

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE ZOOTECNIA**



**“UN ANÁLISIS PROSPECTIVO DE LOS FLUJOS COMERCIALES  
DE LA SOYA EN EL MUNDO A TRAVÉS DE MODELOS  
GRAVITACIONALES”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO ZOOTECNISTA**

**JAVIER ALVINO RUA MONTES**

**LIMA – PERÚ**

**2021**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**LA MOLINA**

**FACULTAD DE ZOOTECNIA**

**“UN ANÁLISIS PROSPECTIVO DE LOS FLUJOS COMERCIALES  
DE LA SOYA EN EL MUNDO A TRAVÉS DE MODELOS  
GRAVITACIONALES”**

**Tesis para Optar el Título de:  
INGENIERO ZOOTECNISTA**

**Presentado por:  
JAVIER ALVINO RUA MONTES**

Sustentada y aprobada ante el siguiente Jurado:

**Ph. D. Víctor Guevara Carrasco  
PRESIDENTE**

**Ph. D. Jorge Calderón Velásquez  
MIEMBRO**

**Mg. Sc. José Sarria Bardales  
MIEMBRO**

**Dra. Gladys Carrión Carrera  
ASESORA**

**Mg. Sc. Felipe de Mendiburu Delgado  
CO - ASESOR**

La presente investigación está dedicada a mis padres, Apolonia y Abelardo, las únicas personas que me amaron sin condición alguna.

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	vi
ABSTRACT .....	vii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. Seguridad alimentaria.....	4
2.2. Producción animal y seguridad alimentaria .....	5
2.3. La soya en la alimentación animal .....	6
2.4. Origen y actualidad de la producción y el comercio de Soya .....	8
2.5. Cambio climático y los potenciales riesgos para el mercado global de soya.....	12
2.6. Modelos de comercio internacional .....	13
2.6.1. Teorías tradicionales o de competencia perfecta.....	14
2.6.2. Teorías no tradicionales o de competencia imperfecta .....	14
2.6.3. Modelo gravitacional.....	15
2.7. La teoría de grafos como herramienta de representación del comercio internacional .....	17
III. MATERIALES Y MÉTODOS .....	22
3.1. Lugar y fecha del estudio .....	22
3.2. Materiales .....	22
3.2.1. Ordenador portátil .....	22
3.2.2. Datos numéricos .....	22
3.2.3. Lenguajes de programación y <i>software</i> estadístico.....	23
3.3. Metodología.....	23
3.3.1. Fase de procesamiento de datos .....	24
3.3.2. Fase de diseño de la investigación .....	25
3.3.3. Fase de representación gráfica .....	32
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	35
4.1. Resultados de modelos gravitacionales.....	35
4.2. Resultados del análisis gráfico a través de grafos para el comercio de soya .....	43
4.2.1. Análisis de grafos para el comercio global de torta de soya en el periodo 2006 .....	43
4.2.2. Análisis de grafos para el comercio global de torta de soya en el periodo 2010 .....	47

4.2.3. Análisis de grafos para el comercio global de torta de soya en el periodo 2016 .....	50
4.2.4. Análisis de grafos para el comercio global de granos de soya en el periodo 2006.....	53
4.2.5. Análisis de grafos para el comercio global de granos de soya en el periodo 2010.....	57
4.2.6. Análisis de grafos para el comercio global de granos de soya en el periodo 2016.....	60
4.3. Resultados de análisis prospectivos .....	63
V. CONCLUSIONES .....	65
VI. RECOMENDACIONES.....	67
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	68
VIII. ANEXOS.....	73

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Producción de carne en millones de toneladas .....	6
Tabla 2: Contenido de proteína y aminoácidos de insumos proteicos tradicionales .....	7
Tabla 3: Uso de la soya por kilogramos de carne producida según especie animal.....	8
Tabla 4: Límites máximos de uso de soya según la especie animal y el estado fisiológico..	8
Tabla 5: Producción de soya en millones de toneladas 2008 – 2017 .....	11
Tabla 6: Importación de soya en millones de toneladas 2008 – 2017.....	12
Tabla 7: Grupos de variables incluidas en el modelo .....	29
Tabla 8: Variables independientes de los modelos gravitacionales .....	36
Tabla 9: Estadística general de las variables independientes del modelo de granos de soya .....	36
Tabla 10: Estadística general de variables independientes del modelo de torta de soya.....	36
Tabla 11: Modelos gravitacionales para torta de soya .....	37
Tabla 12: Modelos gravitacionales para granos de soya .....	41
Tabla 13: Comparación entre flujos bilaterales proyectados al 2020 y flujos bilaterales afectados con variación del 30 por ciento sobre Estados Unidos .....	63

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Cadena de producción de proteína animal .....	5
Figura 2: Diversos usos de la Soya (%).....	7
Figura 3: Producción de soya 2008 – 2017 .....	10
Figura 4: Producción de soya en porcentaje 2008 – 2017.....	10
Figura 5: Importaciones de soya 2008 – 2016.....	11
Figura 6: Importaciones de soya en porcentajes 2008 – 2017.....	12
Figura 7: Grafos de representación.....	17
Figura 8: Grafos de representación global para las relaciones comerciales entre 178 países .....	20
Figura 9: Grafos de representación de las interacciones aleatorias entre proteínas .....	21
Figura 10: Fases metodológicas de la investigación .....	24
Figura 11: Fases metodológicas de la investigación .....	25
Figura 12: Flujograma de la fase de diseño de la investigación .....	26
Figura 13: Descripción de grafos.....	33
Figura 14: Algoritmo graficador de la dominancia y dependencia comercial .....	34
Figura 15: Comparación de modelos gravitacionales de torta de soya .....	40
Figura 16: Comparación de modelos gravitacionales de granos de soya .....	42
Figura 17: Grafos observados para torta de soya – 2006 .....	45
Figura 18: Grafos estimados para torta de soya - 2006 .....	46
Figura 19: Grafos observados para torta de soya – 2010 .....	48
Figura 20: Grafos estimados para torta de soya – 2010 .....	49
Figura 21: Grafos observados para torta de soya – 2016 .....	51
Figura 22: Grafos estimados para torta de soya – 2016 .....	52
Figura 23: Grafos observados para granos de soya – 2006 .....	55
Figura 24: Grafos estimados para granos de soya – 2006 .....	56
Figura 25: Grafos observados para granos de soya – 2010 .....	58
Figura 26: Grafos estimados para granos de soya – 2010 .....	59
Figura 27: Grafos observados para granos de soya – 2016 .....	61
Figura 28: Grafos estimados para granos de soya – 2016 .....	62
Figura 29: Grafos proyectados para granos de soya – 2020.....	64

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Lista de códigos ISO-III según país exportador o importador.....	73
Anexo 2: Código de programación R para el análisis gráfico.....	76

## RESUMEN

La soya es la principal fuente indirecta de proteína para la humanidad. No obstante, la existencia de heterogeneidad espacial en la capacidad de su producción incita a los países hacia el intercambio comercial. Una variación de sus flujos comerciales generaría indiscutiblemente un impacto en la disponibilidad proteica de cualquier país, afectando el estado de su seguridad alimentaria. La relevancia de contar con sistemas de información que ayuden a anticipar estas variaciones permitirá a los países involucrados generar adaptaciones eficientes. La presente investigación desarrolla un sistema de análisis espacial de la interacción comercial de soya, integrando metodologías como los modelos gravitacionales y la teoría de grafos. La primera permite al sistema explicar las relaciones bilaterales entre los países, mientras que la segunda permite graficar dichas relaciones. Teniendo como resultado información simplificada a partir de la complejidad del sistema comercial de esta importante leguminosa. Tal es el caso de China, país que ha generado un relativo monopsonio global respecto al grano de soya, consumiendo mundialmente el 60 por ciento de este producto y destinando el 80 por ciento de este volumen a la producción de proteína animal. Sin embargo, debido a potenciales riesgos, dicho país intenta diversificar a sus socios abastecedores como una estrategia comercial. Esto último pone en evidencia que las relaciones comerciales de dominancia-dependencia que presentan los países son determinantes para explicar la evolución del comercio global de soya, así como para la planificación comercial estratégica de la seguridad alimentaria proteica de un país.

**Palabras Claves:** Análisis espacial, Modelo gravitacional, Teoría de grafos, Sistemas complejos

## ABSTRACT

Soy is the main indirect source of protein for humanity. However, the existence of spatial heterogeneity in the capacity of its production, encourages countries to trade. A variation of its commercial flows would unquestionably generate an impact on the protein availability of any country, affecting the state of its food security. The relevance of having information systems that help anticipate these variations will allow the countries involved to generate efficient adaptations. The present investigation develops a system of spatial analysis of the commercial interaction of soybeans, integrating methodologies such as gravitational models and graph theory. The first allows the system to explain the bilateral relations between the countries, while the second allows to graph these relations. Resulting in simplified information from the complexity of the commercial system of this important legume. Such is the case of China, a country that has generated a relative global monopsony regarding soybeans, consuming 60 percent of this product worldwide and allocating 80 percent of this volume to the production of animal protein. However, due to potential risks, the country tries to diversify its supplying partners as a commercial strategy. The latter shows that the dominance-dependence relations that countries present are decisive to explain the evolution of global soybean trade, as well as for the strategic commercial planning of a country's protein food security.

**Keywords:** Spatial analysis, Gravitational model, Graph theory, Complex systems

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la producción animal es la principal fuente de abastecimiento de proteína para las poblaciones humanas (FAO, 2005). Sin embargo, la soya es el principal insumo agrícola proteico para la alimentación animal, teniendo aproximadamente el 75 por ciento de su producción mundial dirigida hacia este sector (Brack et al., 2016). No obstante, las diferentes áreas de producción de soya del mundo presentan resultados distintos, característica territorial que explica en gran parte las necesidades de importación de los países con niveles deficientes de este producto. El intercambio comercial es entonces un mecanismo eficaz para garantizar una oferta adecuada de este insumo en los diversos sistemas de producción animal dependientes de soya.

En el año 2017, según el Observatorio de la Economía de la Complejidad, la soya se posicionó como el principal producto agrícola comercializado en el mundo, contando con el mayor porcentaje (12 por ciento) del valor económico total de los productos de origen vegetal comercializados (OEC, 2012). Además, para el periodo 1961 – 2011, se observó que los flujos mundiales de importación de soya presentaron una fuerte relación causal con el stock de animales de producción de los países importadores o comercialmente dependiente de soya, determinando de esta forma la interdependencia entre ambas actividades (Jingmeng Wang et al., 2018).

Entonces, cualquier variación en el número o volumen de los flujos comerciales de soya generará consecuentemente un impacto en la disponibilidad de proteína animal en cualquier país comercialmente dependiente de soya, aumentando o disminuyendo la vulnerabilidad de su seguridad alimentaria. Una forma de prever posibles impactos dentro del sistema de comercio global de la soya es generando información relevante a través del análisis prospectivo de los volúmenes secuenciales de importación de este producto, permitiendo a

los actores involucrados en el suministro de alimentos proteicos, una rápida acción frente a posibles escenarios de desabastecimiento, facilitando así una planificación comercial estratégica para mantener la seguridad alimentaria proteica de un país.

La investigación permitirá observar la relevancia de las importaciones de soya a través de los modelos gravitacionales, los cuales son usados normalmente para analizar el comportamiento de los flujos comerciales bilaterales. No obstante, esta investigación está enfocada hacia el concepto de dependencia comercial, por lo que los modelos gravitacionales empleados desarrollan un análisis a través de los flujos bilaterales de importación y no de los flujos bilaterales de exportación como habitualmente se suele emplear.

El marco teórico de los modelos gravitacionales permitirá identificar no sólo las variables que expliquen las importaciones, sino que además generará información suficiente para evaluar el grado y tipo de dependencia comercial de la soya existente entre países. Además, la investigación contempla el uso de la teoría de grafos como un elemento simplificador de la información generada previamente por los modelos gravitacionales, permitiendo esto último, visualizar gráficamente la evolución temporal de los intercambios comerciales de la soya entre países, así como estimar los efectos sobre los flujos bilaterales de importación de soya de fenómenos aleatorios que puedan ocurrir en el tiempo.

La investigación contribuirá a idear mejoras en los planes de estrategia comercial o en el incremento de la eficacia de las políticas públicas direccionadas a conseguir la seguridad alimentaria de cualquiera de los países dependientes de la soya. Ayudando finalmente a pasar de la adaptación post evento aleatorio en el sistema comercial de la soya a una anticipación de los elementos que la integran (países), moldeando así los posibles escenarios futuros de los intercambios comerciales bajo relativos impactos.

En este contexto, la investigación presenta como objetivo general: Desarrollar una metodología de análisis prospectivo para el comercio global de soya que facilite información simplificada de la dependencia y dominancia comercial de este insumo para una mejor planificación comercial estratégica de la seguridad alimentaria proteica de un país. Siendo los objetivos específicos: Representar gráficamente los escenarios de las relaciones de

dependencia y dominancia comercial de soya a través de un algoritmo basado en la teoría de grafos, así como estimar las relaciones y los potenciales escenarios de la dependencia y dominancia comercial de soya a través de modelos gravitacionales.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

Para fundamentar la presente investigación se ha definido en primer lugar el concepto de seguridad alimentaria y el rol que esta presenta en el desarrollo sostenible global. Luego se ha procedido a describir la relación existente entre la seguridad alimentaria, la generación de proteína animal a través del uso de la soya y el comercio internacional de dicho insumo como mecanismo regulador de su disponibilidad. Finalmente, se describe las aplicaciones de las diversas metodologías que existen para analizar y representar el comercio internacional de alimentos trascendentales para la seguridad alimentaria.

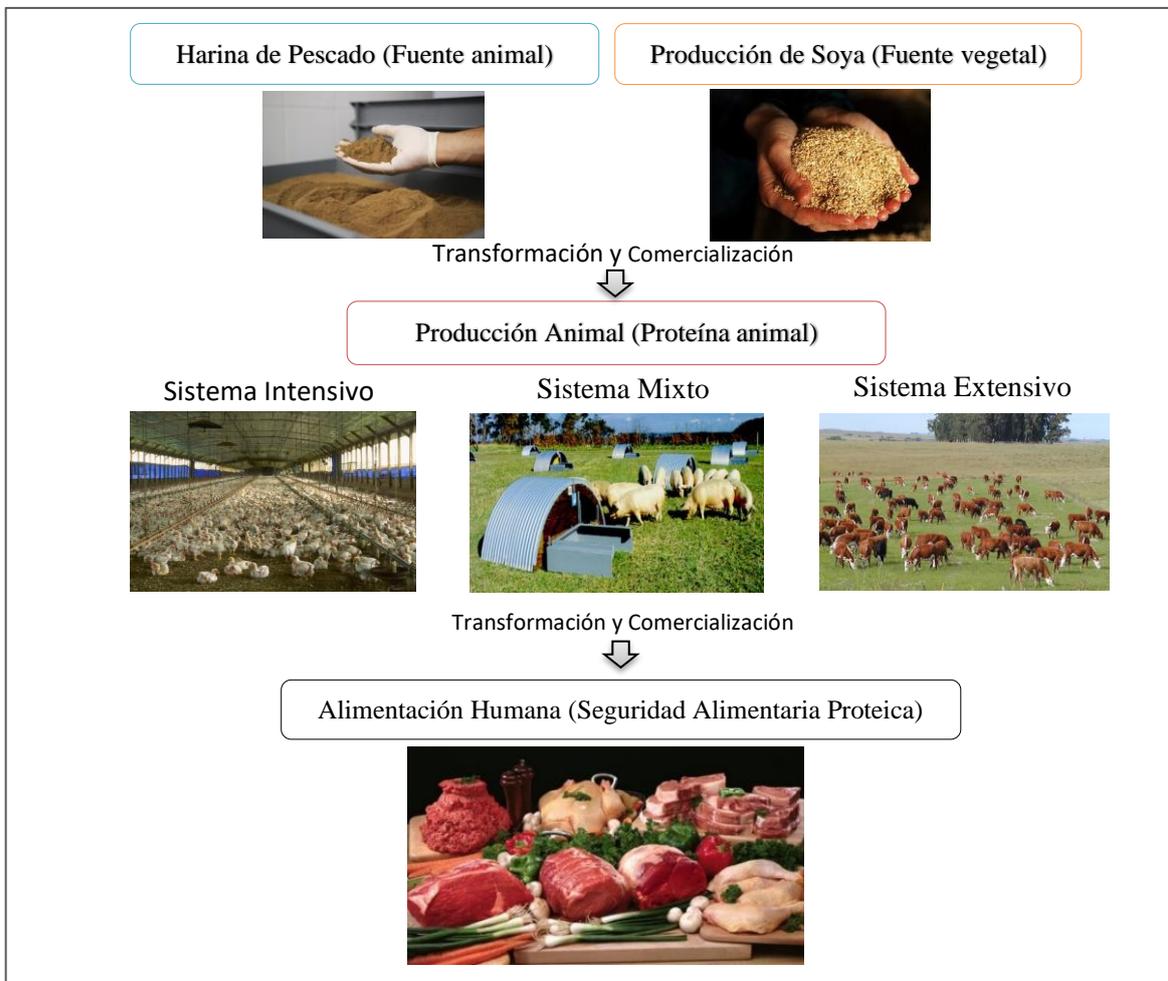
### 2.1. Seguridad alimentaria

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) define que la seguridad alimentaria *“a nivel de individuo, hogar, nación y global, se consigue cuando todas las personas, en todo momento, tienen acceso físico y económico a suficiente alimento, seguro y nutritivo, para satisfacer sus necesidades alimenticias y sus preferencias, con el objeto de llevar una vida activa y sana”*. Sustentando esta definición de forma general en cinco principales dimensiones: la accesibilidad, la disponibilidad, la calidad, la estabilidad y las preferencias de consumo de los alimentos (Tarraf et al., 2017).

En 2015, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) aprobó la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Dentro de la cual se detallaron los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) que tendrán vigencia durante el periodo 2015 – 2030. Teniendo como segundo principal objetivo: *“Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible”* (ONU, 2015). Este objetivo más conocido como *“Hambre Cero”*, intenta promover la seguridad alimentaria en las poblaciones más vulnerables del mundo. Actualmente, se presume que alrededor de 820 millones de personas en el mundo se encuentran aún en un estado de desnutrición (FAO, 2019b), lo que significa que la población mundial sigue presentando importantes limitaciones para alcanzar un verdadero desarrollo sostenible (FAO, 2018a).

## 2.2. Producción animal y seguridad alimentaria

En la XXVI Sesión del Comité de Agricultura de la FAO se señaló que la producción animal aporta aproximadamente el 34 y 17 por ciento de la demanda proteica y calórica mundial respectivamente (FAO, 2018b); mostrando con estas cifras la clara importancia que presenta la producción animal para el logro de la seguridad alimentaria, sobre todo para la disponibilidad proteica mundial. No obstante, la producción animal es dependiente de insumos proteicos que pueden provenir de fuentes animales (principalmente harina de pescado) o fuentes vegetales (principalmente soya). Los niveles de uso de cada uno de estos insumos son determinados normalmente por la accesibilidad a los mismos, según disponibilidad y costos; por la especie en producción y limitaciones biológicas, así como por el tipo de sistema de producción que los demande (Figura 1).



**Figura 1:** Cadena de producción de proteína animal

En la actualidad existen tres tipos diferentes de modelos de producción animal (intensivos, extensivos y mixtos). Los cuales se caracterizan básicamente por el área de explotación y el tipo de alimentación utilizada. Los sistemas intensivos o de confinamiento se caracterizan por tener crianzas en áreas pequeñas y con una alimentación basada generalmente en concentrados, mientras que los sistemas de producción extensivos o de pastoreo se caracterizan por presentar crianzas en grandes extensiones y una alimentación basada en pastos naturales o cultivados (Ogino et al., 2016). Para el caso de los sistemas mixtos, estos se caracterizan por combinar rasgos de los dos sistemas anteriormente mencionados. Las diferencias entre los sistemas de producción animal determinan a su vez diferentes aportes cárnicos para la alimentación humana a nivel mundial, regional y local (Tabla 1), siendo estos aproximadamente del 30 por ciento para los sistemas intensivos, 10 por ciento para los sistemas extensivos y del 60 por ciento para los sistemas mixtos (FAO, 2019a).

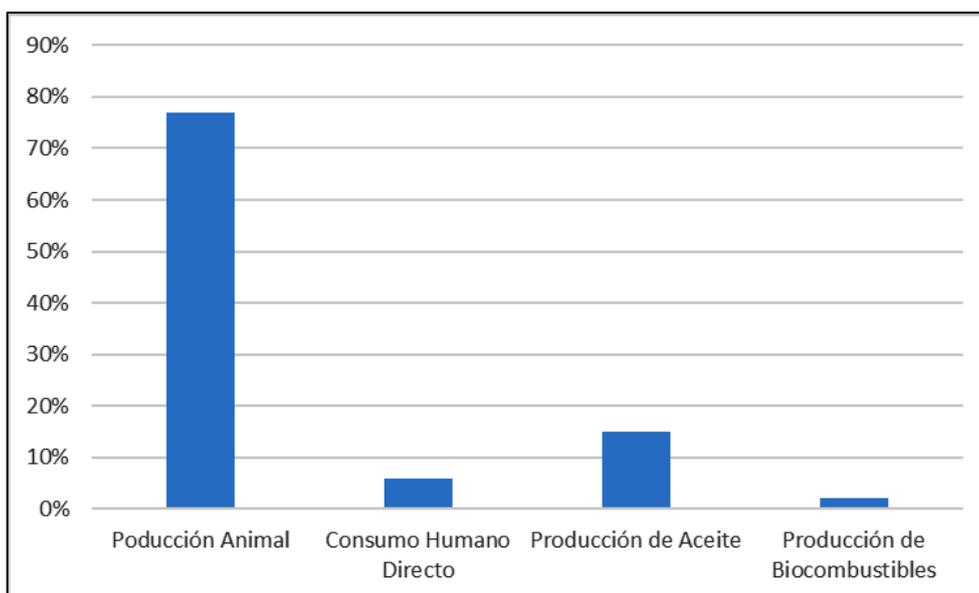
**Tabla 1: Producción de carne en millones de toneladas**

Área	2008	2011	2014	2017
Perú	1.23	1.49	1.73	1.89
América del Sur	36.77	38.74	41.45	43.74
Mundo	281.57	299.27	319.80	334.84

FUENTE: FAOSTAT, 2020

### 2.3. La soya en la alimentación animal

Según Cromwell (2011) entre el 75 y 80 por ciento de la proteína utilizada en la producción animal del mundo se origina a partir de la soya. No obstante, la soya puede ser usada también como insumo para la producción de aceite, producción de biocombustibles o para el consumo humano directo (Figura 2).



**Figura 2: Diversos usos de la Soya (%)**

No obstante, existen otros insumos proteicos tradicionales en la alimentación animal, uno de los más relevantes luego de la soya es la harina de pescado, sin embargo, aunque este insumo presente una mejor composición de aminoácidos, sus costos elevados (Tabla 2) hacen que su uso en la alimentación animal se vea limitado. Esta característica restrictiva de la harina de pescado, además de los grandes niveles de rendimiento y productividad que la soya presenta, generalmente estos factores hacen que la soya sea, el insumo de mayor uso en la alimentación animal.

**Tabla 2: Contenido de proteína y aminoácidos de insumos proteicos tradicionales**

Insumos Proteicos Tradicionales	Porcentaje de Proteína (%)	Precio de Insumo por Tm (\$)	Costo por Kg de Proteína (\$)	Porcentaje de aminoácidos			
				Lisina	Metionina	Arginina	Triptófano
Harina de Pescado	65	1360	2.09	4.9	1.95	3.71	0.76
Harina de Carne	55	450	0.69	3	0.75	3.73	0.36
Torta de Soya	45	375	0.58	3.1	0.68	3.43	0.65
Pasta de Algodón	35	350	0.54	1.4	0.48	3.73	0.43

FUENTE: Guía de Nutrición Animal de la Facultad de Zootecnia – UNALM.

Si bien el contenido proteico de la soya varía en un intervalo aproximado de 44 a 49 por ciento (Banaszkiewicz, 2011), la intensidad de la aplicación de la soya en la alimentación animal cambia según la especie de producción. Para los animales monogástricos,

especialmente para aves y cerdos, la harina de soya se vuelve indispensable en la preparación de sus balanceados a causa de su alto contenido proteico y su excelente perfil aminoacídico (Hulshof et al., 2016), tal como se muestra en la Tabla 3. Para el caso de los rumiantes en sistemas intensivos, la soya es utilizada también como insumo proteico, sin embargo, su utilización se efectúa en menor cuantía, dada las condiciones digestivas de estas especies y los costes derivados por introducir la soya en los piensos animales. No obstante, la utilización de la soya en la producción de cada especie animal es relevante, sobre todo para la producción de animales monogástricos (Tabla 4).

**Tabla 3: Uso de la soya por kilogramos de carne producida según especie animal**

Especie (por kilogramo de carne)	Soya usada (gr)
Pollos	575
Huevos	307
Cerdos	263
Bovinos	173

FUENTE: WWF, 2014.

**Tabla 4: Límites máximos de uso de soya según la especie animal y el estado fisiológico**

Límites máximos de uso en avicultura (%)					
Pollos inicio (0 - 18 días)	Pollos cebo (18 - 45 días)	Pollitas inicio (0 - 6 Semanas)	Pollitas crecimiento (6 - 20 Semanas)	Puesta Comercial	Reproductoras pesadas
L	40	L	L	L	L
Límites máximos de uso en porcinos (%)					
Pre-Inicio (< 28 días)	Inicio (28 - 70 días)	Cebo (> 70 días)	Gestación	Lactación	
5	20	L	L	L	
Límites máximos de uso en rumiantes (%)					
Recría Vacunos	Vacas Leche	Vacas Carne	Terneros Inicio (60 - 150 kg)	Terneros Cebo (> 150 kg)	
L	L	L	L	L	

\*L = libre, sin límite

FUENTE: Nahashon & Kilonzo-Nthenge, 2012.

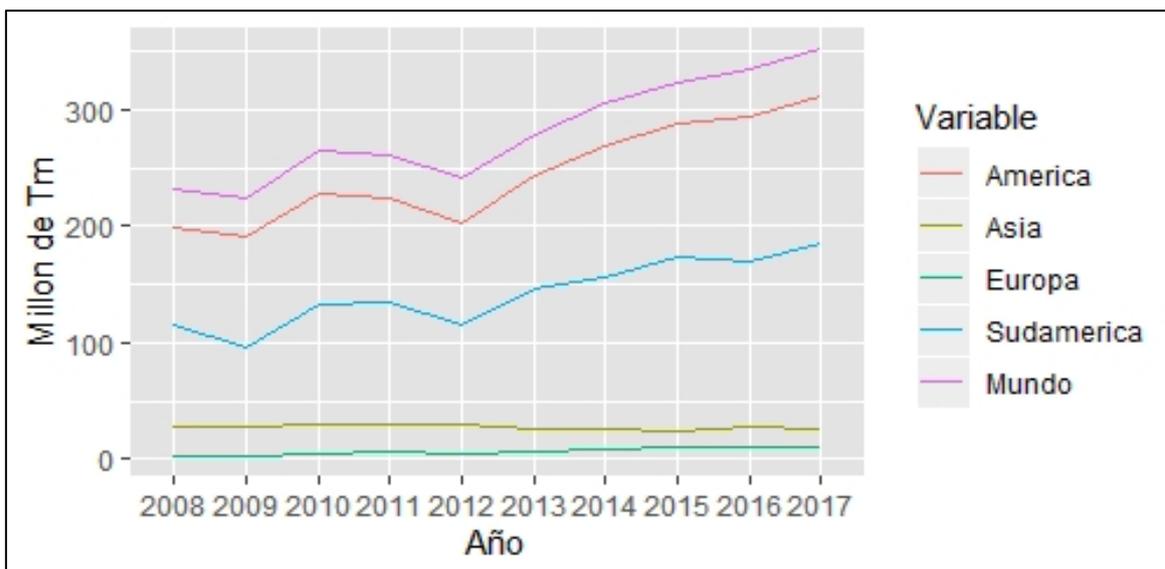
## 2.4. Origen y actualidad de la producción y el comercio de Soya

La producción industrial de soya inicia su historia en la Inglaterra del siglo XX, sustituyendo al algodón como insumo para la producción de aceite vegetal, debido a la menor complejidad que presentan los granos de soya en su proceso de extracción de aceite. Sin embargo, no es hasta 1930 que la producción y comercialización de soya presentarían su mayor desarrollo industrial, luego de que diversos estudios en Estados Unidos confirmaran una relación entre

el aumento de la tasa de crecimiento de los animales y la incorporación de la torta de soya en su alimentación (Landy, 1938). Encontrándole una mejor utilidad como un insumo proteico para la alimentación animal.

Luego en 1960, Estados Unidos (EEUU) fomentaría la inversión americana para desarrollar la industrialización postproducción de la soya en Europa, convirtiendo a los países europeos en uno de las regiones con mayores demandas de la época, siendo estos los primeros países dependientes de soya para la producción animal (Bertheau y Davison, 2011). Esta situación de dependencia comercial se hizo completamente evidente en 1973 cuando EE. UU. realizó un embargo sobre las exportaciones de este producto a sus hasta entonces socios comerciales, luego de que una severa sequía afectara sus cultivos de soya, poniendo en peligro su propio suministro. Europa como el principal importador del momento respondió a esta situación con políticas a corto y largo plazo, desarrollando una planificación estratégica en base a la búsqueda de nuevos socios comerciales, impulsando la producción de soya en territorios como Brasil, además de implementar un plan de autosuficiencia proteica europea para la producción animal (Lapierre y Pressenda, 2002).

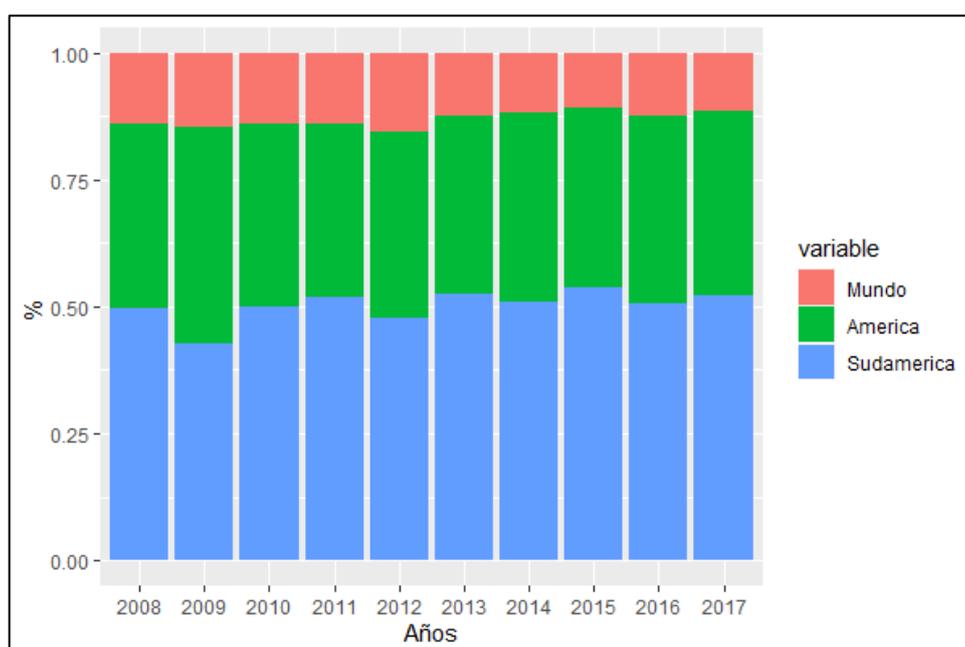
Actualmente, la industria de soya se ha desarrollado exitosamente en varias regiones del mundo gracias a la adopción de los sistemas de producción globalizados, al avance biotecnológico (soya genéticamente modificada) y al incremento de la demanda proteica de los países emergentes. Situación que puede verse reflejada en la evolución de la producción global de soya en los últimos 10 años (Figura 3).



**Figura 3: Producción de soya 2008 – 2017**

FUENTE: FAOSTAT, 2020.

Por otro lado, las estadísticas regionales o continentales (Figura 3) reflejan también una clara distribución heterogénea de la producción, existiendo regiones o continentes a nivel global con mayores niveles de producción de soya en los últimos 10 años. El caso más emblemático es el continente americano donde se produce más del 80 por ciento de soya del mundo (Figura 4).



**Figura 4: Producción de soya en porcentaje 2008 – 2017**

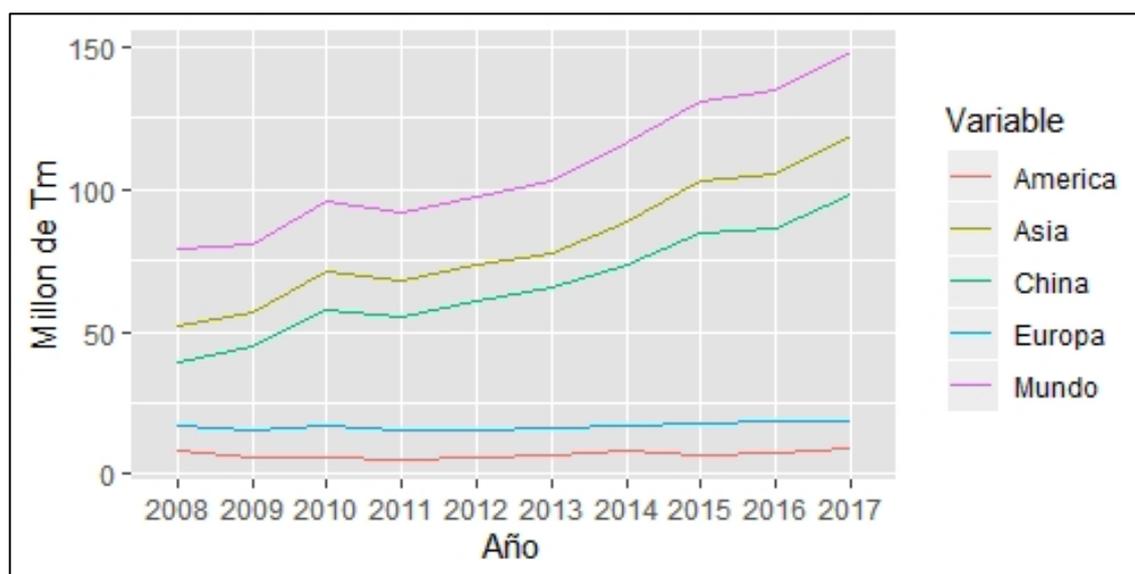
FUENTE: FAOSTAT, 2020.

**Tabla 5: Producción de soya en millones de toneladas 2008 – 2017**

Año	Mundo	América	Sudamérica
2008	32.28	84.28	114.59
2009	32.75	95.22	95.30
2010	37.06	95.33	132.56
2011	36.80	89.01	135.62
2012	37.76	88.18	115.25
2013	34.61	97.04	145.88
2014	36.61	113.36	156.24
2015	35.27	113.81	174.11
2016	41.52	124.08	169.90
2017	40.41	127.73	184.50

FUENTE: FAOSTAT, 2020.

Así también, las estadísticas regionales muestran claramente una concentración del consumo de soya en el continente asiático durante los últimos 10 años (Figura 5), teniendo como caso más emblemático en este grupo a China, país que se ha convertido ampliamente en el principal consumidor mundial de soya, importando alrededor del 60 por ciento de la soya comercializada globalmente (Figura 6), y dirigiendo el 80 por ciento de estas importaciones hacia la producción animal (Gale et al., 2015).



**Figura 5: Importaciones de soya 2008 – 2016**

FUENTE: FAOSTAT, 2020.



**Figura 6: Importaciones de soya en porcentajes 2008 – 2017**

FUENTE: FAOSTAT, 2020.

**Tabla 6: Importación de soya en millones de toneladas 2008 – 2017**

Año	Mundo	Asia	China
2008	27.17	12.37	39.56
2009	23.89	11.98	44.95
2010	25.20	13.45	57.38
2011	23.06	13.42	54.83
2012	23.33	12.97	60.77
2013	25.23	12.23	65.55
2014	28.24	14.37	73.81
2015	27.96	18.38	84.41
2016	29.56	18.54	86.39
2017	29.38	20.79	98.10

FUENTE: FAOSTAT, 2020.

Es importante señalar que este crecimiento en la producción y consumo de soya ha traído consigo impactos ambientales negativos en los distintos territorios donde se desarrolla el cultivo. Estos impactos se concentran principalmente en la deforestación de bosques amazónicos y el cambio de uso de suelo (Boerema et al., 2016; Torres et al., 2017).

## 2.5. Cambio climático y los potenciales riesgos para el mercado global de soya

El cambio climático es un fenómeno antropogénico que provoca un incremento de la temperatura promedio del planeta, sin embargo, esta variación incremental no es homogénea en los diferentes ecosistemas del mundo, teniendo repercusiones heterogéneas alrededor del

globo. Así también, estas variaciones de temperatura perturban negativamente a los diversos sistemas de producción, lo que repercute en un impacto sobre la economía de la zona afectada. Un caso particular y relevante ocurre con los impactos sobre los sistemas de producción agrícola especializados en cultivos tradicionales. Estos impactos se traducen naturalmente en mermas de la producción e incrementos de los costos de los mismos por la implementación de sistemas agrícolas adaptados a los potenciales cambios en el clima (IPCC, 2013).

Uno de los cultivos singulares respecto a su afectación en la producción a nivel global será la soya. Según las estimaciones en las diferentes regiones de producción del mundo, la soya no sufrirá una disminución de sus niveles de producción debido al cambio climático (Edenhofer et al., 2014). Sin embargo, este cultivo presentará una afectación indirecta a través de sus costos de producción y comercialización, una evaluación de la variación de los precios de la soya, muestra que ésta presenta un aumento de éstos a largo plazo en escenarios con cambio climático y sin él; no obstante los incrementos de costos en los escenarios con cambio climático serán mayores que sin él (Nelson et al., 2018).

Entonces, un escenario con cambio climático afectaría indudablemente los niveles de comercialización de soya de algunos países, disminuyendo su demanda o sus niveles de importación de esta a causa del incremento de sus precios. Es necesario señalar además que la producción de soya puede también ser afectada por la aparición de eventos climáticos extremos (sequías, incendios forestales), los cuales sí podrían estar asociados al cambio climático (Stott, 2016).

## **2.6. Modelos de comercio internacional**

Los modelos son representaciones abstractas y reduccionistas de la realidad, los cuales permiten observar de forma aislada el comportamiento de un fenómeno dentro de un determinado espacio y tiempo (Gilbert y Justi, 2016). Estos pueden ser determinísticos, probabilísticos o complejos. Los determinísticos se caracterizan por presentar las mismas respuestas frente a los mismos estímulos de manera estricta. Por el contrario, los modelos probabilísticos o estocásticos se caracterizan por presentar un rango de soluciones frente a determinados estímulos o variaciones. Finalmente, los modelos complejos, se denominan así debido a que la mayor explicación del fenómeno analizado se encuentra en la interacciones

de las variables que lo explican (Nelson et al., 2018). Existen en la actualidad diversas formas de modelar los intercambios comerciales. Sin embargo, para poder generar un modelo que revele el comportamiento comercial de los países al momento de interactuar entre ellos, es necesario conocer las diferentes teorías del comercio internacional.

### **2.6.1. Teorías tradicionales o de competencia perfecta**

Podemos distinguir en primer lugar a la teoría de la ventaja absoluta de Adam Smith, como la primera formalización de la explicación de los intercambios comerciales entre países (Uysal, 2019). En esta teoría se explica a través de un modelo simplificado que dos naciones alcanzan un mejor bienestar con el comercio, si cada uno de estas se logra especializar en el producto con mayor ventaja absoluta respecto a alguno de los factores de producción, optimizando de esta manera el uso global de los recursos (Ude y Agodi, 2015).

Luego de los planteamientos de Adam Smith, aparece David Ricardo, con la teoría de las ventajas comparativas (Bernhofen y Brown, 2018). Esta teoría implementa mejoras respecto a la teoría de Smith, haciéndola menos estricta. Ricardo desarrolla un modelo donde las naciones, indiferentemente a si presentan ventajas absolutas o no en la producción de un bien, deberían especializarse en aquellos bienes que representen un mayor beneficio relativo respecto al resto de bienes producidos (Maneschi, 2008).

Un siglo después, los neoclásicos sofistican la teoría de Ricardo y desarrollan el modelo de Heckscher – Ohlin, introduciendo el concepto de coste de oportunidad para justificar el valor del factor de producción y sus distintos precios relativos entre los países. Dada esta premisa, el modelo muestra que bajo ciertas condiciones, un país sólo exportará (importará) el bien que utilice más (menos) el factor de producción que tenga un menor (mayor) coste de oportunidad (Blanco, 2011; Etro, 2017).

### **2.6.2. Teorías no tradicionales o de competencia imperfecta**

Este grupo de teorías no tradicionales aparece en los inicios del año 1970, uno de sus representantes más resaltantes es el economista Paul Krugman (Gaspar, 2018). Este conjunto teórico presenta modelos que analizan fallos de mercado, tales como la existencia de monopolios y oligopolios en el comercio internacional, permitiendo generar herramientas

para explicar los intereses comerciales de los países, así como las estrategias que estos aplican al momento de interactuar comercialmente (Neary, 2016).

Uno de los modelos que viene tomando cada vez más una relativa importancia dentro de estas teorías, es el **modelo gravitacional**, que a diferencia de los modelos salidos de la economía tradicional – que responden a los cuestionamientos sobre el origen y la necesidad del comercio internacional – se focalizan en responder preguntas como: ¿Qué país comercializa con otro? y ¿Por qué estos comercializan? Lo cual permite comprender la dinámica del comercio internacional en mercados monopolísticos, además de permitir un análisis de la relación entre el comercio bilateral intra-sectorial y los ingresos de producción de los países involucrados (Kabir et al., 2017).

### **2.6.3. Modelo gravitacional**

El modelo gravitacional es un modelo empírico que intenta explicar los intercambios comerciales entre países a través de la ley de Newton (Morales Rivas et al., 2016). Fue Walter Isard en 1954, fundador de la economía regional, quien usa esta definición por primera vez, sin embargo este modelo no se aplica formalmente sino hasta 1962 por Tinbergen (Jošić y Bašić, 2019). Pero no es hasta 1979, que el modelo logra los suficientes fundamentos económicos teóricos, cuando se introduce la función de utilidad con elasticidad de sustitución constante (CES) la cual vincula la teoría del comercio internacional con el modelo gravitacional, logrando una mejor interpretación del modelo (Abbas y Waheed, 2019; Anderson y Van Wincoop, 2003). De forma general el uso del modelo gravitacional introduce una dimensión espacial a los análisis económicos del comercio, asumiendo a la distancia entre países como un factor de heterogeneidad de los costos de transporte en el intercambio de un bien, argumentos robustos para permitir la aplicabilidad de dicha analogía al comercio internacional (Wu, 2015).

Las variables utilizadas tradicionalmente en este modelo son representadas por la capacidad económica de un país en términos de su Producto Bruto Interno (PBI) y la distancia referencial que existe entre los países involucrados (Ülengin et al., 2015). La primera determina la capacidad que presenta un país para volverse un asimilador o generador del flujo comercial, mientras que la segunda es un indicador de la fricción comercial entre dos países, por lo general se determina a través de la distancia, variable indirecta del costo de

transporte (Pietrzak y Łapińska, 2015), esta variable puede verse también como cualquier otra fuerza en contra del buen desarrollo del comercio internacional (Cafiero, 2005; Bolívar *et al.* 2015).

De acuerdo con el marco teórico del modelo gravitacional, Chasimidis (2013) desarrolla un modelo usando variables cualitativas (lengua común, pertenencia a la Organización Mundial de Comercio, pertenencia a conglomerado comercial regional) y cuantitativas (producto bruto interno, distancia, precio de trigo) para analizar el comercio global de trigo en el periodo 2000 – 2011. Los resultados obtenidos en este estudio mostraron que los países que presentaron una lengua común, además de tratados comerciales regionales comunes tuvieron una mayor disposición a realizar intercambios comerciales entre ellos, empero los países que presentaron una mayor distancia tuvieron algunas restricciones por realizar dichos intercambios comerciales. Concluyendo que dicho modelo explica relativamente bien los flujos comerciales de trigo entre países pero que los países que comparten tratados comerciales regionales tienen mucho más probabilidad de obtener mayores ingresos por las exportaciones de trigo (Chasimidis, 2013).

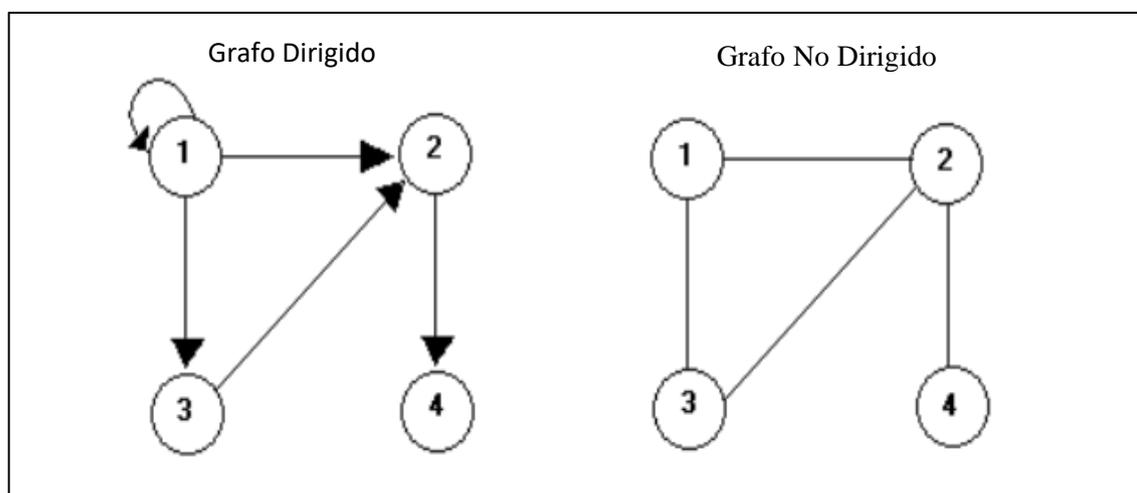
Por otro lado, un estudio publicado por Grossen (2019) desarrolló un modelo gravitacional para evaluar las exportaciones de maíz y soya de los Estados Unidos dentro del periodo 1998 – 2016, buscando identificar cómo las políticas de importación restrictivas hacia productos agrícolas genéticamente modificados de sus socios comerciales reducen el valor de las exportaciones de este país. Los resultados de los modelos mostraron que las restricciones comerciales debido a productos agrícolas genéticamente modificados influyeron negativamente en el valor estimado de las exportaciones de soya y maíz de Estados Unidos en un promedio de 11 por ciento (Grossen, 2019). Este estudio muestra una vez más la potencialidad del modelo gravitacional para explicar los flujos comerciales entre dos países, además de tener la posibilidad de evaluar los impactos de variables de interés.

Finalmente, Jiayou Wang (2016) utiliza un modelo gravitacional para explicar las importaciones de soya de Japón en el periodo 1995 – 2011. A diferencia de otros estudios, Wang usa los volúmenes de importación como variable dependiente, intentando observar los factores más relevantes que impactan sobre éstos. Esto permite al investigador analizar los riesgos por una dependencia comercial de soya, en un país netamente importador. Por otro

lado, el estudio usa al producto Bruto Interno, a la población nacional, al consumo nacional japonés, a la razón de las tasas de cambio bilaterales y a la distancia entre socios comerciales como variables explicativas tradicionales del modelo, no obstante Wang introduce variables como la producción nacional de soya y el área de producción nacional de soya para identificar efectos internos sobre los niveles de importación de soya en Japón. Los resultados de este estudio indicaron que, debido a una desaceleración del crecimiento económico de Japón, además de una disminución de su demanda o consumo interno, las importaciones de soya tuvieron una disminución en este país. Sin embargo, la relación entre las tasas de cambio bilateral presentaron un efecto positivo para las importaciones de soya en Japón (Jiayou Wang, 2016). Mostrando así que el modelo gravitacional es bastante adecuado y versátil para explicar las relaciones comerciales de Japón respecto a la soya.

## 2.7. La teoría de grafos como herramienta de representación del comercio internacional

La teoría de grafos es un área de la matemática discreta que tiene como principal objetivo la representación de sistemas interconectados a través de grafos (Knor et al., 2016). Esta teoría fue planteada por primera vez por el matemático Leonhard Euler en el siglo XVIII (Ghosh, 2015); sin embargo, ésta toma mayor relevancia a partir del siglo XX con el uso de los ordenadores. Un grafo es un conjunto de puntos denominados nodos, los cuales están unidos entre sí a través de aristas, éstas últimas pueden tener un sentido (grafo dirigido) o no (grafo no dirigido), indicando así que la relación entre los nodos es unidireccional o bidireccional respectivamente (Figura 7).



**Figura 7: Grafos de representación**

FUENTE: Universidad de Granada recuperado de <http://decsai.ugr.es/>

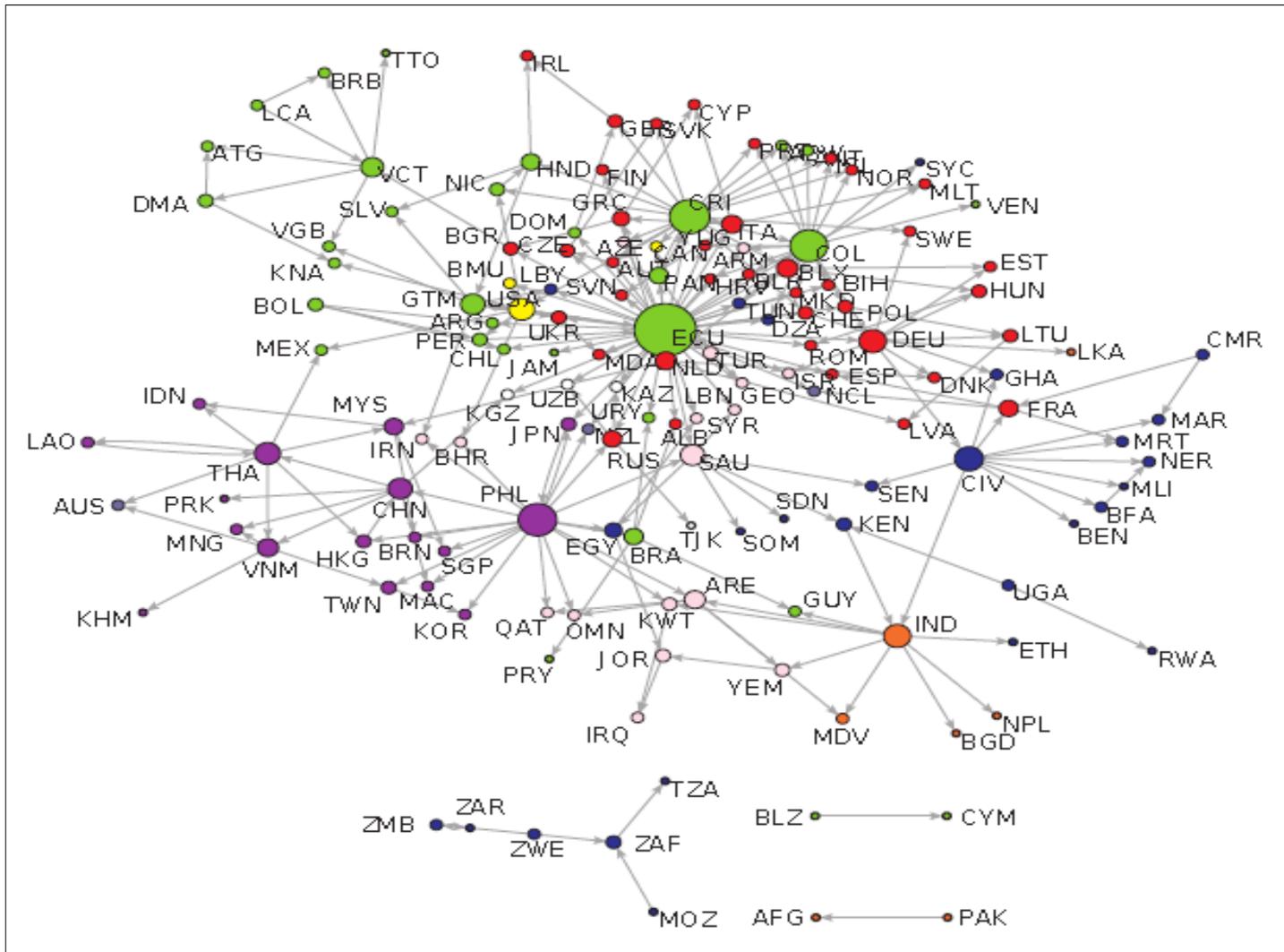
La teoría de grafos se aplica en la geo-ciencia, a partir del análisis de redes complejas con la finalidad de evaluar dinámicas de geo-sistemas o patrones entre los nodos y las aristas (Phillips et al., 2015). Para el caso del comercio internacional, la teoría de grafos deviene una herramienta de representación robusta de las relaciones comerciales entre países (Ji y Fan, 2016). Estas relaciones pueden determinar los vínculos de agrupamiento, de jerarquías y las posiciones que cada elemento (país) tiene dentro del sistema de intercambios comerciales (García y Solís, 2015).

Usando el marco teórico precedente, Maluck y Donner (2012) aplican grafos para la representación de flujos de comercio internacional para 26 sectores industriales involucrando 186 países durante el periodo 1990 – 2011. El objetivo de dicha investigación era conocer la complejidad de las relaciones comerciales entre países, además de las relaciones entre sus sectores económicos, concluyendo que la evaluación de las propiedades globales y locales de una red comercial podrían servir como una herramienta de simplificación para cuantificar posibles impactos en la red comercial global (Maluck y Donner, 2012).

Por otro lado, De Benedictis (2014) utiliza también la metodología de grafos para evaluar la base de datos de intercambios comerciales del Centro de Estudios Prospectivos y de Información Internacional de Francia, con el objetivo de analizar las relaciones comerciales entre 178 países, los cuales fueron representados por nodos o círculos, además de lograr diferenciarlos a través de colores según la región a la cual pertenecía cada país (Figura 8). Esto permitió concluir que el análisis de las redes comerciales a través de grafos resulta una herramienta útil para la descripción y comprensión de las relaciones comerciales bilaterales (De Benedictis et al., 2014).

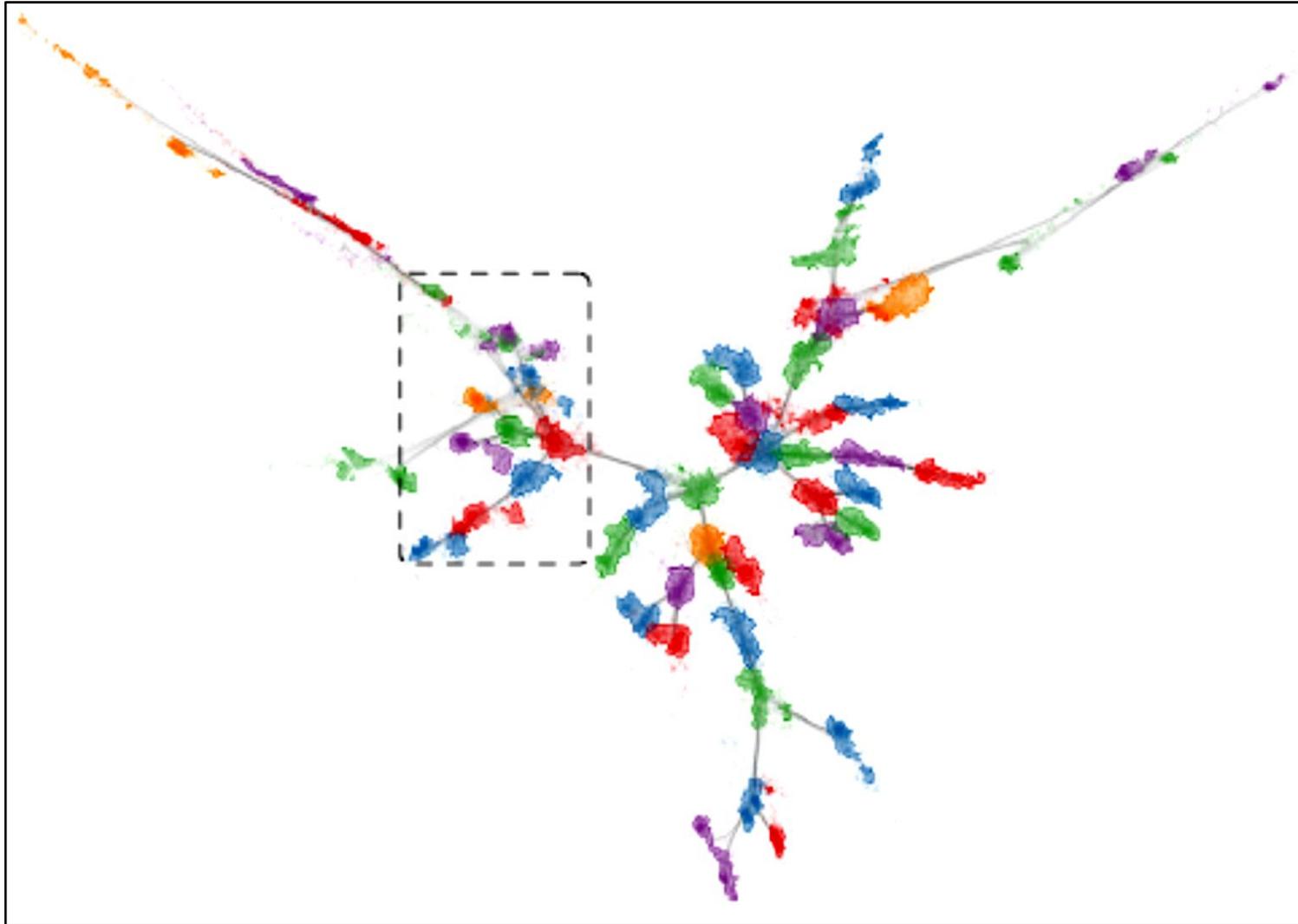
Finalmente, Schulz (2017) propone una nueva metodología de visualización gráfica para la incertidumbre utilizando la teoría de grafos como una forma de representación de las interacciones aleatorias entre nodos. Para esto el investigador aplica dicha metodología en tres fuentes de datos con diferentes temáticas. La primera es usada para la representación de las interacciones aleatorias entre proteínas (Figura 9), la segunda para la representación en

minería de textos y la tercera para representar flujos de viajes internacionales. La técnica transforma la distribución de probabilidad de un nodo en una nube de puntos de todos los posibles valores que dicho nodo podría tener, logrando simplificar y complementar la información estadística previa (Schulz et al., 2017).



**Figura 8: Grafos de representación global para las relaciones comerciales entre 178 países**

FUENTE: De Benedictis et al., 2014



**Figura 9:** Grafos de representación de las interacciones aleatorias entre proteínas

FUENTE: Schulz et al., 2017

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Lugar y fecha del estudio**

La tesis fue un trabajo de gabinete desarrollado en la Universidad Nacional Agraria La Molina, La Molina – Lima - Perú. La duración fue de dieciséis (16) semanas, comprendidas entre junio y setiembre del 2019.

#### **3.2. Materiales**

##### **3.2.1. Ordenador portátil**

El ordenador utilizado para este estudio presentó una memoria RAM de ocho Gigabytes, un disco duro de un Terabyte y un procesador I5 de octava generación.

##### **3.2.2. Datos numéricos**

Para realizar la presente investigación a escala mundial, se decidió utilizar la base de datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAOSTAT). Esta institución es responsable de la difusión de la información estadística de la agricultura, la alimentación y el hambre a nivel mundial. El estudio ha sido enfocado a los datos de los flujos de importación de soya, en sus dos principales formas comerciales dirigidas a la alimentación animal: granos de soya (GS) y torta de soya (TS). Particularmente, el análisis se efectúa para un grupo de 100 países en un intervalo temporal entre el 2006 y el 2016. La clasificación de estos productos agrícolas utilizados por la FAO está regida por el sistema armonizado (SA), el cual es un sistema de nomenclatura internacional de productos multipropósito desarrollado por la Organización Mundial de Aduanas (OMA). Además, para codificar a los países evaluados, se utilizó el sistema de nomenclatura ISO-3 (Anexo 1).

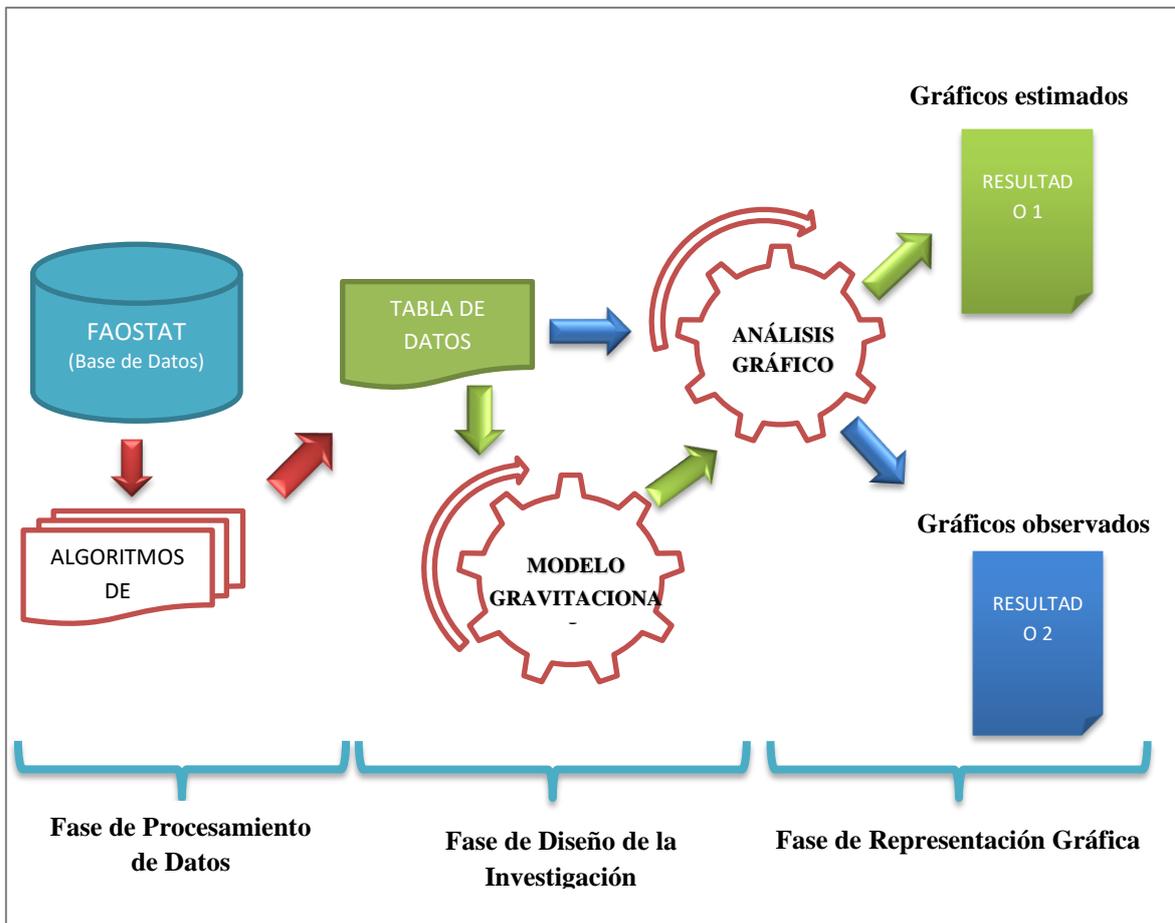
### **3.2.3. Lenguajes de programación y *software* estadístico**

Los lenguajes de programación utilizados en el estudio fueron de código abierto. Específicamente se utilizó el lenguaje R, el cual es un lenguaje de programación especializado para el análisis estadístico. La particularidad de este lenguaje es la fácil adaptación de su entorno a múltiples tipos de análisis, entre ellos la utilización de sistemas de análisis geoestadísticos y econométricos. Así también, para el diseño y evaluación del modelo econométrico se utilizó el *software* estadístico STATA 14, el cual facilitó el trabajo con datos de tipo panel desbalanceado y multidimensional.

### **3.3. Metodología**

La presente investigación desarrolló un modelo econométrico para estimar posibles impactos en el comercio bilateral de soya, así como realizar un análisis gráfico a través de grafos de los flujos de importación de granos y torta de soya a nivel global.

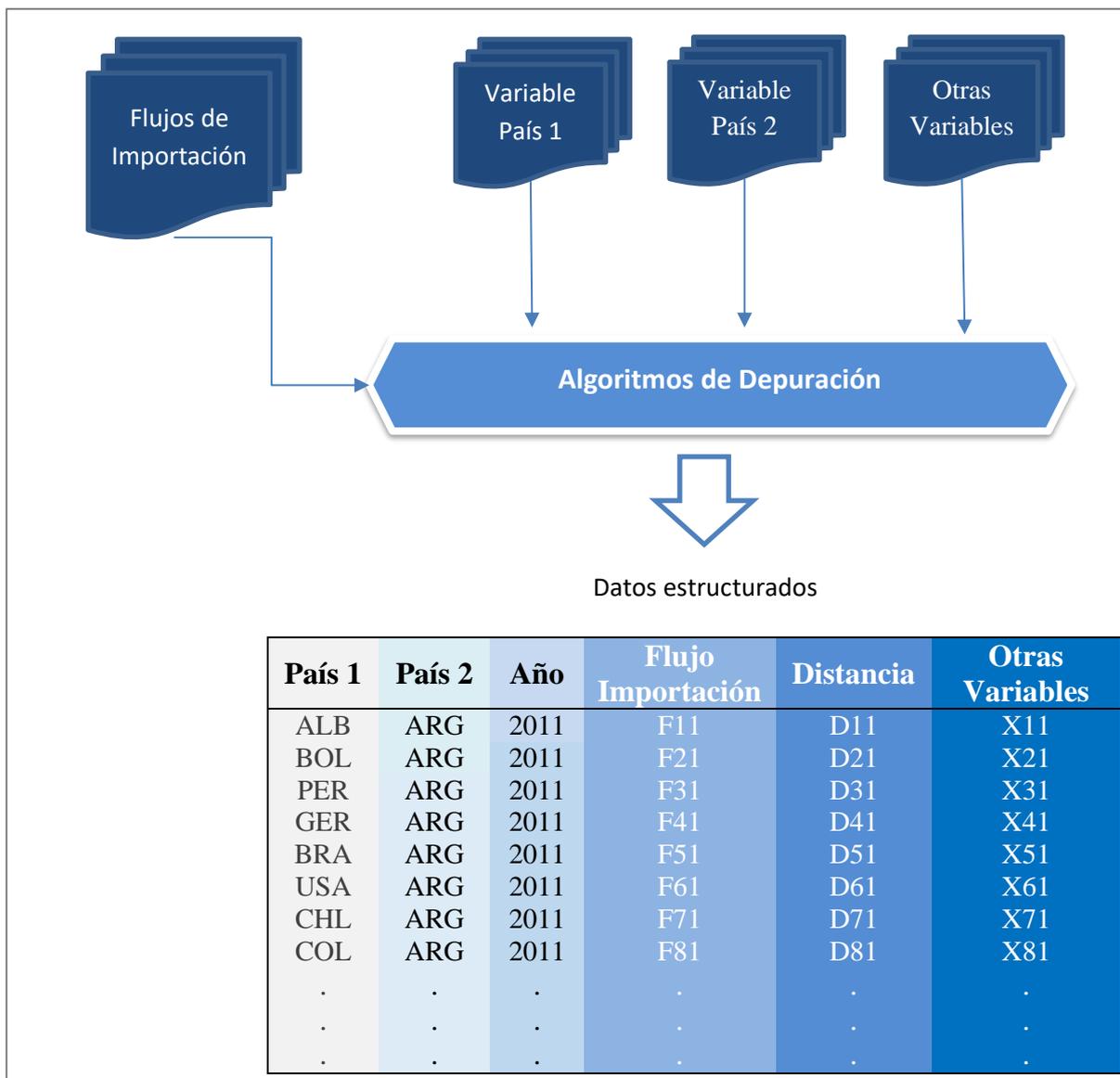
Para un mejor entendimiento de las metodologías aplicadas en esta investigación, se ha diferenciado esta etapa en tres fases: Fase de procesamiento de datos, Fase de diseño de la investigación y Fase de representación gráfica (Figura 10).



**Figura 10: Fases metodológicas de la investigación**

### 3.3.1. Fase de procesamiento de datos

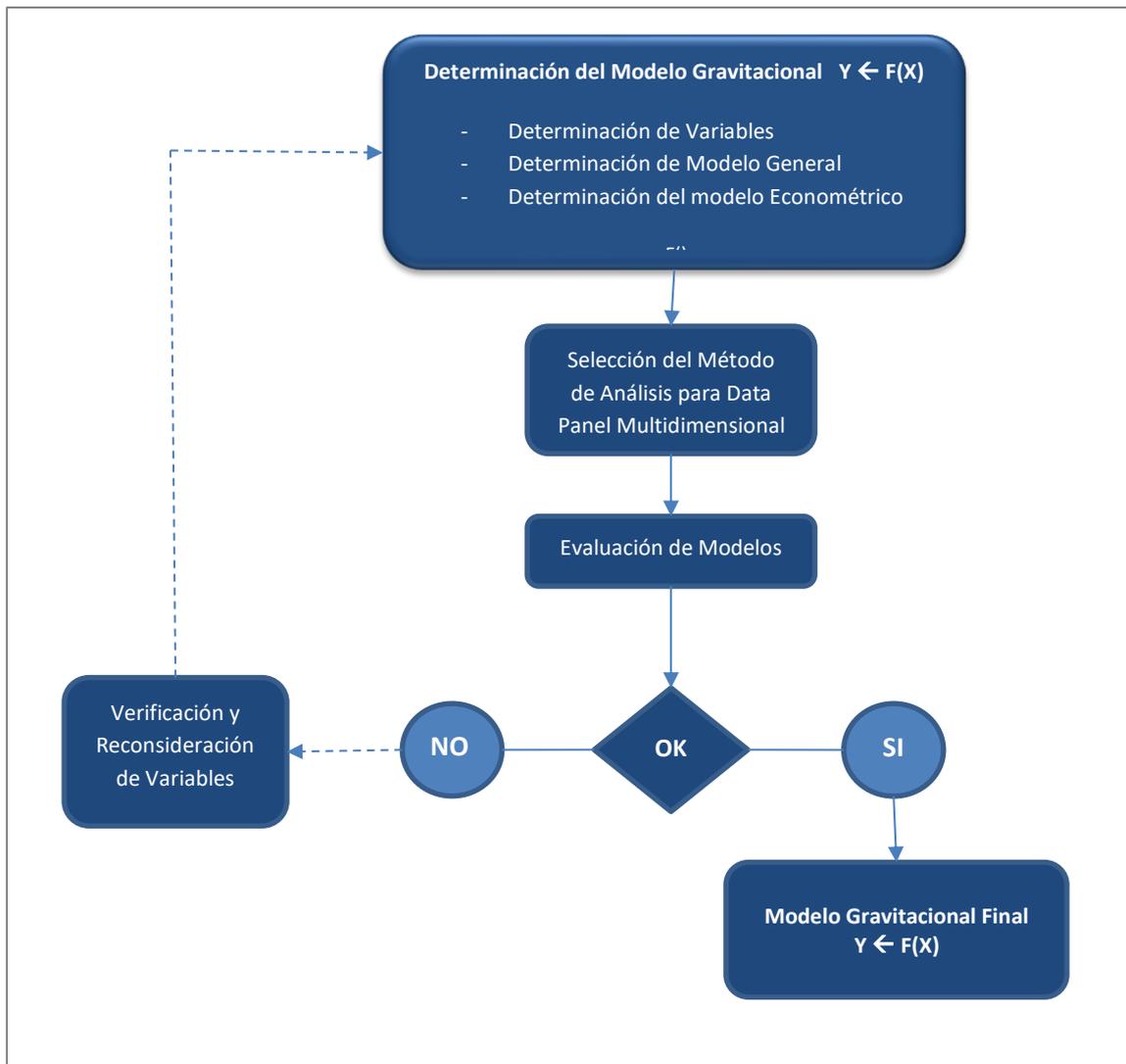
En esta etapa de la investigación se recuperaron todos los datos correspondientes a los flujos bilaterales de importación de granos (GS) y torta de soya (TS) entre el periodo 2006 – 2016, así como los datos correspondientes a las posibles variables independientes. Para esto se utilizaron algoritmos específicos que depuraron y estructuraron los datos salidos de la base de datos FAOSTAT. Estos algoritmos estuvieron determinados por simples secuencias de programación lineal que dispusieron los datos en un formato de tipo panel o longitudinal (Figura 11).



**Figura 11: Fases metodológicas de la investigación**

### 3.3.2. Fase de diseño de la investigación

En esta fase se contempló la selección de las variables independientes más adecuadas para los modelos gravitacionales, así como las formas metodológicas para analizar dichos modelos. La investigación fue de tipo explicativa y presentó datos longitudinales, es decir presentó diversos cortes transversales para un intervalo de tiempo determinado. La Figura 12 muestra el diagrama de flujos que siguió el diseño de la investigación,



**Figura 12: Flujograma de la fase de diseño de la investigación**

### 3.3.2.1. Determinación del modelo gravitacional

El modelo Newtoniano determina que la fuerza de atracción ( $F_{ij}$ ) entre dos cuerpos es directamente proporcional a sus masas ( $m_1, m_2$ ) pero inversamente proporcional al cuadrado de la distancia ( $d^2$ ) que los separa, esta relación además es multiplicada por una constante gravitacional ( $G$ ) tal como se muestra en la siguiente ecuación (1).

$$\vec{F}_{ij} = G * \frac{m_i * m_j}{d^2} \quad (1)$$

El modelo econométrico aplicado en este estudio fue un modelo empírico extrapolado de la teoría gravitacional de Newton (1), el cual reinterpreta la definición de cada una de las variables del modelo original.

#### **a. Determinación de variables**

El modelo gravitacional presenta como variable dependiente al valor del flujo comercial entre dos países, siendo este representado por el valor económico o por el volumen del bien que se comercialice entre ambos países. Dicho flujo comercial puede ser representado además por un flujo de importación o por un flujo de exportación, la definición por una de las dos dependerá del objetivo de la investigación.

Por otro lado, las variables independientes incluidas en el modelo (Tabla 8) son definidas normalmente bajo un marco teórico general que delimita la elección de estas. Una de las generalizaciones teóricas más pertinentes de este modelo, la hace Muhammad Ramzan, quien agrupa a las variables independientes que intervienen en la relación gravitacional en tres fuerzas fundamentales (Sheikh et al., 2019):

- Fuerza de emisión en el país exportador (i)
- Fuerza de atracción en el país importador (j)
- Fuerza de fricción al intercambio comercial entre los dos países

Estas fuerzas implícitas en la relación comercial bilateral permiten delimitar las variables independientes que se usaran dentro de cualquier potencial modelo gravitacional. Agrupando a las variables independientes en variables de emisión o variables referentes al país exportador (i) y variables independientes de atracción o variables referentes al país importador (j), así como a variables independientes de fricción o variables referente que agrupan a todo lo que dificulte la realización del intercambio comercial entre dos países.

#### **• Variable dependiente**

Esta variable es representada en el modelo por el valor del flujo comercial entre dos países, el cual determina la intensidad de la relación comercial entre ambos. Para esta investigación, la relación entre dos países estuvo representada por el valor del volumen de importación del bien comercializado entre el país exportador (i) y el país importador (j). El uso del valor de importación se fundamenta en el objetivo de la investigación de analizar las relaciones de dependencia comercial entre países a través de la soya.

- **VARIABLES INDEPENDIENTES DE EMISIÓN**

Estas variables independientes fueron representadas en el modelo (ecuación 2) de forma multiplicativa por el Producto Bruto Interno (PBI), el Producto Bruto Interno per cápita (PBIp), las Importaciones Totales (IMP) y las Exportaciones Totales (EXP) del país exportador. Estas variables emularon la capacidad de emisión de cada país exportador, las cuales definieron el potencial comercial de los mismos, pues bajo la teoría del modelo gravitacional los países con mayores ingresos económicos (representado por su PBI) o con grandes volúmenes de exportaciones totales de soya serán más propensos a presentar intercambios bilaterales de soya con sus socios comerciales.

- **VARIABLES INDEPENDIENTES DE ATRACCIÓN**

Estas variables independientes fueron representadas en el modelo (ecuación 2) de forma multiplicativa por el Producto Bruto Interno (PBI), el Producto Bruto Interno per cápita (PBIp), las Importaciones Totales (IMP) y las Exportaciones Totales (EXP) del país importador. Estas variables emularon la capacidad de atracción de cada país importador, las cuales definieron el potencial comercial de los mismos, pues bajo la teoría del modelo gravitacional los países con mayores ingresos económicos (representado por su PBI) o con grandes volúmenes de importaciones totales de soya serán más propensos a atraer los flujos comerciales de soya hacia ellos.

- **VARIABLES INDEPENDIENTES DE FRICCIÓN**

En esta investigación, la distancia fue la única variable de fricción. Esto debido a que, en el modelo gravitacional, dicha variable es interpretada como una variable de fuerza negativa que genera un estado de fricción entre dos países, limitando el grado de interacción entre ambos. De forma general, la distancia se utilizó como una variable representativa de la función de costos de comercialización generados por el transporte entre países o por los trámites burocráticos que ralentizan las operaciones comerciales entre los socios.

- **OTRAS VARIABLES INDEPENDIENTES**

Dentro del grupo de otras variables independientes que aportasen mayor robustez al modelo, se consideró únicamente a la variable  $rtexchange_{ijt}$ , la cual describe la ratio entre las tasas de cambio de los países que presentan una relación comercial.

**Tabla 7: Grupos de variables incluidas en el modelo**

Variable dependiente	Variable independiente de emisión	Variable independiente de atracción	Variable independiente de fricción	Otras variables
- Flujo de Importación entre dos países en Miles de Toneladas	- Producto Bruto Interno del Exportador	- Producto Bruto Interno del Importador	- Distancia Geográfica Relativa entre Importador y Exportador	- Ratio de Tasas de Cambio entre Importador y Exportador
	- Producto Bruto Interno per cápita del Exportador	- Producto Bruto Interno per cápita del Importador		
	- Importaciones Totales de Soya del Exportador	- Importaciones Totales de Soya del Importador		
	- Exportaciones Totales de Soya del Exportador	- Exportaciones Totales de Soya del Importador		

**b. Determinación de modelo gravitacional**

Esta ecuación (2), representa al modelo gravitacional planteado en la etapa inicial de la Fase de Diseño de la Investigación:

$$F_{ijt} = \frac{k * PIB_{it}^{\alpha_1} * PIB_{jt}^{\alpha_2} * PIBp_{it}^{\beta_1} * PIBp_{jt}^{\beta_2} * r(IMP/EXP)_{it}^{\delta_1} * r(IMP/EXP)_{jt}^{\delta_2}}{D_{ijt}^{\alpha_3}} \quad (2)$$

Donde:

$F_{ijt}$ : Flujo Comercial de país  $i$  hacia país  $j$  en el tiempo  $t$

$PIB_{it}$ : Producto Nacional Bruto de país  $i$  en el tiempo  $t$

$PIB_{jt}$ : Producto Nacional Bruto de país  $j$  en el tiempo  $t$

$PIBp_{it}$ : Producto Nacional Bruto per cápita del país  $i$  en el tiempo  $t$

$PIBp_{jt}$ : Producto Nacional Bruto per cápita del país  $j$  en el tiempo  $t$

$r(IMP/EXP)_{it}$ : Ratio Importación/Exportación total del país  $i$  en el tiempo  $t$

$r(IMP/EXP)_{jt}$ : Ratio Importación/Exportación total del país  $j$  en el tiempo  $t$

$D_{ijt}$ : Distancia entre país  $i$  y país  $j$  en el tiempo  $t$

$\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2, \delta_1, \delta_2, \alpha_3$ : Elasticidades de las variables utilizadas

$k$ : Constante del Modelo

### c. Modelo econométrico

Para desarrollar un modelo econométrico a partir del modelo matemático general anteriormente planteado, este debió ser linealizado a través de logaritmos, transformando cada variable del modelo.

$$\ln(PIB)^{\alpha_1} = \alpha_1 * \ln(PIB) \quad (3)$$

Esto permitió transformar la ecuación dos en una regresión lineal multivariada para datos panel multidimensional. En la cual los coeficiente ( $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2, \delta_1, \delta_2, \alpha_3$ ) fueron interpretados como elasticidades de las variables independientes linealizadas (Kapetanios et al., 2019).

$$\begin{aligned} \ln(F_{ijt}) = & \ln(k) + \alpha_1 * \ln(PIB_{it}) + \alpha_2 * \ln(PIB_{jt}) + \beta_1 * \ln(PIBp_{it}) + \beta_2 * \ln(PIBp_{jt}) \\ & + \delta_1 * \ln(r(IMP/EXP)_{it}) + \delta_2 * \ln(r(IMP/EXP)_{jt}) - \alpha_3 * \ln(D_{ij}) \end{aligned} \quad (4)$$

Para facilitar la notación del modelo gravitacional anterior, las variables bajo transformación logarítmica se representaron a través del uso de letras minúsculas.

$$\begin{aligned} f_{ijt} = & c + \alpha_1 * pbi_{it} + \alpha_2 * pbi_{jt} + \beta_1 * pbip_{it} + \beta_2 * pbip_{jt} + \delta_1 * r \left( \frac{imp}{exp} \right)_{it} + \delta_2 \\ & * r \left( \frac{imp}{exp} \right)_{jt} - \alpha_3 * d_{ijt} + \mu_{ijt} \end{aligned} \quad (5)$$

Siendo  $\mu_{ijt}$  el término de error del modelo econométrico, el cual permitió aislar la heterogeneidad no observada, aplicando técnicas especializadas para datos panel de tipo multidimensional (DPMD), lo cuales son detallados en el subcapítulo siguiente.

#### 3.3.2.2. Métodos de análisis para datos panel multidimensionales

Los datos en panel son una estructura de datos donde existe generalmente una dimensión temporal y una transversal. Sin embargo, para el caso del análisis de flujos bilaterales, además de estas dos dimensiones existen otras que adicionan más información al modelo gravitacional, no obstante, esto trae también como resultado un mayor nivel de dificultad al momento de analizar dicho tipo de datos. La metodología normalmente utilizada para tratar esta estructura de datos viene dada a través de la inclusión de variables instrumentales. Estas variables se utilizan cuando los modelos presentan variables independientes correlacionas con el término de error, es decir que dentro del modelo se han obviado variables importantes para explicar el comportamiento de la variable dependiente, teniendo que crear un conjunto

de variables que le permitan al investigador aislar dichos efectos no observados en los modelos planteados previamente.

**a. Estimación de los efectos fijos**

El método de efectos fijos para datos panel extrajo todos los efectos específicos individuales correlacionados con las variables independientes ( $PIB_{it}, PIB_{jt}, D_{ijt}$ ) a través de variables instrumentales. Esto quiere decir que, dentro del modelo, estas variables aislaron las características propias de cada país analizado (país importador o país exportador), las cuales son constantes en el tiempo. En esta investigación, todos los paneles multidimensionales analizados dependieron de tres dimensiones. La dimensión transversal del país importador (i), la dimensión transversal del país exportador (j) y la dimensión temporal (t). Determinando un conjunto de observaciones finitas para cada dimensión  $i = \{1,2,3, \dots N_1\}$ ,  $j = \{1,2,3, \dots N_2\}$  y  $t = \{t_1, t_2, t_3 \dots T\}$ , siendo N, el número total de observaciones analizadas.

No obstante, para analizar los modelos gravitacionales en la investigación se usaron cuatro efectos fijos que aislaron los efectos de las tres dimensiones del modelo: Efecto del país importador (i), Efecto del país exportador (j), Efecto temporal (t), así como el efecto potencial de la interacción bilateral entre el importador y exportador (i-j). La representación final del modelo de regresión incluyendo todos estos potenciales efectos fijos se muestran en la siguiente ecuación.

$$f_{ijt} = c + \alpha_1 * pbi_{it} + \alpha_2 * pbi_{jt} + \beta_1 * pbip_{it} + \beta_2 * pbip_{jt} + \delta_1 * r\left(\frac{imp}{exp}\right)_{it} + \delta_2 * r\left(\frac{imp}{exp}\right)_{jt} - \alpha_3 * d_{ijt} + \omega_i + \Omega_j + \gamma_{ij} + \mu_{ijt} \quad (6)$$

Donde:

$\omega_i$ : Efecto Individual del País Importador

$\Omega_j$ : Efecto Individual del País Exportador

$\gamma_{ij}$ : Efecto Bilateral Específico de la Interacción entre países

$t_{ij}$ : Efecto temporal

**b. Estimador de pseudo máxima verosimilitud de Poisson (PPML)**

Para esta etapa de la investigación se hizo uso del estimador PPML<sup>1</sup>. Este estimador es uno de los métodos de análisis perteneciente a los modelos lineales generalizados (MLG), los

---

<sup>1</sup> PPML por sus siglas en inglés (Poisson Pseudo-Maximum-Likelihood).

cuales enmarcan también a modelos que presentan residuos no normales. El estimador PPML es actualmente el más utilizado para tratar modelos multiplicativos, como los modelos gravitacionales. Esto último es debido a que un modelo gravitacional estimado en base a mínimos cuadrados ordinarios (MCO<sup>2</sup>) no cumple con los principales supuestos que este estimador necesita, encontrándose con limitaciones teóricas a causa de la heterocedasticidad de los residuos del modelo (Wiranthi et al., 2019), dando como resultado estimadores ineficientes.

Así también, se reporta que el empleo de MCO a través de la forma log – lineal presentó limitaciones al momento de evaluar valores nulos de la variable dependiente a causa de la función logarítmica. No obstante, los valores nulos son frecuentes en el análisis de flujos comerciales (un país puede o no presentar flujos comerciales con otro país en un intervalo de tiempo determinado). Al contrario, el método PPML, relacionó la variable dependiente con los regresores a través de una función exponencial, la cual estima la esperanza condicional de la variable dependiente, tal como se describe en la siguiente ecuación.

$$F_{ijt} = e^{(\alpha_1 * pbi_{it} + \alpha_2 * pbi_{jt} + \alpha_1 * pbip_{it} + \alpha_2 * pbip_{jt} - \alpha_3 * d_{ijt} + \omega_i + \delta_j + \gamma_{ij})} + \mu_{ijt} \quad (7)$$

De esta forma, el estimador PPML permitió la estimación con valores nulos debido a presentar una forma funcional de tipo exponencial (Silva y Tenreyro, 2006). Sin embargo, es necesario señalar que en el presente análisis la aplicación del estimador PPML se hizo a través de múltiples cortes transversales y no como una estructura de tipo datos panel. Esto último permitió el uso de una data desbalanceada, problema que se presenta generalmente también con las matrices de flujos comerciales bilaterales.

### 3.3.3. Fase de representación gráfica

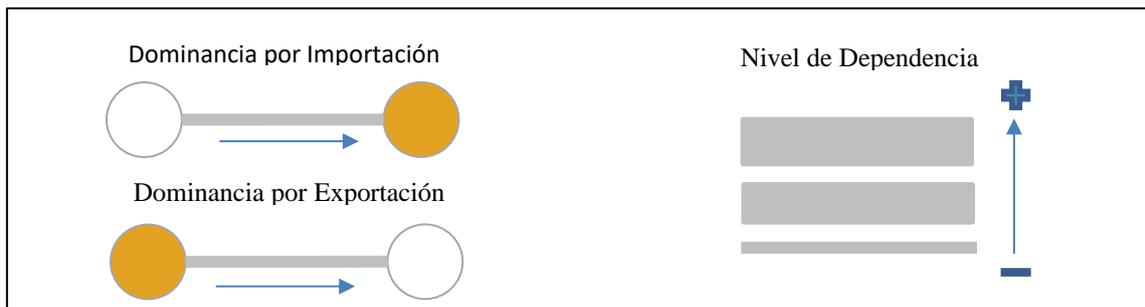
En esta etapa de la investigación, se utilizaron datos observados y datos estimados de los flujos de importación bilateral de granos y torta de soya. Los datos estimados se consiguieron a partir de modelos gravitacionales previamente definidos en la fase anterior. Estos datos a su vez permitieron comparar las representaciones estimadas de las redes comerciales de soya con las representaciones observadas, determinando a través de las gráficas, la robustez de los modelos debido a la semejanza entre ellas; validando de esta manera la pertinencia de los modelos para generar proyecciones frente a potenciales impactos aleatorios.

---

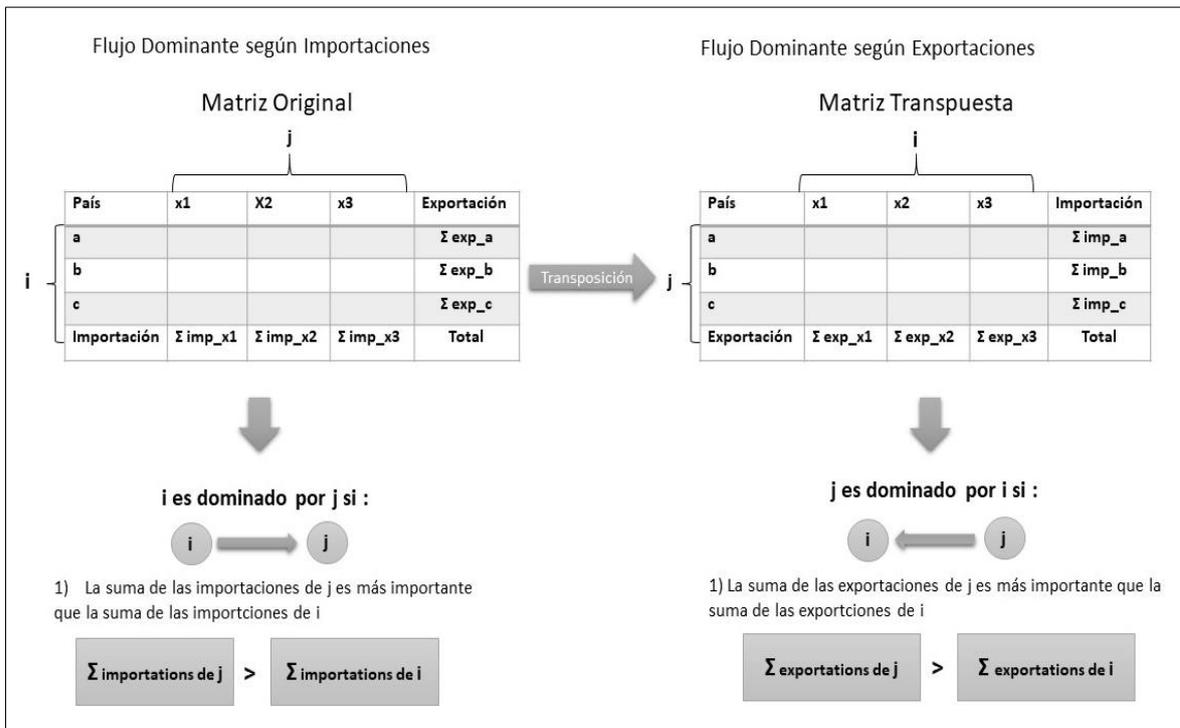
<sup>2</sup> OLS por sus siglas en inglés (Ordinary Least Squares)

Los datos fueron procesados a través de un algoritmo basado en la metodología de Nysten y Dacey (Grasland y Van Hamme, 2010), la cual examina la dominancia y dependencia comercial entre los países a través de matrices generadas con los datos observados y estimados de los flujos de importación (Figura 14). Esta metodología permitió representar la estructura de la red global del mercado de granos y torta de soya a través de dos criterios de dependencia (criterio de importación y criterio de exportación).

En otras palabras, los vínculos jerárquicos entre países se analizaron en términos de dependencia de la oferta (dominio de los países exportadores) y de la demanda (dominio de los países importadores). Para indicar si un país es dominante respecto a alguno de los criterios antes mencionados se utilizaron nodos o círculos proporcionales a los volúmenes totales de importación o exportación de torta o granos de soya, los cuales fueron coloreados de naranja si un país resulta dominante según uno de los dos criterios (Figura 13). Para el caso de la dependencia comercial, esta se representó a través de líneas proporcionales al volumen de los flujos de importación entre dos nodos, las cuales aparecieron en color gris, si estas eran iguales o superiores a umbrales predeterminados por el investigador (Figura 13).



**Figura 13: Descripción de grafos**



**Figura 14: Algoritmo graficador de la dominancia y dependencia comercial**

La dependencia comercial entre los países más relevantes del comercio de granos o torta de soya fueron graficados si estas relaciones eran iguales o superiores a un millón de toneladas, esto se realizó para lograr una representación óptima del comercio global de soya. Para representar la dominancia comercial se hizo uso de los volúmenes totales de importación o exportación de cada país, donde sólo fueron graficados aquellos que contenían volúmenes totales iguales o mayores a un millón de toneladas. Esto permitió, localizar fácilmente a los países dominantes, así como distinguir el grado de dependencia que cada uno presentaba según el criterio de análisis utilizado (importación o exportación). Para facilitar la lectura de la información gráfica generada por los modelos, se representa sólo la comparación entre los grafos observados y estimados para 3 años (2006, 2010, 2016).

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El desarrollo de una metodología de análisis gráfico a través del uso de grafos para la representación de los flujos de importación de granos y torta de soya permitieron la visualización de la estructura de las redes comerciales de ambos productos a una escala global. Este análisis permitió también observar la evolución temporal de dichas redes para el periodo 2006 – 2016. Este resultado global se generó a partir de una matriz de tipo rectangular  $F$  de dimensiones  $i \times j$  (Figura 14), siendo “ $i$ ” el número de países importadores (94) y “ $j$ ” el número de países exportadores (101) según el año y el tipo de producto analizado (granos o torta de soya). Esta matriz  $F_{i \times j}$  se combinó a una tabla de variables independientes, para lograr así generar los modelos gravitacionales más eficientes, los que luego se usarían en el proceso de estimación de datos para finalmente graficar las redes comerciales de granos y torta de soya.

El aporte de esta investigación se evidenció en el uso de la teoría de grafos y los modelos gravitacionales de forma combinada. Esto permitió la simplificación de la información de los flujos comerciales bilaterales a nivel global, lo que finalmente podría servir como una herramienta complementaria a los análisis prospectivos y a la toma de decisiones en temas de seguridad alimentaria.

### 4.1. Resultados de modelos gravitacionales

Los modelos gravitacionales buscan explicar el comportamiento de las importaciones de granos y torta de soya a través de variables independientes económicas y espaciales (Tabla 8), las cuales presentan características estadísticas particulares entre sí (Tabla 9 y 10).

En esta etapa se comparó tres modelos bajo el estimador PPML, éstos se diferenciaron según los efectos fijos (FE) incorporados en cada uno de ellos (Tabla 11). Para la comparación se utilizaron gráficas de los flujos de importación observados y de los flujos estimados de ambos productos evaluados, permitiendo de esta forma seleccionar los modelos más eficientes que explicasen las relaciones comerciales bilaterales de cada producto.

**Tabla 8: Variables independientes de los modelos gravitacionales**

Variable	Descripción	Variable con transformación logarítmica
$PBI_{imp}$	Producto Bruto Interno del País Importador	$pbi_{imp}$
$PBI_{exp}$	Producto Bruto Interno del País Exportador	$pbi_{exp}$
$RatioTrade_{imp}$	Ratio Importación/Exportación del País Importador	$rTrade_{imp}$
$RatioTrade_{exp}$	Ratio Importación/Exportación del País Exportador	$rTrade_{exp}$
$IMP_{imp}$	Importaciones Totales del País Importador	$imp_{imp}$
$IMP_{exp}$	Importaciones Totales del País Exportador	$imp_{exp}$
$DIST$	Distancia entre País Importador y Exportador	$dist$
$PBIp_{imp}$	Producto Bruto Interno per cápita del País Importador	$pbip_{imp}$
$PBIp_{exp}$	Producto Bruto Interno per cápita del País Exportador	$pbip_{exp}$
$RatioExchange$	Ratio entre las Tasas de Cambio Importación/Exportación	$tExchange$

**Tabla 9: Estadística general de las variables independientes del modelo de granos de soya**

Variable	Observaciones	Promedio	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Flujo Bilateral	8,798	112448.1	1269064	0	4.01e+07
DIST	8,798	6467.735	5267.332	122.6172	19956.73
$PBIp_{imp}$	8,798	27171.8	22174.21	220.6746	113211.6
$PBIp_{exp}$	8,798	25686.58	20609.43	239.4273	113211.6
$IMP_{imp}$	8,766	1279015	5819770	1	8.39e+07
$IMP_{exp}$	8,743	4319967	1.39e+07	1	8.39e+07
$RatioTrade_{imp}$	8,032	7476.998	48812.74	.0000486	648885
$RatioTrade_{exp}$	8,631	4699.656	31484.4	.0000486	648885
$RatioExchange$	8,798	98.75334	647.6246	.0000291	15843.91

**Tabla 10: Estadística general de variables independientes del modelo de torta de soya**

Variable	Observaciones	Promedio	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Flujo Bilateral	7 151	77221.22	267248.5	0	3569107
DIST	7 151	6269.688	5310.532	122.6172	19683.77
$PBI_{imp}$	7 151	926683.1	1833491	1919.712	1.70e+07
$PBIp_{imp}$	7 151	25232.03	21610.01	239.4273	113211.6
$PBI_{exp}$	7 151	2574474	4210550	3426.022	1.70e+07

«continuación»

PBI <sub>exp</sub>	7 151	26839.27	21571.35	379.4367	113211.6
IMP <sub>imp</sub>	7 140	1005672	1175314	1	5769796
IMP <sub>exp</sub>	7 067	1038916	1397776	1	5769796
RatioTrade <sub>imp</sub>	6 224	9259.697	66740.5	6.46e-07	1160890
RatioTrade <sub>exp</sub>	6 903	2535.2	31210.64	6.46e-07	1016341
RatioExchange	7 151	113.3346	787.2759	.0000348	15843.91

**Tabla 11: Modelos gravitacionales para torta de soya**

Variables	(1) PPML Modelo I	(2) PPML Modelo II	(3) PPML Modelo III
<i>pbi<sub>imp</sub></i>			0.322 (0.300)
<i>pbi<sub>exp</sub></i>			-0.404 (0.257)
<i>rTrade<sub>imp</sub></i>	0.0200 (0.0170)	0.0194 (0.0173)	0.00818 (0.0116)
<i>rTrade<sub>exp</sub></i>	-0.564*** (0.148)	-0.572*** (0.152)	-0.661*** (0.0889)
<i>impTS<sub>imp</sub></i>	0.748*** (0.154)	0.733*** (0.160)	0.891*** (0.0687)
<i>impTS<sub>exp</sub></i>	0.577*** (0.154)	0.581*** (0.158)	0.638*** (0.0930)
<i>dist</i>	-0.634*** (0.156)	-0.635*** (0.156)	-1.052*** (0.0613)
<i>PBI<sub>imp</sub></i>	0.566 (0.528)	0.697 (0.615)	
<i>PBI<sub>exp</sub></i>	-0.603 (0.391)	-0.443 (0.493)	
<i>tExchange</i>	0.326*** (0.124)	0.296** (0.136)	0.249*** (0.0673)
<i>c</i>	-1.849 (5.059)	-4.217 (6.689)	0.574 (3.617)
<b>Observaciones</b>	6,053	6,053	5,895
<b>R-Cuadrado</b>	0.555	0.556	0.958
<b>Importador-FE</b>	YES	YES	YES
<b>Exportador-FE</b>	YES	YES	YES
<b>Año-FE</b>	NO	YES	NO
<b>Interacción-FE</b>	NO	NO	YES
<b>RESET TEST</b>	0.000	0.000	0.000

Errores estándar robustos en paréntesis \*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1

PPML – Poisson Pseudo Maximum Likelihood

De forma general, se observa que los modelos gravitacionales bajo PPML presentaron dos grandes grupos de variables independientes (variables de emisión-recepción y variables de fricción). Para el primer grupo (variables de emisión-recepción), los únicos coeficientes que son estadísticamente significativos son los de *impTS<sub>imp</sub>* e *impTS<sub>exp</sub>* (Tabla 11). Para el segundo grupo (variables de fricción), el único coeficiente estadísticamente significativo es el de la distancia relativa (*dist*). Así también, es importante señalar que los coeficientes de

las variables logarítmicas en los modelos son interpretados como elasticidades mientras que los coeficientes de variables no logarítmicas son interpretados como semi-elasticidades, las cuales deben ser transformadas para obtener el efecto del regresor hacia la variable dependiente.

Para los modelos PPML I, II y III, los coeficientes de la distancia relativa (*dist*) son -0.634, -0.635 y -1.052 respectivamente. Esto quiere decir que, si la variable *dist* aumenta en uno por ciento, el flujo de importación de torta de soya entre dos países disminuye en 63, 64 y 105 por ciento respectivamente. Esta relación entre la distancia relativa y la importación de soya se explica porque la distancia asume el rol de una variable intermediaria de los costos de transporte entre dos países. Es decir, si los costos de transporte aumentan por las distancias relativas o barreras comerciales entre ambos países, la relación de importación de torta de soya entre estos disminuirá.

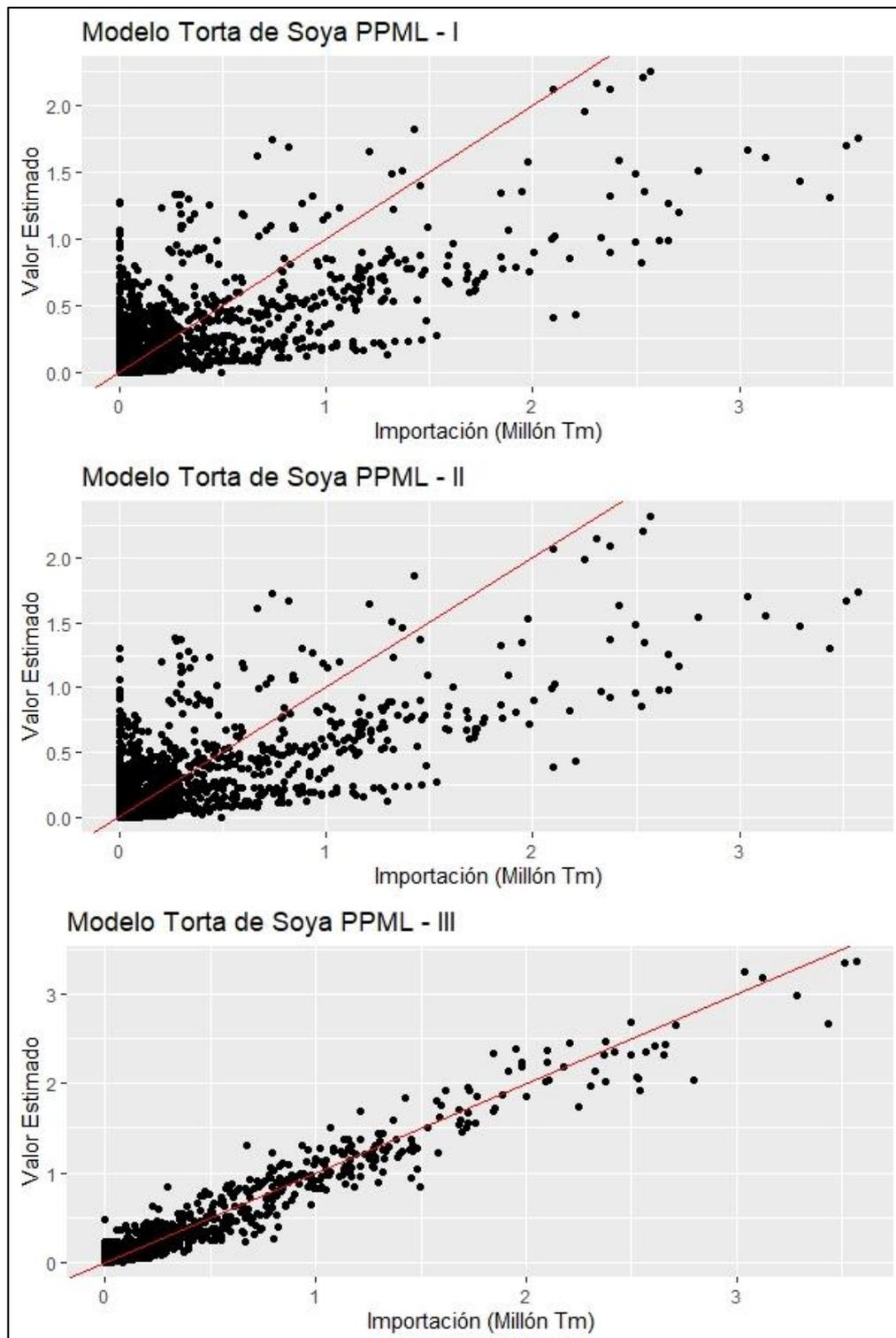
Por el contrario, el incremento de uno por ciento en las variables importaciones totales del país importador ( $impTS_{imp}$ ) y exportador ( $impTS_{exp}$ ) corresponderán a incrementos porcentuales ( $coeficiente \times 100$ ) en la relación de importación entre ambos países (Tabla 11). No obstante, la interpretación de estos resultados será distinta para cada caso. El incremento generado por la variable  $impTS_{imp}$  es intuitiva, dado que una mayor importación total del país importador aumentaría las probabilidades de incrementar las relaciones de importación entre socios comerciales, mientras que el incremento generado por la variable  $impTS_{exp}$ , debe ser explicado a través del concepto de país intermediario, esto quiere decir que los países naturalmente exportadores de torta de soya que incrementen sus niveles de importación, lo harán generalmente para actuar como agentes comerciales intermediarios, tal es el caso de Países Bajos, el cual actúa como una plataforma comercial en Europa, importando grandes volúmenes de torta de soya para luego exportarlos hacia toda Europa. En otras palabras, un incremento de las importaciones de torta de soya del país exportador incrementará las relaciones bilaterales de importación con sus socios comerciales.

Por otro lado, el grupo de modelos bajo el estimador PPML muestran una variable significativa más en común ( $tExchange$ ), entonces si esta variable incrementa en uno por ciento, la relación bilateral de importación entre los dos socios comerciales aumenta en 32.6, 29.6 y 24.9 por ciento respectivamente. Estos resultados indican que un incremento de la

relación entre las tasas de cambio del país importador y el país exportador aumentará los flujos de importación, debido a que los precios relativos entre ambos favorecerán las importaciones del país importador.

Las otras variables descritas en los modelos pertenecen también al grupo de variables de emisión – recepción. Sin embargo, no todas muestran significancia estadística para ambos socios bilaterales ( $pbi_{imp}$ ,  $pbi_{exp}$ ), además de presentar algunos otros casos con incoherencia teórica en los signos de los coeficientes ( $pbip_{exp}$ ,  $rTrade_{exp}$ ), actuando como variables de fricción. No obstante, estas incoherencias teóricas podrían explicarse debido a que una mayor expansión de la economía del país exportador estimulará la reducción de sus exportaciones de fuentes proteicas en consecuencia de que éste usará dichos recursos proteicos a favor de su expansión económica y social.

Por otro lado, es importante remarcar que ninguno de estos modelos gravitacionales (PPML I, II y III) responden de forma positiva a la prueba Ramsey RESET (Prob < 0.000), tal como muestra la Tabla 11, indicando con esto que la forma funcional y/o las variables independientes utilizadas en dichos modelos no logran explicar en su totalidad las relaciones bilaterales de importación de torta de soya entre socios comerciales. No obstante, las gráficas de los valores de los flujos bilaterales de importación observados frente a sus valores estimados (Figura 15) evidencian los diferentes niveles de eficiencia de cada modelo. El criterio de evaluación utilizado para determinar el nivel de eficiencia de un modelo estuvo basado en el grado de la dispersión de los puntos sobre el plano cartesiano que generan los valores observados y estimados. Si dichos puntos están muy próximos a lo largo de una recta pendiente con una inclinación de 45 grados, las estimaciones son consideradas con mayor eficiencia; caso contrario una mayor dispersión de los puntos indicó una mayor ineficiencia.



**Figura 15: Comparación de modelos gravitacionales de torta de soya**

La Figura 15 muestra que dentro de los modelos PPML, el modelo PPML – III, fue el que presentó una mejor performance respecto a los otros modelos evaluados. Cabe mencionar que si bien el modelo PPML – III presentó mejores estimaciones de los volúmenes de

importación de torta de soya, este suprimió regresores de algunos efectos fijos (FE), impidiendo el cálculo de la importación entre algunos pares de países.

**Tabla 12: Modelos gravitacionales para granos de soya**

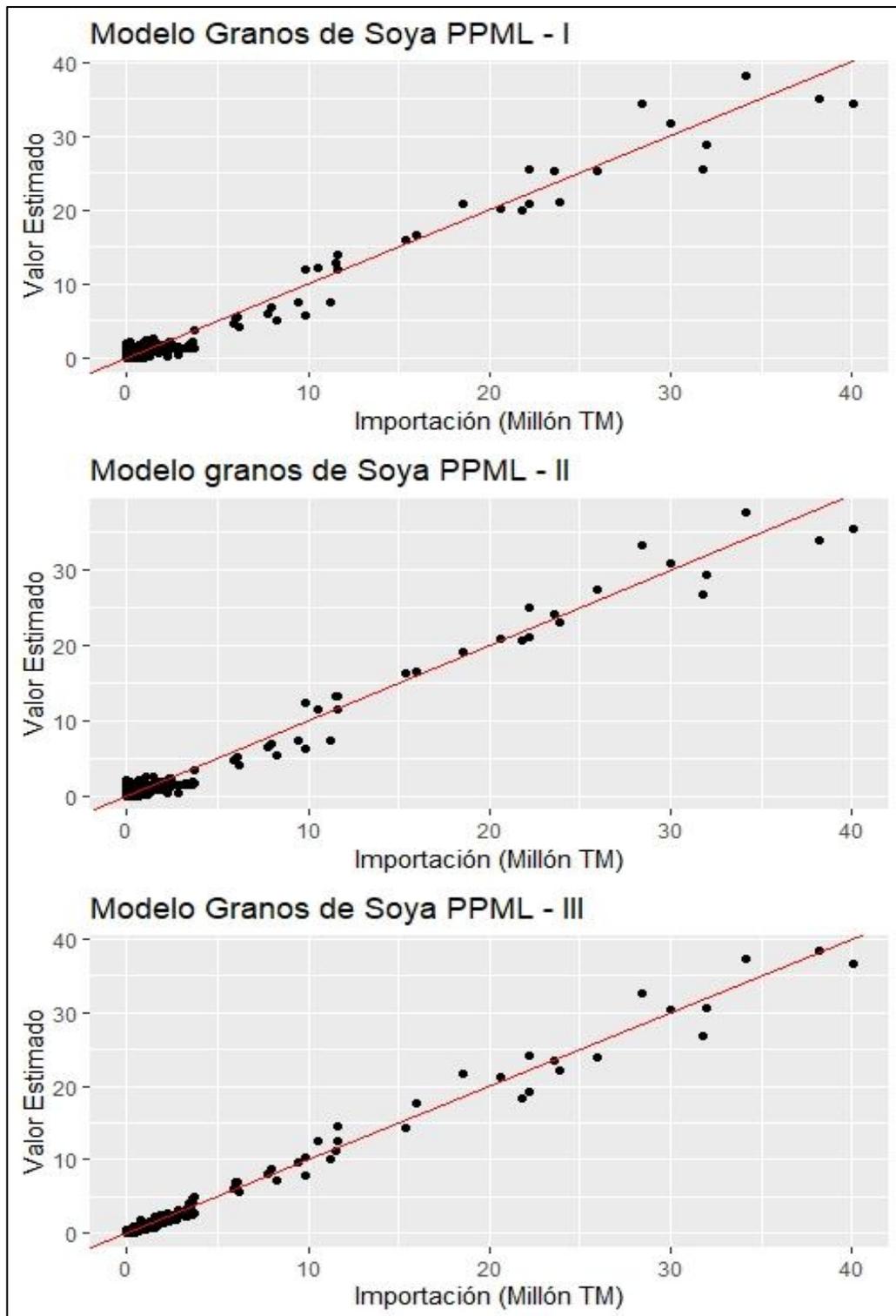
Variables	(1) PPML Modelo I	(2) PPML Modelo II	(3) PPML Modelo III
<i>pbip<sub>imp</sub></i>	-0.257 (0.222)	0.0675 (0.235)	-0.0796 (0.216)
<i>pbip<sub>exp</sub></i>	-0.669 (0.503)	0.124 (0.515)	-1.116** (0.451)
<i>rTrade<sub>imp</sub></i>	0.0268 (0.0165)	0.0175 (0.0172)	0.0200 (0.0166)
<i>rTrade<sub>exp</sub></i>	-0.531*** (0.109)	-0.685*** (0.104)	-0.587*** (0.0898)
<i>impSB<sub>imp</sub></i>	0.903*** (0.0997)	0.929*** (0.0938)	0.900*** (0.0880)
<i>impSB<sub>exp</sub></i>	0.546*** (0.117)	0.708*** (0.110)	0.604*** (0.0965)
<i>dist</i>	-0.0645 (0.118)	-0.0686 (0.118)	-0.894*** (0.0456)
<i>texchange</i>	0.181 (0.122)	0.0817 (0.118)	0.274** (0.122)
<i>C</i>	-1.068 (4.888)	-6.515 (5.096)	15.35*** (4.022)
<b>Observaciones</b>	7,876	7,876	7,227
<b>R-Cuadrado</b>	0.968	0.973	0.988
<b>Importador-FE</b>	YES	YES	YES
<b>Exportador-FE</b>	YES	YES	YES
<b>Año-FE</b>	NO	YES	NO
<b>Interacción-FE</b>	NO	NO	YES
<b>RESET TEST</b>	0.0002	0.0001	0.267

Errores estándar robustos en paréntesis \*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1

PPML – Poisson Pseudo Maximum Likelihood

Para el caso de los modelos gravitacionales de granos de soya, se evaluaron variables y estimadores similares a los de las importaciones de torta de soya. Observando que estos modelos, al igual que en el caso anterior, presentaron variables de emisión – recepción (*impSB<sub>imp</sub>*, *impSB<sub>exp</sub>*) estadísticamente significativas, mientras que para la variable de fricción (*dist*), solo hubo significancia estadística para el modelo PPML - III. Lo que no necesariamente puede ser interpretado como una limitante de los modelos PPML – I y PPML – II, pues, aunque dichos modelos no presenten significancia estadística estos presentan coherencia teórica en el coeficiente de la distancia relativa; es decir si la distancia se incrementa en uno por ciento, los valores de los flujos de importación disminuirán en aproximadamente seis por ciento para ambos casos. Por otro lado, dentro del grupo de modelos gravitacionales PPML, el único que supera la prueba Ramsey RESET es el modelo

PPML – III (Tabla 12), es decir este modelo presenta una forma funcional coherente o regresores que estiman de forma eficiente la variable dependiente. Este último resultado se comprueba con la Figura 16, la cual muestra claramente mayores niveles de eficiencia del modelo PPML – III para estimar los flujos de importación de granos de soya.



**Figura 16:** Comparación de modelos gravitacionales de granos de soya

Además, es necesario señalar que el modelo PPML – III presentó dos variables de emisión y atracción ( $pbip_{imp}$ ,  $pbip_{exp}$ ) teóricamente incongruentes, teniendo estos coeficientes con valores negativos, lo cual indicó que ambas variables cumplían un rol de fricción antes que de emisión o recepción. Es decir, un incremento de uno por ciento en el PBI per cápita del importador o exportador disminuía los volúmenes de importación de granos de soya en 7.9 por ciento o 101 por ciento respectivamente, siendo esta estimación teóricamente irracional. Finalmente, se selecciona los dos modelos más eficientes para estimar las importaciones de torta de soya (PPML – III para torta de soya) y granos de soya (PPML – III para granos de soya) respectivamente. Para diferenciar entre estos dos modelos, éstos se abreviarán de la siguiente forma: Cake PPML y Soybean PPML respectivamente, los cuales se convirtieron en generadores de datos estimados (*imputs* del subsistema de representación). Todo esto permitió, el análisis espacial de la dependencia comercial en los siguientes resultados.

#### **4.2. Resultados del análisis gráfico a través de grafos para el comercio de soya**

El presente análisis gráfico del comercio global de granos y torta de soya logró representar de forma simplificada la dependencia y dominancia comercial entre países, además de la evolución de la dinámica de sus relaciones sobre el periodo 2006 – 2016 a través de la utilización de grafos. Esto se logró por el uso de un algoritmo especializado (Figura 14), así como de filtros que focalizaron el análisis sobre los principales países comercializadores y las relaciones entre ellos, permitiendo explicar el comportamiento de estos a nivel global.

##### **4.2.1. Análisis de grafos para el comercio global de torta de soya en el periodo 2006**

Se observa que para el año 2006, la estructura de los grafos (observados y estimados) es relativamente muy similar para ambos casos (Figura 17 y 18). Por ejemplo, en ambos grafos Argentina se consolida como el principal exportador de torta de soya, presentando el mayor volumen de exportaciones totales (alrededor de 24 millones de toneladas) por encima de Brasil (alrededor de 12 millones de toneladas) y Estados Unidos (alrededor de seis millones de toneladas), con lo cual adquiere la dominancia absoluta del mercado global de torta de soya. Así también, se logra observar que el nodo ARG presenta el mayor número de aristas conectadas a otros nodos; existiendo al menos 5 países (ITA, POL, ESP, NLD, DNK) importadores dependientes de la torta de soya argentina, con flujos mayores a un millón de toneladas, siendo España su mayor socio comercial para ese año, importando alrededor de 4 millones de toneladas. Esta dominancia absoluta de Argentina en el mercado global de la

torta de soya puede explicarse en gran medida a través de sus políticas de industrialización de soya a lo largo del tiempo, la cual le ha permitido a este país aprovechar comercialmente todos los elementos de valor (nutricional y energético) de este grano. Especializándose en la producción y exportación de torta y aceite de soya, siendo el último producto el que le confiere mejores ganancias por tonelada en el mercado global, y por el cual Argentina también ostenta el título de principal exportador.

Es importante señalar también, un caso particular como el de Países Bajos, país que presenta dominancia bajo el criterio de exportación (con exportaciones totales menores a seis millones de toneladas) como bajo el criterio de importación, teniendo como principales socios a ARG y BRA, importando de ambos alrededor de dos y un millón de toneladas de torta de soya respectivamente (Figura 17 y 18), por lo que se le considera de dominancia intermedia. Este comportamiento se explica porque este país es el principal conglomerado comercial de Europa, importando productos que luego distribuirá a sus diferentes socios comerciales como Alemania.

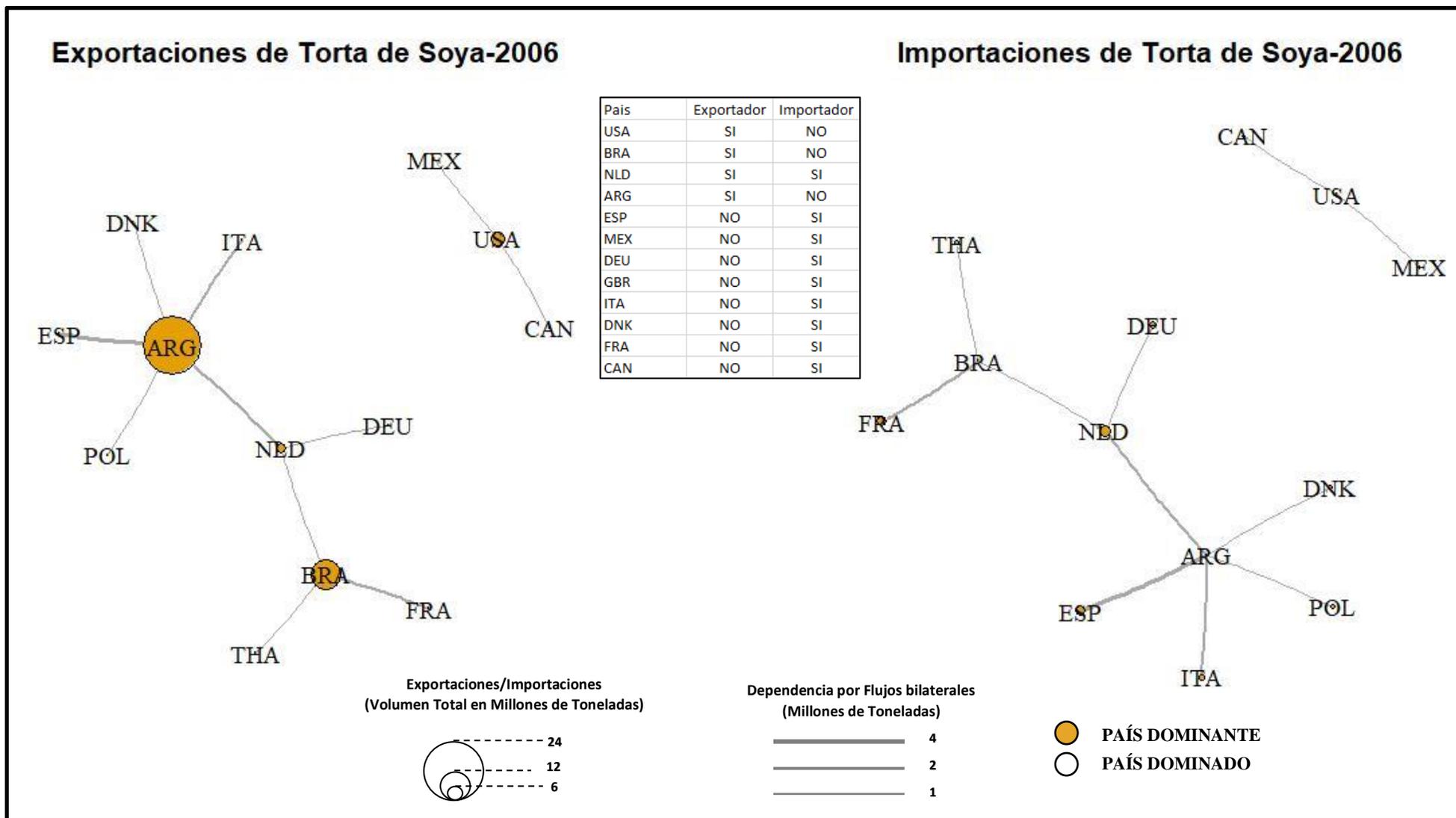


Figura 17: Grafos observados para torta de soya – 2006

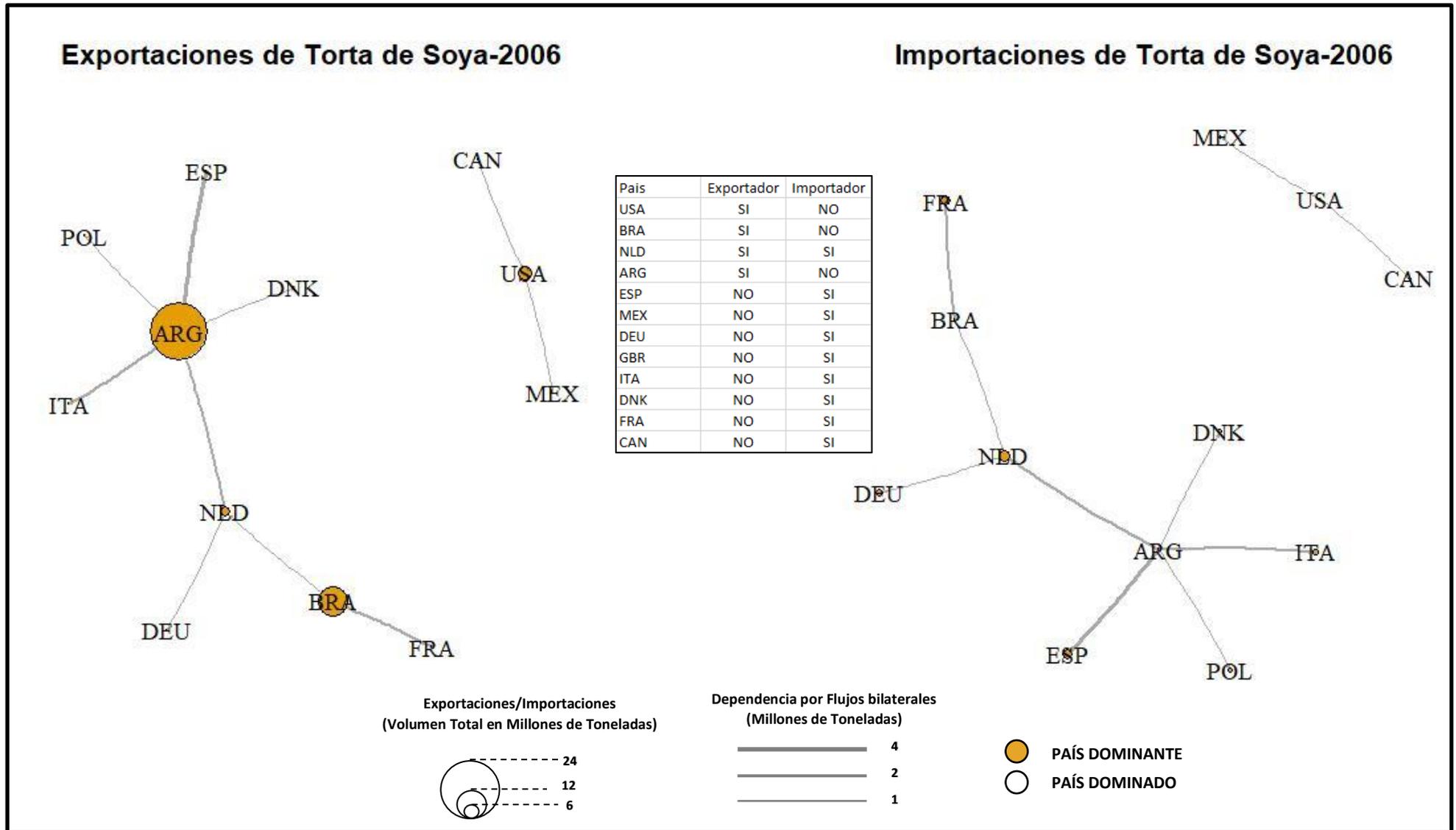


Figura 18: Grafos estimados para torta de soya - 2006

#### **4.2.2. Análisis de grafos para el comercio global de torta de soya en el periodo 2010**

El análisis de los grafos (Figura 19 y 20) para el año 2010 muestra que la estructura de las redes del comercio global de torta de soya no sufrió cambios relevantes respecto al año 2006. Argentina, Brasil y Estados Unidos siguen siendo los principales nodos dominantes de este producto con 24.9, 13.6 y 8.4 millones de toneladas de exportaciones totales respectivamente. Para el año 2010 Francia presentó una dependencia absoluta de Brasil, importando alrededor de 2.3 millones de toneladas de este país. Por otro lado, si bien Argentina ha mantenido sus volúmenes de comercio de torta de soya hacia Países Bajos con exportaciones por encima de los dos millones de toneladas, este ha perdido relativo liderazgo de la dependencia comercial de este país, pues para el año 2010, Brasil exportó tres millones de toneladas de torta de soya mientras que Argentina exportó sólo 2.5 millones de toneladas hacia dicho país. Es importante señalar que Países Bajos es el principal centro de comercio internacional de Europa, por lo que mantener a este país bajo una dependencia comercial pondría en ventaja al país exportador frente a sus competidores en dicha región.

Por otro lado, se observa también que, en la región de América del Norte, USA presenta la dominancia absoluta respecto a las exportaciones totales de torta de soya. Teniendo como principal país dependiente a Canadá. Todo esto indica que, en el sistema global de torta de soya, los países mantienen o incrementan sus niveles de demanda del bien, sin embargo, la oferta para suplir la demanda puede ser compuesta por una combinación distinta de socios comerciales. Esto último, puede entenderse como una estrategia de los países dominados para neutralizar su dependencia comercial, de tal forma que aumentando la diversificación de sus socios comerciales disminuyen su vulnerabilidad por dependencia ante cualquier eventualidad que ponga en riesgo sus niveles requeridos de torta de soya.

Finalmente, no se observan mayores diferencias entre los grafos estimados y los grafos observados. Esto quiere decir que las estimaciones hechas por el modelo gravitacional para Torta de soya para el año 2010 son claramente eficientes para analizar la dependencia y dominancia comercial dentro del mercado global del producto.

### Exportaciones de Torta de Soya-2010

### Importaciones de Torta de Soya-2010

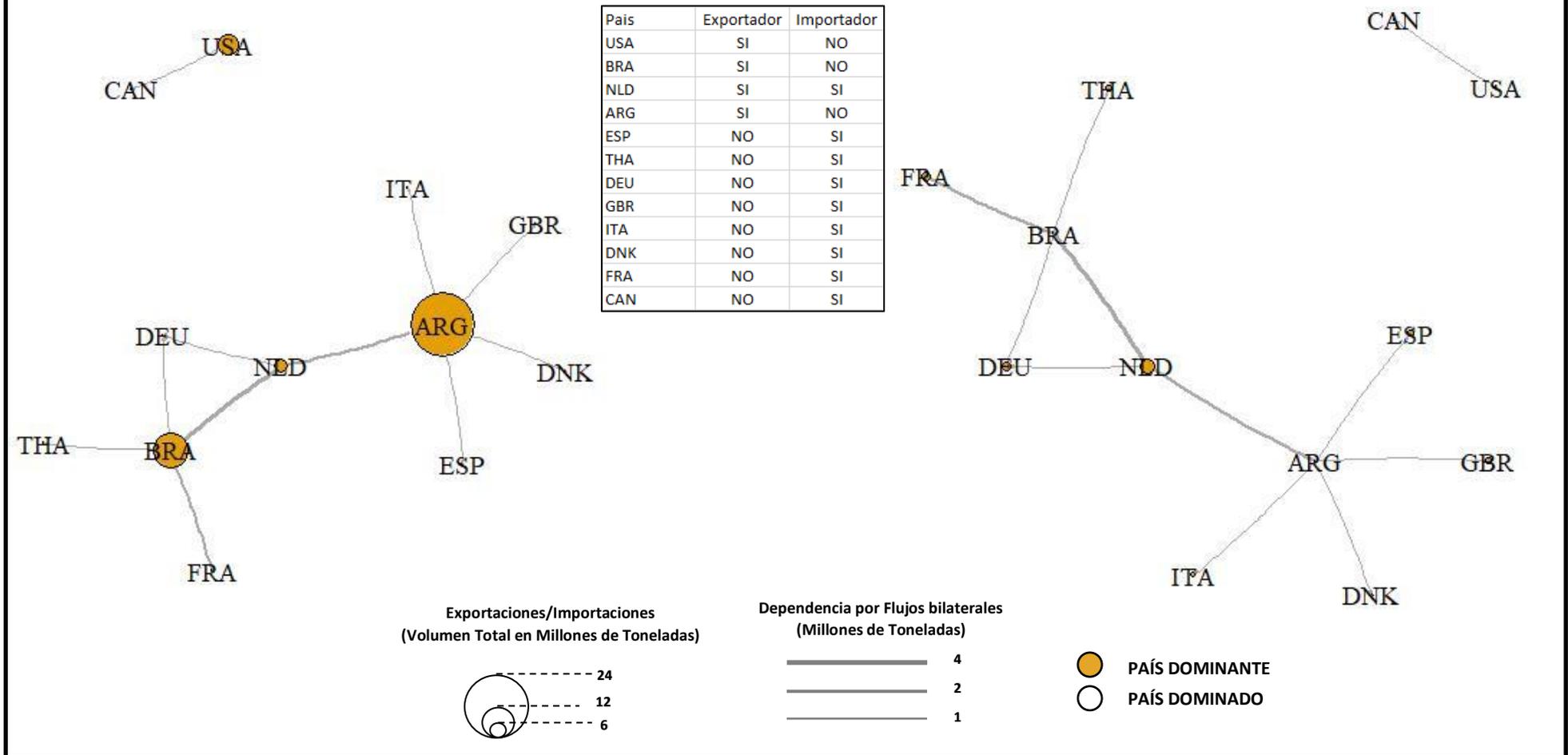


Figura 19: Grafos observados para torta de soya – 2010

### Exportaciones de Torta de Soya-2010

### Importaciones de Torta de Soya-2010

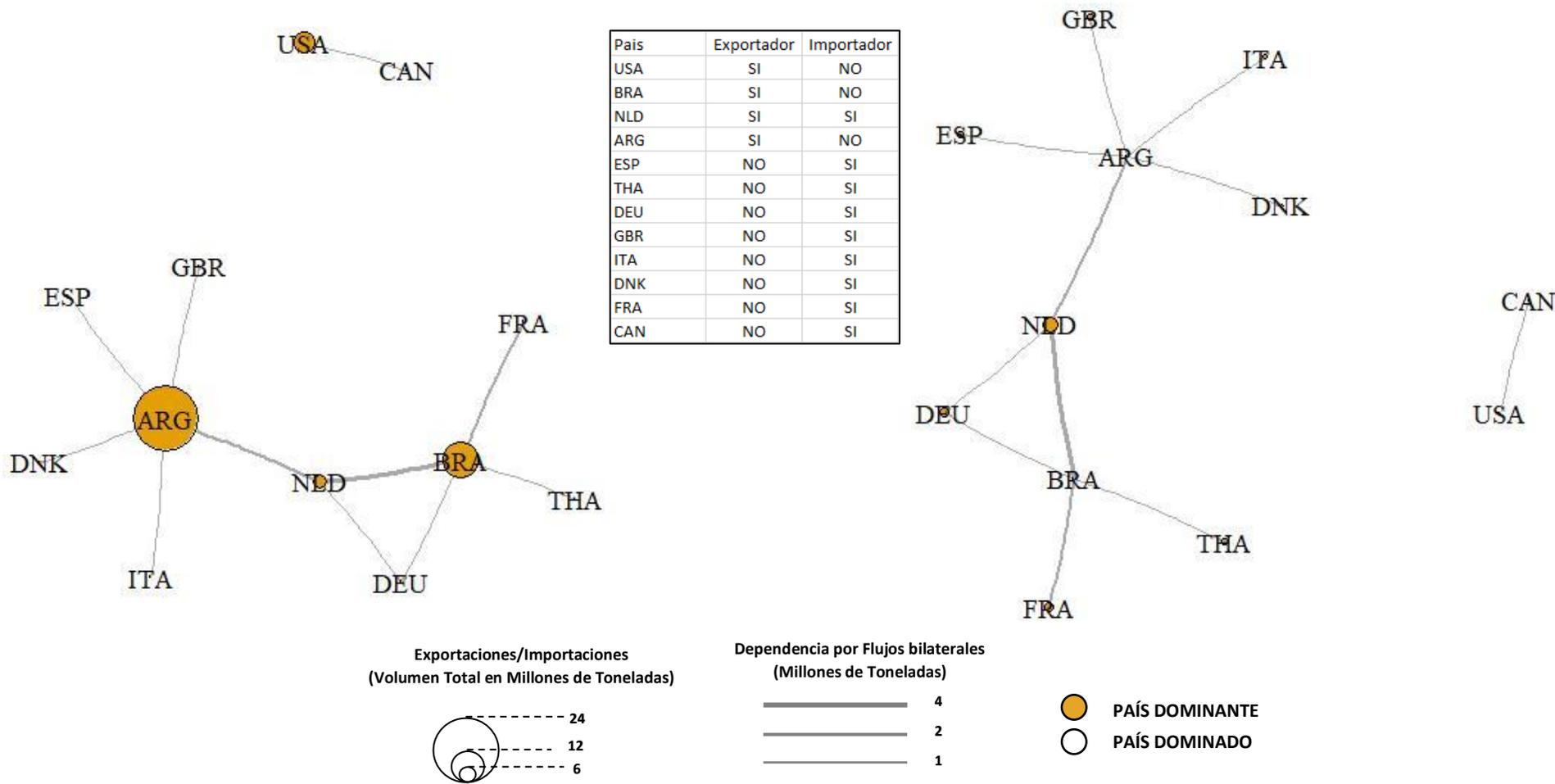


Figura 20: Grafos estimados para torta de soya – 2010

#### **4.2.3. Análisis de grafos para el comercio global de torta de soya en el periodo 2016**

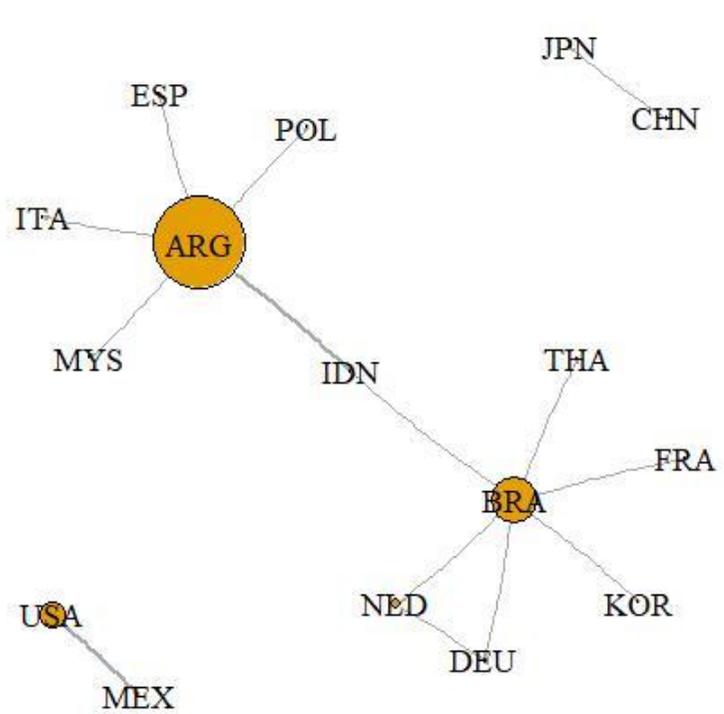
El análisis de grafos (observados y estimados) para el año 2016 (Figura 21 y 22), mostró que la configuración global del mercado de torta de soya mantuvo su estructura general, es decir los principales países dominantes exportadores de este mercado siguieron siendo Argentina, Brasil y Estados Unidos, sin embargo, estos incrementaron sus volúmenes totales de exportación respecto al año 2010 (alrededor de 29, 14 y 9 millones de toneladas exportadas al mundo respectivamente). Esto indica que globalmente las importaciones de torta soya han crecido y estas han sido abastecidas principalmente por los países americanos especializados en la producción de soya.

Por otro lado, se observa que para el año 2016, la región europea presentó una tendencia general a disminuir sus importaciones de torta de soya. Países tradicionalmente importadores como Francia y Países Bajos presentaron importaciones totales de 2.9 y 3 millones de toneladas respectivamente, disminuyendo sus volúmenes de importación total en 22 y 47 por ciento respectivamente en relación con el año 2010. Esta disminución de las importaciones europeas se debe a las distintas políticas que la Comunidad Europea ha puesto en marcha durante los últimos 15 años para ser congruente con su estrategia de autosuficiencia proteica, entre ellos el Reglamento CE N° 1829/2003, el cual favorece la producción de soya no transgénica en territorio Europeo y el Reglamento UE N° 1307/2013, el cual estimula la diversidad de cultivos a través de incentivos económicos, liberando suelos de monocultivo en favor de la soya y otras plantas proteicas (Martin, 2015).

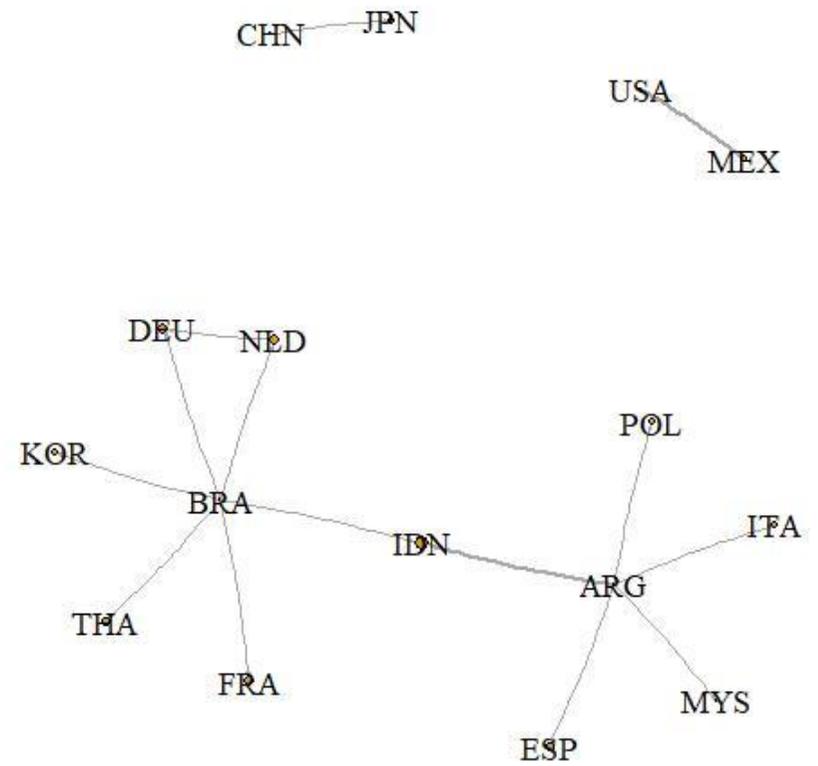
Otras características particulares del mercado global de torta de soya para el año 2016, es la aparición de Indonesia (IDN) como un actor comercial importante en la región asiática, con importaciones relevantes desde Brasil y Argentina de 1.3 y 2.4 millones de toneladas respectivamente (Figura 21).

### Exportaciones de Torta de Soya-2016

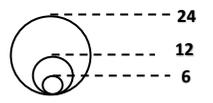
### Importaciones de Torta de Soya-2016



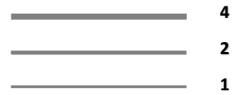
Pais	Exportador	Importador
USA	SI	NO
BRA	SI	NO
NLD	SI	SI
ARG	SI	NO
ESP	NO	SI
THA	NO	SI
DEU	NO	SI
MEX	NO	SI
IDN	NO	SI
POL	NO	SI
ITA	NO	SI
MYS	NO	SI
FRA	NO	SI
KOR	NO	SI



Exportaciones/Importaciones  
(Volumen Total en Millones de Toneladas)



Dependencia por Flujos bilaterales  
(Millones de Toneladas)



● PAÍS DOMINANTE  
○ PAÍS DOMINADO

Figura 21: Grafos observados para torta de soya – 2016

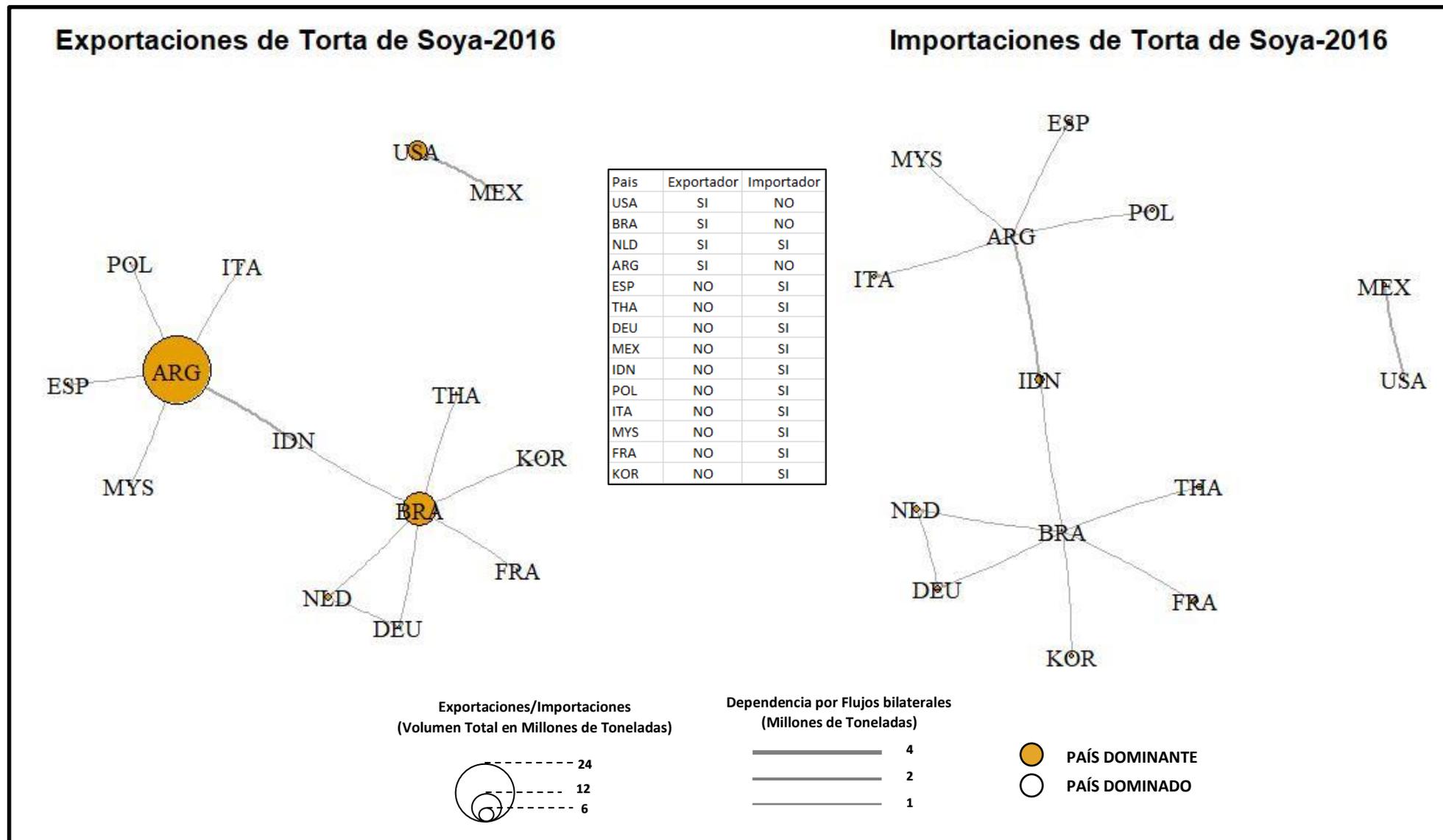


Figura 22: Grafos estimados para torta de soya – 2016

#### **4.2.4. Análisis de grafos para el comercio global de granos de soya en el periodo 2006**

Para el caso del comercio global de granos de soya, la realidad mostrada por el sistema de análisis de la complejidad respecto a los principales países exportadores (Brasil, Estados Unidos y Argentina) es relativamente semejante al caso del comercio global de torta de soya. No obstante, si bien son los mismos países ofertantes, estos difieren en el orden jerárquico de la topología. Es decir, Argentina no presenta más la dominancia absoluta del sistema, sino que, para el comercio de granos de soya, son Brasil y Estados Unidos los más relevantes con importaciones totales de 24,9 y 28.1 millones de toneladas respectivamente. Esto último se explica por la especialización de Argentina hacia la industrialización de la soya mientras que Estados Unidos y Brasil prefieren exportar grandes volúmenes sin ninguna transformación.

Por el contrario, el análisis respecto a los países importadores de granos de soya muestra una interpretación distinta de este sistema comercial, distinguiendo fácilmente a China (CHN) como el país dominante en el comercio global de este producto. Es decir, este país absorbe gran parte de la totalidad de exportaciones globales de granos de soya. Para el año 2006, China consumió el 43 por ciento de la soya comercializada del mundo (Figura 24), produciendo una dependencia comercial de sus principales socios exportadores (BRA, USA, ARG y URU) a través del poder de demanda que le confiere este relativo monoposio.

Es importante señalar que los tres principales nodos exportadores de granos de soya se encuentran localizados en la región americana (BRA, ARG y USA). Esto pone en evidencia, las ventajas comparativas de dicha región para concentrar la producción mundial de soya. Sin embargo, de acuerdo con las dimensiones de las aristas conectoras entre los nodos es posible determinar que el principal socio exportador de granos de soya de China es Brasil, seguido por Estados Unidos y Argentina con 11.6, 9.8 y 6.2 millones de toneladas importadas hacia China respectivamente (Figura 23 y 24). Por otro lado, una comparación de las preferencias comerciales de China entre granos y torta de soya mostró visiblemente que este país prefiere importar el producto sin ningún tipo de transformación. Esta estrategia le permite una mayor industrialización de la soya dentro su territorio, generándose una especialización en esta industria además de externalidades positivas (empleo y desarrollo tecnológico). Estas externalidades se reflejan en su categoría de exportador dominante en el mercado de torta de soya, producto derivado de la industrialización de los granos, teniendo como principal socio o país dependiente a Japón (Figura 21).

Así también, se evidenció que el nodo NLD presentó también una clasificación de dominancia intermedia para el comercio global de granos de soya. Esto se explica porque Países Bajos presenta en su territorio al principal puerto comercial de Europa Continental (Róterdam). Por último, se debe señalar que, a comparación de la información presentada en el grafo observado, existe una pérdida de información en el grafo estimado. El nodo KOR no aparece en este último análisis gráfico, limitando la visualización de la relación existente entre los nodos BRA y USA y poniendo en relieve algunas limitaciones del modelo planteado para estimar las importaciones de granos de soya (Soybean PPML).

### Exportaciones de Granos de Soya-2006

### Importaciones de Granos de Soya-2006

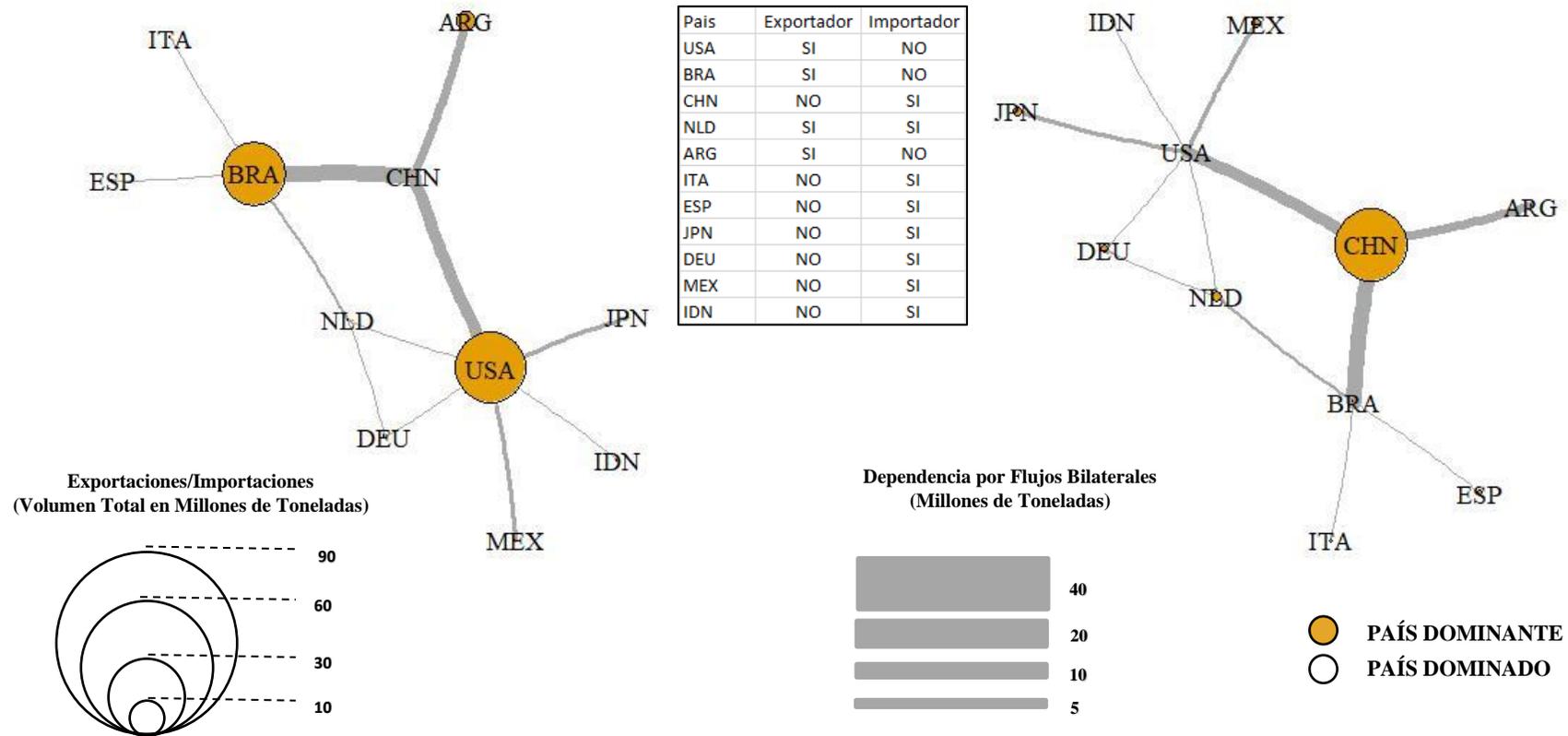
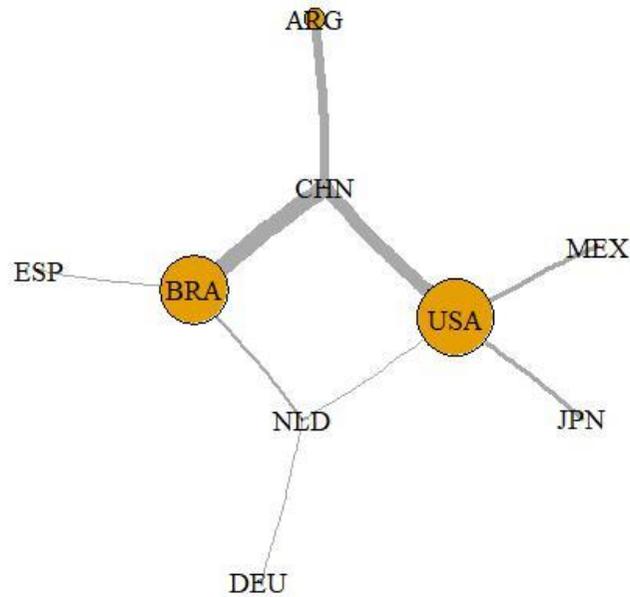


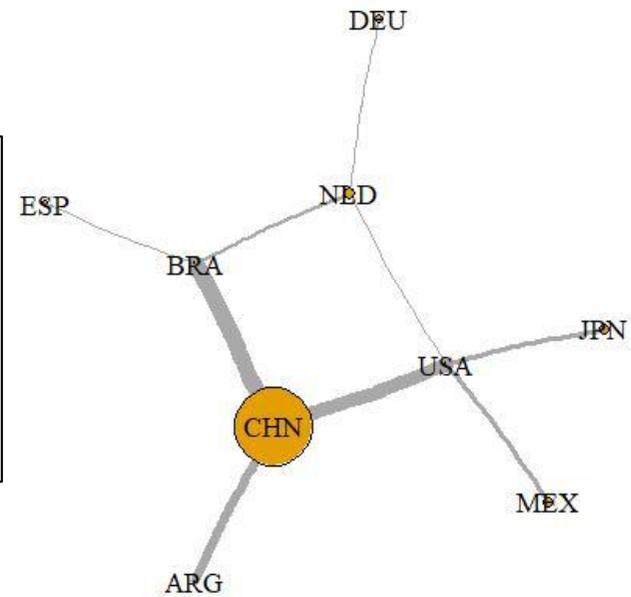
Figura 23: Grafos observados para granos de soya – 2006

### Exportaciones de Granos de Soya-2006

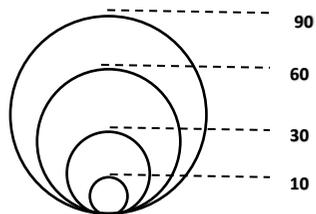
### Importaciones de Granos de Soya-2006



Pais	Exportador	Importador
USA	SI	NO
BRA	SI	NO
CHN	NO	SI
NLD	SI	SI
ARG	SI	NO
ITA	NO	SI
ESP	NO	SI
JPN	NO	SI
DEU	NO	SI
MEX	NO	SI
IDN	NO	SI



Exportaciones/Importaciones  
(Volumen Total en Millones de Toneladas)



Dependencia por Flujos Bilaterales  
(Millones de Toneladas)



● PAÍS DOMINANTE  
○ PAÍS DOMINADO

Figura 24: Grafos estimados para granos de soya – 2006

#### **4.2.5. Análisis de grafos para el comercio global de granos de soya en el periodo 2010**

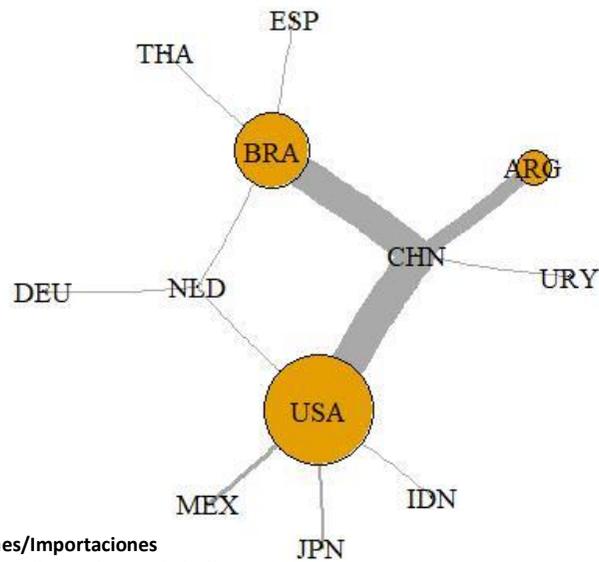
De forma general para el año 2010, los grafos muestran una evolución positiva de los volúmenes totales de granos de soya comercializados en el mercado global respecto al año 2006 (Figura 25 y 26). Brasil, Estados Unidos y Argentina incrementaron sus niveles de exportaciones totales en 17, 50 y 74 por ciento respectivamente en relación con el año 2006. Es decir, estos países exportaron al mundo alrededor de 29.1, 42.4 y 13.6 millones de toneladas de granos de soya individualmente, volviéndose así al igual que en años anteriores en los principales nodos exportadores dentro de este sistema comercial.

Por otro lado, China presentó un incremento de sus importaciones totales, consumiendo para el año 2010, el 55 por ciento de la soya del Mundo (Figura 25). Siendo Estados Unidos su principal abastecedor con 23.6 millones de toneladas exportadas (43 por ciento del total de las importaciones chinas de granos de soya), desplazando a Brasil, el cual ocupó el segundo lugar con 18.6 millones de toneladas exportadas hacia ese país (34 por ciento del total de las importaciones chinas de granos de soya).

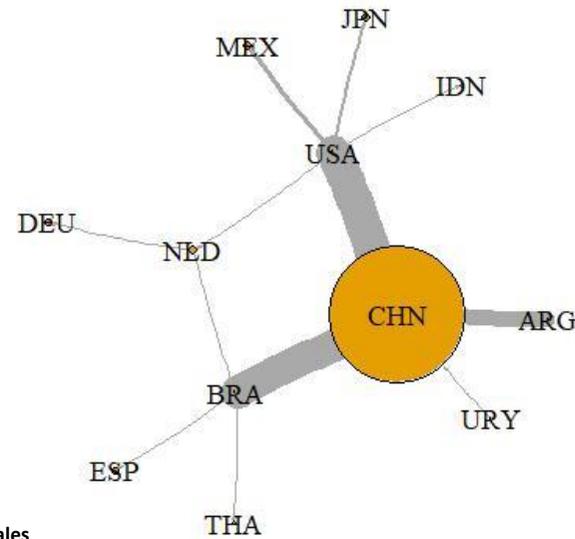
El sistema de análisis resalta además la participación de Argentina y Uruguay como socios relevantes de China con flujos de exportación hacia ese país cercanos a 11.2 y 1.3 millones de toneladas respectivamente (Figura 25). La exigente demanda de granos de soya por parte de China se produce desde las reformas económicas iniciadas en la década del 90 y de forma más acelerada desde el año 2001, fecha en la cual China ingresó a la Organización Internacional del Comercio, lo cual estimuló su crecimiento económico (Zhang et al., 2018), aumentando su demanda de productos cárnicos, los que a su vez necesitaron altos niveles de soya para su producción.

### Exportaciones de Granos de Soya-2010

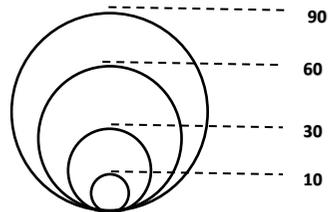
### Importaciones de Granos de Soya-2010



Pais	Exportador	Importador
USA	SI	NO
BRA	SI	NO
CHN	NO	SI
NLD	SI	SI
ARG	SI	NO
URY	SI	NO
ESP	NO	SI
THA	NO	SI
JPN	NO	SI
DEU	NO	SI
MEX	NO	SI
IDN	NO	SI



Exportaciones/Importaciones  
(Volumen Total en Millones de Toneladas)



Dependencia por Flujos Bilaterales  
(Millones de Toneladas)

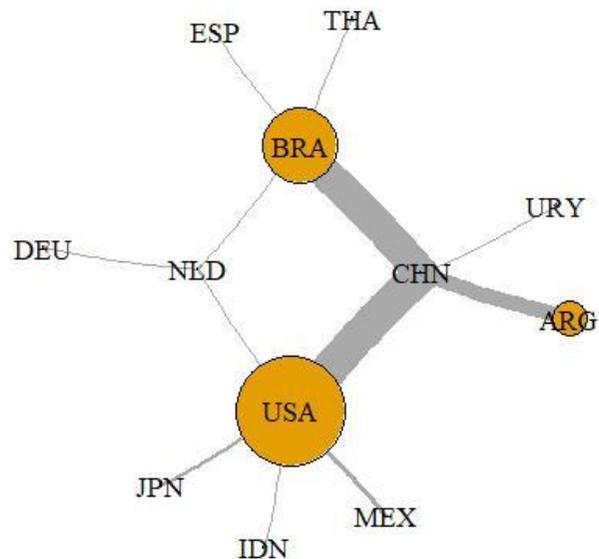


● PAÍS DOMINANTE  
○ PAÍS DOMINADO

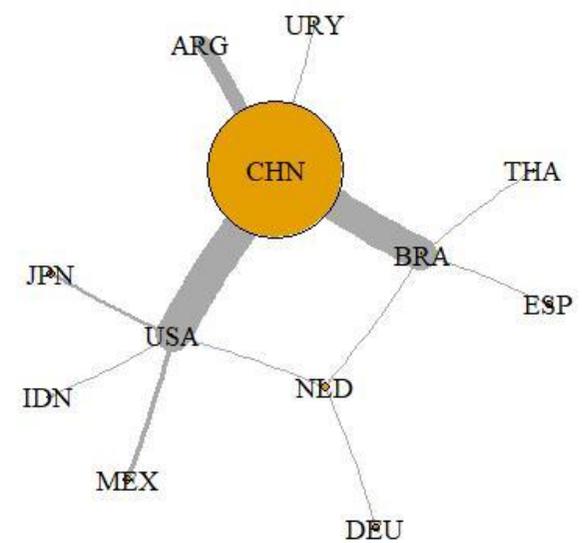
Figura 25: Grafos observados para granos de soya – 2010

### Exportaciones de Granos de Soya-2010

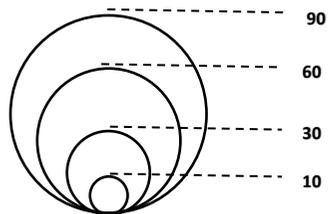
### Importaciones de Granos de Soya-2010



Pais	Exportador	Importador
USA	SI	NO
BRA	SI	NO
CHN	NO	SI
NLD	SI	SI
ARG	SI	NO
URY	SI	NO
ESP	NO	SI
THA	NO	SI
JPN	NO	SI
DEU	NO	SI
MEX	NO	SI
IDN	NO	SI



Exportaciones/Importaciones  
(Volumen Total en Millones de Toneladas)



Dependencia por Flujos Bilaterales  
(Millones de Toneladas)



● PAÍS DOMINANTE  
○ PAÍS DOMINADO

Figura 26: Grafos estimados para granos de soya – 2010

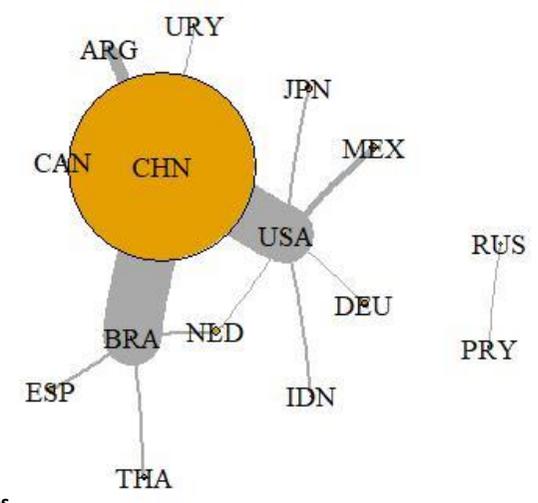
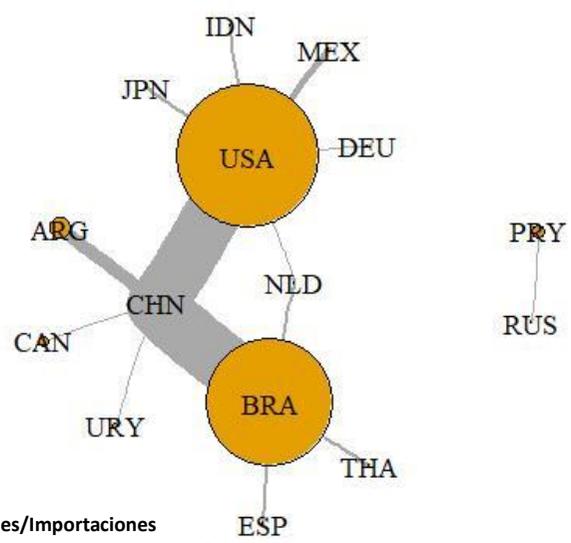
#### **4.2.6. Análisis de grafos para el comercio global de granos de soya en el periodo 2016**

Para el año 2016, los grafos observados y estimados no presentan diferencias significativas (Figura 27 y 28), con lo cual se concluye que el modelo utilizado para estimar las importaciones del año 2016 es eficiente. Entonces, el análisis generado por el sistema permitió visualizar un aumento de los volúmenes comercializados de granos de soya, principalmente en los nodos exportadores como BRA, USA y ARG con 51.6, 57.7 y 8.9 millones de toneladas de exportaciones totales respectivamente. No obstante, el sistema de análisis mostró también que dichos incrementos de exportación son claramente el resultado de la creciente demanda china de soya, país que alcanza una importación total de 83.9 millones de toneladas, confirmando así su dominancia global respecto al criterio de importación. Esta exponencial demanda de soya por parte de China ha logrado conseguir una expansión de la frontera agrícola para este producto en los países netamente exportadores. Dicha presión comercial ha traído consigo externalidades negativas en dichos territorios a causa de los pasivos ambientales (deforestación, contaminación por pesticidas y/o compactación de suelos) que esta producción genera. Uno de los países que ha presentado mayores impactos en su ecosistema por dicha producción es Brasil, siendo los cultivos de soya, uno de los factores de su creciente deforestación, no obstante es necesario señalar que a partir de la implementación de la Moratoria de la Soya en Brasil, la tasa de deforestación a causa de este cultivo se ha visto disminuida en alrededor de 2.4 veces menos (Kastens et al., 2017).

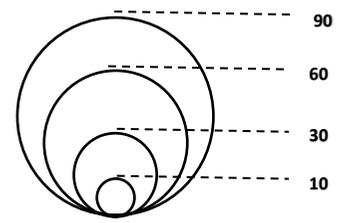
### Exportaciones de Granos de Soya-2016

### Importaciones de Granos de Soya-2016

Pais	Exportador	Importador
USA	SI	NO
BRA	SI	NO
CHN	NO	SI
NLD	SI	SI
ARG	SI	NO
CAN	SI	NO
URY	SI	NO
ESP	NO	SI
THA	NO	SI
JPN	NO	SI
DEU	NO	SI
MEX	NO	SI
PRY	SI	NO
RUS	NO	SI
IDN	NO	SI



Exportaciones/Importaciones  
(Volumen Total en Millones de Toneladas)



Dependencia por Flujos Bilaterales  
(Millones de Toneladas)

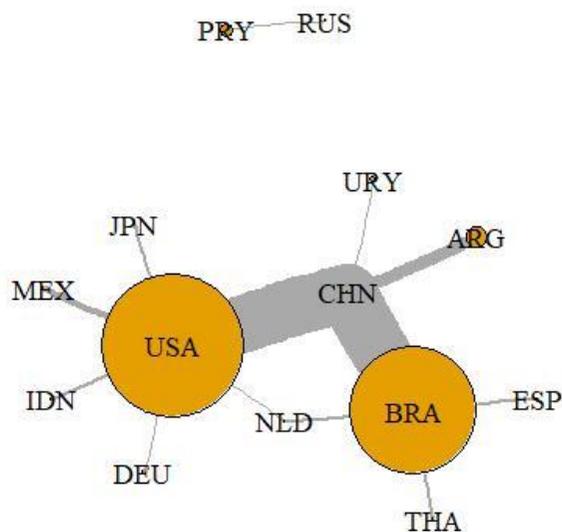


● PAÍS DOMINANTE  
○ PAÍS DOMINADO

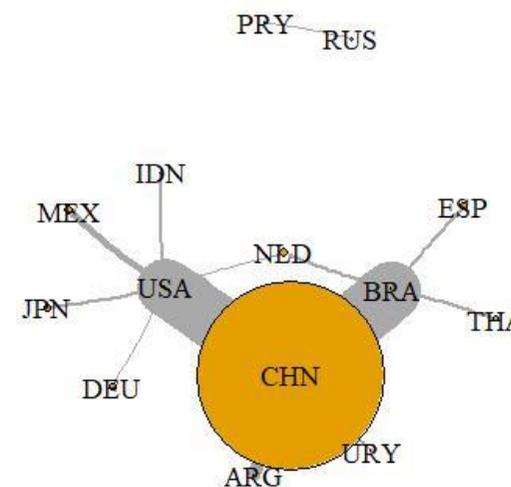
Figura 27: Grafos observados para granos de soya – 2016

### Exportaciones de Granos de Soya-2016

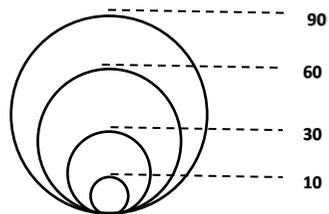
### Importaciones de Granos de Soya-2016



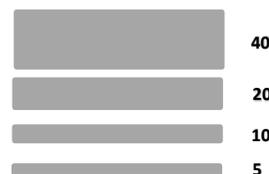
Pais	Exportador	Importador
USA	SI	NO
BRA	SI	NO
CHN	NO	SI
NLD	SI	SI
ARG	SI	NO
CAN	SI	NO
URY	SI	NO
ESP	NO	SI
THA	NO	SI
JPN	NO	SI
DEU	NO	SI
MEX	NO	SI
PRY	SI	NO
RUS	NO	SI
IDN	NO	SI



Exportaciones/Importaciones  
(Volumen Total en Millones de Toneladas)



Dependencia por Flujos Bilaterales  
(Millones de Toneladas)



● PAÍS DOMINANTE  
○ PAÍS DOMINADO

Figura 28: Grafos estimados para granos de soya – 2016

### 4.3. Resultados de análisis prospectivos

Para mostrar la potencialidad de los modelos gravitacionales de realizar análisis prospectivos a través de los modelos y los grafos, se aplicó una simulación bajo la hipótesis de una disminución de 30 por ciento de las exportaciones totales de Estados Unidos sobre el modelo gravitacional de granos de soya, manteniendo el resto de las variables constantes. Los resultados mostraron que una reducción de 30 por ciento sobre los volúmenes totales de exportación de Estados Unidos afectaría negativamente a todos los socios importadores de este país (Perú, México, Alemania y China), reduciendo sus niveles de importación en 19,8 por ciento según el modelo gravitacional planteado para granos de soya (Tabla 13).

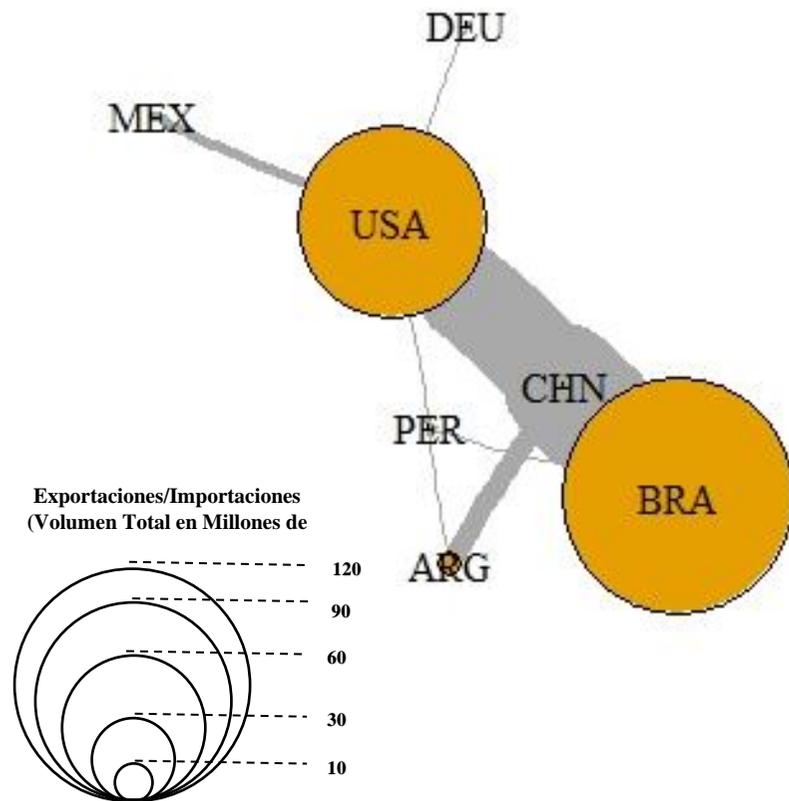
**Tabla 13: Comparación entre flujos bilaterales proyectados al 2020 y flujos bilaterales afectados con variación del 30 por ciento sobre Estados Unidos**

País Exportador	País Importador	Flujo bilateral Base (Miles de Tm)	Flujo bilateral Afectado (Miles de Tm)	% Variación
USA	PER	46.14	36.99	19.8%
USA	CHN	38221.77	30638.38	19.8%
USA	MEX	4644.94	3723.36	19.8%
USA	DEU	868.91	696.52	19.8%
ARG	PER	45.56	45.56	0.0%
ARG	CHN	8288.22	8288.22	0.0%
BRA	PER	113.28	113.28	0.0%
BRA	CHN	48229.51	48229.51	0.0%

Por otro lado, la variación observada sobre las gráficas de proyección de los flujos bilaterales afectados por la reducción de importaciones de Estados Unidos (Gráfica 29) muestra un cambio en las proporciones de los segmentos que unen a los países dependientes de granos de soya con Estados Unidos. La diferencia de dicha afectación sólo puede observarse con mayor detalle en los flujos superiores a los 5 millones de toneladas, tal es el caso de China y México, donde dichos segmentos sufren una reducción representando la disminución de las relaciones comerciales con Estados Unidos a causa de una limitación en la oferta de granos de soya de este país, poniendo en riesgo la industria de generación de proteína animal de China y México. Por otro lado, los grafos presentaron limitaciones para observar las variaciones gráficas sobre las importaciones menores a 5 millones de toneladas, tal es el caso de países dependientes como Perú y Alemania, limitando observar con claridad los riesgos de abastecimiento de este producto para estos dos países.

Flujos bilaterales de exportación proyectados al 2020

(Sin hipótesis de variación sobre USA)



Flujos bilaterales de exportación proyectados al 2020

(Con hipótesis de variación del 30% sobre USA)

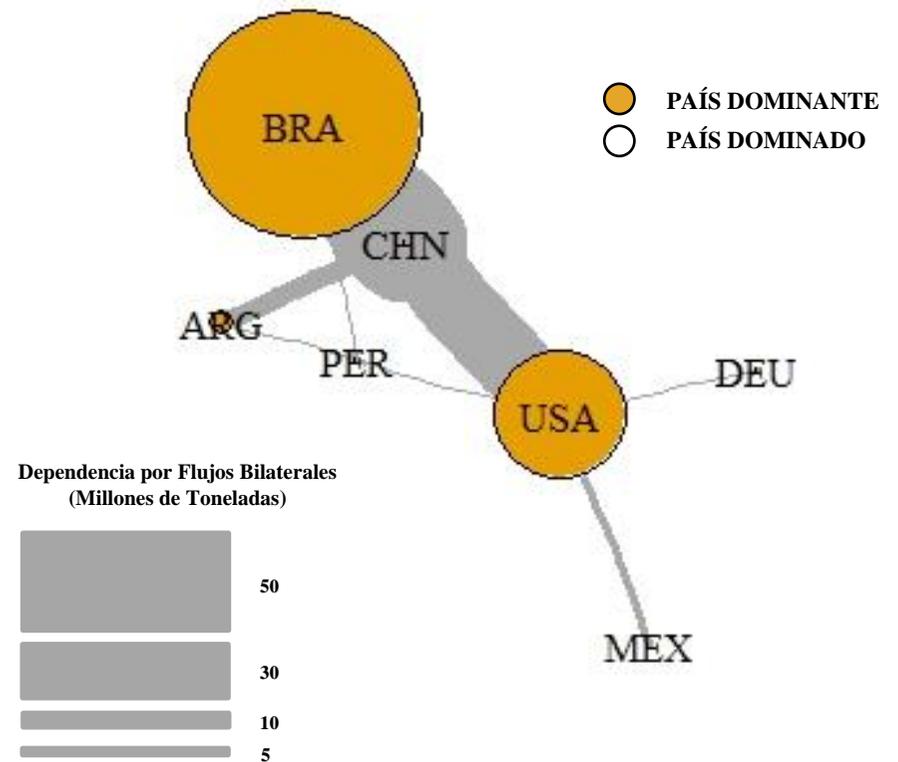


Figura 29: Grafos proyectados para granos de soya – 2020

## V. CONCLUSIONES

1. El desarrollo de una metodología de análisis gráfico prospectivo del comercio global de soya basado en modelos gravitacionales y la teoría de grafos facilitó la proyección, representación e interpretación de las interconexiones comerciales que presenta el mundo a través de la soya, generando información determinante e inmediata para una mejor planificación comercial estratégica ante posibles cambios que puedan afectar la seguridad alimentaria proteica de un país dependiente comercialmente de la soya.
2. El análisis gráfico desarrollado en esta investigación sobre la dinámica de los mercados de granos y torta de soya en el intervalo 2006 – 2016 mostró que la región netamente exportadora de granos y torta de soya se encuentra localizada en el continente americano, siendo los países más relevantes: Brasil, Estados Unidos y Argentina para ambos mercados, mientras que los países tradicionalmente consumidores más importantes a nivel global de granos y torta de soya se encuentran en Europa y Asia.
3. La investigación sobre la dinámica de los mercados de granos y torta de soya en el intervalo 2006 – 2016 mostró que los países exportadores de este producto han generado en el tiempo una dependencia comercial de China, consumiendo este país alrededor del 60 por ciento de la soya exportada a nivel global, lo cual pone en riesgo la seguridad alimentaria del resto de países dependiente de estos productos (granos y torta de soya), los cuales tendrán que desarrollar estrategias adaptativas ante potenciales escenarios de desabastecimiento de esta principal fuente proteica.

4. La representación gráfica del análisis prospectivo desarrollado en esta investigación permitió estimar un escenario potencial de la dinámica de los mercados de granos y torta de soya bajo la hipótesis de una reducción de exportaciones en 30 por ciento de los Estados Unidos, resultando que los flujos de importación salidos de este país hacia sus socios comerciales se reducirían en 20 por ciento, limitando así la fuente proteica más importante para la producción animal en estos países.

## **VI. RECOMENDACIONES**

1. Evaluar los modelos gravitacionales añadiendo otro conjunto de variables independientes para intentar mejorar los resultados de los modelos o disminuir posibles sesgos de estos, las principales variables que pueden ser utilizadas corresponden a aquellas independientes que determinen efectos de fricción ante los intercambios comerciales.
2. Evaluar la metodología del sistema de análisis de la complejidad comercial haciendo uso de otros productos agroalimentarios de importancia local o global para la seguridad alimentaria, tales como el maíz, el arroz o el trigo.
3. Desarrollar modelos gravitacionales dinámicos introduciendo variables retardadas de la variable dependiente, esto permitirá comparar las estimaciones respecto a los modelos estáticos planteados en esta investigación.
4. Evaluar en el modelo, variables ambientales como la desertificación, la deforestación o compactación de suelos.
5. Utilizar el modelo con datos a una escala local o regional para explicar la dinámica comercial de ciertos productos agroalimentarios de importancia a nivel del país o del continente.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- Abbas, S., y Waheed, A. (2019). Pakistan's Global Trade Potential: A Gravity Model Approach. *Global Business Review*, 20(6), 1361–1371.
- Anderson, J. E., y Van Wincoop, E. (2003). Gravity with gravitas: A solution to the border puzzle. *American Economic Review*, 93(1), 170–192.
- Banaszkiewicz, T. (2011). Nutritional Value of Soybean Meal. En *Soybean and Nutrition* (pp. 1–21). InTech. <http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/19972.pdf>
- Bernhofen, D. M., y Brown, J. C. (2018). On the genius behind David Ricardo's 1817 formulation of comparative advantage. *Journal of Economic Perspectives*, 32(4), 227–240.
- Bertheau, Y., y Davison, J. (2011). Soybean in the European Union , Status and Perspective. En *Recent Trends for Enhancing the Diversity and Quality of Soybean Products* (Prof. Dora, pp. 4–45). In Tech.
- Blanco, R. G. (2011). *Diferentes teorías del comercio internacional*. 103–118.
- Boerema, A., Peeters, A., Swolfs, S., Vandevenne, F., Jacobs, S., Staes, J., y Meire, P. (2016). Soybean trade: Balancing environmental and socio-economic impacts of an intercontinental market. *PLoS ONE*, 11(5), 1–13.
- Bolívar, L., Cruz, N., y Pinto, A. (2015). Modelo gravitacional del comercio internacional colombiano, 1991 - 2012. *Revista Economía & Región*, 9(1), 245–270.
- Brack, D., Glover, A., y Wellesley, L. (2016). Agricultural Commodity Supply Chains: Trade, Consumption and Deforestation. *Chatham House, January*, 1–80.
- Cafiero, J. (2005). Modelos gravitacionales para el análisis del comercio exterior. *Revista del CEI Comercio Exterior e Integración*, 4, 77–89.
- Chasimidis, A. (2013). *Analysing Global Wheat Trade Using a Gravity Model* (Número November). Wageningen University.
- Cromwell, G. L. (2011). Soybean Meal – An Exceptional Protein Source. *Soymeal Review Papers*, 1–15.

- De Benedictis, L., Nenci, S., Santoni, G., Tajoli, L., y Vicarelli, C. (2014). Network Analysis of World Trade Using the BACI-CEPII Dataset. *SSRN Electronic Journal*, January.
- Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., y Sokono, Y. (2014). Cambio climático 2014. *Resumen para las responsabilidades políticas*, 33.
- Etro, F. (2017). The Heckscher–Ohlin model with monopolistic competition and general preferences. *Economics Letters*, 158(2017), 26–29.
- FAO. (2005). *CAMBIOS EN LA ESTRUCTURA DEL CONSUMO DE ALIMENTOS Y NUTRIENTES DE AMÉRICA LATINA 1979-1981 a 1999-2001*.
- FAO. (2018a). *Panorama de la Seguridad Alimentaria y Nutricional en América Latina y el Caribe*. 820–821.
- FAO. (2019a). *FAO - División de Producción y Sanidad Animal*. [http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/meat/backgr\\_productions.html](http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/meat/backgr_productions.html)
- FAO. (2019b). Food Security and Nutrition in the World 2019. En *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*.
- FAO. (2018b). Labor de la FAO en el ámbito de la ganadería y propuesta para el establecimiento de un subcomité de ganadería. *26° Sesión del comité de la Agricultura*, 7.
- Gale, F., Hansen, J., y Jewison, M. (2015). *China's Growing Demand for Agricultural Imports*. 136, 1–39.
- García, A. S., y Solís, V. (2015). International Trade: Global Value Chains. An approximation from network theory. *Revista de Economía Mundial*, 37(D), 151–180.
- Gaspar, J. M. (2018). *A biography of Paul Krugman : contributions to Geography and Trade* \*. <http://wps.fep.up.pt/wps/wp600.pdf>
- Ghosh, P. (2015). *Discussion on reciprocal graph from graph theoretical point of view*. 47–52.
- Gilbert, J. K., y Justi, R. (2016). *The Role of Argumentation in Modelling-*. January 2013, 97–120.
- Grasland, C., y Van Hamme, G. (2010). Dynamiques industrielles mondiales: La relocalisation des activités industrielles : une approche des dynamiques mondiale et européenne. *L'Espace géographique*, 39(1), 1–19.
- Grossen, G. E. (2019). Agricultural Trade Performance and Potential: A Retrospective Panel Data Analysis of U.S. Exports of Corn and Soybean. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.

- Hulshof, T. G., Bikker, P., van der-Poel, A. F. B., y Hendriks, W. H. (2016). Assessment of protein quality of soybean meal and 00-rapeseed meal toasted in the presence of lignosulfonate by amino acid digestibility in growing pigs and Maillard reaction products. *Journal of Animal Science*, 94(3), 1020–1030.
- IPCC. (2013). Informe de síntesis. En *Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*.
- Ji, Q., y Fan, Y. (2016). Evolution of the world crude oil market integration: A graph theory analysis. *Energy Economics*, 53, 90–100.
- Jošić, H., y Bašić, M. (2019). *When linder meets Gravity Model: the case of USA Germany and Japan*. 14. [https://bib.irb.hr/datoteka/1006848.Odyssey2019\\_JoiBai.pdf](https://bib.irb.hr/datoteka/1006848.Odyssey2019_JoiBai.pdf)
- Kabir, M., Salim, R., y Al-Mawali, N. (2017). The gravity model and trade flows: Recent developments in econometric modeling and empirical evidence. *Economic Analysis and Policy*, 56, 60–71.
- Kapetanios, G., Serlenga, L., y Shin, Y. (2019). Estimation and Inference for Multi-dimensional Heterogeneous Panel Datasets with Hierarchical Multi-factor Error Structure. *SSRN Electronic Journal*.
- Kastens, J. H., Brown, J. C., Coutinho, A. C., Bishop, C. R., y Esquerdo, J. C. D. M. (2017). Soy moratorium impacts on soybean and deforestation dynamics in Mato Grosso, Brazil. *PLoS ONE*, 12(4), 1–21.
- Knor, M., Skrekovski, R., y Tepeh, A. (2016). Mathematical aspects of wiener index. *Ars Mathematica Contemporanea*, 11(2), 327–352.
- Landy, P. (1938). Le commerce et l'industrie du soja. *Annales de Géographie*, 47, 9–24.
- Lapierre, O., y Pressenda, F. (2002). Adaptation des stratégies d'approvisionnement des filières animales en matières premières riches en protéines. *Oléagineux, Corps Gras, Lipides*, 9(2), 86–91.
- Maluck, J., y Donner, R. V. (2012). Mapping the structure of the world economy. *Environmental Science and Technology*, 46(15), 8374–8381.
- Maneschi, A. (2008). How would David Ricardo have taught the principle of comparative advantage? *Southern Economic Journal*, 74(4), 1167–1176.
- Martin, N. (2015). Domestic soybean to compensate the European protein deficit: Illusion or real market opportunity? *OCL - Oilseeds and fats*, 22(5).
- Morales Rivas, O. D., Antonio Duarte, N., y Marcia, G. (2016). Un Modelo de Gravedad Aplicado a las Exportaciones en Nicaragua. *REICE: Revista Electrónica de Investigación en Ciencias Económicas*, 3(6), 1.

- Nahashon, N., S., Kilonzo-Nthenge, y K., A. (2012). Advances in Soybean and Soybean By-Products in Monogastric Nutrition and Health Samuel. *School of Enviromental Sciences*, 34.
- Neary, J. P. (2016). International Trade in General Oligopolistic Equilibrium. *Review of International Economics*, 24(4), 669–698.
- Nelson, G. C., Rosegrant, M. W., Koo, J., Robertson, R., Sulser, T., Zhu, T., Ringler, C., Msangi, S., Palazzo, A., Batka, M., Magalhaes, M., Valmonte-Santos, R., Ewing, M., y Lee, D. (2018). Cambio Climático: El impacto en la agricultura y los costos de adaptación. *Wirtschaftsdienst*, 98(8), 578–586.
- OECD. (2012). *The Observatory of Economic Complexity (OEC)*. Datawheel. <https://oec.world/en/resources/about>
- Ogino, A., Sommart, K., Subepang, S., Mitsumori, M., Hayashi, K., Yamashita, T., y Tanaka, Y. (2016). Environmental impacts of extensive and intensive beef production systems in Thailand evaluated by life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 112, 22–31.
- ONU. (2015). *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible* (Vol. 15900).
- Phillips, J. D., Schwanghart, W., y Heckmann, T. (2015). Graph theory in the geosciences. *Earth-Science Reviews*, 143, 147–160.
- Pietrzak, M. B., y Łapińska, J. (2015). Determinants of the european union's trade - Evidence from a panel estimation of the gravity model. *E a M: Ekonomie a Management*, 18(1), 18–27.
- Schulz, C., Nocaj, A., Goertler, J., Deussen, O., Brandes, U., y Weiskopf, D. (2017). Probabilistic Graph Layout for Uncertain Network Visualization. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 23(1), 531–540.
- Sheikh, M. R., Kattumuri, R., Chaudhry, I. S., y Kumar, A. (2019). What Determines Bilateral Trade Flows? Evidence from ECO Region. *Review of Economics and Development Studies*, 5(1), 165–182.
- Silva, J. M. C. S., y Tenreyro, S. (2006). The Log of Gravity. *Review of Economics and Statistics*, 88(November), 641–658.
- Stott, P. (2016). How climate change affects extreme weather events. *Science*, 352(6293), 1517–1518.

- Tarraf, D., Sanou, D., y Giroux, I. (2017). Immigration and Food Insecurity: The Canadian Experience—A Literature Review. *People's Movements in the 21st Century - Risks, Challenges and Benefits*.
- Torres, S. M., Moran, E. F., y da Silva, R. F. B. (2017). Property rights and the soybean revolution: Shaping how China and Brazil Are Telecoupled. *Sustainability (Switzerland)*, 9(6).
- Ude, D., y Agodi, J. (2015). Does Trade Openness Make Sense? Investigation of Nigeria Trade Policy. *International Journal of Academic Research in Economics and Management Sciences*, 4(1), 6–21.
- Ülengin, F., Çekyay, B., Toktaş Palut, P., Ülengin, B., Kabak, Ö., Özaydin, Ö., y Önsel Ekici, Ş. (2015). Effects of quotas on Turkish foreign trade: A gravity model. *Transport Policy, Elsevier*, 38C, 1–7.
- Uysal, G. (2019). Wealth of Nations and Intellectual Capitals: Adam Smith Approach. *Journal of Modern Accounting and Auditing*, 15(8), 411–414.
- Wang, Jiayou. (2016). Analysis of the Factors Influencing Japan's Soybean Import Trade: Based on Gravity Model. *American Journal of Industrial and Business Management*, 06(02), 109–116.
- Wang, Jingmeng, Liu, Q., Hou, Y., Qin, W., Lesschen, J. P., Zhang, F., y Oenema, O. (2018). International trade of animal feed: its relationships with livestock density and N and P balances at country level. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 110(1), 197–211.
- Wiranthi, P. E., Aminudin, I., y Dewi, E. R. (2019). A Gravity Model for Indonesian Canned Tuna Exports to The European Union Market: An Application of PPML Estimator. *Sriwijaya International Journal of Dynamic Economics and Business*, 3(1), 31.
- Wu, H. (2015). Revisiting the Distance Coefficient in Gravity Model. *Working Paper, Cornell University*, 05283v2. <https://arxiv.org/pdf/1503.05283.pdf>
- WWF. (2014). *El crecimiento de la soja: Impactos y soluciones*. WWF international.
- Zhang, L., Luo, M., Yang, D., y Li, K. (2018). Impacts of trade liberalization on Chinese economy with Belt and Road initiative. *Maritime Policy and Management*, 45(3), 301–318.

## VIII. ANEXOS

### Anexo 1: Lista de códigos ISO-III según país exportador o importador

Exportadores		
Nº	Código ISO-III	País
1	ARG	Argentina
2	AUS	Australia
3	AUT	Austria
4	BEL	Bélgica
5	BEN	Benín
6	BFA	Burkina Faso
7	BGR	Bulgaria
8	BIH	Bosnia y Herzegovina
9	BLR	Bielorrusia
10	BOL	Bolivia
11	BRA	Brasil
12	BWA	Botsuana
13	CAN	Canadá
14	CHE	Suiza
15	CHL	Chile
16	CHN	China
17	CIV	Costa de Marfil
18	CMR	Camerún
19	COL	Colombia
20	CRI	Costa Rica
21	CYP	Chipre
22	CZE	República Checa
23	DEU	Alemania
24	DNK	Dinamarca
25	DOM	República Dominicana
26	ECU	Ecuador
27	EGY	Egipto

Importadores		
Nº	Código ISO-III	
1	ALB	Albania
2	ARG	Argentina
3	AUS	Australia
4	AUT	Austria
5	BEL	Bélgica
6	BEN	Benín
7	BGR	Bulgaria
8	BIH	Bosnia y Herzegovina
9	BLR	Bielorrusia
10	BOL	Bolivia
11	BRA	Brasil
12	BRB	Barbados
13	BWA	Botsuana
14	CAN	Canadá
15	CHE	Suiza
16	CHL	Chile
17	CHN	China
18	CIV	Costa de Marfil
19	CMR	Camerún
20	COL	Colombia
21	CRI	Costa Rica
22	CYP	Chipre
23	CZE	República de Checa
24	DEU	Alemania
25	DNK	Dinamarca
26	DZA	Argelia
27	ECU	Ecuador

«continuación»

28	ESP	España
29	EST	Estonia
30	ETH	Etiopía
31	FIN	Finlandia
32	FRA	Francia
33	GBR	Reino Unido
34	GHA	Ghana
35	GRC	Grecia
36	GTM	Guatemala
37	GUY	Guyana
38	HKG	Hong Kong
39	HND	Honduras
40	HRV	Croacia
41	HUN	Hungría
42	IDN	Indonesia
43	IND	India
44	IRL	Irlanda
45	IRN	Irán
46	ISR	Israel
47	ITA	Italia
48	JAM	Jamaica
49	JPN	Japón
50	KAZ	Kazajistán
51	KEN	Kenia
52	KGZ	Kirguistán
53	KOR	República de Corea
54	LBN	Libán
55	LKA	Sri Lanka
56	LTU	Lituania
57	LUX	Luxemburgo
58	LVA	Letonia
59	MAR	Marruecos
60	MDA	República de Moldavia
61	MDG	Madagascar
62	MEX	México
63	MLI	Malí
64	MOZ	Mozambique
65	MUS	Mauritania
66	MWI	Malawi
67	MYS	Malasia
68	NAM	Namibia
69	NGA	Nigeria
70	NIC	Nicaragua

28	EGY	Egipto
29	ESP	España
30	EST	Estonia
31	ETH	Etiopía
32	FIN	Finlandia
33	FJI	Fiji
34	FRA	Francia
35	GBR	Reino Unido
36	GEO	Georgia
37	GHA	Ghana
38	GRC	Grecia
39	GTM	Guatemala
40	GUY	Guyana
41	HKG	Hong Kong
42	HND	Honduras
43	HRV	Croacia
44	HUN	Hungría
45	IDN	Indonesia
46	IND	India
47	IRL	Irlanda
48	IRN	Irán
49	ISR	Israel
50	ITA	Italia
51	JAM	Jamaica
52	JPN	Japón
53	KAZ	Kazajistán
54	KEN	Kenia
55	KGZ	Kirguistán
56	KOR	República de Corea
57	LBN	Libán
58	LKA	Sri Lanka
59	LTU	Lituania
60	LUX	Luxemburgo
61	LVA	Letonia
62	MAR	Marruecos
63	MDA	Moldavia
64	MDG	Madagascar
65	MEX	México
66	MLI	Malí
67	MUS	Mauritania
68	MWI	Malawi
69	MYS	Malasia
70	NAM	Namibia

«continuación»

71	NLD	Países Bajos
72	NOR	Noruega
73	NZL	Nueva Zelanda
74	PER	Perú
75	PHL	Filipinas
76	POL	Polonia
77	PRT	Portugal
78	PRY	Paraguay
79	ROU	Rumania
80	RUS	Rusia
81	RWA	Ruanda
82	SRB	Serbia
83	SVK	Eslovenia
84	SVN	Eslovaquia
85	SWE	Suecia
86	TGO	Togo
87	THA	Tailandia
88	TTO	Trinidad y Tobago
89	TUR	Turquía
90	TZA	Tanzania
91	UGA	Uganda
92	UKR	Ucrania
93	URY	Uruguay
94	USA	Estados Unidos
95	VEN	Venezuela
96	VNM	Vietnam
97	ZAF	Sudáfrica
98	ZMB	Zambia
99	ZWE	Zimbabue

71	NGA	Nigeria
72	NIC	Nicaragua
73	NLD	Países Bajos
74	NOR	Noruega
75	NZL	Nueva Zelanda
76	PER	Perú
77	PHL	Filipinas
78	POL	Polonia
79	PRT	Portugal
80	PRY	Paraguay
81	ROU	Rumania
82	RUS	Rusia
83	RWA	Ruanda
84	SRB	Serbia
85	SVK	Eslovaquia
86	SVN	Eslovenia
87	SWE	Suecia
88	TGO	Togo
89	THA	Tailandia
90	TTO	Trinidad y Tobago
91	TUN	Túnez
92	TUR	Turquía
93	TZA	Tanzania
94	UGA	Uganda
95	UKR	Ucrania
96	URY	Uruguay
97	USA	Estados Unidos
98	VEN	Venezuela
99	ZAF	Sudáfrica
100	ZMB	Zambia
101	ZWE	Zimbabue

## Anexo 2: Código de programación R para el análisis gráfico

```
# Cargando librerías

library(igraph)
library(tidyr)
library(dplyr)

# Accediendo al directorio de trabajo
setwd("E:/... ")
impfile <- read.csv("base_de_datos.csv")

For (j in 1:2) {

impfile <- impfile[impfile[, (2*j+3*j+1)] > 1000000,]
y0 <- data.frame(y=c("2006", "2010", "2016")) # Declarando años a evaluar

For (i in 1:nrow(y0)) {
  setwd("E:/...") # introducir extensión del directorio de trabajo
  impfile2 <- impfile[impfile$Year==y0$y[i],]
  FDOMI <- na.omit(impfile2)
  year <- unique(impfile2$Year)
  FDOMI=FDOMI[-c(1,2,5,7,8,9,10)]
  v1 <- read.csv("variables_iso3.csv")
  v1<- v1[v1$Year==y0$y[i],]
  v1 <- v1[-c(1,2,4)]
  v1 <- na.omit(v1)
  dd1 <- data.frame(unique(FDOMI$imp))
  colnames(dd1) <- c("IDEN")
  dd2 <- data.frame(unique(FDOMI$exp))
  colnames(dd2) <- c("IDEN")
  d0 <- merge(dd1, dd2, by=colnames(dd1), all = T)
  d1 <- merge(v1, d0, BY="IDEN", all.y=T )
  d1 <- d1 %>% mutate(Exp.Soyb.TN = replace(Exp.Soyb.TN, is.na(Exp.Soyb.TN), 0))
  d1 <- d1 %>% mutate(Exp.Soyb.TN = replace(Exp.Soyb.TN, is.na(Exp.Soyb.TN), 0))
  nodes <- d1
  links <- FDOMI
  net <- graph_from_data_frame(d=links, vertices=nodes, directed=T)
  V(net)$label.color <- "black"
  vertex.size=12
  if (i==1){E(net)$width <- E(net)$flux/1000000}else{E(net)$width <- E(net)$muPPML3/1000000}
  E(net)$arrow.size <- E(net)$flux/10000000
  E(net)$edge.color <- "gray80"

  setwd("E:/.../") # introducir extensión del directorio de trabajo
  jpeg(paste("Granos de Soya", j, i, ".png", sep="."), width = 40, height = 20, res = 80, units = "cm", pointsize =
16)
  par(mfrow=c(1,2))
  plot(net, vertex.size=V(net)$Exp.Soyb.TN/1000000, main=paste("Exportaciones de
Soya", na.omit(unique(impfile2$Year)), sep="-"), edge.curved=.05)
  plot(net, vertex.size=V(net)$Imp.Soyb.TN/1000000, main=paste("Importaciones de
Soya", na.omit(unique(impfile2$Year)), sep="-"), edge.curved=.05)
  # title( sub = "Fuente: JRM - 2019", cex.sub=1.2)
  dev.off()

}
}
```