2 Objetivos del proyecto	8
1.3 Estructura del documento	9
Capítulo 2. Antecedentes. Definición del problema	11
2.1 Situación actual	12
2.1.1 Visión general	12
2.1.2 Análisis macroeconómico	12
2.1.3 Desigualdad entre regiones	14
2.1.4 Región Nordeste. Principales problemas	16
2.2 Evolución de la infraestructura de transporte	18
2.2.1 Transporte terrestre	18
2.2.2 Infraestructura ferroviaria	19
2.2.3 Sistema portuario y fluvial	21
2.3 Cadenas productivas	24
2.3.1 Definición	24
2.3.2 Cadena productiva de la soja en Brasil	25
2.3.3 Logística de la exportación de soja en Brasil	28
2.3.4 Problemas logísticos en la exportación de soja en Brasil	30
2.4 Análisis de Planes y Programas de infraestructura y cadenas productivas	33
2.4.1 Plan Nacional de Logística y Transportes (PNLT)	33
2.4.2 Informe Final PNLT 2011	36
2.4.3 Programa de Aceleración del Crecimiento (PAC)	36
2.4.4 Proyecto Nordeste Competitivo	38
Capítulo 3. Desarrollo de modelos de cadenas productivas	45
3.1 Proceso	45
3.2 Antecedentes. Modelos de simulación	47
3.2.1 Dificultades en la construcción del modelo	48
3.2.2 Modelos similares	49

Capítulo 4.	<i>Descripción del modelo de simulación</i>	53
4.1	Herramienta de simulación: ExtendSim	53
4.1.1	Procesos discretos	54
4.1.2	Procesos continuos	55
4.2	Cadena productiva de la soja	56
4.3	Centros de producción	58
4.3.1	Modelo de simulación: Generación de camiones	61
4.4	Centros de almacenamiento	63
4.4.1	Modelo de simulación: Funcionamiento silos	66
4.5	Terminales intermodales	70
4.5.1	Modelo de simulación: Terminales intermodales	72
4.6	Centros de exportación	76
4.6.1	Modelo de simulación: Puertos	77
4.7	Carreteras y vías férreas	82
Capítulo 5.	<i>Experimentación. Resolución del problema</i>	85
5.1	Características de la experimentación	85
5.2	Diseño de escenarios	88
Capítulo 6.	<i>Conclusiones</i>	97
Capítulo 7.	<i>Bibliografía</i>	101

Índice de ilustraciones

<i>Ilustración 1: Mapa de la región nordeste</i>	<i>16</i>
<i>Ilustración 2: Principales vías férreas de Brasil. Fuente: Ministerio de transporte.....</i>	<i>20</i>
<i>Ilustración 3: Esquema de una cadena productiva. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>24</i>
<i>Ilustración 4: Ubicación de las principales zonas de producción y almacenamiento</i>	<i>26</i>
<i>Ilustración 5: Vectores logísticos del PNL. Fuente: PNL</i>	<i>35</i>
<i>Ilustración 6: Ejes priorizados por el Nordeste competitivo. Fuente: (Girard & Pavan, 2012)</i>	<i>43</i>
<i>Ilustración 7: Proceso de construcción de un modelo de simulación. Fuente: Elaboración propia. ...</i>	<i>47</i>
<i>Ilustración 8: Estructura en bloques de una cadena productiva. Fuente: (Etlinger et al., 2014)</i>	<i>50</i>
<i>Ilustración 9: Esquema de la cadena productiva de la soja.....</i>	<i>58</i>
<i>Ilustración 10: Zonas de producción de soja. Fuente: CONAB.....</i>	<i>59</i>
<i>Ilustración 11: Generación de camiones.....</i>	<i>62</i>
<i>Ilustración 12: Silo vertical para almacenaje de granos.....</i>	<i>64</i>
<i>Ilustración 13: Representación de un silo en el modelo.</i>	<i>66</i>
<i>Ilustración 14: Descarga de camiones en silo.....</i>	<i>66</i>
<i>Ilustración 15: Carga de camiones en silo</i>	<i>67</i>
<i>Ilustración 16: Sistema de tolvas y cintas transportadoras.....</i>	<i>68</i>
<i>Ilustración 17: Terminal de carga de trenes.....</i>	<i>71</i>
<i>Ilustración 18: Descarga de camiones en terminal.....</i>	<i>72</i>
<i>Ilustración 19: Carga de trenes en la terminal ferroviaria.....</i>	<i>73</i>
<i>Ilustración 20: Sistema de tolvas y movimiento de granos</i>	<i>74</i>
<i>Ilustración 21: Entrada adicional de soja a la terminal</i>	<i>76</i>
<i>Ilustración 22: Terminal privada de Cotegipe. Fuente: portocotegipe.com.br.....</i>	<i>77</i>
<i>Ilustración 23: Descarga de trenes en puerto.....</i>	<i>78</i>
<i>Ilustración 24: Descarga de camiones en puerto</i>	<i>78</i>
<i>Ilustración 25: Sistema de tolvas y transporte de soja en puerto.....</i>	<i>79</i>
<i>Ilustración 26: Sistema de volcadora de camiones.....</i>	<i>79</i>
<i>Ilustración 27: Llegada y salida de barcos del puerto</i>	<i>80</i>
<i>Ilustración 28: Esquema sistema de transporte entre silo y terminal</i>	<i>83</i>
<i>Ilustración 29: Asignación de propiedades según destino de camiones.....</i>	<i>84</i>



Índice de tablas

Tabla 1: Evolución de las carreteras. Fuente: (Cepal, 2012).....	18
Tabla 2: Indicadores red de carreteras. Fuente:(Cepal, 2012).....	19
Tabla 3: Extensión de la malla ferroviaria. Fuente:(Agencia Nacional de Transportes Terrestres, 2014)	20
Tabla 4: Carga transportada en ferrovías. Fuente: (Cepal, 2012)	21
Tabla 5: Vectores logísticos. Fuente: PNLT.....	35
Tabla 6: Proyectos priorizados Nordeste competitivo. Fuente: Elaboración propia.....	42
Tabla 7: Datos de entrada de los Centros de Producción. Fuente: Elaboración propia.....	63
Tabla 8: Número y capacidad de unidades almacenadoras. Fuente: IBGE	65
Tabla 9: Datos de entrada de los centros de almacenamiento	69
Tabla 10: Datos de entrada de las terminales intermodales.....	75
Tabla 11: Datos de entrada del bloque de puerto	82
Tabla 12: Número de puestos de descarga en silo	90
Tabla 13: Escenarios para dimensionar camiones en silo	91
Tabla 14: Número de puestos de descarga	92
Tabla 15: Número de trenes terminal - puerto.....	93
Tabla 16: Número de puestos de descarga trenes en puerto.....	94

Índice de gráficos

Gráfico 1: Crecimiento del PIB en países del BRIC. Fuente: Elaboración propia.	13
Gráfico 2: Indicadores de desigualdad. Fuente:(Ferreira & Esteves, 2014).....	15
Gráfico 3: Evolución del material rodante. Fuente: Elaboración propia.....	21
Gráfico 4: Toneladas de movimiento de carga en el Puerto de Santos: Fuente: Elaboración propia .	22
Gráfico 5: Evolución histórica de la producción de soja. Fuente: Elaboración propia.	28
Gráfico 6: Inversiones iniciales del PAC (billones R\$). Fuente: PAC	38
Gráfico 7: Distribución de la producción por estados. Fuente: PRODEPRO	60
Gráfico 8: Distribución mensual de la cosecha de soja. Fuente: CONAB	61
Gráfico 9: Tiempo de warm up del modelo	87



Capítulo 1. Introducción

1.1 Definición del proyecto

Este proyecto desarrolla un modelo de simulación mixto, es decir, combina simulación discreta con simulación continua. Este modelo, una vez esté desarrollado por completo, será capaz de dimensionar los nodos (terminales, puertos, etc.) de una cadena productiva, así como las conexiones necesarias entre ellos.

Mediante el correcto dimensionado de la red obtendremos cuales deben ser las características de la misma para obtener un incremento en la operatividad del transporte de la soja de la zona nordeste de Brasil, concretamente entre la zona de Barreiras y el puerto de Salvador.

Brasil es uno de los mayores productores de soja a escala mundial, situándose solamente por detrás de los Estados Unidos. En el periodo 2013/2014 la producción de soja ascendió a unos 86 millones de toneladas. De esta cifra, una parte se utiliza para consumo interno, y la restante se exporta a distintos países, principalmente China. Las exportaciones se realizan casi en su totalidad a través de puerto, por lo que es necesario transportar el producto, cultivado normalmente en zonas interiores, hacia la costa. Para que el transporte de la soja se realice de manera productiva es necesario contar con una red de infraestructuras logísticas acorde a la situación, ya que en caso contrario, no se podrá realizar la exportación a tiempo, reduciendo los precios del producto.

En el caso que plantearemos, veremos como la cadena productiva de la soja en Brasil tiene grandes deficiencias, especialmente en la zona Nordeste del país, que será donde situaremos este trabajo. Estos problemas con los que cuenta la infraestructura del nordeste hace que la exportación de soja no sea todo lo rentable que puede llegar a ser, por lo que sería fundamental tomar medidas para mejorar los medios logísticos de la zona y para de esta manera mejorar la rentabilidad de las operaciones.

En la actualidad se vienen desarrollando programas y proyectos con la intención de realizar este proceso de mejoras de las infraestructuras, lo que permitirá que en un

futuro el transporte de los productos hacia la costa se realice de forma más rápida y económica.

En nuestro caso en particular, estudiaremos el transporte de soja desde una de las microrregiones del estado de Bahía hacia el Puerto de Salvador, donde saldrá del país para su exportación. Tendremos en cuenta desde el momento en que la soja sale desde las tierras de cultivo cargada en camiones con destino a los puertos de almacenamiento, hasta el momento en que es cargada en los barcos graneleros en puerto.

Para realizar el estudio de esta porción de la cadena productiva haremos uso de la herramienta de simulación ExtendSim, para implantar una simulación mixta, en la que tendremos una asociación de elementos discretos y elementos continuos.

El estudio se centrará en dimensionar la red de infraestructuras necesarias para dar salida a una determinada cantidad de soja con un horizonte temporal fijado en 2024. Se realizará el dimensionamiento de un silo, de una terminal de intercambio intermodal y de un puerto. Además, también seremos capaces de dar respuesta a qué cantidad de medios de transportes nos harán falta para poder mover el producto entre los distintos nodos del sistema.

Para desarrollar este modelo fue fundamental el trabajo previo de documentación, sobre el estado de la zona considerada, así como de las características de los medios de transporte utilizados.

1.2 Objetivos del proyecto

La implementación de un modelo de simulación mixto capaz de tener en cuenta toda una cadena productiva de un determinado producto entraña un cierto grado de dificultad añadido, ya que para desarrollar un modelo de estas características es necesario combinar una gran cantidad de información con distintos tipos de procedencia, lo que dificulta la armonización de los datos y el correcto funcionamiento del modelo.

El objetivo del proyecto se centra en el análisis y dimensionamiento de la cadena productiva de la soja en el nordeste de Brasil. En particular, se realizará el

dimensionamiento de un silo, una terminal de intercambio modal carretera-ferrocarril y de un puerto por el que se exportará la producción de una determinada zona.

Con el desarrollo completo del modelo, también seremos capaces de dimensionar la cantidad y tipo de medios de transporte que serán necesarios para mover el producto de manera eficiente entre los distintos nodos del modelo, buscando el equilibrio entre el tiempo de espera para la carga y descarga de los medios de transporte, el número de los mismo que se necesitarán, y el correcto dimensionamiento de los nodos.

1.3 Estructura del documento

El proyecto ha sido dividido en los apartados que se indican a continuación.

El capítulo 2 presenta el contexto en el que está enmarcado este proyecto. En él se describe la situación actual de Brasil en términos generales, hasta llegar a los problemas con los que cuenta la infraestructura brasileña y los proyectos que están planeados para llevar a cabo y combatir estas debilidades.

En el capítulo 3 se introduce el estado en el que se encuentran los modelos de simulación en los que se trata la temática de cadenas productivas. Básicamente se presentará una base de partida para nuestro trabajo.

La cadena productiva de la soja en Brasil se describe en el capítulo 4, comentado cada una de las partes que la componen. A la vez, se realizará la descripción del modelo de simulación que hemos desarrollado comparándolo al mismo tiempo con la situación real de cada uno de los nodos presentes en nuestro modelo.

El capítulo 5 explica la experimentación llevada a cabo para conseguir los resultados perseguidos en los objetivos de este trabajo.

El capítulo 6 presenta las conclusiones obtenidas de este trabajo, además de realizar una propuesta de posibles líneas de investigación que se pueden desarrollar en un futuro partiendo del presente modelo.



Capítulo 2. Antecedentes. Definición del problema

En los últimos años, Brasil ha experimentado un fuerte desarrollo a nivel económico consecuencia, en gran medida, de las políticas llevadas a cabo en el país sudamericano. Las mismas siguen una serie de pilares fundamentales entre los que podemos destacar los siguientes:

- Crecimiento con redistribución del ingreso, por la vía de la producción y consumo en masa
- Educación, innovación y competitividad
- Matriz de expansión intersectorial centrada en infraestructura y en producción de petróleo
- Integración territorial
- Reformas institucionales
- Sostenibilidad ambiental

La estrategia llevada a cabo se basó en políticas sociales, macroeconómicas e industriales. Dentro de estas últimas, destaca la gran inversión llevada a cabo directamente por el gobierno y por las empresas estatales. Una gran parte de éstas se dedicó al desarrollo de infraestructuras (Programa de Aceleración del crecimiento) y a los sectores industriales (Política de Desarrollo Productivo). Dentro de estas medias hay que centrarse en los Planes y Programas de infraestructura y cadenas productivas llevados a cabo hasta el momento, que se presentaran más adelante en el presente capítulo.

Estas iniciativas ayudaron al desarrollo de Brasil, pero no sin crear diferencias entre las zonas del país. Una de las partes del país menos favorecida por este desarrollo, pese a ser una de las más grandes, fue la zona Nordeste, formada por los estados de Alagoas, Bahía, Ceará, Maranhão, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte y Sergipe.

Con la finalidad de continuar con el impulso de esta zona y conseguir que se equipare a la media del país, se desarrollaron proyectos específicos con este objetivo para el nordeste; dentro de estos, podemos mencionar el Proyecto Nordeste Competitivo.

Mediante estas iniciativas, la economía de la región logro crecer a buen ritmo, pero no el necesario para poder establecerse en la media del resto del país.

Para conseguir que el crecimiento que se viene mostrando en la zona sea sostenido en el tiempo, e incluso acrecentarlo, se recurre a la preparación de un nuevo plan con el que se busca conseguir un nuevo impulso de la zona nordeste de Brasil.

2.1 Situación actual

2.1.1 Visión general

La República Federativa del Brasil es un país sudamericano que comprende la mitad oriental del continente, ocupando una extensión de más de 8,5 millones de km² (equivalente al 47 % del total del continente y siendo el quinto país más grande del planeta). Limita con todos los países de América del Sur, exceptuando a Ecuador y Chile.

Con una población de más de 202 millones de personas es el quinto país más poblado del mundo, siendo este uno de los factores más importantes para el crecimiento experimentado por el país en los últimos años. La mayor parte de los habitantes del país se concentran sobre el litoral, por lo que la densidad demográfica del país es muy dispar. La sociedad brasileña es considerada como una sociedad multiétnica, formada mayoritariamente por descendientes de europeos, indígenas y africanos.

2.1.2 Análisis macroeconómico

La economía de Brasil es la más potente de América Latina si nos referimos a los valores del PIB, y la sexta más importante a nivel mundial según el mismo criterio. Brasil es uno de los países que forman el denominado BRIC (junto con Rusia, India y China), naciones que se encuentran dentro de los países que más crecen en los últimos años, siendo destinos muy importantes para las inversiones extranjeras.

En el siguiente gráfico podemos apreciar como el valor del PIB ha aumentado en el transcurso de los últimos años, y lo comparamos con el de las otras potencias mundiales en desarrollo mencionadas antes.

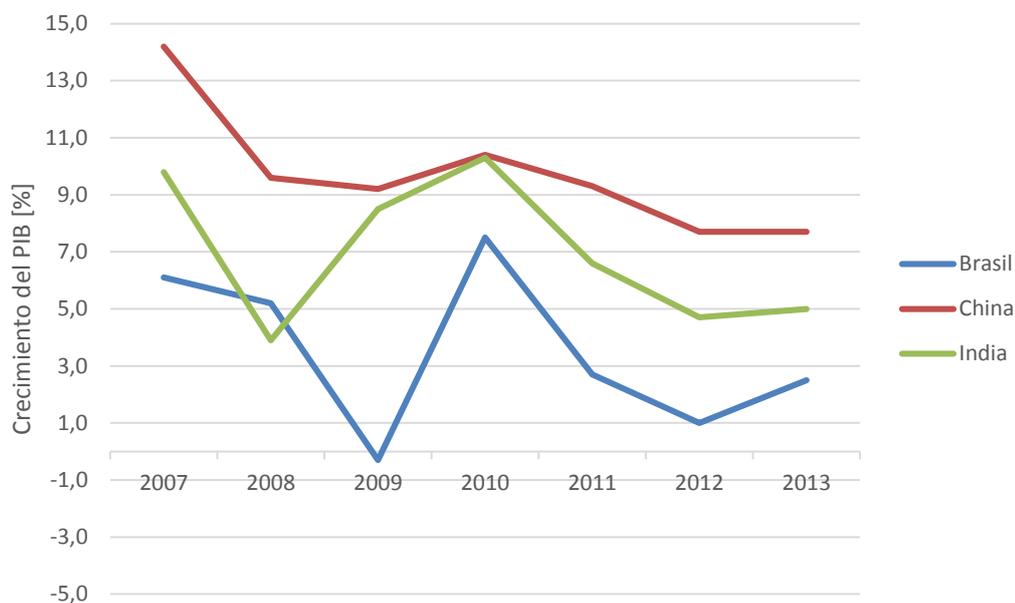


Gráfico 1: Crecimiento del PIB en países del BRIC. Fuente: Elaboración propia.

El crecimiento del PIB de Brasil a el ritmo del resto de países del BRIC es un fenómeno reciente, ya que en el periodo 2002 – 2007, este crecimiento fue la mitad que la de los países citados con anterioridad.

Si comparamos el crecimiento del PIB de estos países en los últimos años, observamos como en los años de crisis a nivel mundial que se vivieron, la economía sufrió un estancamiento, pero dadas las medidas que se venían tomando con anterioridad el país logró recuperarse rápidamente. En los siguientes años llegó a crecer a un gran ritmo nuevamente, llegando a más de un 7% de crecimiento del PIB en el año 2010.

Por último, el crecimiento del PIB en los últimos dos años ha sido menos pronunciado que en años anteriores, por lo que se comienzan a ver síntomas de agotamiento en el modelo de crecimiento brasileño, debido a las debilidades intrínsecas de esta economía.

En el proceso de crecimiento de la economía brasileña podemos mencionar diferentes factores que fueron claves en el mismo. Uno fue el crecimiento del consumo interno que hubo en esta etapa, este aumento se puede explicar a través del crecimiento de la renta disponible de los ciudadanos, el aumento de la tasa de inflación, entre otros.

Otro factor que está estrechamente relacionado con la mejora económica es el importante aumento en las tasas de creación de empleo, llegando a colocarse en niveles muy bajos. Una de las herramientas más utilizadas para la reorganización de la riqueza en el país ha sido la política fiscal llevada a cabo por el gobierno de Brasil, posibilitando las transferencias hacia los sectores más necesitados (López, 2011).

2.1.3 Desigualdad entre regiones

Una de las problemáticas más importantes del país sudamericano es la fuerte desigualdad que existe entre las regiones del territorio. También hay que mencionar que estas diferencias entre las regiones se vienen reduciendo en los últimos años debido a las políticas aplicadas por el gobierno brasileño, aunque los resultados obtenidos hasta ahora todavía no son los deseados.

Las diferencias entre las regiones comenzaron a disminuir a comienzos de la década de los 90. Las mejoras en la desigualdad las podemos medir según tres índices que nos indican como han variado:

- Índice de desigualdad de Gini: mide la desigualdad de una distribución en una escala del cero (igualdad plena) al uno (máxima desigualdad).
- Índice de Theil: mide la desigualdad económica en una escala del cero (igualdad plena) al uno (máxima desigualdad).
- Índice 10/40: Proporción entre los ingresos del 10% más rico de la población y los ingresos del 40% más pobre.

El comportamiento de los indicadores a lo largo del tiempo indica que los niveles de vida mejoraron en todas las regiones. En el gráfico 2 se aprecia cómo la región sufrió los peores niveles de desigualdad según todos los índices y a lo largo de la mayor parte del tiempo.

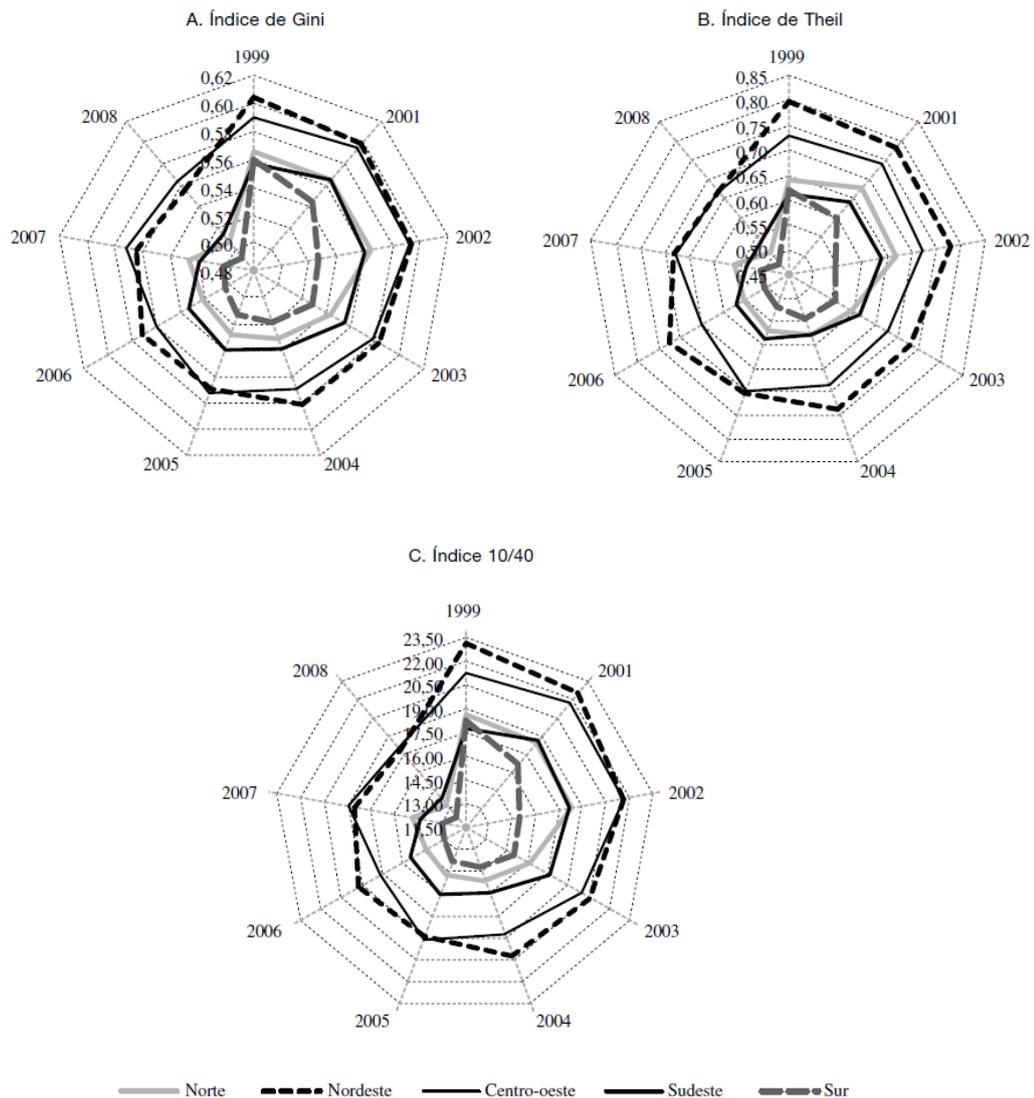


Gráfico 2: Indicadores de desigualdad. Fuente:(Ferreira & Esteves, 2014)

Esto nos lleva a pensar que la región que necesita mayor atención por parte de las autoridades es la nordeste, ya que en general es la región que tiene peores índices de desigualdad y, en general, las reducciones menos significativas de los indicadores.

A la hora de analizar la desigualdad, también hay que tener en cuenta ciertas variables económicas, como puede ser la apertura comercial, que es relevante para el análisis de la desigualdad de los ingresos. La importancia de este factor es que la relación entre la distribución de los ingresos y la apertura comercial depende en parte de la medida en que se usen los factores de producción para los principales productos de la región. En 2008, la zona nordeste contaba con los peores datos en este indicador.

En general, los datos de la zona nordeste en el resto de variables económicas no son buenos. Debido a esto, se puede considerar que la zona nordeste es una de las menos desarrolladas del país, por lo que el estado tiene que tomar medidas para combatir este problema.

2.1.4 Región Nordeste. Principales problemas

La región nordeste cuenta con una población de más de 53 millones de habitantes (28,2% del total del país), la región es la segunda macro región de Brasil hablando en términos demográficos. Está compuesta por nueve estados y cuenta con un Producto Interno Bruto (PIB) regional de R\$ 437 billones, lo que representa el 13,5% del PIB nacional. En el periodo 2008 – 2011, y debido a los planes y programas llevados a cabo, la región creció un promedio de 0,6% por encima del resto del país, incrementando así su participación en el PIB del país de 13 a 13,5%.

Aunque en los últimos años, el PIB del nordeste ha crecido más que el resto del país, la región continúa siendo la segunda más pobre, con importantes disparidades sociales entre los propios estados que la componen.



Ilustración 1: Mapa de la región nordeste

A pesar de la creación de nuevos instrumentos e incentivos financieros y fiscales impulsados por el gobierno (dentro de los mismos podemos destacar la creación de políticas para atracción de industrias mediante exenciones tributarias, créditos de

fomento a nuevas inversiones y microcréditos productivos), que incrementaron el nivel de inversión pública y privada en la región de un 14% durante el periodo 2005 – 2009 a un 19% a partir del 2010 y a que esta mayor inversión ha resultado inclusive en migración de actividades industriales del sudeste hacia el nordeste, la región todavía presenta restricciones importantes en materia de competitividad, especialmente en términos de infraestructura productiva y logística que limitan la inserción internacional de sus cadenas productivas y la integración regional.

Las exportaciones de la región representan tan sólo el 8% del total nacional y la balanza comercial de los últimos años ha sido deficitaria con importantes caídas en el área industrial y de productos manufacturados; el 80% de las exportaciones están concentradas en los estados de Bahía, Maranhão y Ceará y la participación de la industria en el empleo es de 14,4%, inferior a la de la media del país, que se sitúa en el 18,8%.

Una vez expuesto el contexto en el que se encuentra la zona nordeste, se puede concluir que para que la economía de la región Nordeste siga creciendo a tasas relevantes y las diferencias regionales en materia socioeconómica se aminoren, es necesario no solo dar continuidad al nivel de inversión y de la promoción de incentivos financieros y fiscales, sino atender de manera eficiente las restricciones que afectan a la competitividad de la región.

Cabe destacar que en el marco de varios estudios regionales, se identificaron acciones a nivel de las principales cadenas productivas, entre las que se destacan:

- Promoción de la integración física y sus servicios conexos para garantizar la inserción competitiva en el mercado nacional e internacional
- Necesidad de ampliar y diversificar el financiamiento y diversificar el financiamiento a la producción regional
- Adopción de una política activa para atracción de inversiones de capital nacional e internacional

2.2 Evolución de la infraestructura de transporte

En este apartado se realizará una evaluación de la situación actual del sistema de transporte y se describirá su evolución con el fin de detectar posibles ineficiencias, limitaciones y el impacto en los productos comercializados. El análisis de la evolución de la infraestructura de transporte se llevará a cabo teniendo en cuenta el transporte terrestre, ferroviario y fluvial.

2.2.1 Transporte terrestre

La red vial de Brasil es la cuarta más grande del mundo con una longitud de aproximadamente 1,6 millones de kilómetros. Las carreteras operadas bajo la jurisdicción federal cubren 74.000 kilómetros, mientras que las carreteras de jurisdicción municipal y estatal cubren 1,2 millones y 242.000 kilómetros respectivamente. Dentro de las carreteras de Brasil, cabe destacar la BR-101, que se extiende por 4.800 kilómetros, siendo la carretera federal más grande del país conectando 12 capitales de los estados brasileños.

En lo que atañe a la evolución de la red vial de acuerdo con el tipo de superficie de rodadura, podemos ver un resumen en la siguiente tabla:

TOTAL SISTEMA VIAL (kilómetros)				
Año	1980	1990	2000	2006
Total pavimentadas	87.510,00	139.353,00	164.997,00	196.280,00
Total no pavimentadas	1.299.703,00	1.355.734,00	1.414.132,00	1.406.851,00
Total general	1.387.213,00	1.495.087,00	1.579.129,00	1.603.131,00

Tabla 1: Evolución de las carreteras. Fuente: (Cepal, 2012)

En la tabla anterior, se puede ver como los kilómetros de la red vial de Brasil han aumentado en más de 200.000 en el periodo que comprende del 1980 al 2006, lo cual significó una variación positiva del 15,6%. Otro aspecto importante a tener en cuenta es que los kilómetros asfaltados de la red vial total aumentaron en más de 100.000km en el mismo periodo, lo que representó un aumento del orden del 124,29%.

Otra herramienta que permite analizar la evolución del sistema vial de Brasil es la creación de dos indicadores; el porcentaje de kilómetros pavimentados sobre la red total, y kilómetros pavimentados por miles de habitantes para la red vial de Brasil.

INDICADORES DEL SISTEMA VIAL				
Año	1980	1990	2000	2006
% Km asfaltados/Long. Red vial	6,3	9,3	10,5	12,2
Km asfaltados/Miles de habitantes	0,74	0,95	0,96	1,05

Tabla 2: Indicadores red de carreteras. Fuente:(Cepal, 2012)

En la tabla anterior se puede ver como en el periodo de tiempo considerado se ha duplicado la relación entre kilómetros asfaltados en relación con la longitud total de la red vía, y se han logrado significativos avances en relación con el crecimiento demográfico del país.

En lo que respecta al parque automotor, se puede ver como en el periodo de tiempo considerado ha variado en un 358,5%, pasando de 10.826.198 vehículos a 49.644.295 vehículos. Un dato que es importante destacar, es que durante el periodo señalado la relación de los vehículos de carga sobre el total del parque automotor ha disminuido, pasando de un 8,6% al 6,4%.

2.2.2 Infraestructura ferroviaria

El sistema ferroviario brasileño tiene una longitud de 28.190 kilómetros, concentrándose principalmente en las regiones sur, sudeste, nordeste y parte del centro oeste y norte del país.

El modo ferroviario se caracteriza, especialmente por su capacidad de transportar grandes volúmenes, con elevada eficiencia energética, principalmente en casos de localizaciones a medias y grandes distancias. Además, presenta mayor seguridad en relación al transporte por carretera, con un menor índice de accidentes.

Además de las características antes mencionadas, algunas de las particularidades del transporte ferroviario de carga en Brasil son:

- Baja flexibilidad por pequeña extensión de la malla ferroviaria
- Baja integración entre estados

Operadoras Reguladas pela ANTT	Origem	Bitola			Total
		1,60	1,00	Mista	
América Latina Logística Malha Norte S.A. - ALLMN	-	754	-	-	754
América Latina Logística Malha Oeste S.A. - ALLMO	RFFSA	-	1.945	-	1.945
América Latina Logística Malha Paulista S.A. - ALLMP	RFFSA	1.463	243	283	1.989
América Latina Logística Malha Sul S.A. - ALLMS	RFFSA	-	7.254	11	7.265
Estrada de Ferro Carajás - EFC	-	892	-	-	892
Estrada de Ferro Paraná Oeste S.A. - FERROESTE	-	-	248	-	248
Estrada de Ferro Vitória a Minas - EFVM	-	-	905	-	905
Ferrovias Centro-Atlântica S.A. - FCA	RFFSA	-	7.271	156	7.427
VALEC/Subconcessão: Ferrovias Norte-Sul - FNS	-	720	-	-	720
Ferrovias Tereza Cristina S.A. - FTC	RFFSA	-	164	-	164
MRS Logística S.A. - MRS	RFFSA	1.632	-	42	1.674
Transnordestina Logística S.A. - TLSA	RFFSA	-	4.189	18	4.207
Total	-	5.461	22.219	510	28.190

Tabla 3: Extensión de la malla ferroviaria. Fuente:(Agencia Nacional de Transportes Terrestres, 2014)

La mayor parte de las redes de transporte ferroviario fueron entregadas en concesión entre los años 1996–1999. Actualmente, el contexto ferroviario en Brasil se puede resumir en la tabla anterior. En la misma se puede ver que la red ferroviaria de Brasil cuenta con tres distancias entre railes distintas, larga (1,6 m), métrica (1,0 m) y la mixta.



Ilustración 2: Principales vías férreas de Brasil. Fuente: Ministerio de transporte

En lo que respecta al material rodante, el número de locomotoras presentó un crecimiento del 29,1% en el periodo 2006 – 2013, pasando de 2.229 a 3.144 locomotoras. La cantidad de vagones en circulación también sufrió un aumento en el periodo considerado del 18,9%, registrándose una numero de 89.025 vagones al termino del año 2013.

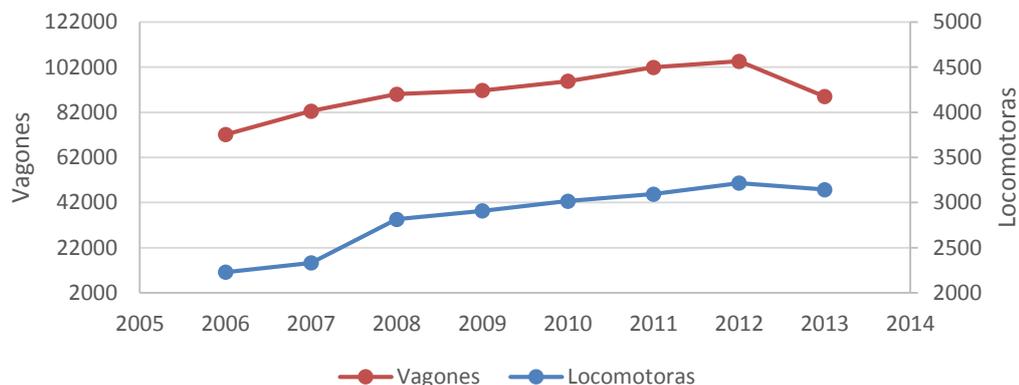


Gráfico 3: Evolución del material rodante. Fuente: Elaboración propia

La Tabla 4 muestra la evolución que ha tenido la carga transportada a lo largo del periodo 2007 – 2013. En el mismo, se produjo un aumento del 8,4% con respecto a las toneladas útiles transportadas en el 2007.

CARGA TRANSPORTADA (MILES DE TONELADAS ÚTILES)							
Año	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Total	414.925	426.520	379.441	435.248	454.380	459.947	449.300

Tabla 4: Carga transportada en ferrovías. Fuente: (Cepal, 2012)

2.2.3 Sistema portuario y fluvial

A la hora de analizar la evolución del sistema portuario y fluvial para el transporte de cargas, el primer paso será describir los principales puertos de Brasil y la importancia que estos tienen en el comercio internacional. El segundo paso llevara el análisis al sistema fluvial brasileño y su integración con los puertos de exportación.

2.2.3.1 Infraestructura portuaria

El sistema de portuario de Brasil cuenta con 40 puertos principales administrados de la siguiente manera:

- Diecinueve puertos, diecisiete marítimos y dos fluviales, que son administrados por empresas vinculadas al Ministerio de Transporte.
- Quince puertos administrados por delegación a gobiernos estatales y municipales (nueve marítimos y seis fluviales).
- Dos puertos administrados mediante régimen de concesión a gobiernos estatales.
- Tres puertos administrados mediante régimen de concesión a empresas privadas.
- Un puerto administrado bajo el sistema de autorización al gobierno estatal.

Dentro de los puertos de Brasil destacaremos los cinco más importantes, que son: Puerto de Tubarao, de Itaquí, de Itaguaí, de Santos y de San Sebastián. Entre estos cinco puertos movilizan entre el 50% y 55% del total de la carga del sistema de puertos marítimos de Brasil.

El Puerto de Santos es el más importante del país y también uno de los más importantes de América Latina, siendo el puerto con mayor movimiento de carga general del país. El puerto está administrado por la Companhia Docas y está ubicado en el centro del litoral del Estado de São Paulo. En los últimos años el movimiento de cargas ha crecido considerablemente, como se puede ver reflejado en la siguiente gráfica.

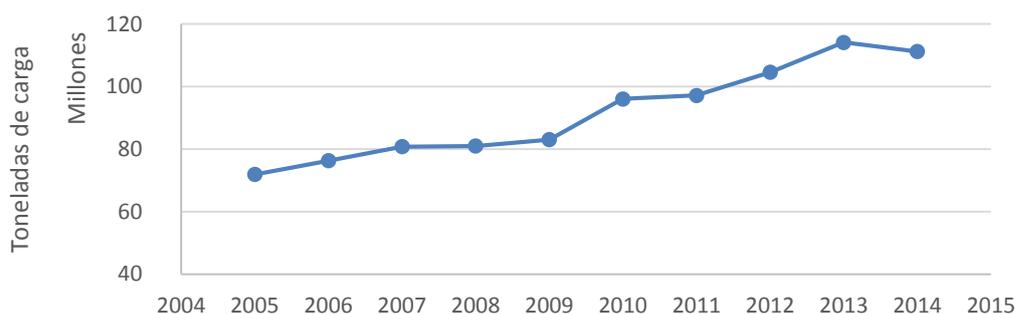


Gráfico 4: Toneladas de movimiento de carga en el Puerto de Santos: Fuente: Elaboración propia

2.2.3.2 Transporte fluvial

Brasil cuenta con una red fluvial muy extensa, que consta de unas 8 hidrovías principales que facilitan el transporte de cargas, a través del uso de ríos.

- Hidrovía del nordeste
- Hidrovía Amazonas Occidental
- Hidrovía Amazonas Oriental
- Hidrovía Paraguay - Paraná
- Hidrovía Paraná - Tieté
- Hidrovía de San Francisco
- Hidrovía del Sur

La extensión de la red hidroviaria navegable de Brasil es de aproximadamente unos 22.037 km. Según el PNLT (2012), la participación del modo hidroviario responde al 5% del total. Para tener una ligera idea de las cantidades que se mueven por estas vías, se puede decir que en el primer semestre de 2014 se movieron 38 millones de toneladas de mercaderías vía navegación por los ríos internos.

La navegación fluvial en Brasil está en una posición inferior en relación a los otros modos de transporte. Aunque es considerado como el sistema más barato y limpio, sigue siendo el que cuenta con menor participación en el transporte de mercancías en Brasil. Una de las principales causas es que muchos de los ríos del país, al encontrarse sobre mesetas, presentan cascadas en puntos de su cauce. Además, muchos de los ríos que son perfectamente navegables, se encuentran alejados de las grandes zonas de producción, como es el caso de las hidrovías de la región amazónica (aproximadamente un 80% del total).

En los últimos años, se han realizado obras para lograr romper estas barreras que hacen que el transporte por las hidrovías brasileñas pierda peso.

Dentro de las características más importantes que tiene este tipo de transporte se pueden mencionar las siguientes: gran capacidad de carga, bajo coste de transportes, transporte lento, bajo coste de implementación (si la vía cumple con los requisitos y no es necesario la construcción de infraestructuras).

2.3 Cadenas productivas

El concepto de cadena productiva es clave hoy en día para explicar la competitividad de una empresa o producto en particular, ya que es importante tener en cuenta factores externos asociados al entorno de la misma.

2.3.1 Definición

Se puede definir una cadena productiva como “un conjunto estructurado de procesos de producción que tiene en común un mismo mercado y en el que las características tecnoproductivas de cada eslabón afectan a la eficiencia y productividad de la producción en su conjunto” (Isaza Castro, 2008)

Las cadenas productivas se subdividen en eslabones, los cuales comprenden conjuntos de empresas con funciones específicas dentro del proceso productivo. A su vez, se puede dar el caso de que algunos de estos eslabones este subdividido por algún motivo en particular.

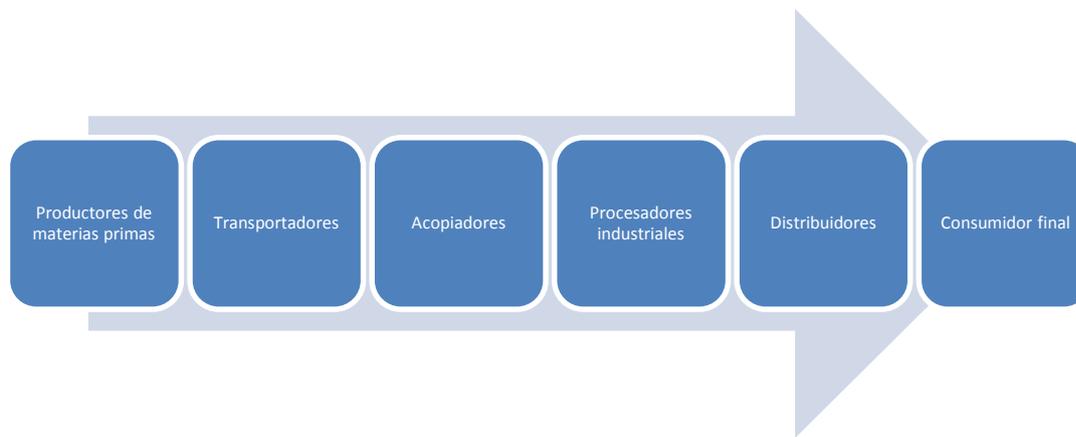


Ilustración 3: Esquema de una cadena productiva. Fuente: Elaboración propia

El concepto de eslabón fue planteado por Hirschman en 1958, quien formuló la idea de “encadenamientos hacia delante y hacia atrás”. Estos encadenamientos constituyen una secuencia de decisiones de inversión que tienen lugar durante los procesos de industrialización que caracterizan el desarrollo económico. Estas decisiones tienen la capacidad de movilizar recursos subutilizados que redundan en efectos de incremento de la productividad y eficiencia.

Según Hirschman, los encadenamientos hacia atrás están orientados a acciones para el fortalecimiento de la producción de materias primas y bienes de capital necesarios para la elaboración de productos terminados. Entretanto, los encadenamientos hacia delante surgen de la necesidad de los empresarios por promover la creación y diversificación de nuevos mercados para la comercialización de los productos existentes.

Los artículos consultados para la realización de esta revisión bibliográfica se refieren principalmente al concepto de “cadena de valor”, desarrollado por Michael Porter. Este concepto no es exactamente equivalente al de cadena productiva, sin embargo, el conocimiento del concepto de cadena de calor el fundamental.

Las cadenas de valor comprenden las actividades necesarias para poner un producto en competencia, a lo largo de diferentes fases de producción, para distribuirlo a sus consumidores finales y, por último, para su desecho o reciclaje. Las cadenas de valor son entidades complejas en las que la producción es solo uno de los enlaces que añaden valor a lo largo de la cadena.

Las cadenas de valor pueden estar compuestas por empresas englobadas en una economía local, hasta una economía global. Dependiendo del mercado en el que se encuentre una determinada cadena de valor, se llevarán a cabo distintos tipos de innovación dentro de la misma. En mercados donde la demanda es muy sensible a las variaciones del precio, se tiende a estimular la innovación en los procesos; mientras que cuando los mercados con alta capacidad de ingreso, se tiende a la innovación en productos y funcionalidad.

2.3.2 Cadena productiva de la soja en Brasil

Una vez presentado el concepto de cadena de suministro, es necesario encuadrar esta definición dentro del estudio que se va a realizar a lo largo de este trabajo. Durante el mismo, estudiaremos la cadena de suministro de la soja, concretamente en la zona nordeste de Brasil.



Ilustración 4: Ubicación de las principales zonas de producción y almacenamiento

La soja es el sector agrícola que más ha crecido en las últimas décadas en Brasil, correspondiendo a un 49 % del área plantada en granos del país. Este aumento de la productividad está relacionado con los avances tecnológicos y a la eficiencia de los productores. Otro de los pilares fundamentales en torno al cual ha crecido el sector es la agricultura ambientalmente responsable, que mediante las técnicas adecuadas permiten el uso intensivo de la tierra con un menor impacto ambiental.

El sector productivo de la soja en Brasil se puede dividir en diferentes segmentos:

- Industria de insumos agrícolas: produce mercaderías para una misma industria que producirá para diferentes sistemas productivos.

- Producción: segmento agrícola propiamente dicho.
- Originadores
- Trituradores – refinamiento: segmento que concentra las actividades de procesamiento de la soja en sus principales productos.
- Industria de productores y derivados de petróleo: dentro de estas industrias podemos destacar las de alimentos, química y farmacéuticas.
- Distribución: realizan la conexión entre la industria de transformación de la soja y derivados y los consumidores finales.
- Consumidor final

Según datos del Ministerio de agricultura para el sector de la Soja en Brasil:

- Consumo interno: la previsión de la tasa de crecimiento anual de la producción de soja es de 2,43% hasta 2019.
- Exportación: el complejo de soja es el principal generador de divisas en el sector agrícola de Brasil. En 2019 se prevé que la producción del país representara un 40 % del comercio mundial de grano y 73% de aceite de soja.
- Importación: Brasil es autosuficiente en la producción de soja. El consumo interno está en constante aumento, y se prevé que un 45% de aumento de producción esté destinado al mercado interno en el 2019.

Los productores de grano de la zona nordeste cuentan con una gran ventaja con respecto a otros sitios de producción, están más próximos a algunos de los puertos más importantes del país (puerto de Santos, Itaquí, Aratu). Con esto y las inversiones previstas a nivel logístico, esta zona pasara a tener una mayor importancia en lo que a producción de soja se refiere.

Dentro de la zona nordeste del país, la producción de soja es liderada por el estado de Bahía, en el cuál se produce alrededor de un 60% de la soja total del nordeste. El resto de la soja de zona es producida por los estados de Maranhão, Norte de Minas Gerais y Piauí; por orden de valor de producción.

La distribución espacial de la producción está concentrada en las microrregiones fronterizas con la región Norte y Centro – Oeste del país, en particular en la mesorregión del Extremo oeste Bahiano, concretamente en la microrregión de Barreiras, donde se produce el 85% de la soja del estado de Bahía.

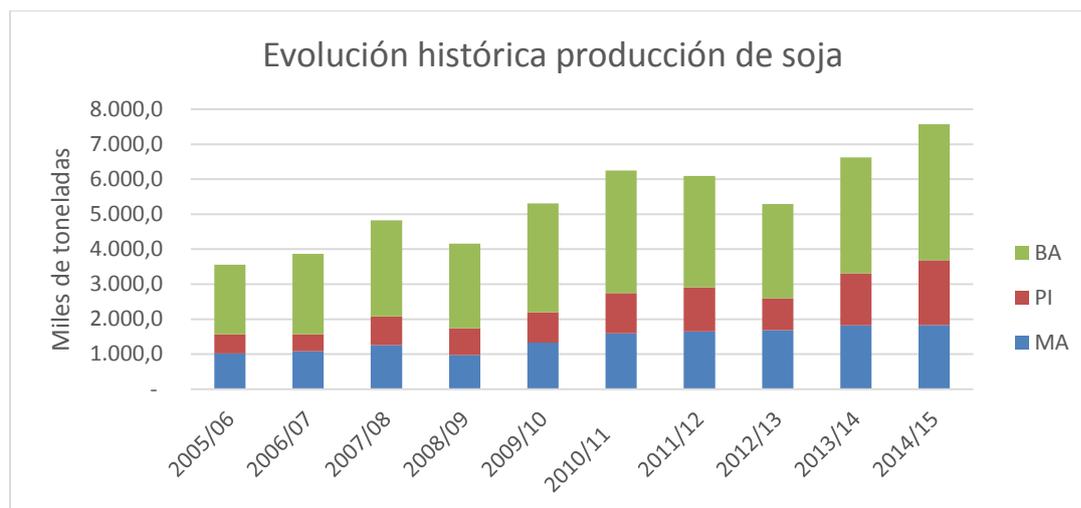


Gráfico 5: Evolución histórica de la producción de soja. Fuente: Elaboración propia.

2.3.3 Logística de la exportación de soja en Brasil

El proceso de comercialización de la soja comienza con el productor, que vende que vende los granos a la agroindustria. Las exportaciones de soja en grano normalmente se realizan a través de las empresas de trading. La negociación de la zafra se realiza se realiza frecuentemente con anticipación. Esto se debe principalmente para evitar que exista una presión excesiva sobre los precios durante los meses de la zafra, así como para financiar la agricultura, ya que parte de la zafra se entrega a las empresas de trading a cambio de insumos (COELI, 2004).

Según COELI, el movimiento de la producción de soja se realiza en dos etapas:

1. Transporte de la cosecha para el almacén de la plantación, normalmente es responsabilidad del productor y se realiza a través de carreteras. Tiene un coste elevado debido a las nefastas condiciones de las carreteras rurales.
2. Transporte de los almacenes de los productores directamente para la exportación o para la industria de procesamiento. A partir de los almacenes la soja en grano sigue por ferrovías, carreteras o hidrovías.

Para entender toda la extensión que tiene esta cadena productiva, es importante analizar las principales actividades logísticas llevadas a cabo en el proceso de producción de la soja. Estas actividades incluyen desde el almacenaje de los productos hasta el producto embarcado en los puertos para la exportación.

2.3.3.1 Almacenaje

Es almacenaje es una actividad esencial para la reducción de las pérdidas agrícolas y para la conservación de los granos de soja. Según Sasseron (1995), el almacenaje es la actividad que auxilia en la conservación de los productos, manteniendo la integridad cualitativa y cuantitativa de los granos de soja.

Según Sasserson (1995) las funciones del almacenaje están clasificadas en intrínsecas y extrínsecas. Dentro de las intrínsecas se encuentran la conservación del producto, reducción de las pérdidas y almacenaje de los excedentes agrícolas; mientras que las extrínsecas están relacionadas con el transporte y comercialización de la producción agrícola.

Los almacenes están presentes en gran cantidad de ejes de salida de soja para la exportación, esto se debe a que durante el proceso de comercialización, la soja tiene que pasar por un almacén para la retirada de las impurezas y para la reducción de su humedad, para conservar el producto y optimizar la utilización del modal de transporte utilizado (Ferrari, 2006).

2.3.3.2 Transporte

Según Ballou (2006) el transporte es el elemento más importante de la logística. En el caso de contar con un sistema de transporte con limitaciones, la extensión del mercado estará limitada para aquellas áreas próximas a los puntos de producción. Para Keedi (2001) es fundamental el conocimiento de los distintos modos de transporte para la creación y desarrollo de la logística.

Los cinco modos de transporte básicos son: ferroviario, por carretera, hidroviario (tanto fluvial como marítimo), a través de tuberías o aéreo. Cada uno de estos modos cuenta con sus propias características y se adecuaran, o no, a los distintos productos a transportar.

En el caso de la soja, se utilizan únicamente tres de estos modos de transporte; ferroviario, carretera e hidroviario. Según Hijjar (2004), los modales típicamente más eficientes para el transporte de soja son las ferrovías e hidrovías. Esto principalmente se debe a su alta capacidad de carga y a su bajo coste, a pesar de que requieren un

tiempo de transporte mayor que en otros casos. El papel del transporte por carretera estaría destinado a actuar en los extremos de la cadena, siendo el transporte adecuado para llevar las cargas hasta las terminales intermodales.

A pesar de esto, Brasil es un país donde el transporte por carretera cuenta con una gran importancia. Comparándolo con países de tamaño continental, la participación de los modos de transporte es sustancialmente diferente a los mismos (CNT, 2002). Según Caixeta-Filho, la predominancia del transporte por carretera se puede deber a las dificultades que otros medios de transporte tienen para enfrentar la creciente demanda en las áreas más alejadas del país.

2.3.3.3 Complejo portuario

Las operaciones realizadas en puerto abarcan, en general, dos conjuntos principales. Estos conjuntos son: los servicios de entrada y salida de los navíos, y los servicios de movimiento de las cargas (ANTAQ, 2003).

Los servicios de entrada y salida tienen como cliente al armador del navío o al operador de la línea regular de transporte. Dentro de los servicios prestados en esta etapa, se encuentran: auxilio a la navegación, fiscalización e inspección sanitaria del navío, servicio de remolcadores, etc.

Los servicios de movimiento de las cargas o embarque de cargas, que se realizan en el puerto, pueden ser clasificados en manejo a bordo y manejo en tierra.

Los complejos portuarios poseen instalaciones para la carga y descarga de diversos tipos y tamaños de navíos. Los terminales son clasificados según su uso o nivel de especialización como: terminales de granel sólido, terminales de contenedores, terminales de granel líquido, terminales de carga general; siendo éstas las principales.

2.3.4 Problemas logísticos en la exportación de soja en Brasil

Una vez realizada una breve descripción de la cadena de productiva de la soja en el país, pasaremos a detallar las problemáticas que nos encontramos en la misma, y que hacen que los procesos, una vez realizada la cosecha, no sean todo lo eficiente posibles, perdiendo competitividad con respecto a otros países productores.

Según Ojima y Rocha (2005), la soja en grano mueve una gran cantidad de recursos y divisas en el complejo agroindustrial, pero al ser un producto de bajo valor agregado, necesita que exista una gran optimización de la producción y de la logística. Esta necesidad se debe en gran parte a la ubicación interior de las plantaciones de soja, muy distante de los principales puertos de exportación.

Otro factor importante a tener en cuenta es la estacionalidad del cultivo de soja. La plantación de la misma se realiza en el segundo semestre del año, mientras que la cosecha se lleva a cabo en el primer semestre. Esta producción debe ser exportada íntegramente durante este periodo, ya que si se almacena y se intenta exportar en el segundo semestre, aparecen competidores dentro de los países en los que se cosecha en el segundo semestre, como lo es Estados Unidos (Hijjar, 2004).

A continuación, se enumerarán los principales cuellos de botellas que podemos encontrar en los distintos eslabones de la cadena productiva de la soja.

2.3.4.1 Almacenaje

- Carencia de infraestructura de almacenaje, principalmente en las inmediaciones de zonas de cultivo de pequeños y medianos productores.
- Grandes pérdidas durante el almacenamiento.
- Alto coste de manejo del producto en los almacenes.

2.3.4.2 Transporte

2.3.4.2.1 Trasporte ferroviario

- La malla viaria es poco extensa para la gran demanda existente, además de encontrarse en malas condiciones de conservación.
- La integración operacional entre las distintas concesiones es deficiente, debido principalmente al diferente tamaño de las vías.
- Los vagones y locomotoras cuentan con una elevada edad media, además de existir una cantidad insuficiente de los mismos.
- Las vías se encuentran demasiado cerca de los centros urbanos, por lo que el tiempo de tránsito es muy elevado (baja velocidad de los trenes).

2.3.4.2.2 Transporte por carretera

- La extensión de la malla viaria es inadecuada para la demanda existente.
- La insuficiencia de vehículos para transporte en el periodo de zafra, haciendo que el precio del flete aumente razonablemente.
- La infraestructura de carreteras se encuentra degradada, con deterioro de las condiciones operacionales, como la falta de señalización y pavimentación, entre otros.
- Falta de sistemas modernos para la fiscalización y control del transporte por carretera.

2.3.4.2.3 Transporte hidroviario

- Cantidad de esclusas insuficientes.
- Falta de integración con otros modos de transporte.
- Restricciones con relación al calado de las embarcaciones.
- Falta de operadores de transbordo en los principales puertos fluviales.
- Inadecuación de señalización y del balizamiento.

2.3.4.3 Complejo portuario

- Falta de infraestructura adecuada.
- Grandes congestiones en el acceso terrestre, tanto por vía férrea como carretera, durante la salida de la zafra de soja.
- Falta de equipos adecuados para la correcta carga y descarga de los navíos.
- Grandes congestionamientos en los accesos marítimos para el atraque durante la zafra de la soja.

2.4 Análisis de Planes y Programas de infraestructura y cadenas productivas

En este apartado se describirá y analizará la documentación de ámbito local, regional o nacional desarrollada hasta el momento que pueda tener alguna influencia en el ámbito de estudio, y que permita ofrecer una visión de la situación actual y planificada de los sectores productivos de la región.

A continuación, se detallarán los proyectos que están en desarrollo o planificados para intentar disminuir las falencias comentadas en el apartado anterior a nivel logístico, y que hacen que se registren ineficiencias en la cadena productiva de la soja.

2.4.1 Plan Nacional de Logística y Transportes (PNLT)

El Plan Nacional de Logística y transporte fue elaborado en conjunto por el Ministerio de transporte y el Ministerio de Defensa. Se trata de un plan asociado al proceso de desenvolvimiento socio-económico de Brasil, y cuenta con un carácter multimodal; involucrando a toda la cadena logística asociada a los transportes, con todos sus costes. Está fuertemente fundamentado en los conceptos de territorialidad, de seguridad de desarrollo sostenible del país, entre otros (Ministério dos Transportes, 2012).

2.4.1.1 Objetivos

Dentro de los objetivos de este plan podemos destacar los siguientes:

1. Dotar de una estructura de gestión del proceso de planificación en el sector de los transportes, con base en un sistema de información georreferenciado, involucrando todos los datos de interés del sector y todas las modalidades de transporte.
2. Consideración de los costes de toda la cadena logística que contiene el proceso que se establece entre los orígenes y los destinos de los flujos de transporte (considerando costes operacionales en las diversas modalidades de transporte implicadas).

3. Optimización y racionalización de la matriz de transportes de carga del país, analizando la adecuación de las modalidades ferroviaria e hidroviaria (análisis de eficiencias energéticas y productividad en el transporte de productos).
4. Preservación ambiental.

2.4.1.2 Metodología

A la hora de llevar a cabo el plan, se montó una base nacional de datos sobre producción, logística y transporte, y sus relaciones. De este modo, se consiguió generar escenarios especializados para el país y estimar la demanda asociada por servicios de transporte, considerando la intermediación logística. Como resultado, se obtuvo un modelo estratégico multimodal y multiproducto, permitiendo la simulación de los flujos y costes del transporte.

- Modelado macroeconómico.
- Modelado de transportes: se utilizó el clásico modelo de transporte de cuatro etapas: generación, distribución, reparto modal y asignación.
- Especialización territorial por vectores logísticos: nueva propuesta de organización del país, en la que las microrregiones homogéneas fueran agrupadas en función de características como similitudes socio-económicas, corredores de transporte y funciones de transporte.

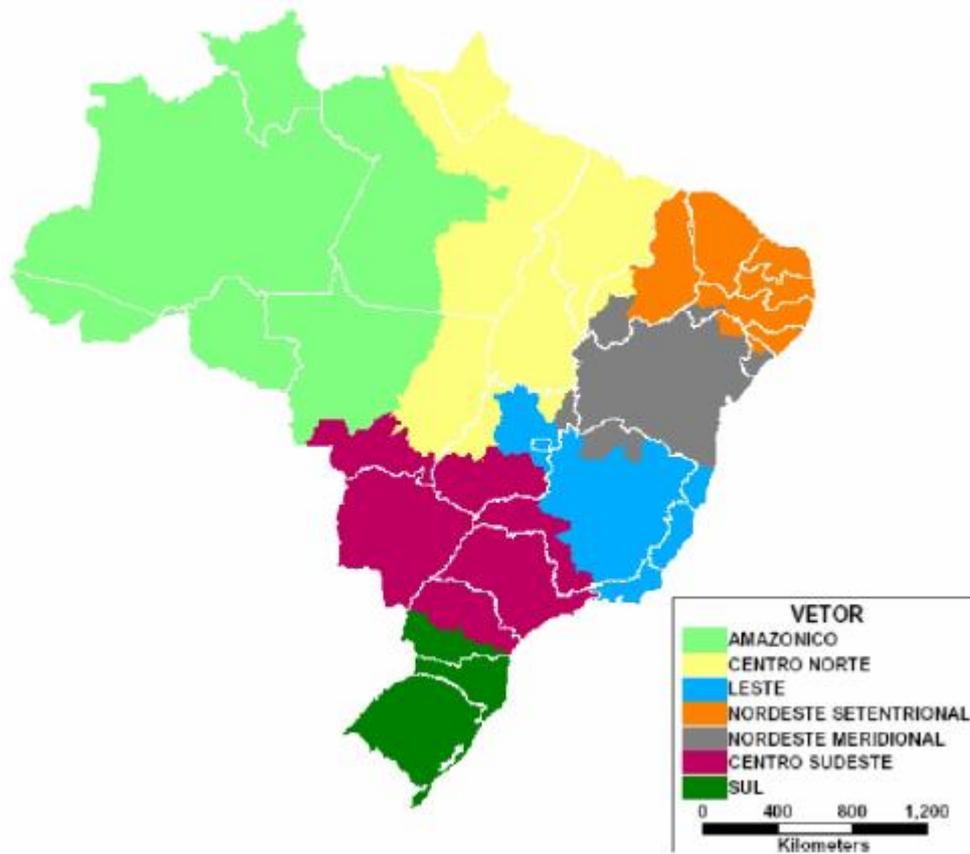


Ilustración 5: Vectores logísticos del PNLT. Fuente: PNLT

2.4.1.3 Resultados

Como resultado, se obtuvieron una lista de inversiones recomendadas a realizar con fecha de finalización en el 2023. Para presentar estos resultados, Tabla 5, se representaran las inversiones por modalidad y vector logístico.

Modal	Indicadores	Vectores Logísticos							Total
		Amazónico	Centro Norte	Nordeste Setentrional	Nordeste Meridional	Leste	Centro Sudeste	Sul	
Aeroportuario	Valor	532.060,00	118.180,00	2.714.370,00	94.590,00	2.379.130,00	3.088.220,00	767.840,00	9.694.390,00
	% no Vektor	3,1	0,7	13,9	0,6	6,8	7,9	2,6	-
	% do Modal no Brasil	5,5	1,2	28,0	1,0	24,5	31,8	8,0	100,0
Ferroviário	Valor	-	6.600.980,40	6.907.521,59	4.953.023,95	11.857.021,43	8.069.513,32	12.167.488,63	50.555.549,32
	% no Vektor	0,0	41,6	35,4	30,0	33,8	20,7	42,0	-
	% do Modal no Brasil	0,0	13,0	13,7	9,8	23,5	16,0	24,0	100,0
Hidroviário	Valor	6.026.569,51	3.909.258,83	276.610,00	280.015,98	-	125.834,38	2.187.443,61	12.805.732,31
	% no Vektor	35,4	24,7	1,4	1,7	0,0	0,3	7,5	-
	% do Modal no Brasil	47,0	30,5	2,2	2,1	0,0	1,0	17,1	100,0
Portuario	Valor	983.000,00	1.046.150,00	2.338.660,00	946.895,00	6.944.970,00	9.188.070,00	3.721.155,00	25.168.900,00
	% no Vektor	5,2	6,6	12,0	5,7	19,8	23,5	12,8	-
	% do no Modal Brasil	3,6	4,2	9,3	3,8	27,7	36,6	14,8	100,0
Rodoviário	Valor	9.862.894,00	4.182.500,00	7.289.130,00	10.226.147,00	13.898.284,00	18.573.540,00	10.157.378,00	73.914.873,00
	% do Vektor	56,3	26,4	37,3	62,0	39,6	47,6	35,0	-
	% no Modal no Brasil	13,0	5,7	9,9	13,8	18,7	25,2	13,7	100,0
Total	Valor	17.404.523,51	15.857.069,23	19.526.291,59	16.500.671,93	35.079.405,43	39.045.177,70	29.001.305,24	172.414.444,63
	% no Brasil	9,9	9,2	11,3	9,6	20,4	22,7	16,9	100,00

Tabla 5: Vectores logísticos. Fuente: PNLT

2.4.2 Informe Final PNL T 2011

En este documento se describe las actividades llevadas a cabo para la reevaluación de metas del PNL T y también para el desarrollo e implementación de la sistemática para la evaluación de la evolución de la cartera y monitorización de flujos de transporte. Como principal resultado de este proceso de revisión y actualización de las metas del PNL T, se obtuvo la cartera de inversiones actualizada (proyectos prioritarios y principales informaciones relacionadas con los mismos).

2.4.2.1 Metodología

En la cartera de inversiones objetivo del PNL T existe una lista de 1167 proyectos en todo el país. Dentro de estos proyectos existen distintos tipos, entre los que se pueden encontrar:

- 111 proyectos prioritarios, que son aquellos que cuentan con una tasa de retorno superior al 8%, siendo considerados con viabilidad económica de implantación a lo largo del periodo de análisis (hasta 2031).
- 237 proyectos con menos viabilidad económica, pero con más valor e interés de carácter sociopolítico, ambiental, tecnológico o desarrollo regional.
- 231 proyectos no evaluados por pertenecer al Programa de Aceleración de Crecimiento (mostrado a continuación), una vez que sus implantaciones están previstas para los próximos años.
- Otros 588 proyectos no evaluados.

Se empleó software con recursos georreferenciados para realizar actualizaciones sobre las redes multimodales de simulación, para la representación fidedigna de la malla viaria nacional.

Las matrices origen destino fueron proyectadas en función de la expectativa de crecimiento de valores brutos de producción sectoriales a lo largo del periodo de análisis, pero también considerando informaciones de mercado, áreas de plantío, etc.

2.4.3 Programa de Aceleración del Crecimiento (PAC)

El PAC fue un programa llevado a cabo por el gobierno federal de Brasil que comprendía un conjunto de medidas políticas y económicas planeadas para el período

2007 – 2010; teniendo como objetivo acelerar el crecimiento económico de Brasil a través de la planificación y ejecución de grandes obras de infraestructura social, urbana, logística y energética. Como meta, se planteó un crecimiento del PIB en torno al 5% anual.

La filosofía de este programa radica en que ante una inversión pública en infraestructura, se generará una inversión privada equivalente al 150% de lo invertido por las entidades públicas.

Algunas de las áreas prioritarias de este plan son las siguientes:

- Saneamiento.
- Vivienda.
- Transporte.
- Energía.
- Recursos hídricos.

2.4.3.1 Herramientas del PAC

El PAC está compuesto por cinco bloques:

- Medidas de infraestructura, incluyendo la infraestructura social.
- Medidas para estimular el crédito y la financiación.
- Mejora del marco regulatorio en el área ambiental.
- Exoneración tributaria.
- Medidas fiscales a largo plazo.

El presupuesto inicial del PAC fue distribuido en tres sectores:

- Energía, 54% del presupuesto.
- Infraestructura social y urbana, 34% del presupuesto.
- Logística, 12% del presupuesto.

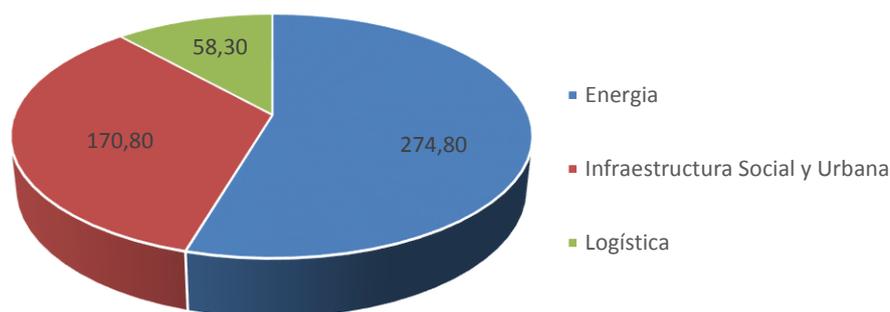


Gráfico 6: Inversiones iniciales del PAC (billones R\$). Fuente: PAC

Dentro de las infraestructuras logísticas, se consideró prioritario el modo carretera, por lo que la principal inversión se destinó a esta parte, seguido por las infraestructuras de la Marina Mercante y el modo ferroviario.

2.4.3.2 Resultados

A fecha de diciembre de 2010, las inversiones concluidas en el ámbito de logística habían alcanzado una cifra de R\$ 65,4 billones (1,89 billones de €). Algunos de los emprendimientos fueron:

- 6.377 kilómetros de carreteras.
- 909 kilómetros de ferrovías.
- 12 emprendimientos en 10 aeropuertos.
- 3.776 kilómetros de gasoductos concluidos.

2.4.4 Proyecto Nordeste Competitivo

2.4.4.1 Objetivo

El Proyecto Nordeste Competitivo, realizado por la Confederación Nacional de Industria (CNI) junto con las federaciones de industria de los estados del Nordeste, tiene como objetivo diagnosticar los cuellos de botella en la infraestructura de transportes de la región.

El estudio proyectó la producción industrial, agropecuaria y mineral de la región de 2010 a 2020 e identificó la necesidad de invertir en logística para que estos productos

puedan fluir adecuadamente, tanto en el mercado interno como en el externo. Se pretende conseguir los siguientes objetivos:

- Integración física y económica de la región.
- Identificar y seleccionar los sistemas de logística de menor coste y escoger los más competitivos.
- Complementar los sistemas logísticos para convertirlos en Ejes Integrados de Desarrollo.
- Liderar el proceso de reconstrucción y mejora de la infraestructura local, con la participación de la iniciativa privada.

Se puede considerar que el objetivo general es identificar los problemas que elevan los costes de transporte de carga de la región y disminuyen la competitividad de la industria local.

2.4.4.2 Herramientas

Durante el transcurso de todo el proyecto, se llevaron a cabo más de 170 entrevistas personales con las Asociaciones Productivas y empresas de los estados del Nordeste, que sirvieron para obtener datos de línea de base para el proyecto.

En lo que respecta a la infraestructura:

- Análisis de todos los puertos y terminales públicas y privadas de cada estado.
- Análisis de los principales aeropuertos, caracterizando su situación actual y registrando el histórico de movimientos y de principales rutas.
- Análisis de la capacidad de almacenaje de graneles sólidos, líquidos y de carga general.
- Análisis de las condiciones de uso de las principales carreteras, ferrovías e hidrovías.

Durante la realización del proyecto, también fueron analizadas las cadenas productivas, basándose en una metodología con tres filtros específicos:

- Filtro del volumen de ventas: principales cadenas productivas exportadas y/o importadas en gran volumen en la Región Nordeste.

- Filtro del valor tramitado: inclusión de cadenas productivas importantes en términos de valores transaccionados de exportación y/o importación, por ende, no significantes en términos de volumen.
- Filtro de la producción: Inclusión de las principales cadenas de suministro en el noreste que se consumen a nivel nacional, sin ser exportadas.

Luego de realizar el estudio, se concluye que existen 18 cadenas productivas que engloban 75 productos diferentes. Las cadenas productivas que se han identificado son las siguientes:

- Azúcar y alcohol
- Abonos y fertilizantes
- Aluminio
- Bebidas
- Bovinos
- Calcáneos y cementos
- Cobre
- Hierro y acero
- Fruticultura
- Madera
- Mandioca
- Maíz
- Petróleo y derivados
- Químicos
- Sal
- Soja
- Trigo
- Vehículos y piezas de automóviles

La estructura de análisis que se siguió a la hora de elegir estos productos fue la siguiente:

- Para cada producto de cada cadena productiva, fueron analizados los polos de producción actual en el ámbito municipal.

- Análisis de las razones por las cuales los puertos son exportadores o importadores de estos productos y cuáles son los principales países de destino / origen de los productos.
- Se identificó los puntos de consumo de los productos dentro de Brasil.
- Se proyectó la producción de cada producto hasta el año 2020 en el ámbito municipal, además de su exportación/importación.

De esta manera, se consiguió estimar cuales eran los principales flujos en la matriz origen–destino por producto y por región. A partir del estudio de flujos aislados, se creó una matriz origen–destino de todas las vías utilizadas para el movimiento de la producción.

Una vez se sabe cuál es la demanda de infraestructuras generadas por las cadenas productivas, y comparándola con la infraestructura disponible, se pudo identificar los principales cuellos de botella actuales en el movimiento de cargas, así como los futuros si no se realizan las pertinentes inversiones en infraestructura logística.

2.4.4.3 Resultados

Durante la segunda fase del proyecto, fueron identificados los ejes de integración de transportes existentes y potenciales. De este modo, se analizaron 58 ejes de integración en la región Nordeste.

Dentro de estos 58 ejes, se pueden distinguir tres grupos:

- 22 ejes eran mejoras en ejes de integración actuales.
- 35 nuevos potenciales ejes de integración.
- 1 eje portuario.

Para cada uno de los 58 ejes de integración tenidos en cuenta, fueron analizados todos los proyectos de transporte necesarios para su mejoría; a su vez, para cada uno de los mismos, fueron detallados los valores, la fuente de financiación y el estado de las obras. Como resultado de este proceso se averiguo el valor de las inversiones necesarias para cada uno de los ejes de integración. Se llegaron a analizar 196 proyectos englobados dentro de los ejes de integración, por lo que se ve una necesidad importante de priorizar los ejes, ya que sería inviable llevar a cabo todos.

Se analizó el costo logístico total de todas las principales rutas utilizadas para cada tipo de carga principal, para cada una de las mesorregiones de la región nordeste. Además se analizaron las rutas potenciales para cada tipo de carga principal. Mediante estos análisis, se puede evaluar cuál es el menor coste actual y compararlo con todas las rutas potenciales para evaluar que ruta reduciría el costo logístico.

Para llevar a cabo estos análisis, el Proyecto Nordeste Competitivo desarrollo un modelo de transporte complejo con el que simuló los flujos de cargas en la región. Mediante este modelo se pudo calcular el coste logístico de transporte total de la Región Nordeste para el movimiento de todas las cargas con origen o destino de esta región y de pasaje.

El atractivo económico de los ejes fue estudiado en función del retorno sobre la inversión generado por cada eje. Sin embargo, también fue necesario analizar los ejes en términos de impacto socio-ambiental (beneficios sociales, generación de empleo, etc.)

Una vez analizados los ejes según los términos antes mencionados, se pueden separar de forma que es posible identificar los más prioritarios. Entre los 58 ejes preseleccionados, una vez aplicados los filtros, resulta que existen 9 ejes prioritarios de inversión.

	<i>Nº de proyectos</i>	<i>Inversión residual (Billones R\$)</i>	<i>Economía potencial (Billones R\$)</i>
<i>Proyectos relevantes</i>	196	71,1	7,4
<i>Proyectos priorizados</i>	83	25,8	5,9
<i>% Priorizados/Total</i>	42,3%	36,3%	79,7%

Tabla 6: Proyectos priorizados Nordeste competitivo. Fuente: Elaboración propia

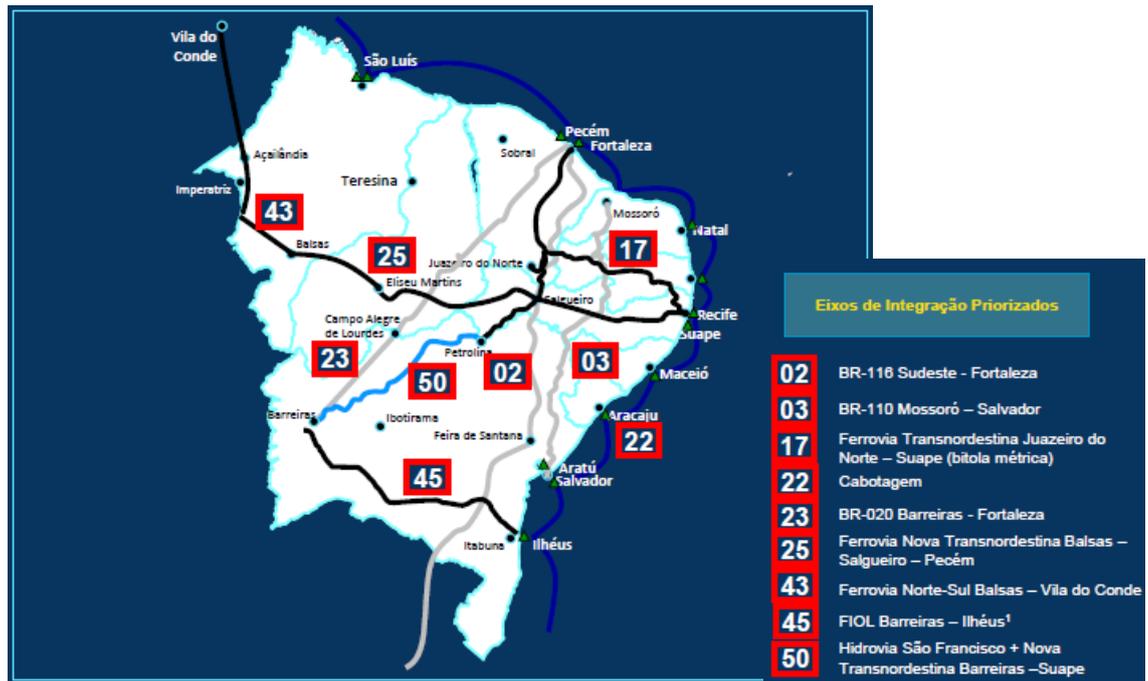


Ilustración 6: Ejes priorizados por el Nordeste competitivo. Fuente: (Girard & Pavan, 2012)

Capítulo 3. Desarrollo de modelos de cadenas productivas

En los apartados anteriores se han expuesto las características de la cadena productiva de la soja, así como los principales problemas con los que cuenta y que hacen que la eficiencia de la misma no sea la óptima, perdiendo de esta manera gran competitividad frente a otros mercados. Posteriormente se han expuesto los proyectos que se están llevando a cabo para lograr corregir estas ineficiencias, concentradas principalmente en la infraestructura logística de la cadena.

Una vez se ha definido por completo el escenario en el que vamos a trabajar, se realizará una simulación de la cadena productiva de la soja con el fin de estudiar su funcionamiento, y de utilizarla como herramienta para identificar cuellos de botellas y aportar sugerencias para la solución de los mismos. Además, mediante el uso del modelo también se podrá dimensionar de manera correcta los nodos de la cadena; ya sea los silos, las terminales intermodales o los puertos.

3.1 Proceso

A la hora de comenzar a realizar el modelo de simulación, se deben seguir una serie de pasos para asegurarnos que el resultado final sea el deseado. Estos pasos los podemos resumir en los siguientes puntos (Clark & Krahl, 2011) (Sturrock, 2011).

El primer paso a dar, una vez que se haya seleccionado un proyecto a llevar a cabo, es definir los objetivos que se persiguen. Este paso es fundamental para el resto del trabajo a realizar, ya que una correcta delimitación de los objetivos nos llevará a unos buenos resultados finales en el proyecto; en caso contrario, el camino a recorrer será más difícil y terminaremos por no contestar correctamente las preguntas que nos hemos planteado al principio del modelo.

El siguiente paso a tener en cuenta será la búsqueda de información, datos, estudios, artículos, etc., sobre el proceso que vamos a simular, siendo este el verdadero cuello de botella del proceso entero. Es conveniente realizar este trabajo al mismo tiempo que se definen los objetivos, ya que puede ser de gran utilidad.

Una vez tengamos la información necesaria, se procederá a realizar el modelo conceptual de la simulación. Esto consiste en realizar una abstracción del modelo actual para realizar el modelo de simulación, ya que es absolutamente imposible realizar un modelo de simulación que sea exactamente igual al original. La primera regla para realizar una buena simulación es la de construir un modelo lo más simple posible que resuelva el problema correctamente, por este motivo es que la importancia reside en la correcta definición del problema y objetivos.

Un modelo de dimensiones reducidas nos proporciona un gran número de ventajas, entre ellas podemos encontrar: menor tiempo de modelado, ejecución y análisis. Estos modelos tienden a ser más fiables y flexibles, además de ser más fácil su explicación a otras personas (Kotiadis y Robinson, 2008). Los modelos conceptuales se pueden realizar orientándolos de dos maneras diferentes, una en la que se representa los modelos de una forma más literal, y otra desde un punto de vista más lógico.

Una vez recorridos estos pasos, se podrá comenzar a modelar el sistema. Para que este proceso se realice de una manera adecuada, llevando a buenos resultados al final del camino, se debe construir el modelo de una manera iterativa, es decir, construir por pequeños segmentos, verificar y validar los mismos. De esta manera, seremos capaces de evaluar el impacto de cada cambio que realizamos sobre el modelo y corregir fácilmente el mismo.

Al finalizar la construcción, verificación y validación del modelo, se estará en condiciones de comenzar con la experimentación que llevará a cumplir los objetivos que nos planteamos en la primera etapa del este camino. En este punto de la simulación debemos tener un nivel de conocimiento del proceso muy avanzado, lo que nos permitirá evaluar los resultados que obtenemos, y de este modo, validarlos.

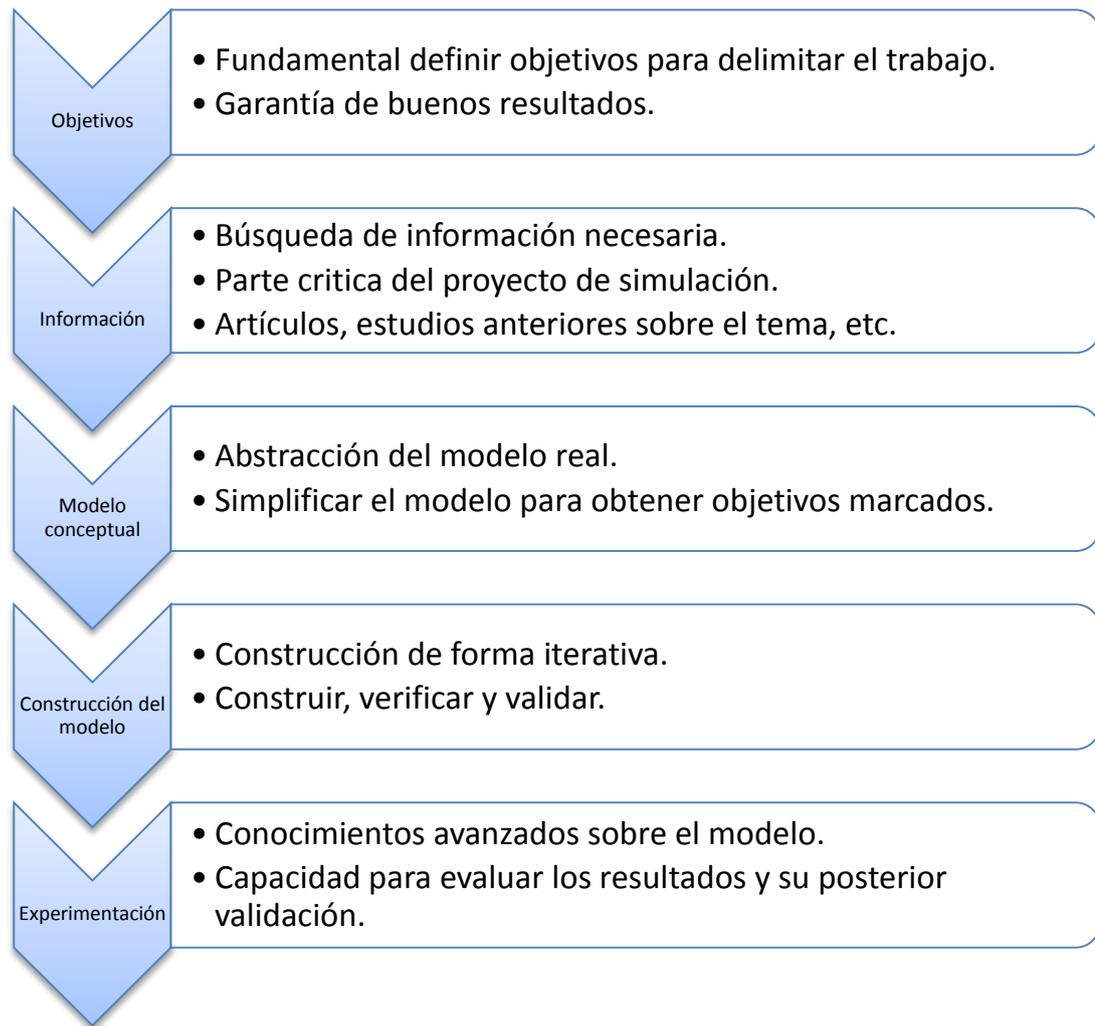


Ilustración 7: Proceso de construcción de un modelo de simulación. Fuente: Elaboración propia.

3.2 Antecedentes. Modelos de simulación

A la hora de realizar este trabajo, es de gran importancia realizar una revisión bibliográfica sobre el modelaje de cadenas productivas, con el principal objetivo de tener una visión más acertada de cómo se plantean este tipo de simulaciones. En primer lugar, identificaremos los problemas más comunes a la hora de realizar un modelo de simulación de una cadena productiva, para a continuación realizar un análisis de modelos similares a los que desarrollaremos en este trabajo.

La creación de un modelo de simulación de una cadena productiva nos permite analizar diferentes diseños y configuraciones de la misma para desvelar las posibles mejoras del sistema (Etlinger, Rauch, & Gronalt, 2014); mediante este método

podremos descubrir posibles mejoras en la eficiencia de nuestra cadena de suministros sin necesidad de realizar estos cambios en la realidad.

3.2.1 Dificultades en la construcción del modelo

La simulación de las cadenas productivas nos proporciona una gran herramienta para una adecuada toma de decisiones; pero antes de esto, debemos descubrir los posibles problemas con los que nos encontraremos a la hora de realizar un modelo de una cadena productiva. Estos problemas están relacionados con algunas de las características principales de las cadenas productivas, como pueden ser el carácter dinámico de las mismas, la gran cantidad de información que manejan, la dispersión geográfica con la que cuentan y la heterogeneidad.

Se han identificado tres grandes problemas a la hora de realizar un modelo de simulación (Rabelo, Fayez, & Mollaghasemi, 2005). El primero es que las cadenas productivas nunca son estáticas, todo lo contrario, tienen una gran componente de dinamismo. Esto hace que a la hora de realizar el modelo debamos suponer la naturaleza dinámica y estocástica de la cadena productiva. Si a la hora de utilizar información para la creación del modelo, no tenemos en cuenta esta naturaleza, crearemos un modelo erróneo, que nos llevara a resultados que serán inválidos.

En segundo lugar, las cadenas productivas cuentan con una gran complejidad y tamaño, tanto a nivel espacial como temporal, es por este motivo que a la hora de modelar se requiere una gran cantidad de datos, el tiempo de desarrollo del modelo es muy alto y además, el tiempo de ejecución del modelo se incrementa. Es por esto, que se debe optar por disminuir la complejidad del mismo y realizar una serie de suposiciones para que el modelo gane en flexibilidad.

Por último, debido a la dispersión geográfica por la que se caracteriza las cadenas productivas, nos encontramos que la información que hará falta para alimentar nuestro modelo de simulación también se encuentra dispersa, por lo que será necesario crear métodos para acceder de forma remota a los sistemas de datos e identificar la información necesaria para el modelo de simulación.

3.2.2 Modelos similares

Una vez detallados los problemas más comunes a la hora de realizar un modelo de una cadena productiva, estamos en condiciones de realizar un análisis de un modelo de simulación similar al que desarrollaremos en este trabajo, con el fin de ver las similitudes para, de este modo, saber que procesos se realizan en modelos similares.

A la hora de construir un modelo que represente la cadena productiva de la soja, nos encontraremos con la dificultad añadida de que la simulación a desarrollar tendrá una parte discreta, la perteneciente a los movimientos de los sistemas de transporte a lo largo de la red de infraestructuras, y con una parte continua, que será el movimiento de la soja en los distintos nodos con los que contará el modelo.

Las cadenas productivas en las que se parte de la obtención de una determinada materia prima, para su posterior transporte hacia terminales de transporte con el objetivo de realizar el movimiento del producto con destino a plantas de procesamiento o para su directa exportación, tienen gran cantidad de similitudes.

Este tipo de modelos cubren todo el proceso del producto en cuestión, poniendo el fin del mismo dependiendo del objetivo que busquemos. En nuestro caso, el fin de la soja que moverá nuestro modelo será la exportación. Para el funcionamiento del modelo debemos introducir como inputs gran cantidad de información, entre la que podemos destacar: tiempos de transporte, capacidad de medios de transporte, velocidades de carga y descarga en las terminales, tiempos de espera, etc.

Normalmente este tipo de simulaciones se dividen en bloques relacionados unos con los otros con la intención de representar el funcionamiento de la cadena productiva. Serán los parámetros que introduciremos en nuestro modelo (inputs) los que definan el comportamiento de cada uno de los bloques. Una de las particularidades con las que cuentan estos bloques es que siguen un principio modular, por lo que en caso de existir varios bloques del mismo tipo, se podrán utilizar cambiando los inputs del mismo.

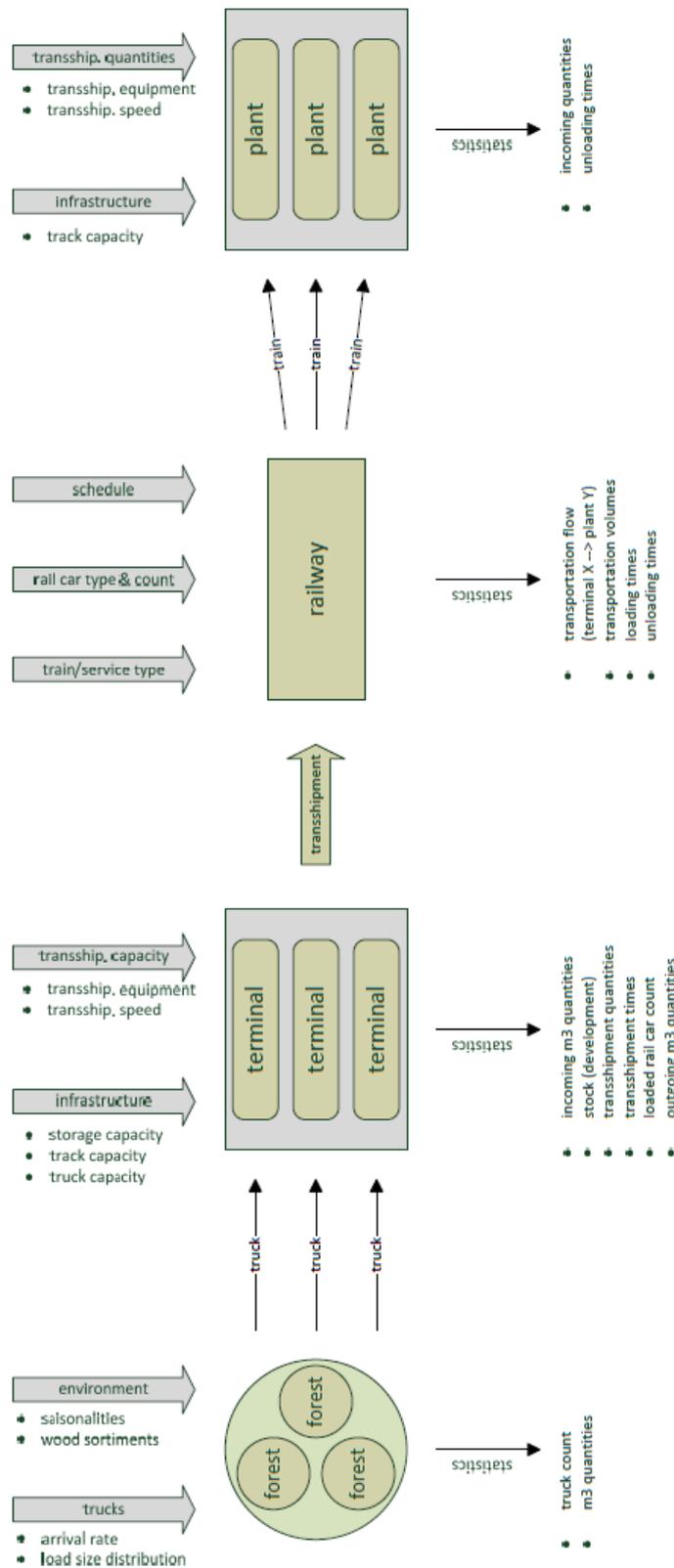


Ilustración 8: Estructura en bloques de una cadena productiva. Fuente: (Etlinger et al., 2014)

En la imagen anterior, podemos ver lo que comentábamos con anterioridad, la forma en bloques en que se construyen este tipo de modelos. Cada uno de los bloques representará un nodo en el que se realizará algún tipo de actividad, normalmente carga/descarga, almacenamiento o procesamiento del producto.

Estos modelos cuentan con dos aspectos fundamentales que requieren un gran estudio, el primero es la decisión que se debe tomar al respecto del tipo de transporte que se utilizará para mover las cargas. Durante el análisis de la cadena productiva de la madera (Etlinger et al., 2014) se ha podido observar que una gran parte del análisis que se realiza recae sobre el modo de transporte que se va a utilizar, ya sea transporte mediante carretera, ferrocarril o transporte multimodal, combinando carretera y ferrocarril.

Esta decisión depende principalmente de dos factores a tener en cuenta; siendo el primero la distancia entre los puntos de origen y destino, así como el volumen transportado entre estos dos puntos. Para distancias muy cortas, el transporte multimodal deja de ser competitivo, optándose por el transporte por carretera directamente hasta el origen. Como dato, en la cadena productiva de la madera en Finlandia, el transporte multimodal comienza a ser competitivo para distancias superiores a los 300 km (Etlinger et al., 2014), ya que al coste del transporte, hay que añadir el coste de las terminales de intercambio modal.

El segundo factor a tener en cuenta es la operativa en las terminales intermodales. Para realizar un transporte multimodal, debemos contar con una terminal intermodal equipada para realizar el intercambio de un medio de transporte al otro. Las terminales intermodales contarán con la infraestructura adecuada para la carga/descarga de los camiones, el almacenamiento temporal del producto y la carga/descarga de los trenes. Esta infraestructura que hemos descrito será la que determine el volumen de movimientos de carga que se pueden realizar en cada terminal.

Es por esto que debemos prestar importante atención a la hora de modelar estas terminales, ya que son parte importante del modelo. Mediante su buen funcionamiento nos aseguraremos que los resultados del modelo sean correctos. Los bloques correspondientes a las terminales nos permiten variar el funcionamiento de

la cadena productiva, ya que podremos realizar distintos tipos de configuraciones para decidir cuál de estas se adapta mejor a nuestras necesidades.

Un ejemplo muy usual de esta característica de los modelos, es la variación que podemos realizar en la gestión de las esperas en las terminales. Podremos actuar en la decisión que tomarán los camiones que entran en una terminal en función del tiempo que tengan que esperar para poder descargar.

Un factor clave de estas terminales es su posición, ya que deber estar situadas en función de ciertos elementos, que harán que su rentabilidad sea la máxima. Para ello se desarrollan funciones cuyo objetivo es minimizar el coste total del transporte entre los puntos de origen y destino (Arnold, Peeters, & Thomas, 2004).

Por último, y no menos importante, debemos tener en cuenta que en esta clase de modelos debemos realizar una serie de suposiciones para lograr el adecuado funcionamiento del modelo, ya que es imposible reproducir el funcionamiento exacto de la cadena productiva real.

Capítulo 4. Descripción del modelo de simulación

El presente capítulo está destinado a describir el modelo de simulación utilizado para llevar a cabo el estudio que tiene como objetivo este trabajo. En las siguientes páginas se plasmarán, en primera instancia, la herramienta de simulación que se utilizará para construir el modelo, así como todos los datos necesarios para realizarlo y adecuarlo lo máximo posible al funcionamiento real de una cadena productiva existente.

La primera labor que se realizará en este capítulo será la descripción general, enumerando las principales características que nos serán de ayuda a la hora de realizar el modelo, de la cadena productiva de la soja, específicamente en el nordeste del país que será la zona de estudio en el presente trabajo. El próximo paso conducirá a la definición de cada una de sus partes, todas fundamentales a la hora de realizar un estudio detallado de la misma.

A la vez que se explique cada una de las partes de la cadena, se realizará su símil con el modelo de simulación que se ha construido, para ver claramente la correspondencia entre la realidad y el modelo. Se explicarán todas las suposiciones y simplificaciones que se han hecho y la razón de las mismas. También se presentarán los parámetros con la que trabajará cada modelo y serán las encargadas de hacer funcionar al mismo.

4.1 Herramienta de simulación: ExtendSim

Dependiendo de las características de la simulación a realizar se deberá elegir un determinado tipo de simulación y un nivel de detalle correspondiente a los objetivos del trabajo. En el presente caso, el nivel de detalle de la simulación no será demasiado grande, pero si el necesario para lograr dimensionar los nodos del sistema y obtener una visión de conjunto del funcionamiento de la cadena productiva.

En lo que respecta al tipo de simulación a implementar, como ya se ha comentado con anterioridad, estamos ante una fusión de simulación de eventos discretos, y simulación de flujo continuo. Esta particularidad del modelo se debe a que se va a tratar a los medios de transportes encargados de trasladar la soja, como elementos; mientras que la soja, en los procesos de carga, descarga y almacenamiento, será

tratada como un flujo continuo. Esta característica le aporta al modelo un punto más de interés, ya que se observará el comportamiento del mismo al fusionar distintos tipos de simulación.

Para la construcción del modelo se utilizó el programa de simulación ExtendSim (ExtendSim, versión 9.1, desarrollado por Image Tan Inc.) que permite simulaciones de tipo continuo, discreto y mixto. Los pasos que se deben seguir a la hora de construir un modelo en ExtendSim son:

- Abrir las librerías que contienen los bloques que se van a necesitar
- Añadir los bloques al modelo y colocarlos en la posición deseada
- Conectar los bloques

La construcción de un modelo complejo es un proceso laborioso que requiere de una gran cantidad de pasos. Lo siguiente sería configurar adecuadamente los bloques añadidos, lo que implica especificar el comportamiento deseado e introducir los datos de entrada. Otros pasos opcionales incluyen, por ejemplo, la creación de bases de datos, de matrices globales, etc.

A continuación, se explicarán los tipos de bloques más utilizados en ExtendSim. Realizaremos una distinción entre los bloques que se utilizan para realizar procesos discretos y los bloques que se utilizan en procesos de flujo continuo.

4.1.1 Procesos discretos

CREATE: Este bloque proporciona los elementos o valores para los modelos de eventos discretos. Las entidades se pueden crear de muchos modos diferentes: con una distribución aleatoria, con una tasa de llegadas constante, de manera programada, etc. Permite representar, por ejemplo, la salida de los camiones de las plantaciones.

EXIT: Elimina elementos de la simulación. El número total de elementos eliminados por este bloque es un dato accesible en todo momento.

QUEUE: Este bloque almacena elementos cuando no es posible que fluyan aguas abajo. Permite especificar el tipo de comportamiento de cola: FIFO, LIFO, en función de prioridades etc. Se puede emplear para simular, por ejemplo, buffers y zonas de espera.

ACTIVITY: Puede retener uno o más elementos durante cierto tiempo. Los elementos salen en función de este tiempo de proceso y hora de llegada. Es especialmente útil para introducir en el modelo el tiempo que lleva realizar en la realidad cierta operación.

SELECT ITEM IN: Este bloque selecciona uno de los elementos de entradas para emitir basándose en una decisión. En general, sirven simplemente para juntar varias ramas independientes en una única rama.

SELECT ITEM OUT: Selecciona que salida tomará el elemento entrante en función de una decisión lógica. El cuadro de diálogo de este bloque permite definir en que se basará la lógica empleada: propiedades, conector, de forma aleatoria, secuencial, etc.

BATCH: Une elementos que llegan al bloque desde diversas ramas en un único elemento. Resulta muy útil para combinar varias entidades de un modelo o representar, por ejemplo, una operación de ensamblaje.

UNBATCH: Produce varios elementos a partir de un único elemento de entrada. Especialmente útil para ser usado en combinación con un bloque Batch.

GATE: Controla el paso de elementos a través de una parte del modelo. Hay varias maneras de limitar y controlar el paso de elementos a través de este bloque. Este bloque sirve para representar una espera condicional, típicamente función de lo que está aconteciendo aguas abajo o en otra parte do modelo.

RESOURCE POOL: Este bloque almacena recursos que pueden ser utilizados en la simulación. Estas unidades limitan la capacidad de una sección de un modelo, es decir, sirven para introducir una restricción. Se pueden utilizar para representar la existencia de un recurso limitado, como por ejemplo el número de camiones disponibles para mover una determinada carga.

4.1.2 Procesos continuos

INTERCHANGE: Es el bloque más importante de esta librería, ya que nos permite realizar el cambio de un proceso discreto a continuo y viceversa. Se puede utilizar, por ejemplo, para simular una descarga de un producto, por ejemplo soja, a un espacio de almacenamiento.

TANK: Tiene la capacidad de almacenar determinado producto de flujo continuo. Puede configurarse la capacidad disponible del mismo entre otros parámetros. Realizando un paralelismo con la librería de bloques discretos, cumple una función similar a QUEUE.

DIVERGE: Este bloque tiene la capacidad de dividir flujos en función de distintas opciones que permite configurar. El caso más simple que se podría dar sería dividir dos o más flujos proporcionalmente.

MERGE: Realiza la tarea contraria al bloque DIVERGE, ya que tiene la capacidad de unir distintos flujos en uno solo. Este bloque tiene una gran capacidad de configuración, por lo que al igual que el DIVERGE, se considera que es de gran utilidad.

VALVE: Se encarga de controlar, monitorizar y transferir flujos. Es capaz de limitar el caudal de flujo por una determinada vía o incluso cerrarse en función de determinado parámetro.

CONVEY FLOW: Tiene las mismas ventajas que el bloque VALVE, pero además permite introducir cierto retraso en el flujo, no solo configurar la velocidad.

4.2 Cadena productiva de la soja

Brasil es uno de los mayores productores a nivel mundial de soja, concretamente se encuentra en el segundo lugar, solo por detrás de Estados Unidos. En la campaña 2013/14, en el país sudamericano se produjeron unos 86,12 millones de toneladas, para esto se utilizaron 30,17 millones de hectáreas de las 400 millones que hay cultivables en el país. Este dato indica que todavía hay margen para aumentar la producción de soja.

Dentro de las características de la cadena productiva de la soja en Brasil se destacarán las siguientes (Pacheco, 2010):

- Los centros de producción están muy alejados de las zonas de consumo y de exportación, debido al tamaño del país. Esta característica tiene una parte positiva, que es la gran superficie disponible para ampliar la producción, así

como un gran mercado de consumo interno. La cara negativa de la moneda, es que las distancias a recorrer aumentan el costo del flete y aíslan a los productores dispersos del país.

- La falta de mercados concentradores, como las bolsas de mercaderías.
- No existe ningún tipo de intervención del gobierno, que por un lado, no garantiza precios mínimos como si se hace con otros productos; y por otro lado, no tiene ninguna exigencia tributaria directa sobre el producto.

La cadena productiva de la soja está formada por varios elementos trascendentales que son los que tendremos en cuenta para su análisis. Dentro de estos elementos, vamos a tener en cuenta:

- Centros de producción: cultivos
- Centros de almacenamiento: silos
- Terminales intermodales: estaciones de ferroviarias, estaciones fluviales
- Centros de exportación: puertos

Dado que el objetivo del trabajo se centra en la zona nordeste de Brasil, todos los datos que se manejen en las descripciones serán en referencia a esta zona. Además, durante la descripción que se realizará, se ira situando cual va a ser la localización exacta de cada uno de los nodos

En la siguiente imagen se muestra un esquema de flujo de la cadena productiva que se simulará:

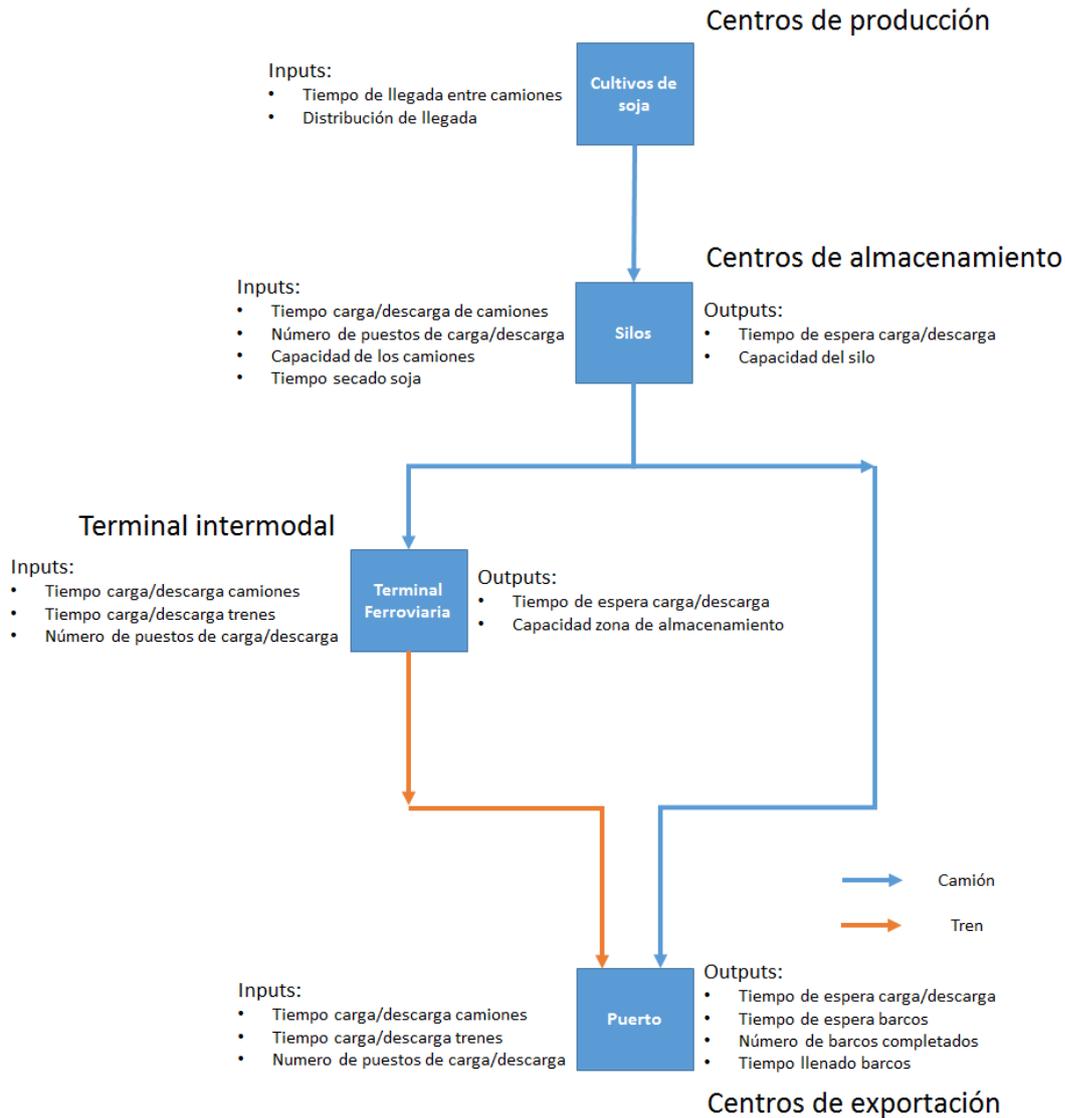


Ilustración 9: Esquema de la cadena productiva de la soja

4.3 Centros de producción

La cadena productiva de la soja comienza en los cultivos, cuando se cosecha la misma. La soja es considerada como una plantación de verano, ya que es en este periodo cuando se realiza la cosecha. Durante los meses octubre, noviembre y diciembre se concentra la plantación de soja, mientras que la cosecha se realiza en los meses de enero, febrero, marzo y abril (Companhia Nacional de Abastecimento, 2014); meses de verano en el hemisferio sur.

En la siguiente imagen, se puede observar una de las características de las plantaciones de soja antes mencionadas, que es la lejanía a las zonas de consumo y exportación:

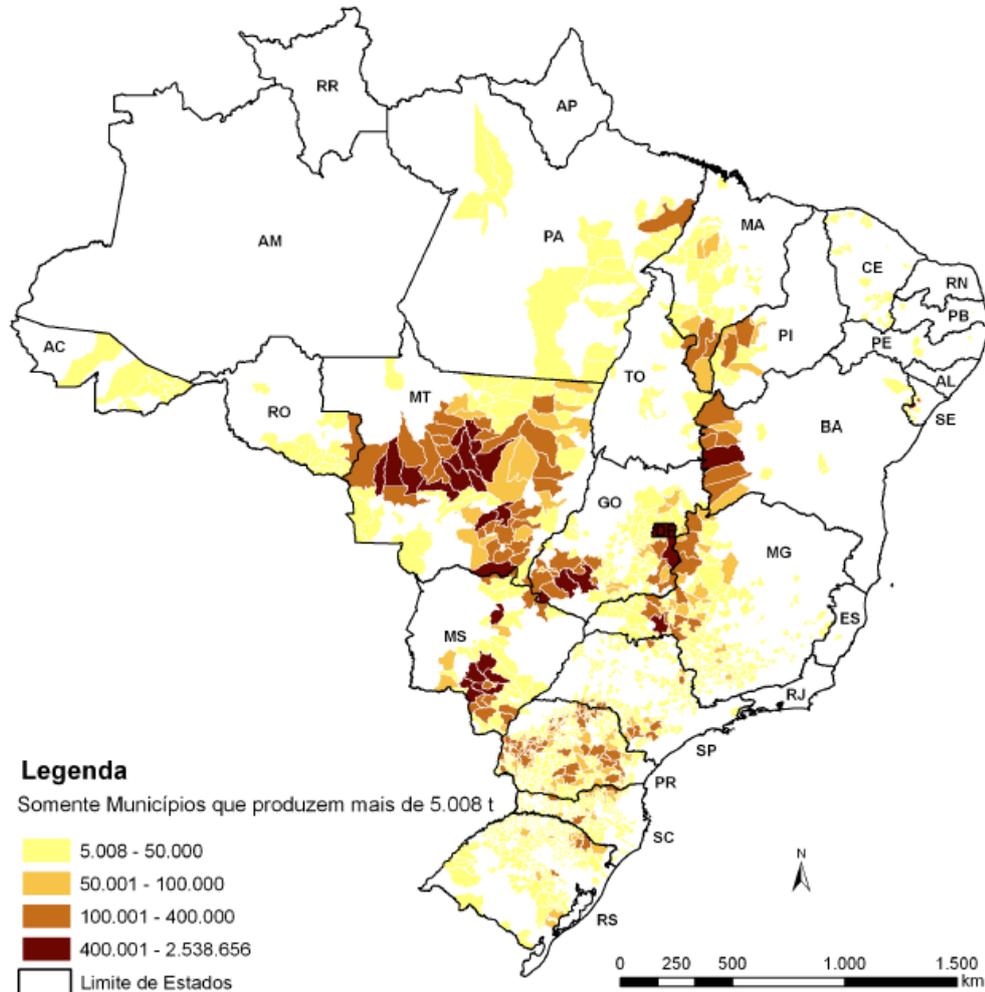


Ilustración 10: Zonas de producción de soja. Fuente: CONAB

Se puede ver como en la zona nordeste, que será la región de estudio en este trabajo, también se cumple la característica citada con anterioridad. Se puede apreciar que el cultivo en el nordeste se concentra en los estados de Bahía y Piauí, y en menor medida en el de Maranhão.

A la hora de analizar los centros de producción, se debe tener en cuenta otros dos factores que van a ser claves a la hora de realizar el modelo. El primero será la cantidad de soja que se obtiene en la temporada que consideraremos y el otro factor importante es el de la distribución mensual que sigue la cosecha.

En lo que respecta a las de producciones de soja, se considerarán los datos facilitados por uno de los proyectos de desarrollo, en los que se podrá encontrar las producciones de cada una de las microrregiones que componen los estados de Brasil que se tendrán en consideración a la hora de realizar el análisis.

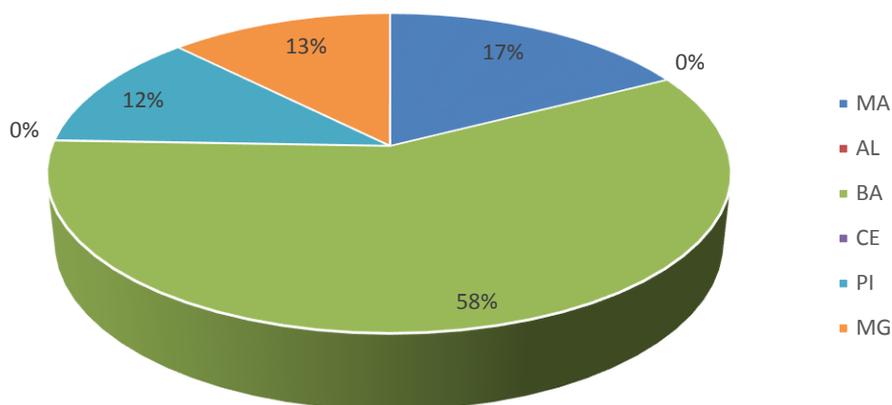


Gráfico 7: Distribución de la producción por estados. Fuente: PRODEPRO

En el gráfico se aprecia como la producción de soja en la zona nordeste está concentrada en más de un 50% en el estado de Bahía; mientras que aunque en los estados de Alagoas y Ceará existe producción, esta es testimonial en comparación con los demás estados.

Este es el principal motivo por el que se decidió instalar el silo en el estado de Bahía; concretamente en la microrregión de Barreiras, donde se produce cerca del 85% de la soja del estado. Debido a esta alta producción en la zona, es importante contar con medios logísticos adecuados para poder transportar la soja a su destino, ya sea el consumo interno o la exportación.

El otro factor que se servirá como base a la hora de realizar el análisis de la cadena productiva es el que indica cómo se distribuirá la cosecha en los meses en los que se realiza. Es decir, que la distribución con la que se cosecha en los meses de recogida no es uniforme, y varía dependiendo del mes, concentrándose principalmente en los meses de febrero y marzo.

En la siguiente gráfica se puede observar cómo se distribuye la cosecha de soja:

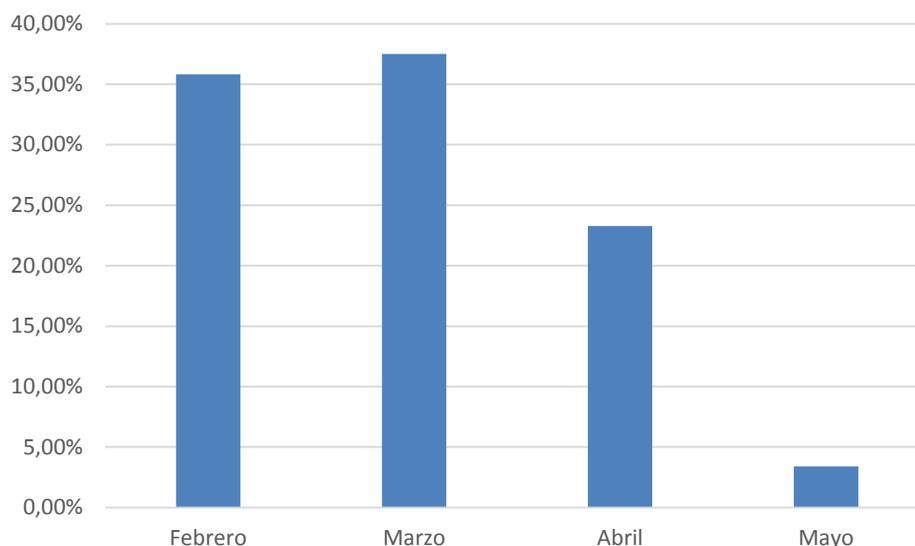


Gráfico 8: Distribución mensual de la cosecha de soja. Fuente: CONAB

La producción se concentra en los meses de febrero y marzo, por lo que es factible que, a priori, el cuello de botella en el sistema se produzca durante estos meses, cuando las necesidades de transporte del producto son mayores.

4.3.1 Modelo de simulación: Generación de camiones

Una vez realizado un análisis detallado de los centros de producción de soja, se tendrá la suficiente información para poder construir el modelo de simulación, concretamente la parte correspondiente a la generación de la soja en estos centros de cultivo.

Para la generación de los camiones cargados de soja se utilizará el bloque CREATE de ExtendSim, que habrá que configurar en función a los datos previamente expuestos. Para su correcta configuración, este bloque debe tener como inputs una distribución estadística que será la que siga el proceso de cosecha de la soja y una media para la misma, que marcará el tiempo entre salida de los camiones desde el bloque CREATE.

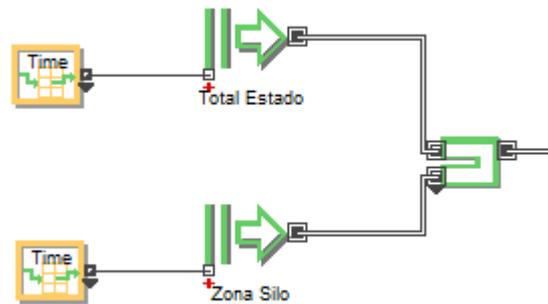


Ilustración 11: Generación de camiones

En primer lugar, se asumirá que el proceso de generación de la soja es lo suficientemente aleatorio como para que elegir una distribución que se adapte al mismo, sea un proceso difícil en el que no se llegaría a buen puerto. Por este motivo se optará por escoger una distribución que se adapta de buena manera, en general, a todos los procesos con un alto grado de aleatoriedad.

La distribución que cumple estas características es la distribución exponencial. Se utilizará de forma que seguirá una media diferente para cada uno de los meses de cosecha de soja. Esto se consigue a través de una LOOKUP TABLE, que se configura de manera que se asigna una media diferente a la distribución en función del tiempo de la simulación.

Como particularidad de este bloque del modelo, hay que destacar que la soja proviene de dos sitios diferentes. El primer bloque genera soja perteneciente a la zona de influencia del silo; para calcular la cantidad que corresponde al silo, se optó por suponer que toda la producción del estado se reparte de forma proporcional entre todos los silos, por lo que sabiendo la producción de la microrregión y el número de silos que existen en la misma, podemos saber las toneladas de soja que pertenecen a dicho silo.

El segundo bloque representa la cantidad que pertenece a dicho silo del resto del estado, por lo que se calcula asignando la producción restante al conjunto de todos los silos del estado, y destinando la parte proporcional al silo de nuestro modelo.

Para definir completamente el modelo, se deberán identificar correctamente los datos de entrada que tendrá la generación de camiones de soja. En la siguiente tabla se pueden observar ver los datos que se tendrán en cuenta:

Datos de entrada	CP_i	Descripción
Distribución estadística	CP ₁	Se trata de la distribución estadística que regirá la generación de los camiones en los centros de producción. Deberá ser una distribución que se ajuste a los procesos con un alto grado de variabilidad.
Media de la distribución (tiempo entre llegadas de camiones)	CP ₂	La media que se utilizará para definir la distribución dependerá del mes en el que nos encontremos. Según el mes en el que nos encontremos en la simulación, la media cambiará para adaptarse a la producción del mismo.

Tabla 7: Datos de entrada de los Centros de Producción. Fuente: Elaboración propia

Cabe destacar que la media de la distribución para cada uno de los meses se calculará teniendo en cuenta dos de los factores comentados con anterioridad, la producción que tendremos en la zona que se está considerando y la distribución mensual de la cosecha en la región nordeste. Por este motivo, se tendrán cuatro medias diferentes a lo largo de la simulación, cada una de ellas correspondientes a uno de los meses en los que se cosecha la soja.

4.4 Centros de almacenamiento

Una vez la soja es cosechada, sale de los centros de producción en camión con destino a los centros de almacenamiento. Al ser la soja un producto granelero, será conducida a silos preparados para el tratamiento de la misma. El tratamiento que se le realiza a la soja, básicamente es la limpieza de impurezas y el secado del grano. Con estos dos procesos se busca que la soja quede en condiciones óptimas para ser almacenada, alargando la vida de la misma.

Este proceso que se le realiza a la soja, producirá un retraso desde el momento en el que la soja llega al silo y es descargada, hasta el momento en el que estará lista para ser transportada nuevamente desde el silo hasta su nuevo destino.



Ilustración 12: Silo vertical para almacenaje de granos

Durante la descarga y carga del producto, uno de los factores más importantes que interviene es la velocidad a la que estos procesos se realizan. Este será uno de los puntos más importantes del bloque que representará el silo, ya que condicionará la cantidad de producto que se tendrá en cada momento disponible para poder enviar a sus destinos, ya sea a puerto directamente o a las terminales intermodales.

El problema que conlleva la simulación de esta velocidad con la que se descargarán y cargarán los silos es que desconocemos la situación real de cada uno de los mismos, con lo que se podrá tener en ciertos sitios sistemas con un mayor grado de desarrollo con lo que el producto será trasegado rápidamente, mientras que en otros puntos la velocidad sea muy inferior produciendo un retraso a la hora de que los camiones partan a su nuevo destino.

Para resolver este problema, se optado por asumir una velocidad intermedia entre los distintos sistemas de transporte de granos que existen. Para definir esta velocidad se ha decidido utilizar una cinta transportadora para la carga de los camiones en el silo, y un elevador de granos para la descarga de los camiones. Los datos utilizados provienen de catálogos comerciales de maquinaria manejada en los silos. Se ha asumido que las necesidades de velocidad en la carga y descarga de los camiones en los silos no serán tan altas como en otras partes del modelo, por ejemplo en la terminal

de intercambio modal, ya que los sistemas que existirán en estos centros estarán más desarrollados que los de los silos.

El siguiente paso será definir los puestos de carga y descarga que tendrán los silos. El número de puestos determinará la capacidad de llenado y vaciado que tendrá el silo, por lo que es una de las variables más importantes de este bloque del modelo.

En última instancia, para acabar de definir la parte del modelo perteneciente a los silos debemos considerar el número de silos que hay en cada uno de los estados a estudiar. Para ello hemos recurrido a datos del IBGE (IBGE, 2014), en donde se encuentra el desglose de cantidad de silos que se utilizan en estas zonas para el almacenamiento de soja así como la cantidad de soja que existía en los mismos a fecha de finales de junio de 2015. Con esta información podemos llegar a suponer el número de silos que se utilizan en la zona para el almacenamiento de soja, que es la información que interesa para el modelo.

La siguiente tabla es un resumen del informe, en donde se puede apreciar los datos que hacen referencia al número de centros de almacenamiento que existen en cada uno de los estados del nordeste así como la cantidad de producto que almacenaban a fecha de junio de 2015:

	Número de informantes	Cantidad (toneladas)
Alagoas	0	-
Bahía	31	713.586
Ceará	15	11.842
Espirito Santo	7	265.505
Maranhão	34	834.376
Minas Gerais	78	529.336
Paraíba	0	-
Pernambuco	11	2.546
Piauí	53	545.004
Rio Grande do Norte	0	-
Sergipe	0	-
Total	229	2.902.195

Tabla 8: Número y capacidad de unidades almacenadoras. Fuente: IBGE

De los 31 silos con soja existentes en el estado de Bahía, 29 de ellos se encuentran en la microrregión de Barreiras, lo que indica la importancia en termino de producción que tiene esta zona en el conjunto del estado.

4.4.1 Modelo de simulación: Funcionamiento silos

Los centros de almacenamientos serán los puntos en los que momentáneamente será almacenada la soja para su posterior transporte a los centros de intercambio modal o directamente a puerto.



Ilustración 13: Representación de un silo en el modelo.

El modelo perteneciente al silo se divide en tres partes fundamentales, que son:

- Descarga de camiones en silo
- Carga de camiones en silo
- Sistema de tolvas y cintas transportadoras

4.4.1.1 Descarga de camiones en silo

Los camiones que vienen de los centros de producción llegan a los silos a descargar la soja para que la misma se almacene en las tolvas dispuestas allí.

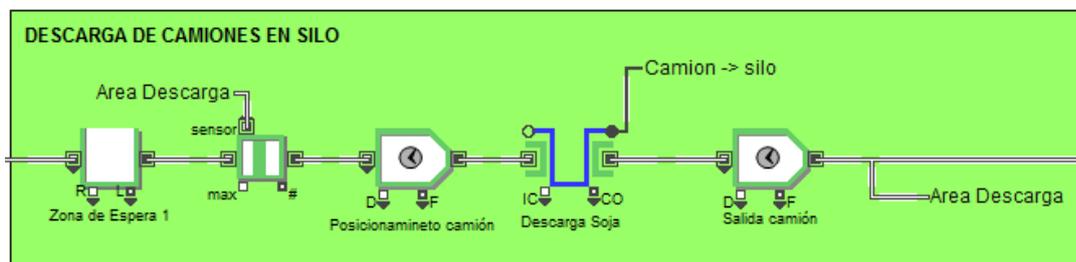


Ilustración 14: Descarga de camiones en silo

El proceso de descarga está formado por una zona de espera en la que los camiones podrán esperar hasta que la zona de descarga este libre, para ello se ha dispuesto un bloque GATE con la misión de bloquear el paso a los camiones que esperan para

entrar en la zona de descarga mientras que el camión que está en el sitio no lo haya abandonado. También se tendrá en cuenta tiempos de posicionamiento del camión para que se efectúe el proceso de transporte hacia las tolvas y el tiempo de salida del camión una vez este haya descargado. Estos dos procesos se han simulado con distribuciones triangulares, sin añadir gran variabilidad a los mismos ya que realmente no la tienen.

Los camiones una vez hayan descargado y salido de esta parte del modelo, se eliminarán del modelo a través de un EXIT ya que no serán tenidos en cuenta en el resto del mismo.

4.4.1.2 Carga de camiones en silo

Una vez la soja esté lista para poder ser transportada hasta su próximo destino, será transportada otra vez mediante camiones a su próxima parada.

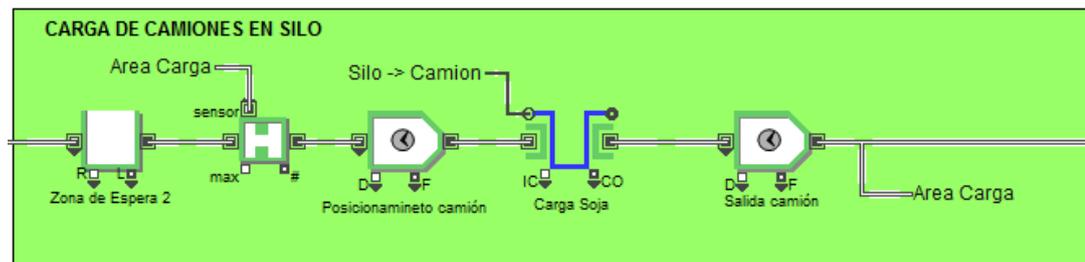


Ilustración 15: Carga de camiones en silo

El proceso de carga es exactamente igual al proceso de descarga de los camiones, con la única salvedad de que el punto de carga/descarga de los camiones, que es representado en el modelo por el bloque INTERCHANGE, será configurado en este caso para que los camiones sean cargados.

Otra de las diferencias significativas respecto al modelo de descarga, es que los camiones serán utilizados como recursos, por lo que nunca saldrán del modelo, sino que serán los encargados de mover la soja por todo el modelo. La cantidad de camiones que utilizaremos para mover la soja será configurable en el modelo, siendo uno de los parámetros que podremos estudiar en profundidad a la hora de realizar la experimentación con la simulación.

4.4.1.3 Sistema de tolvas y movimiento de granos

La capacidad fundamental de los silos es la de almacenar los productos para los que está diseñado. En este caso, el producto que estamos estudiando es la soja, que será tratada como un producto de flujo continuo, por lo que esto tendrá que ser tenido en cuenta a la hora de simular la carga y descarga de los camiones.

Lo importante de esto a la hora de simular es que debemos hacer un cambio en el tipo de simulación, de una simulación discreta (camiones) a una continua (soja). Una vez realizado este cambio, ya podremos trabajar con las librerías pertenecientes a simulación continua en ExtendSim.



Ilustración 16: Sistema de tolvas y cintas trasportadoras

En esta instancia, debemos controlar cuatro variables, la velocidad de descarga de los camiones, la capacidad del silo, la velocidad de secado del grano de soja y la velocidad de carga de los camiones.

Como se puede observar en la ilustración 16, una de las cintas trasportadoras simula el proceso de secado y limpieza de la soja para dejarla lista para su transporte a los centros de consumo y/o exportación.

Las variables de entrada al modelo que representa el silo las podemos ver en la siguiente tabla:

Datos de entrada	CA_i	Descripción
Tiempo posicionamiento de camión	CA ₁	Se trata del tiempo que transcurre mientras el camión toma la posición para poder descargar la soja que contiene. Este tiempo es igual tanto para la carga como para la descarga.
Tiempo salida del camión	CA ₂	Es el tiempo que el camión demora en abandonar la zona en la que ha estado cargando/descargando el producto para dejar paso a un nuevo camión.
Velocidad de descarga de los camiones	CA ₃	La velocidad de descarga de los camiones estará controlada por una cinta transportadora. Dependiendo de la tecnología de cada silo, este proceso podrá ser más o menos rápido.
Velocidad de carga de los camiones	CA ₄	La velocidad de carga en los silos puede ser más elevada que la de descarga, ya que existen muchos sistemas que se basan en la gravedad para poder cargar los camiones, siendo estos más efectivos.
Tiempo de limpieza/secado	CA ₅	El tiempo empleado para la limpieza y el secado de los granos de la soja. Este tiempo será el mismo para todos los silos ya que se le realiza el mismo tratamiento a la soja en todos ellos para asegurar el buen estado de la misma.
Capacidad de los camiones	CA ₆	La capacidad de los camiones que llegan desde los centros de producción será determinada en este submodelo, siendo la misma para el resto del modelo de simulación.

Tabla 9: Datos de entrada de los centros de almacenamiento

Otra de las variables de entrada que podríamos tener en cuenta en este modelo es la capacidad de los tanques en los silos, pero también la podríamos considerar como una de los datos que obtendremos del estudio que realizaremos, ya que sería interesante poder reducir esta cifra para no tener la necesidad de sobredimensionar el centro de almacenamiento.

Por último, podremos configurar la cantidad de puestos de carga y descarga que tendremos en nuestro silo. Al realizar la experimentación, podremos llegar a configurar el silo de modo que el proceso de carga y descarga del mismo se haga con

mayor velocidad, ya que puede contar con una mayor cantidad de puestos de carga y descarga.

4.5 Terminales intermodales

Una vez la soja abandona los centros de almacenamiento sigue dos posibles caminos. El primero es el puerto; si la soja que contiene los silos está destinada a la exportación y se cumplen unos criterios de precio de transporte y de distancia a los puertos, la soja puede ser transportada directamente a los puertos, donde será cargada en barcos graneleros con destino a alguno de los países importadores de este producto. El segundo camino que puede seguir la soja es con destino a los que llamaremos terminales intermodales, que son ni más ni menos que las terminales ferroviarias y las terminales fluviales.

Las terminales intermodales reúnen las condiciones para realizar el cambio de modo en una cadena integrada de transporte. Según las circunstancias geográficas en las que se encuentre el silo y los precios de los transportes, se podría optar por realizar este cambio para un método de transporte más rentable.

Antes de explicar las características de las diferentes terminales intermodales dentro de la cadena de productiva de la soja, se ofrecerán las definiciones de los dos tipos de terminales a continuación:

- **Terminales ferroviarias:** conjunto de infraestructuras e instalaciones mediante las cuales el ferrocarril puede realizar el tráfico de trenes, el transbordo de mercaderías y el almacenamiento de carga. En algunas terminales también se poder realizar tareas de clasificación y otras operaciones relacionadas.
- **Terminales fluviales:** Son aquellas instalaciones portuarias que constituyen de interface entre los diferentes modos de transporte, permitiendo la transferencia de carga entre el buque y los camiones, ferrocarril, buque feeder o barcaza y viceversa.

En las terminales ferroviarias, los camiones llegan con el producto desde los silos y descargan en los que dispone la estación para el almacenaje temporal de la soja.

Algunos de los factores que deberemos tener en cuenta a la hora de analizar este tipo de transporte es la cantidad de producto que podremos transportar, por lo que es importante saber en torno a cuantos vagones lleva cada uno de los envíos así como la velocidad media con la que estos trenes se desplazan (IBGE, 2014). Este último factor dependerá en gran medida de cuan desarrolladas estén las infraestructuras logísticas de la región, ya que si nuestro transporte ferroviario es demasiado lento, le costará más competir con otros tipos de transporte.



Ilustración 17: Terminal de carga de trenes

En lo que respecta a los puertos fluviales, se puede hacer un símil a las estaciones de ferrocarril. Básicamente cumplen la misma función que las anteriores, cambiando el medio de transporte al cual se traspasa el producto, que en este caso será fluvial. Para hacer el transporte por los ríos se utilizan barcazas que son transportadas mediante remolcadores, este medio de transporte tiene como principales ventajas la enorme cantidad de producto que se puede transportar, por lo que contaremos con precios muy inferiores a otros medios de transporte. En contrapartida, la lentitud que tiene la navegación fluvial es uno de los factores que juegan en su contra; así como la poca flexibilidad del mismo. El bajo número de ríos navegables de la zona limita en gran medida el desarrollo de este medio de transporte, y las grandes inversiones que habría que hacer para adaptar alguno de los ríos también lastran esta opción.

4.5.1 Modelo de simulación: Terminales intermodales

El modelo que representa las terminales intermodales, tanto la ferroviaria como la portuaria, son prácticamente iguales. Las únicas diferencias que nos encontraremos serán en algunos de los datos de entrada que proporcionaremos al modelo.

Antes de comenzar con la descripción, hay que destacar que ambos modelos de las terminales son muy similares debido a que el alcance del trabajo no busca entrar en detalle en el funcionamiento de cada uno de ellos. Debemos obtener un modelo que nos permita comprender el funcionamiento global de la cadena productiva.

Las terminales intermodales son representadas en este modelo por dos zonas diferenciadas de carga y descarga; y una zona de almacenamiento del producto compuesta por tolvas y cintas transportadoras para trasladar la soja.

4.5.1.1 Descarga de camiones en la terminal

Los camiones que llegan cargados a las terminales descargan mediante un sistema similar a como lo hacen en los silos, es por este motivo por el cual ambos modelos son exactamente iguales, ya que ejercen la misma función.

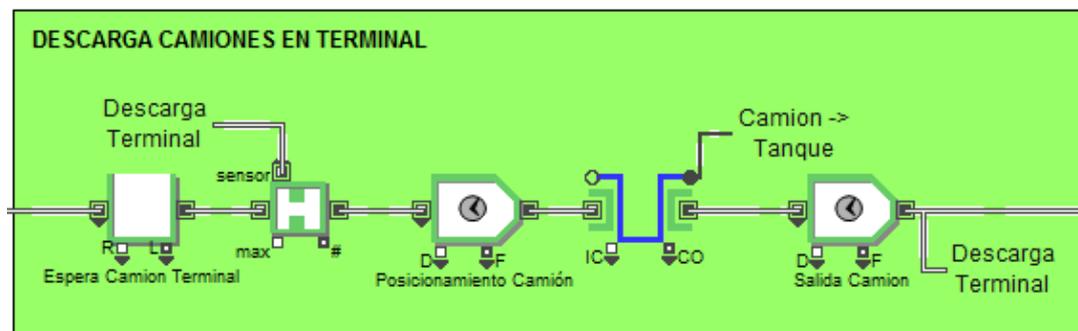


Ilustración 18: Descarga de camiones en terminal

4.5.1.2 Carga de trenes en la terminal

El proceso de carga de los trenes desde los depósitos de las terminales, aunque guarda la misma esencia que la carga en camiones, tiene ciertas diferencias que son importantes resaltar a la hora de realizar el modelo de simulación.

Como antes sea menciona, cada convoy de trenes está formado por una locomotora y un número variable de vagones, para este caso el número lo dejaremos como una

constate ya que a la hora del análisis no aportará una gran variabilidad a los resultados.

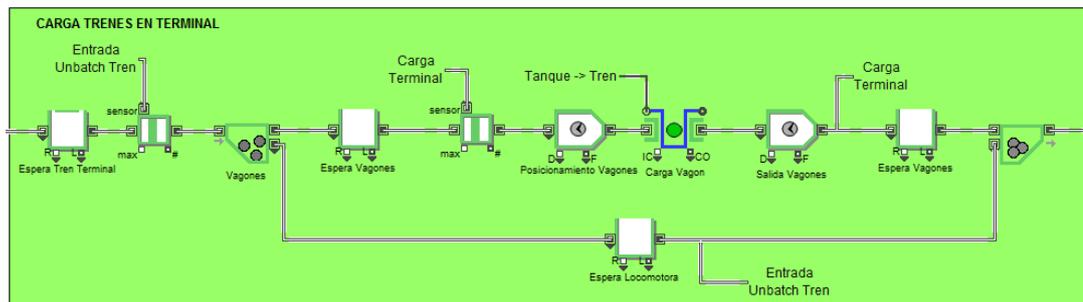


Ilustración 19: Carga de trenes en la terminal ferroviaria

En primer lugar, al entrar el tren en la terminal tendrá asignada un área de espera por si la zona de descarga estuviese ocupada por otro tren en ese momento. En caso de que la zona de descarga este libre, el próximo paso será la descarga de los vagones en los depósitos de la terminal. Para ello, y de cara al modelo, se ha decidido separar los vagones de la locomotora para que la descarga sea individual, siendo así más realista.

Una vez los vagones se han separado de la locomotora, entran en una nueva área de espera, que en la realidad seria la vía destinada a la descarga de la soja. Es en esta parte de la simulación en donde se decide la capacidad que tendrán los vagones, ya que es aquí donde se llenan con el producto para poner rumbo al puerto.

Cuando el último de los vagones se ha llenado, el convoy está preparado para poder partir hacia su próximo destino, dejando libre nuevamente el área de descarga para que un nuevo tren arribe a la terminal.

4.5.1.3 Sistema de tolvas y movimiento de granos

El sistema de tolvas y movimiento de granos que podemos encontrar en una terminal intermodal se asemeja mucho al que se utiliza en los silos, por lo que a la hora de realizar la simulación, asumiremos que ambos modelos son exactamente iguales, con un sistema de descarga de los camiones, compuesto por un sistema de elevación de granos, y un sistema de carga de los granos en el nuevo modo de transporte, que se compone de elementos de carga por gravedad, dependiendo de la forma de los depósitos. La única diferencia que hemos asumido que existe entre los mismos son

las velocidades de carga y descarga, ya que supondremos que la terminal cuenta con mejores medios de carga y descarga que los existentes en los silos.

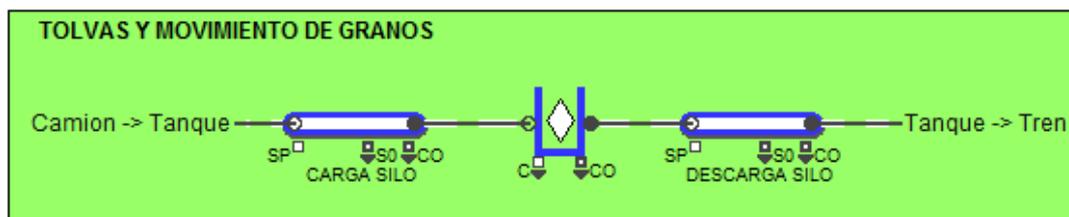


Ilustración 20: Sistema de tolvas y movimiento de granos

Como se mencionó con anterioridad, los modelos para las terminales ferroviarias y fluviales son prácticamente iguales, las únicas diferencias que tendremos las encontraremos en la cantidad de barcazas de las que dispondrá un convoy y también en la capacidad de las mismas, que será muy superior a la de los vagones.

En la siguiente tabla, se expondrá un resumen de las variables que tendremos en cuenta a la hora de implementar esta parte del modelo.

Datos de entrada	TI _i	Descripción
Tiempo posicionamiento de camión	TI ₁	Se trata del tiempo que transcurre mientras el camión toma la posición para poder descargar la soja que contiene. Este tiempo es igual tanto para la carga como para la descarga.
Tiempo salida del camión	TI ₂	Es el tiempo que el camión demora en abandonar la zona en la que ha estado cargando/descargando el producto para dejar paso a un nuevo camión.
Velocidad de descarga de los camiones/barcazas	TI ₃	La velocidad de descarga de los camiones estará controlada por una cinta transportadora. Dependiendo de la tecnología de cada terminal, este proceso podrá ser más o menos rápido.
Velocidad de carga de los vagones/barcazas	TI ₄	La velocidad de carga de los vagones/barcazas está determinada por una cinta transportadora, esta velocidad será superior a la de descarga de los camiones debido a que los sistemas son gravitatorios.

Cantidad de vagones/barcazas	TI ₅	Este será una de los datos fundamentales de esta parte de la simulación, ya que será donde decidamos la cantidad de producto que será capaces de llevar de un viaje un convoy. Es una de las variables que diferenciarán las terminales.
Capacidad de los vagones/barcazas	TI ₆	Junto con el dato anterior, definirán la cantidad de soja que se transportara en un convoy. Este también es uno de los datos que se verá modificado entre la terminal ferroviaria la fluvial. La capacidad de las barcazas será ampliamente mayor que la de los vagones.
Tiempo posicionamiento vagones/barcazas	TI ₇	
Tiempo salida vagones/barcazas	TI ₈	

Tabla 10: Datos de entrada de las terminales intermodales

Cabe destacar que, aunque se describen las terminales fluviales, en el modelo finalmente utilizado no se han tenido en cuenta, ya que por la zona en la que se ha situado el silo y el puerto por el que se exporta la soja, no se tendría la posibilidad real de realizar un transporte en barcaza hasta el puerto.

Por último, se debe comentar que la soja llegará desde dos lugares diferentes a la terminal; desde el silo que se considera en el modelo, así como del resto de silos que existen en la zona. Esta segunda entrada de soja a la terminal se modelará como una entrada de camiones adicionales, que no influirán en el número de camiones que existen para mover la soja entre el silo que se estudia en el modelo y la terminal.

Para saber qué cantidad de soja hay que adicionar a la terminal, se recurrió al dato que indica la cantidad de soja que sale en tren en la ruta que se considerará en el modelo, este valor menos el que llega desde el silo del modelo será el añadido que hay que hacer a la terminal para que procese las cantidades de sojas correctas. En la siguiente imagen se puede apreciar cómo se ha solucionado este problema en el modelo:

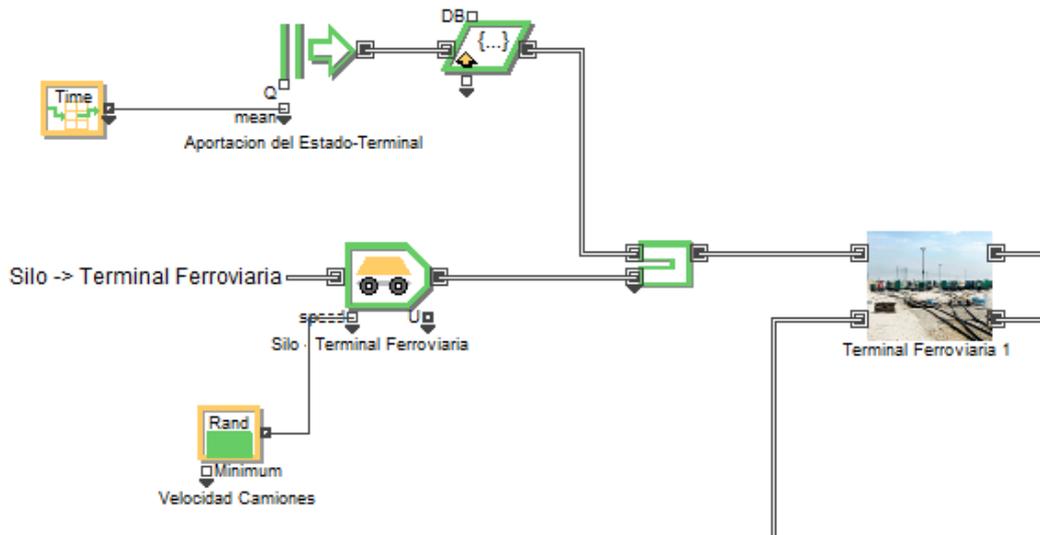


Ilustración 21: Entrada adicional de soja a la terminal

En ella se puede observar que existen dos entradas de soja al modelo, una que viene desde el bloque Silo – Terminal Ferroviaria (proviene del silo que simulamos en el modelo) y la otra del bloque Aportación del Estado – Terminal, que será el bloque que genere la soja adicional que tendrá que mover la terminal. Este bloque genera la soja de la misma manera que los centros de producción, en función de una distribución exponencial y de una media que depende de la cantidad de soja a generar.

4.6 Centros de exportación

El último eslabón de la cadena productiva de la soja son los puertos por donde se da salida al producto. La soja que llega a los puertos puede provenir tanto de las terminales intermodales como directamente de los silos donde se almacena el producto en primera instancia.

El principal objetivo de los puertos es la carga de la soja en los barcos graneleros para que estos transporten el producto hacia los países importadores. Los barcos graneleros son lo que se encuentran especialmente acondicionados para el transporte de todo tipo de graneles sólidos, principalmente de cereales.

Los puertos también podrían ser considerados como terminales intermodales, ya que en definitiva lo que hacen es cambiar el medio de transporte por el cual se está transportando el producto en cuestión. En este trabajo se ha decidido apartarlos de

los anteriores debido a que estos cumplen una función diferente, que es la de la salida de la soja del país, finalizando la cadena productiva.

En este caso, la elección del puerto es importante ya que hay que buscar el puerto por el que está previsto que en un futuro toda la producción de esta zona de Bahía sea exportada. En este caso, y después de buscar en datos facilitados por uno de los programas de desarrollo que se llevarán a cabo, se ha podido identificar que el puerto de Salvador será la salida de la soja de Barreiras para la exportación. Concretamente la terminal portuaria de Cotegipe, terminal privada especializada en la carga de granos, principalmente soja.



Ilustración 22: Terminal privada de Cotegipe. Fuente: portocotegipe.com.br

4.6.1 Modelo de simulación: Puertos

El puerto será el lugar donde confluyan todas las demás partes de la cadena de suministros, por lo que en el descargarán tanto los camiones, como los trenes que transportan la soja hasta allí. Por este motivo, el modelo del puerto contará con diferentes zonas de descarga, cada una de ellas adaptadas a las necesidades del medio de transporte por el cual llega el producto. La cantidad de terminales de carga y descarga para camiones y trenes que tendrá el modelo será uno de los factores que podremos obtener al realizar la experimentación.

El número de barcos que podrán estar cargando a la vez será un dato que vendrá dado por las características del puerto, aunque durante la experimentación se podrá variar para ver cómo responde el modelo a este cambio.

4.6.1.1 *Sistemas de descarga de soja*

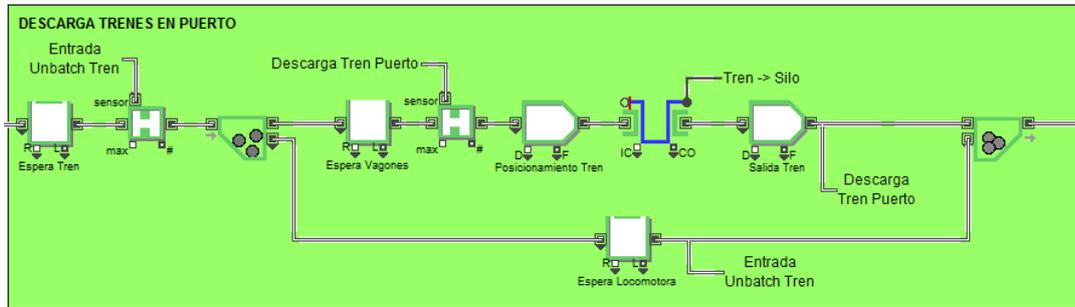


Ilustración 23: Descarga de trenes en puerto

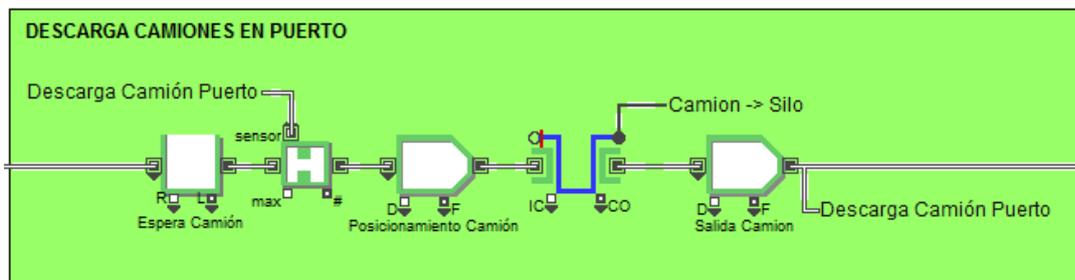


Ilustración 24: Descarga de camiones en puerto

Como podemos observar en las imágenes, los modelos son similares a los presentados en las distintas partes de la cadena productiva, esto se debe a que las características de la carga y descarga en los distintos puntos son similares.

4.6.1.2 *Sistema de tolvas y cintas transportadoras*

Una vez la soja es descargada de los transportes, es conducida mediante un sistema de descarga a un patio de silos, donde será almacenada para poder cargarla en los buques graneleros que llegarán al puerto. La entrada a los silos del puerto se da desde dos zonas diferentes, una desde la zona de descarga de camiones, y la otra desde la zona de descarga de trenes. En este apartado se debe destacar que la descarga de los camiones se realiza mediante volcadoras, que son un sistema creado para que, una vez el camión este encima de una plataforma, la misma se incline y realice la descarga de la soja de una manera muy rápida. Por este motivo es que la velocidad de descarga

en puerto de los camiones es muy superior a la que se considera tanto en los silos como en las terminales.

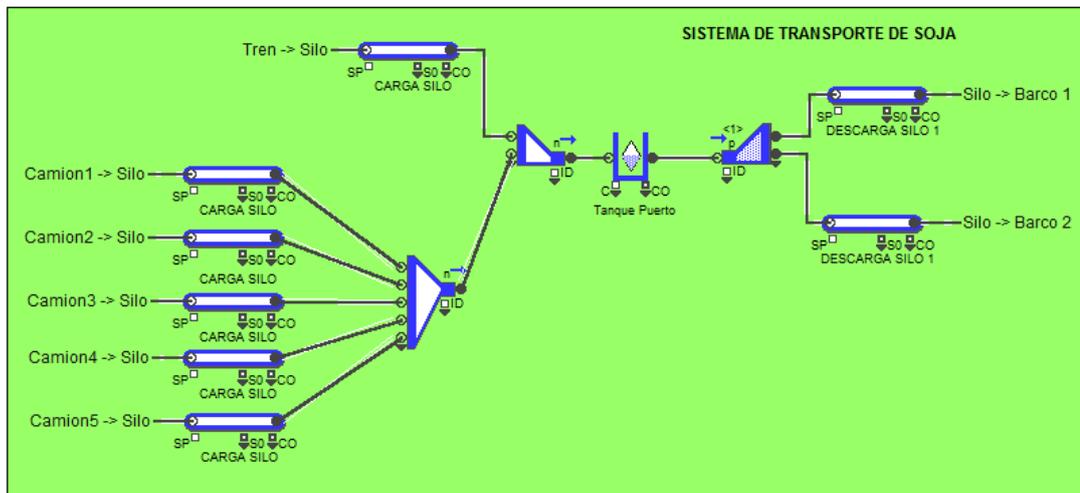


Ilustración 25: Sistema de tolvas y transporte de soja en puerto



Ilustración 26: Sistema de volcadora de camiones

4.6.1.3 Carga de la soja en los barcos

Una vez la soja se encuentra en el depósito del puerto, estará lista para poder ser cargada en los barcos graneleros que llegan al puerto. Para ello se utiliza una cinta transportadora que, en este caso, tendrá una capacidad mayor a las cintas que cargan

los camiones y vagones. Esto se debe principalmente a que la capacidad del barco es mucho mayor en comparación con los demás medios de transporte, por lo que el sistema de carga es acorde a la capacidad.

El modelo correspondiente a la carga de los barcos es muy similar a la carga de cualquier otro tipo de medio de transporte. En él, tendremos en cuenta el tiempo de atraque de los barcos y el tiempo que les lleva salir del amarre.

La generación de los barcos se realizará mediante un bloque CREATE, configurado en función de la cantidad de barcos que deberían llegar a un determinado puerto para cargar soja. La llegada de los barcos es controlada mediante una distribución estadística; para configurar adecuadamente esta entrada de barcos se ha supuesto que el tiempo de carga de los navíos estará en torno a los dos días, por lo que como máximo llegará un barco cada este tiempo. La idea es, sabiendo la cantidad de soja que debe ser exportada en determinado periodo, que existan suficientes barcos para dar salida a la misma. Para ello se utilizará una distribución exponencial con la media adaptada a la cantidad de producción que existe en el mes correspondiente.

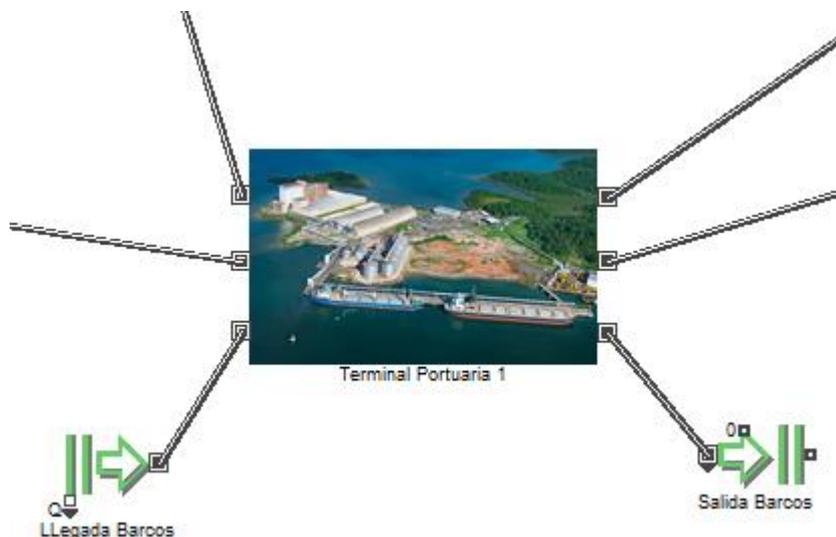


Ilustración 27: Llegada y salida de barcos del puerto

En la siguiente tabla, podremos observar las variables importantes que se utilizarán en este modelo, hay que destacar que algunas de las variables utilizadas ya se han definido en modelos anteriores y son utilizadas aquí debido a que son recíprocas a las usadas anteriormente.

Un ejemplo de esto son las capacidades de los vagones y camiones, que han sido definidas con anterioridad, pero también se utilizan aquí ya que es donde esos camiones y trenes van a descargar la soja, por lo que tendrán que ser iguales a las implementadas en los otros modelos.

Datos de entrada	P_i	Descripción
Tiempo posicionamiento de camión	P ₁	Se trata del tiempo que transcurre mientras el camión toma la posición para poder descargar la soja que contiene. Este tiempo es igual tanto para la carga como para la descarga.
Tiempo salida del camión	P ₂	Es el tiempo que el camión demora en abandonar la zona en la que ha estado cargando/descargando el producto para dejar paso a un nuevo camión.
Tiempo posicionamiento vagones/barcazas	P ₃	
Tiempo salida vagones/barcazas	P ₄	
Velocidad de descarga de los camiones	P ₅	La velocidad de descarga de los camiones estará controlada por una cinta transportadora. Dependiendo de la tecnología de cada silo, este proceso podrá ser más o menos rápido.
Capacidad de los camiones	P ₆	
Velocidad de descarga de los vagones/barcazas	P ₇	La velocidad de descarga de los vagones/barcazas está determinada por una cinta transportadora, esta velocidad será superior a la de descarga de los camiones debido a que los sistemas son gravitatorios.
Cantidad de vagones/barcazas	P ₈	
Capacidad de los vagones/barcazas	P ₉	
Velocidad de descarga de los barcos	P ₁₀	La velocidad de carga de los barcos está determinada por una cinta transportadora, esta velocidad será superior a la de las terminales ya que la capacidad de los barcos es ampliamente mayor por lo que habrá que llenarlos más deprisa.

Capacidad de los barcos	P ₁₁	Este será una de los datos fundamentales de esta parte de la simulación, ya que será donde decidamos la cantidad de producto que será capaces de llevar de un viaje.
--------------------------------	-----------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Tabla 11: Datos de entrada del bloque de puerto

En el puerto existe la misma particularidad que en la terminal ferroviaria. En principio, en el modelo solo llegan camiones y trenes con soja desde el silo y la terminal respectivamente, pero no solo llega desde estos orígenes, ya que existen más silos y terminales que alimentan al puerto con soja. Por este motivo, al igual que en la terminal, se tuvo que instalar una entrada de soja a mayores, para llegar a los niveles de movimiento que tendrá el puerto en el año 2024.

En este caso, las entradas se realizan adicionales se realizan por dos sitios diferentes, una son camiones, concretamente el 25% de las entradas (reparto de los modos de transporte según datos de 2024) y el resto llega al puerto por tren.

4.7 Carreteras y vías férreas

Hasta ahora a lo largo de este capítulo se han definido los llamados nodos de una red, que serán los silos, las terminales y los puertos. Una vez tenemos definidos estos nodos, hay que unirlos mediante algún tipo de sistema, estos lazos de unión serán las carreteras y vías férreas que se dispondrán a lo largo del modelo.

Es importante explicar la operativa de movimiento del producto que se ha implantado en el modelo, ya que es uno de los puntos fundamentales del mismo. El tramo que une el silo con la terminal ferroviaria se realiza por carretera, y la cantidad de medios de transporte que se tendrán disponibles será una cifra que se podrá modificar, con el objetivo de poder llegar a un número de camiones que nos permita reducir las esperas en los puestos de descarga, minimizar la capacidad de los silos y a su vez que este número de camiones no sea una cifra desorbitada.

Los camiones partirán desde un RESOURCE POOL donde tendremos la opción de cambiar su cantidad. La simulación de los viajes que tendrán que realizar a lo largo

del modelo se realizara con bloque TRANSPORT, en los que se podrá configurar la velocidad de los mismos, así como la distancia a recorrer entre su origen y destino.

Las velocidades de los camiones dependerán tanto del estado de los camiones como del estado de las carreteras, siendo este último factor el más determinante. De cara a la simulación, se optó por la solución de que la velocidad de los camiones variara de manera uniforme entre dos valores (Gabriel & Dean, 2006).

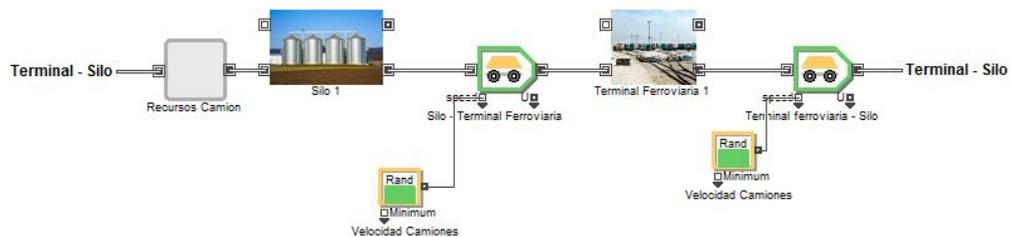


Ilustración 28: Esquema sistema de transporte entre silo y terminal

En la imagen 28, se puede apreciar visualmente como es el recorrido de los camiones entre el silo y la terminal, y como estos se utilizan en un circuito cerrado para mover la soja entre estos dos puntos.

El silo también se encuentra unido por carretera por el puerto, ya que parte de los camiones que salen desde el silo tienen como destino dirigirse directamente hacia el puerto, esto se debe al reparto modal que existe entre los dos modos transporte.

Para realizar este proceso, fue necesario asignar propiedades diferentes a cada uno de los camiones dependiendo su destino, ya que si el reparto se hacía simplemente con un SELECT ITEM OUT a la salida del silo configurado con probabilidades de salir por una u otra salida, todos los camiones al cabo de un tiempo terminarían dirigiéndose al puerto, ya que la distancia es mucho mayor que a la terminal.

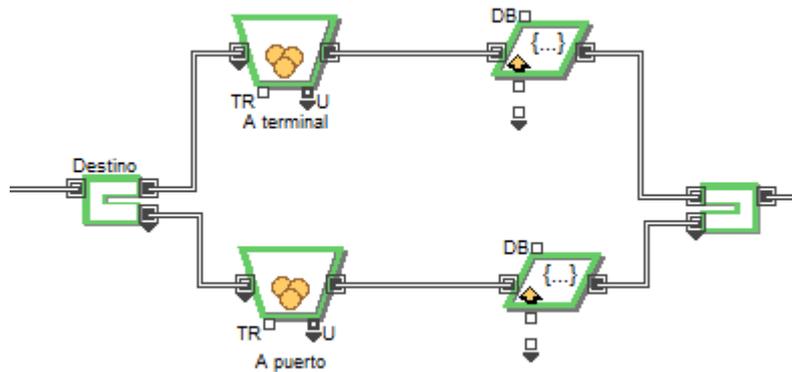


Ilustración 29: Asignación de propiedades según destino de camiones

En lo que respecta a las vías férreas, la situación es muy similar. El recorrido entre la terminal ferroviaria y el puerto se realiza en un circuito cerrado, con los trenes partiendo directamente de la terminal ferroviaria con destino al puerto. La velocidad de los trenes también vendrá dada por las condiciones de las máquinas y de las vías férreas, y en este caso en particular, también por la longitud de los convoyes, ya que asumiremos que cada locomotora transporta unos 70 vagones llenos de soja.

En definitiva, lo más interesante de esta parte del modelo será la flexibilidad con la que cuenten tanto los trenes como los camiones para modificar su cantidad y estudiar cómo varía el modelo en función de esto.

Capítulo 5. Experimentación. Resolución del problema

Durante el proceso de experimentación de un modelo de simulación el principal objetivo del desarrollador se centra en obtener un mejor entendimiento del sistema real, así como encontrar diferentes maneras de lograr mejorar el proceso. Para ello, es necesario asegurarse que los datos que se están obteniendo de la simulación son correctos; los pasos a seguir para ello se describen en el siguiente apartado.

5.1 Características de la experimentación

Como se ha comentado en capítulos anteriores, el objetivo de este trabajo consiste en desarrollar un modelo en el que se simula una parte de la cadena productiva de la soja en el nordeste de Brasil, concretamente en el estado de Bahía. La fase de experimentación del cualquier trabajo de simulación comienza una vez este modelo está completamente desarrollado y sea capaz de dar una visión del mundo real. Para planificar esta fase es esencial comprender la naturaleza del proceso.

Es importante conocer qué tipo de simulación se ha implementado en función del sistema y del tipo de operación. Según esto, se pueden distinguir dos tipos de simulación, las simulaciones con final (terminating simulations), que son aquellas en las que existe un evento que marca el final de la misma, y las simulaciones sin final (non-terminating simulations), en las que no existe un punto natural de finalización (Robinson, 2004). En este caso, el modelo desarrollado no cuenta con un punto final natural, ya que es posible ejecutar el tiempo que sea más conveniente. En todo caso, se podría considerar que tiene un fin en el momento que la última tonelada de soja haya salido por el puerto.

También es importante tener una idea de antemano de cómo será la evolución del modelo a lo largo del tiempo. El presente modelo desarrollará el pico de demanda logística entre los días 30 y 60 de la simulación, ya que es cuando la producción de soja llega a sus puntos más altos, es por este motivo que presumiblemente sea el momento en el que se dé el cuello de botella del sistema.

Otro de los puntos importantes que se deben tener en cuenta a la hora de realizar la fase de experimentación es asegurarse de que se obtienen resultados precisos durante la ejecución del modelo, más allá de lo bien modelado que se encuentre el mismo. En este tipo de modelos es muy normal que una de las fuentes más común de errores sea por el estado transitorio del modelo en su inicio.

Para poner solución a este fenómeno existen dos alternativas con enfoques totalmente diferentes. La primera técnica se conoce como *warm up*, y consiste en dejar que el modelo se ejecute el tiempo suficiente hasta que el transitorio inicial haya pasado y de esta manera empezar a recopilar datos desde ese momento.

La segunda solución consiste en asignar al modelo unas condiciones iniciales, por lo que al comenzar la simulación el modelo ya se encontraría en unas condiciones de trabajo real. En este caso el transitorio que existía en el caso anterior se elimina, y el modelo se encontraría en condiciones de tomar datos desde el primer momento.

Por norma general, la técnica de las condiciones iniciales es utilizada para simulaciones con final y la técnica *warm up* se emplea para simulaciones sin final (Robinson, 2004). En el presente caso se utilizará la técnica del *warm up*, ya que el modelo comienza en el momento en que se da por iniciada la cosecha de la soja, por lo que no existe producto a lo largo del modelo, por lo que no tendrá sentido colocar una cantidad como condiciones de partida.

Existen varios métodos para realizar este análisis, pero en este caso se ha escogido un método gráfico en el cual, mediante la representación de una o varias variables importantes con respecto al tiempo, el analista será capaz de identificar cuando acaba el transitorio.

Cabe destacar que en este caso, también será importante considerar que en algunas variables, los valores finales de la simulación tampoco podrán tenerse en cuenta. Esta anomalía se puede ver claramente con un ejemplo; ya que una vez que acabe la generación de soja y se vacíe el silo, los camiones que transportan el producto entre el silo y la terminal no tendrán más trabajo, y se quedarán esperando en el buffer del silo. Estos tiempos de espera no habrá que tenerlos en cuenta, ya que no son provocados por el funcionamiento del silo. Este punto final de recogida de datos irá

cambiando en los diferentes bloques del modelo, ya que no se vacían todos los puntos de almacenamiento a la vez.

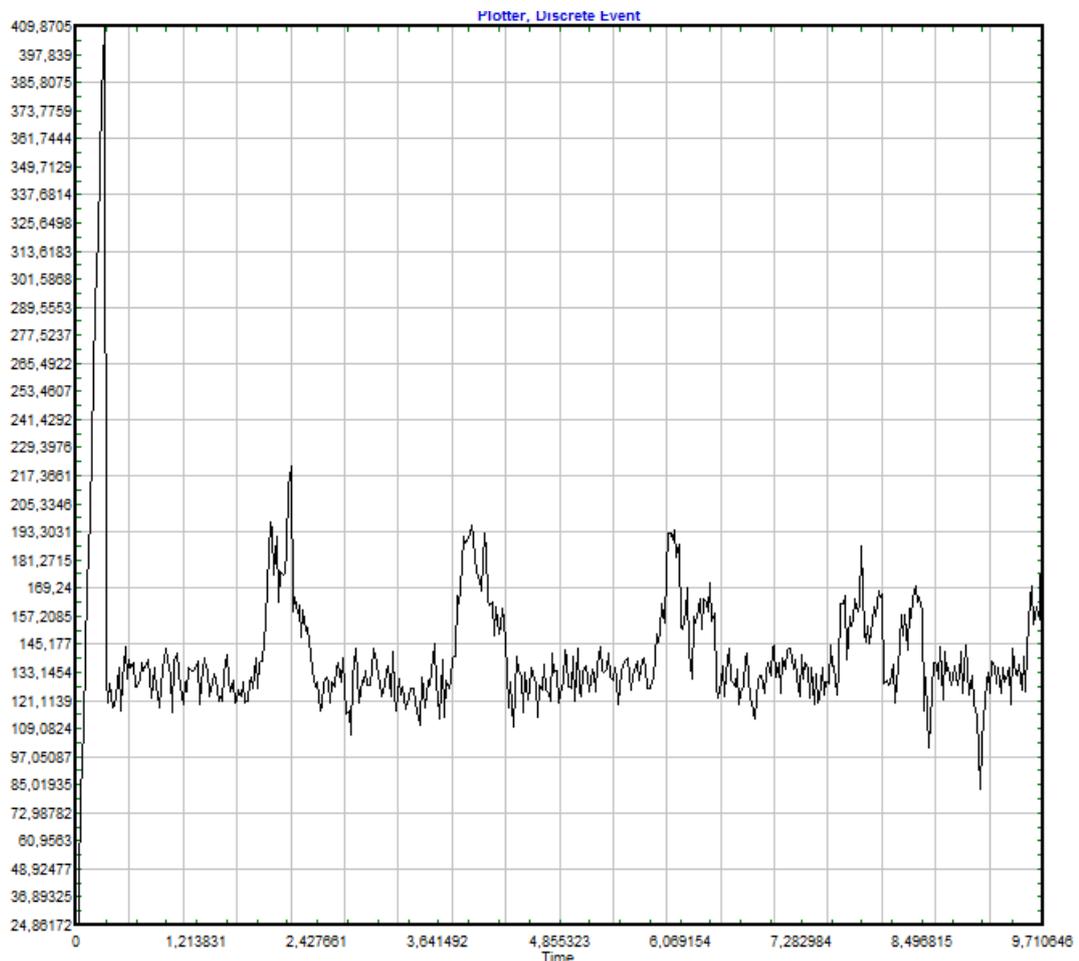


Gráfico 9: Tiempo de warm up del modelo

El siguiente paso en la fase de experimentación será el de calcular el número de réplicas que serán necesarias para alcanzar buenos resultados finales y eliminar la variabilidad que se genera entre las diferentes replicas. Para realizar este análisis se ha recurrido a las herramientas de ExtendSim; se ha utilizado el bloque MEAN&VARIANCE con la intención de que se repliquen las simulaciones hasta que se alcance un intervalo de confianza igual o inferior a 0,1. Para ello se debe elegir una variable del sistema, en este caso se han utilizado los diferentes tiempos de espera en las terminales, llegando a la conclusión de que un número de aceptable de réplicas para obtener buenos datos es 5. Puede parecer un número bajo para lo que se realiza normalmente, pero hay que tener en cuenta que el tiempo de simulación es muy alto, y que exista diferencia entre una simulación y otra no perjudica en gran medida a los resultados finales, ya que la variación de los resultados al realizar cambios en el

modelo sufre cambios suficientemente importantes como para ver cómo se comporta el modelo.

5.2 Diseño de escenarios

El objetivo que se ha planteado desde un principio en este trabajo es el de lograr dimensionar los nodos del sistema; concretamente un silo, una terminal de intercambio carretera – tren y un puerto, para la producción prevista de soja en la zona en el 2024. Para realizar el escenario de simulación, se han tenido en cuenta las estructuras logísticas que están planeadas para el año en cuestión, como por ejemplo la existencia de una vía férrea que una la microrregión de Bahía con el puerto de Salvador.

Se considerará a la hora de establecer el tiempo de simulación una duración de 150 días, correspondientes a unos cinco meses. Hay que destacar que el periodo de cosecha de la soja se realiza en cuatro meses, es decir unos 120 días. La decisión de simular 150 días se basa en que una vez se termine de cosechar soja, se necesitará un tiempo extra para seguir desplazando la soja hacia el puerto para su exportación.

En el tiempo de simulación se ha considerado que las jornadas laborales son de 12 horas, resultando ser una suposición nada alejada de la realidad en países en vías de desarrollo, y más siendo un proceso estacionario en el que la rapidez a la hora de llevar el producto a puerto para su exportación es fundamental.

Es importante elegir a que variables se le darán más peso a la hora de realizar el dimensionamiento de los nodos. En este caso se han elegido cuatro grupos de variables a tener en cuenta, que son:

- a) Tiempos de espera en la carga/descarga de camiones y trenes.
- b) Capacidad necesaria de las tolvas de almacenamiento estático en silo, terminal y puerto.
- c) Número de recursos de transporte, camiones y trenes, necesarios para desplazar la soja desde el silo a la terminal ferroviaria y de la terminal ferroviaria al puerto respectivamente.
- d) Número de puestos de carga y/o descarga en los nodos.

Los tiempos de espera en la carga/descarga del producto deber ser minimizados al máximo dentro de las posibilidades que tiene el sistema. Estos tiempos se traducen en pérdidas de efectividad y rentabilidad del proceso, ya que son recursos de transporte que se encuentran bloqueados a la espera de descargar o cargar, por lo que son desaprovechados durante ese tiempo. Como dato, en abril de 2013 hubo desvíos de camiones de más de 1800 kilómetros hacia puertos del sur del país por estos inconvenientes de tiempo de espera demasiados altos para la descarga.

La capacidad en las tolvas de almacenamiento viene dada por la cantidad de soja que van a tener que almacenar en un determinado momento los nodos del sistema. Si estas cantidades son demasiado altas aparecen dos problemas, el primero es que habría que sobredimensionar de una manera importante estas instalaciones para que sean capaces de recibir en un determinado momento la producción proveniente de las zonas de cosecha, de los silos, o de las terminales ferroviarias.

El número de recursos de transporte será la cantidad de camiones y trenes que hará falta para mover la soja entre los diferentes nodos del sistema.

El número de puestos de carga/descarga que existen en los nodos será la capacidad que tendrá cada uno de los mismos de realizar cargas/descargas en paralelo, porque el proceso se agilizará.

Al realizar un análisis algo más detallado de estas variables que intentaremos calcular en el sistema se puede observar que están relacionadas entre sí, por lo que al variar alguna de las variables, las demás de verán afectadas.

Este análisis se realizará bloque por bloque, modificando las variables que le afectan al mismo y observando cómo reacciona a estos cambios. Aunque también hará falta un análisis en conjunto ya que algunas de las variables de los nodos dependen de lo que sucede en otro, como por ejemplo la capacidad del silo, ya que si los camiones que transportan la soja hasta la terminal se encuentran con tiempos de espera muy altos, la soja se irá acumulado en el mismo, llegando a valores muy altos de capacidad estática en el mismo.

Para realizar este análisis por bloques, se ha optado por simular solamente los dos primeros meses de la cosecha de soja, a diferencia de lo que se hará cuando se simule

el conjunto. En esta época es cuando se concentra más del 70 % de la producción de soja. En definitiva, se realizará una simulación de 70 días, 60 pertenecientes a los meses de máxima producción, y 10 días más para ver como evoluciona el sistema.

El primer caso a estudiar será el silo, y la primera variable el tiempo de espera de los camiones en la descarga, para esto se ha simulado los siguientes escenarios:

Número de escenario	Número de puestos de descarga	Tiempo de espera descarga medio (h)	Tiempo de espera descarga máximo (h)	Capacidad máxima de silo (tn)
1	1	13,01	68,8	16.152
2	2	0,08	1,16	21.018

Tabla 12: Número de puestos de descarga en silo

Como se puede observar en la tabla anterior, los tiempos de espera en la descarga de la soja en el silo para la configuración con un puesto de descarga rondan en valores de 13 horas, con picos en los que algún camión puede llegar a estar esperando hasta unas 60 horas. Aunque realmente hoy en día las esperas que se producen en algunos puntos son mayores, el objetivo de este trabajo es minimizar estos resultados, por lo que se optará por colocar **dos terminales de descarga** en el silo. Con este cambio obtenemos valores de espera en el orden de los 5 minutos de media con picos que pueden llegar a unas 1,16 horas durante los meses de mayor producción.

En lo que respecta los tiempos de espera en la carga de camiones, se puede apreciar que este resultado depende en gran medida de la cantidad de camiones encargados de mover la soja hasta la terminal. Si el tiempo es muy alto, indica que los camiones están mucho tiempo esperando a cargar, por lo que el silo no es capaz de a cargar ya que no tiene suficiente soja en condiciones para cargar tantos camiones, por lo que se tomará como medida disminuir el número de estos camiones.

Número de escenario	Número de puestos de descarga	Número de puestos de carga	Número camiones silo-terminal	Tiempo de espera carga (h)	Capacidad máxima de silo (tn)
1	2	1	1	0,073	84740,00
2	2	1	3	0,069	53456,38
3	2	1	5	0,084	26421,82
4	2	1	7	0,077	19655,20
5	2	1	9	0,077	17022,04
6	2	1	11	0,070	16883,99
7	2	1	13	0,075	19706,86
8	2	1	15	0,083	20612,03

Tabla 13: Escenarios para dimensionar camiones en silo

Como resultado de la simulación, podemos ver qué sucede variando el número de camiones que cubren la ruta entre el silo y la terminal. Al aumentar este número, la capacidad necesaria máxima en el silo disminuye, aunque los tiempos de espera de los mismos no se ven afectados en gran medida, y se mantienen en un valor muy bajo.

Viendo estos resultados, la configuración ideal del silo cuenta con una **tolva de 20.000 toneladas** y alrededor de unos **7 camiones** que cubran la ruta entre el silo y la terminal. Esto unido a la cantidad de puestos de descarga que se calcularon con anterioridad, queda definida la estructura del silo.

Una vez está completamente dimensionado el silo, el próximo paso será realizar la misma operación pero con la terminal intermodal carretera – vía férrea. En este caso también se van a priorizar los tiempos de espera de los respectivos modos de transporte, así como que la capacidad de la tolva de almacenamiento que tiene que haber instalada en la terminal no sea excesivamente grande, ya que ocupará un espacio importante en la terminal. Además, cuanto más producto esté almacenado en la terminal, menos cantidad se encontrará de camino al puerto, por lo que se producirá retrasos en las exportaciones, peligrando de esta manera los beneficios de la venta.

El primer estudio realizado es el cálculo del tiempo de espera de los camiones en la terminal, en este caso, este tiempo de espera dependerá de la cantidad de puestos de descarga con los que contemos en la terminal. Después de realizar varias simulaciones se obtuvieron los siguientes resultados:

Número de escenario	Número de puestos de descarga	Tiempo de espera descarga (h)	Tiempo de espera descarga MAX (h)	Capacidad máxima de silo (tn)
1	8	0,08	0,84	21.445
2	7	2,16	5,87	16.346
3	6	2,24	7,02	7.795

Tabla 14: Número de puestos de descarga

Como se puede observar en la tabla anterior, el escenario que cuenta con unos tiempos de espera menor es el correspondiente a 8 puestos de descarga; en el momento que se quita uno de estos puestos las esperas se disparan indicando que el nuevo número de puestos en paralelo es demasiado bajo para la capacidad que se necesita.

En definitiva, una vez analizados los datos, se puede concluir que la configuración apropiada para los **puestos de descarga de camiones es de 8**. Con este dato logramos tener unos tiempos de espera bajos.

El número de puestos de descarga en paralelo puede parecer alto, pero se está realizando el análisis para los peores meses, que serán en los que más producción exista. Si se da el caso, se podría llegar disminuir este número de puestos de descarga con el consiguiente problema de aumento de los tiempos de espera y retraso en la salida de la soja por puerto.

Una vez están configurados los puestos de descarga de los camiones, el siguiente paso será configurar la cantidad de trenes que son capaces de cargar en paralelo y a la vez se calculará el número de trenes necesarios para realizar la ruta entre la terminal ferroviaria y el puerto. Para realizar esta parte se tendrán en cuenta nuevamente los tiempos de espera de los trenes además de la capacidad máxima de la tolva de almacenamiento en la terminal.

Para realizar este estudio se han preparado los siguientes escenarios:

Número de escenario	Número de puestos de carga	Número trenes terminal-puerto	Tiempo medio de espera carga (h)	Capacidad máxima de silo (tn)
1	7	40	6,628	22.397
2	6	40	8,263	21.445
3	6	35	5,680	129.144
4	6	30	4,503	259.579
5	5	40	28,202	168.618

Tabla 15: Número de trenes terminal - puerto

Se puede observar como al modificar el número de puestos de descarga y el número de trenes que realizan la ruta, se modifica la cantidad máxima de soja que hay en un determinado momento en el silo. A la vista de los resultados, se ha decidido dimensionar la tolva de la terminal para una capacidad de 25.000 toneladas.

Se puede observar como en un principio al disminuir la cantidad de zonas de carga y mantener la cantidad de trenes que hacen la ruta entre la terminal y el puerto, hay un aumento en el tiempo de espera de los trenes, pero no se observa esta tendencia en la capacidad máxima del silo, lo que nos indica que las zonas de descarga están sobredimensionadas. Vemos como esta tendencia cambia en el escenario 3, por lo que se llega a la conclusión de que las **zonas de carga de soja deben ser 6**.

Una vez se ha encontrado el número de zonas de carga, el próximo paso es el de encontrar el número de trenes que harán que la capacidad máxima del silo se acerque a las 25.000 toneladas fijadas con anterioridad. Este caso se da en el escenario 2 en el que podemos observar como con 40 trenes, la cifra de capacidad de la tolva ronda las 22.000 toneladas. En el momento que se disminuye la cantidad de trenes, la cifra de capacidad aumenta rápidamente, ya que no es capaz de mover la soja necesaria para que este valor se mantenga en unos niveles razonables.

El último nodo que queda por dimensionar se trata del puerto. En este bloque se dimensionará la zona de descarga de trenes, ya que las características de la zona de carga de barcos y descarga de camiones vienen dadas por las características del puerto. Sin embargo, en caso de que estas zonas fuesen insuficientes, se procederá a dimensionarlas correctamente.

El primer paso será dimensionar la zona de descarga de trenes; en principio, esta zona va a tener unas dimensiones considerables, ya que la mayor parte de la soja que llega al puerto viene en tren (más del 75%).

Para ello se ha realizado los siguientes escenarios:

Número de escenario	Número de puestos de descarga tren	Tiempo medio de espera carga (h)	Tiempo máximo de espera carga (h)	Capacidad máxima de silo (tn)
1	14	0,524	9,429538283	598.396
2	13	0,393	8,133333333	494.270
3	12	4,741	26,66666667	497.691

Tabla 16: Número de puestos de descarga trenes en puerto

Como se puede observar, el número de puestos de descarga que minimizan el tiempo de espera de los trenes y a su vez hace que la capacidad máxima esté en torno a las 450.000 toneladas, es **13**. Si disminuimos este número incurrimos en tiempos de espera mucho mayores, además de tener retrasos en la terminal ferroviaria, ya que los trenes que se mueven de la terminal al puerto se encuentran bloqueados en este.

Uno de los posibles escenarios que se iban a plantear desde un principio era modificar el puerto según las remodelaciones que se realizarán en la realidad. Estas modificaciones consistían en aumentar la capacidad estática del puerto de 350.000 toneladas a 450.000, y modificar la zona de atraque de los barcos para pasar de 2 que son las que existen en la actualidad a 3 buques que es lo que está panificado.

En un principio se planteó el escenario, pero el puerto era incapaz de absorber la cantidad de soja que llegaba al mismo. Llegando a acumularse una cantidad desorbitada de soja en las tolvas del puerto (del orden del millón de toneladas). Esto lleva a la conclusión de que en la situación actual de la terminal, es imposible que sea capaz de dar salida en 2024 al total de la soja planificada. Por ello se identifica como una inversión prioritaria en el puerto, para dar salida a la cantidad de mercancía estimada para el horizonte temporal del 2024.

Por último, se realizará una simulación completa del modelo, de 150 días de duración. Con esto se busca saber si el modelo es capaz de dar salida en este tiempo a toda la

soja que llegue al puerto o si en cambio necesitaría más tiempo para realizar la exportación completa del producto.

Una vez realizada la simulación se constató que, si bien el sistema sufre un pico de capacidad entorno al día 60 de simulación que coincide con la máxima producción de soja en el sistema, rápidamente esta baja y el puerto es perfectamente capaz de cargar la soja en los barcos, llegando a tener las tolvas en mínimos a partir del día 90 de simulación.



Capítulo 6. Conclusiones

Durante el desarrollo de este trabajo se realizó un modelo de simulación mixto de la cadena productiva de la soja en el nordeste de Brasil, concretamente ente los puntos de Barreiras y el puerto de Salvador. El modelo es capaz de dimensionar los nodos de la cadena considerada teniendo en cuenta 4 variables, que son el tiempo de espera de los medios de transporte, la capacidad de las tolvas de almacenamiento, número de recursos de transporte y por último la cantidad de zonas de carga/descarga existentes en cada bloques del modelo (nodo).

Para llevar a cabo un trabajo de simulación de estas características, sobre todo por la amplitud y diversidad de datos que se están teniendo en cuenta, es necesario obtener un conocimiento profundo del sistema objeto de estudio. Por este motivo es que se realizó una revisión bibliográfica sobre el estado actual de las infraestructuras y todo lo relacionado con la cadena productiva de la soja para lograr obtener la visión de conjunto que hace falta. También se realizó búsqueda sobre modelos de simulación de cadenas productivas que se han realizado, y se ha visto que el número de trabajos que tratan las cadenas productivas desde este punto de vista es reducido.

Mediante estas revisiones se pudieron identificar las partes por las que está compuesta la cadena productiva de la soja, los procesos que en ella se llevan a cabo, así como los posibles cuellos de botella del sistema. A la hora de realizar el modelo se optó por una estructura en bloques, en que cada uno de ellos representa un nodo del sistema.

Cabe destacar la dificultad añadida con la que este tipo de modelos cuenta. Es la fusión que hay que realizar entre simulación continua y simulación discreta. Esto se debe a que la soja es tratada como un producto de flujo continuo una vez que abandona los medios de transporte.

El desarrollo e implementación del modelo se puede considerar como la parte que ha ocupado más tiempo en el transcurso de este trabajo, ya que de su correcta elaboración depende la calidad final de los datos y conclusiones que se obtengan.

Mediante el escenario de análisis, con un horizonte temporal fijado en 2024, el modelo permitió saber qué tipo de inversiones habrá que realizar o si las que se están

realizando son las correctas para garantizar el buen funcionamiento de la cadena productiva de la soja a futuro.

Como conclusión, se puede decir que se han alcanzado los objetivos que se habían fijado al principio de este trabajo, ya que se ha logrado obtener una configuración para el mejor funcionamiento de la cadena productiva de la soja.

Como principal objetivo, se buscó reducir los tiempos de espera de los medios de transporte al mínimo. Con esto se garantiza para el futuro que se eliminará uno de los grandes problemas existentes hoy en día, que son las grandes esperas en la carga/descarga que existen en varios momentos de la cosecha de la soja.

Se ha modificado el número de zonas de descarga en cada uno de los nodos para conseguir los tiempos de espera deseados. También mediante la modificación de la cantidad de medios de transporte disponibles, se ha llegado a controlar la capacidad de las tolvas de almacenamiento disponible, ya que interesa que estas zonas no sean demasiado grandes.

En definitiva, se ha llegado a una configuración final en el capítulo anterior para el silo, la terminal y el puerto en función de las variables antes comentadas. Este trabajo intenta dar una magnitud de la cantidad y tipo de inversiones que se tienen que llevar a cabo para asegurar el correcto funcionamiento de la salida de la soja desde la microrregión de Barreiras hasta el puerto de Salvador.

Al final de la experimentación se ha comprobado que el modelo es perfectamente capaz de dar salida a la producción de la región de Barreiras así como de la zona de acción del puerto. La salida de soja desde esta zona quedará configurada de la siguiente manera:

- Zona de almacenamiento: 1 silo ubicado en la zona de Barreiras formado por 2 puestos de descarga de soja en el silo y 1 uno de carga para camiones que parten hacia la terminal ferroviaria. La tolva de almacenamiento está dimensionada para 25.000 toneladas.
- Zona de intercambio modal: formada por una terminal de ferrocarriles compuesta por 8 puestos de descarga de camiones y 6 puestos de descarga en

paralelo de trenes. La zona de almacenamiento está dimensionada para 25.000 toneladas.

- Zona de exportación: formada por un puerto con capacidad para cargar 3 barcos a la vez. Además cuenta con 13 puestos de descarga de trenes y 3 de descarga de camiones. La tolva de almacenamiento se encuentra dimensionada para unas 450.000 toneladas.

El tiempo de trayecto medio entre el silo y el puerto en tren se encuentra de media en torno a unas 32 horas de movimiento lo que se traduciría en unos dos días y medio de viaje, sumando los tiempos de carga/descarga, espera y trayectos.

No se ha entrado en el grado de viabilidad de estas inversiones, que no entra dentro del alcance del presente trabajo; si no que se ha centrado en asegurar el correcto funcionamiento de esta porción de la cadena productiva de la soja en el nordeste brasileño.

También es importante mencionar que esta configuración no tiene por qué ser la interese implementar, ya que el modelo tiene una gran flexibilidad a la hora de elegir diferentes configuraciones dependiendo de los tiempos de espera que se puedan asumir. Puede que en algún nodo de la cadena interese que los tiempos de espera sean altos a expensas de eliminar una terminal de descarga o carga, ya que están dimensionadas para el peor caso.

En lo que respecta a un posible trabajo futuro sobre este tema, cabe la posibilidad de seguir con el desarrollo del modelo, ya que es un tipo de simulación que no se han encontrado numerosos trabajos en la literatura al respecto.

Este modelo se puede utilizar como base para el estudio de cualquier tipo de cadena productiva, principalmente en las que el producto haya que tratarlo de manera continua, existiendo una gran cantidad variedad de productos que podrán hacer uso de la misma metodología.



Capítulo 7. Bibliografía

- Agencia Nacional de Transportes Terrestres. (2014). Evolução Do Transporte Ferroviario, 1–5.
- Arnold, P., Peeters, D., & Thomas, I. (2004). Modelling a rail/road intermodal transportation system. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 40(3), 255–270.
<http://doi.org/10.1016/j.tre.2003.08.005>
- Cepal. (2012). Perfiles de infraestructura y transporte en América Latina. Caso Brasil. Retrieved from http://www.cepal.org/perfil/noticias/noticias/7/29957/Caso_Brasil.pdf
- Clark, R., & Krahl, D. (2011). Roadmap to success: your first simulation model. In *Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference* (pp. 1465–1475).
- Companhia Nacional de Abastecimento. (2014). Safra 2013/2014 - Décimo segundo levantamento.
- Etlinger, K., Rauch, P., & Gronalt, M. (2014). Improving rail road terminal operations in the forest wood supply chain - A simulation based approach. In *Proceedings of the Int. Conf. on Harbor Maritime and Multimodal Logistics M&S* (pp. 199–206).
- Ferreira, H., & Esteves, D. M. (2014). Desigualdad de los ingresos en el Brasil ¿Qué ha cambiado en los últimos años? *Revista CEPAL*, 111–127.
- Gabriel, M., & Dean, T. (2006). Estimación de la capacidad del transporte ferroviario e hidroviario de granos y subproductos, 123–126.
- Girard, O. R. S., & Pavan, R. C. (2012). Detalhamento dos Eixos de Integração e Projetos Logísticos.
- IBGE. (2014). Pesquisa de estoques.
- Isaza Castro, G. (2008). Cadenas productivas: Enfoques y precisiones conceptuales.

López, M. (2011). Brasil: entorno macroeconómico de un país emergente.

Ministério dos Transportes. (2012). Projeto de Reavaliação de Estimativas e Metas do PNLT, 243.

Pacheco, L. C. (2010). Soja, producción y comercialización en Brasil. *Revista de La Bolsa de Comercio de Rosario*, 14–20.

Rabelo, L., Fayez, M., & Mollaghasemi, M. (2005). Ontologies for supply chain simulation modeling. In *Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference (WSC)* (pp. 2364–2370).

Robinson, S. (2004). *Simulation : The Practice of Model*.

Sturrock, D. T. (2011). Tips for successful practice of simulation. In *Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference* (pp. 1415–1422).

