



## Midiendo la centralidad de los países y la integración comercial desde una perspectiva de red

PÉREZ-OVIEDO, WILSON

Departamento de Desarrollo, Ambiente y Territorio  
Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (Ecuador)  
Correo electrónico: wperez@flacso.edu.ec

CAJAS-GUIJARRO, JOHN

Facultad de Ciencias Económicas, Universidad Central del Ecuador (Ecuador)  
Departamento de Ciencias Sociales, Escuela Politécnica Nacional (Ecuador)  
Correo electrónico: jcajasg@uce.edu.ec

### RESUMEN

Al revisar los estudios del comercio internacional desde un enfoque de redes, encontramos una falta de contenido económico en los indicadores utilizados. Ante tal carencia, el presente artículo propone una alternativa metodológica para describir al comercio como red, pero enfatizando el sentido económico. Dicha metodología propone: estimar la centralidad de los países en el comercio brindando resultados económicamente interpretables; construir redes y mapas de estructura de comercio como alternativa visual a las redes de comercio convencionales; y estimar indicadores para evaluar la fortaleza de la integración comercial de grupos de países. Al aplicar tal metodología a información de 145 países entre 1992 y 2015, se logra: identificar los posibles países más influyentes en el comercio mundial; identificar potenciales estructuras centro-periféricas regionales; mostrar que la centralidad se distribuye de forma heterogénea, pero siempre concentrándose en pocos países; e identificar grupos de mayor y menor fortaleza en su integración comercial. Todos los resultados parecen describir adecuadamente la complejidad económica del comercio, mostrando que la metodología propuesta sería válida para brindar un sentido económico al comercio internacional visto como red.

**Palabras claves:** centralidad; mapas de estructura de comercio; heterogeneidad; cohesión; balance de comercio intra-industrial.

**Clasificación JEL:** C65; F15.

**MSC2010:** 91B60; 90B10.

# Measuring Countries Centrality and the Trade Integration Using a Network Approach

## ABSTRACT

Most papers which study the world trade network use indicators that suffer from an absence of economic content. Understanding this problem, we propose an alternative methodology to describe the international trade using a network perspective, but recovering the economic interpretation. The proposal consists in: estimating countries' centrality using indicators with economic interpretation; building trade structure networks and maps as alternatives to conventional visualizations; and estimating indicators to evaluate the strength of trade integration. We apply the methodology to information for 145 countries from 1992 to 2015, finding that our indicators identify the potentially most influential countries on international trade, possible core-periphery structures, a heterogeneous centrality distribution (always concentrated in few countries), and groups of different strength on its trade integration. All the results seem adequate in its description of trade economic-complexity, suggesting that the proposed methodology would be a valid tool to bring some economic sense to the international trade studied from a network perspective.

**Keywords:** Centrality; trade structure maps; heterogeneity; cohesion; intra-industry trade balance.

**JEL classification:** C65; F15.

**MSC2010:** 91B60; 90B10.



## 1. INTRODUCCIÓN

Los fenómenos económicos poseen varias características propias de la *complejidad*, como la difusión de información entre varios miembros interrelacionados (por ejemplo, precios), la incapacidad de deducir patrones globales con patrones individuales (por ejemplo, crisis), la adaptación y el aprendizaje (por ejemplo, expectativas), etc. (Mitchell, 2009: 9-10). Y al igual que otros fenómenos complejos, los fenómenos económicos admiten el uso de *redes*<sup>1</sup> para su estudio<sup>2</sup>. Un ejemplo del uso de redes en economía es el estudio del comercio internacional, uno de los sistemas económicos más complejos que actualmente ha motivado el surgimiento de múltiples herramientas descriptivas que procesan grandes volúmenes de información<sup>3</sup>, así como el planteamiento de “índices de complejidad”<sup>4</sup>.

Pero a pesar del amplio uso de las redes en el comercio internacional, nos parece que hay importantes limitaciones. En particular, indicadores como el grado, la cercanía, la “intensidad”, etc., son demasiado genéricos como para capturar la *complejidad económica* de las relaciones comerciales. Si bien en la literatura se han aplicado varios tipos de redes (binarias y ponderadas<sup>5</sup>), sin embargo, parecería que éstas olvidan el *sentido económico* que está detrás del comercio internacional, el cual no es arbitrario y cuya interpretación incluso puede depender de supuestos *económicos*.

En respuesta a este problema, en el presente artículo proponemos una metodología para estudiar el comercio internacional desde un enfoque de redes, pero intentando rescatar el *sentido económico*. Así buscamos aportar herramientas empíricas –con sustento económico– que ayuden a comprender cómo se distribuye la centralidad de los países en el comercio mundial (reconociendo a posibles países “centrales” de gran influencia y países “periféricos” de reducida influencia<sup>6</sup>). Asimismo, proponemos dos índices para analizar la fortaleza comercial de grupos de países desde un enfoque de red (“cohesión” y “balance comercial intra-industrial”). Igualmente, presentamos los resultados de aplicar dicha metodología a los datos de comercio internacional de Naciones Unidas y de ingreso del Banco Mundial, entre 1992 y 2015, para 145 países<sup>7</sup>.

Así, el artículo se estructura de la siguiente manera: en la Sección 2, revisamos la literatura referente al estudio del comercio internacional desde un enfoque de redes. En la Sección 3, presentamos nuestra

---

<sup>1</sup> De hecho, las redes son parte de la propia definición de un *sistema complejo*: “un sistema en el cual grandes *redes* de componentes sin un control central y con reglas simples de operación dan lugar a un comportamiento colectivo complejo, procesamiento sofisticado de información, y adaptación vía aprendizaje y evolución” (Mitchell, 2009: 13, traducción y énfasis propios).

<sup>2</sup> Algunas referencias al uso de redes en fenómenos económicos –y sociales– son las obras de Wasserman y Faust (1994), Vega Redondo (2007), Goyal (2007) y Jackson (2010), entre otros. Para una introducción, puede revisarse a Zenou (2013).

<sup>3</sup> Algunos ejemplos son el “Atlas de la complejidad económica” ([atlas.cid.harvard.edu](http://atlas.cid.harvard.edu)), el “Globo de la complejidad económica” ([globe.cid.harvard.edu](http://globe.cid.harvard.edu)), el “Observatorio de complejidad económica” ([atlas.media.mit.edu](http://atlas.media.mit.edu)) o la “Base para el análisis del comercio internacional” (BACI).

<sup>4</sup> Un ejemplo es el índice de Hidalgo y Hausmann (2009).

<sup>5</sup> Redes binarias son aquellas cuyos enlaces toman valores 0 (sin conexión) o 1 (con conexión). En cambio, en las redes ponderadas, los enlaces –e incluso los nodos– tienen pesos.

<sup>6</sup> Si bien la distinción entre “centro” y “periferia” fue popularizada por autores como Prebisch (1949), Wallerstein (1974a) o Furtado (1975); sin embargo, los orígenes de dicha distinción provendrían de otras latitudes. En particular, como plantea Love (1996, 2011), Werner Sombart en su obra *Der Moderne Kapitalismus* (1902) sería de los primeros en distinguir entre “centro” y “periferia” en la economía mundial. Otros precedentes estarían en Constantin Dobrogeanu-Gherea (por ejemplo, *Neoserfdom*, 1910) y Mihail Manoilescu (por ejemplo, *Theory of proteccionism*, 1929).

<sup>7</sup> Versiones preliminares de estos resultados ya han sido presentadas en los trabajos de Pérez-Oviedo *et al.* (2017) y Pérez-Oviedo y Cajas-Guijarro (2017).

propuesta metodológica enfocada a comprender tanto la centralidad de los países en el comercio internacional así como la fortaleza comercial de grupos de países. En la Sección 4, presentamos algunos resultados de aplicar la metodología a los datos de comercio de Naciones Unidas. Finalmente, en la Sección apartado 5, mostramos nuestras conclusiones.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

Los primeros estudios del comercio internacional que usaron redes tuvieron un carácter gráfico-descriptivo, como la obra *The Network of World Trade* de la extinta Liga de Naciones (Hilgerdt 1942), así como los trabajos de Hilgerdt (1942, 1943) y Saul (1954). Luego, con un enfoque más analítico, Snyder y Kick (1979) estudiaron tres bloques: centro, semi-periferia y periferia; y cuatro redes internacionales: comercio, intervenciones militares, tratados internacionales e intercambios diplomáticos. Tanto su caracterización de bloques como las ponderaciones asignadas a sus redes fueron criticadas por Nemeth y Smith (1985) quienes, enfocándose en correcciones en el comercio, aportaron a la mensurabilidad de las teorías del sistema-mundo y de la dependencia (Amin, 1974; Wallerstein, 1974b). Asimismo, las redes han contribuido a estudiar el intercambio desigual, por ejemplo, analizando las asimetrías de flujos de materias primas versus productos procesados entre centro, semi-periferia y periferia (Smith y White, 1992). También surgieron otros enfoques teóricos como Bauch (2001), quien presentaría varias formas de cómo las redes influirían sobre el comercio, por ejemplo, facilitando el cumplimiento de contratos, proveyendo información sobre oportunidades de negocio e incluso contribuyendo al poder de mercado de quienes pueden restringir la competencia externa precisamente influyendo en la formación de las redes.

Si bien estos precedentes son llamativos, quizá el primer trabajo que realmente profundizó en el estudio de la topología de las redes de comercio fue el de Serrano y Boguñá (2003). Las autoras construyeron una red de comercio con los países como nodos, usando enlaces no ponderados y direccionados según las exportaciones (enlaces “hacia afuera”) e importaciones (enlaces “hacia dentro”) así como una red con flujos combinados. Sobre estos casos estimaron la *distribución del grado de los nodos*<sup>8</sup>, encontrando *libertad de escala*<sup>9</sup> para un grupo intermedio de países, pero no para casos extremos de baja y alta conectividad. Luego, Li *et al.* (2003) ponderaron el grado de los nodos con la participación de los países en las importaciones y exportaciones totales, encontrando que éste poseería un tipo de libertad de escala para países de conectividad baja y media y otro tipo para países de conectividad alta. Heterogeneidad similar ha sido encontrada por Garlaschelli y Loffredo (2005) o Kastle *et al.* (2006), estos últimos reportando que existiría una distribución potencial en la mayoría de casos, pero con un cambio exponencial en países de altas conexiones. También Kali y Reyes (2007) encontraron una fuerte desigualdad en dicha distribución<sup>10</sup>.

---

<sup>8</sup> Probabilidad  $p(k)$  de aleatoriamente escoger un nodo con grado  $k$  (donde  $k$  es el número de conexiones de un nodo con otros).

<sup>9</sup> Se dice que la distribución del grado posee *libertad de escala* si sigue una ley potencial  $p(k) = c_0 k^{-\alpha}$ , siendo  $c_0$  una constante y  $\alpha$  un parámetro. Hay libertad de escala pues, si cambia la escala de medición de  $k$ , su distribución mantiene la misma forma (auto-similitud:  $p(a \cdot k) = a^{-\alpha} \cdot p(k)$ , siendo  $\alpha$  una constante de re-escalamiento) e indica que la conexión de los nodos sería *fractal* (de hecho,  $\alpha$  suele asociarse a la dimensión de Hausdorff). También dicha distribución indica que pocos nodos concentran varias conexiones, mientras que la mayoría posee pocas. Entre los primeros trabajos referenciales sobre redes con libertad de escala, se encuentran Barabási y Albert (1999) y Albert y Barabási (2002); mientras que Gabaix (2009) presenta un resumen del papel de la ley potencial en economía.

<sup>10</sup> Adicionalmente, Kali y Reyes (2007) expandieron el estudio del comercio usando otros indicadores de redes, especialmente la centralidad (desde el enfoque convencional sin ponderar), recogiendo la propuesta de Wasserman y Faust (1994) de que los nodos centrales serían los más activos (es decir, los de mayores vínculos).

Aunque el estudio de la topología de la red de comercio se extendió notablemente, su contenido económico fue escaso. Un intento por suplir esta carencia es el trabajo de Serrano (2007), quien construyó redes usando el desbalance comercial entre países como enlaces ponderados cuya dirección dependía del flujo de dinero causado por dicho desbalance. Al analizar la distribución de tales desbalances tanto en términos absolutos como en proporción al PIB mundial, la autora notó que las distribuciones poseían una forma *log-normal*, repetitiva y similar para varios años —especialmente en flujos medidos en proporción del PIB—, sugiriendo una *auto-similitud* de la red en el tiempo causada por la falta de cambios estructurales<sup>11</sup>.

Serrano *et al.* (2007) profundizaron el contenido económico proponiendo indicadores de intensidad entrante y saliente según el desbalance comercial de los países<sup>12</sup>, un tipo de ponderación que reemplazaría al análisis del grado de los nodos y cuya distribución poseería un fuerte peso en las colas (muy pocas conexiones de la red absorberían la mayoría de la “intensidad”, efecto que los autores llaman “heterogeneidad local”). Otro aporte económico es la propuesta de estudiar la difusión de un choque en la red de comercio (llamada “experimento del dólar”). La idea básica es simular la inyección de flujos netos de dólares en la red, los cuales salen de un país “consumidor” (importa más de lo que exporta) y fluyen siguiendo una determinada regla: si el flujo llega a otro “consumidor”, pasan de largo; pero si llegan a un país “productor” (exporta más de lo que importa), se simula el avance del flujo usando una “probabilidad de absorción” del país “productor” (proporción entre flujos netos y brutos que entran al país). Tal simulación permitiría estimar la probabilidad de que un dólar que salga de un país sea absorbido por otro tomando en cuenta a países intermediarios<sup>13</sup>.

Por su parte, Fagiolo *et al.* (2008) estimaron la “intensidad” sumando los pesos de los enlaces que salen de cada nodo, los cuales se calculan con las ratios entre exportaciones y PIB de cada país exportador. Al comparar sus resultados con aquellos que se obtendrían para redes no ponderadas, los autores encontraron que cuando no hay ponderación, el grado promedio de los nodos es elevado; mientras que al incluir la “intensidad”, resulta que la mayoría de conexiones son débiles. Sobre la distribución de la “intensidad”, encontraron una forma *log-normal* en su mayoría y *potencial* en su cola superior. Resultados similares fueron obtenidos por Fagiolo *et al.* (2009, 2010).

Pasando a enfoques desagregados, Barigozzi *et al.* (2010) propusieron una *multi-red de comercio* en donde los países se conectan usando enlaces de diferentes colores (cada color representando una mercancía diferente), siguiendo la propuesta de Wasserman y Faust (1994). Así, cada par de países se conectaría por más de un enlace, el cual sería ponderado y direccionado según los flujos comerciales de mercancías específicas. Cada multi-red podría analizarse en forma agregada o como la agrupación de redes de mercancías específicas, surgiendo la pregunta de cómo las características de la red agregada dependen de las redes de mercancías específicas. De hecho, los autores encontraron que la distribución de pesos de enlaces sería *cuasi-lognormal* y propusieron que tal distribución surgiría de la agregación de múltiples distribuciones heterogéneas visualizadas para mercancías específicas. Otro aporte de Barigozzi *et al.* (2010) es el uso de una versión del indicador de centralidad para redes ponderadas y direccionadas propuesto por Bonacich y Lloyd (2001) para generar *rankings* de países.

---

<sup>11</sup> Serrano (2007) también sugirió profundizar el análisis del PIB en la red de comercio, así como el vínculo entre dicha red y los modelos gravitacionales.

<sup>12</sup> Aquí Serrano *et al.* (2007) siguieron la propuesta de Barrat *et al.* (2004) de indicadores de “intensidad” para redes ponderadas.

<sup>13</sup> Dicho “efecto intermediación” ya fue analizado por Abesynge y Forbes (2005) usando modelos econométricos (VAR estructural).

También con multi-redes, Barigozzi *et al.* (2011) identificaron *estructuras comunitarias* siguiendo a Newman y Girvan (2004), para quienes una comunidad surge si el número de enlaces o la “intensidad” entre los nodos miembros es mayor de lo que se esperaría en una red aleatoria. Como resultado, los autores encontraron que las comunidades identificables estarían más correlacionadas con grupos geográficos que con acuerdos comerciales<sup>14</sup>.

Sobre la evaluación de estructuras comunitarias usando redes, existen otros aportes relevantes<sup>15</sup>. Por ejemplo, Tzekina *et al.* (2008) usaron la noción de islas, implementada en el paquete de visualización *Pajek* y definidas como grupos de nodos cuyas conexiones mutuas poseen un peso significativamente mayor que aquel de las conexiones que el grupo muestra con nodos externos<sup>16</sup>. Con dicho enfoque aplicado a redes con enlaces ponderados (pesos estimados con la fracción de importaciones que un país destina a otro), los autores encontraron que los grupos identificables en la red de comercio aumentaron con el tiempo, implicando un aumento de los centros alrededor de los cuales se agrupan los demás países.

Otro aporte relevante lo presentaron Reyes *et al.* (2014), quienes identificaron grupos relevantes en la red de comercio con enlaces ponderados con la media geométrica de los flujos comerciales. Para la identificación de grupos, los autores utilizaron el algoritmo de *maximización de la modularidad* (Newman y Girvan, 2004), el cual busca la partición de nodos que maximice la suma de las diferencias entre: a) la “intensidad” de los enlaces dentro de cada grupo; b) el valor esperado de dicha “intensidad” en una red aleatoria simulada manteniendo constante el grado de cada nodo (ambas medidas como fracción del total de “intensidad” de la red). Todo esto buscando aquellos grupos que maximicen su conectividad interna, reflejada en una máxima “diferencia” con respecto a redes aleatorias. Luego, Reyes *et al.* (2014) aplicaron el mismo algoritmo en redes simuladas con modelos gravitacionales que incluyan el efecto de los acuerdos comerciales<sup>17</sup> y así comparar los grupos generados de tales redes simuladas con aquellos obtenidos de la red original<sup>18</sup>. Como resultado, los autores concluyeron que los acuerdos comerciales sí influirían en la formación de grupos relevantes, aunque con efectos diversos<sup>19</sup>.

Un trabajo adicional que destacar es el de Piccardi y Tajoli (2015) quienes, a partir de la propuesta de Piccardi (2011), estimaron un indicador de la cohesión de bloques comerciales. Para obtener dicho indicador, primero los autores plantearon que el comercio puede representarse como una cadena de Markov cuya matriz de transición se estima con el peso que un país tiene en las importaciones de otro. Luego, estimaron la *probabilidad de persistencia* de que un flujo comercial se quede dentro de un bloque, de la siguiente manera: para cada miembro *i* de un grupo, se suma sus probabilidades de transición hacia otro miembro *j* y luego, se promedian tales sumas usando como ponderadores las probabilidades *estacionarias* de cada *i* asumiendo que siempre el flujo comercial se mantiene dentro del grupo. Así, a mayor probabilidad de persistencia, mayor cohesión. Con este indicador, los autores encontraron que todos los bloques que

---

<sup>14</sup> Aquí Barigozzi *et al.* (2011) se suman a otros trabajos enfocados a identificar comunidades como Tzekina *et al.* (2008) o Reyes *et al.* (2014).

<sup>15</sup> Generalmente, el estudio de grupos comerciales suele hacerse con modelos gravitacionales de comercio. Para una revisión de literatura, puede revisarse Kahouli y Maktouf (2014, 2015).

<sup>16</sup> Sobre *Pajek* puede revisarse su sitio oficial: <http://vlado.fmf.uni-lj.si/pub/networks/pajek/>.

<sup>17</sup> Para ello, los autores usaron los modelos propuestos por Baier y Bergstrand (2007), a los cuales se les incluyó variables que controlen la existencia de acuerdos comerciales.

<sup>18</sup> Para dicha comparación, se usó la metodología propuesta por Meila (2007), sustentada en una medida de entropía que cuantifique la información contenida en cada grupo identificado.

<sup>19</sup> Un procedimiento similar para comparar grupos identificados en la red original de comercio con grupos de redes simuladas con modelos gravitacionales se encuentra en Beaton *et al.* (2017).

estudiaron tendrían probabilidades de persistencia bajas, implicando que tendrían poca significatividad en la red de comercio (quizá con la Unión Europea y NAFTA como únicas excepciones).

Mientras que los enfoques que acabamos de describir han buscado comprender la complejidad de la red de comercio en su totalidad, otros más bien han buscado estudiar sub-redes menos complejas. Aquí encontramos a Maeng *et al.* (2012), quienes identificaron dichas sub-redes usando el algoritmo de Kruskal (1956) para buscar el *árbol recubridor mínimo*<sup>20</sup> de la red de comercio, distanciándose de trabajos que solo simplifican la red con “umbrales”<sup>21</sup>. De esa aplicación, los autores encontraron que en la sub-red el grado seguiría una distribución *potencial*. También encontraron que Estados Unidos es un nodo dominante, a la vez que identificaron varias zonas económicas distinguibles por países dominantes: japonesa, china, alemana, etc. Otro ejemplo del uso de árboles recubridores es el trabajo de Skowron *et al.* (2015).

Sobre la identificación de países de mayor influencia en el comercio, se puede citar a De Benedectis *et al.* (2014), quienes estudiaron tanto una red binaria como ponderada, enfatizando varias técnicas de visualización *georreferenciadas*. Con dicho análisis, los autores identificaron que el grado ponderado no seguiría una ley potencial, sino una distribución con colas mucho más pesadas, acentuándose el hecho de que un choque en los países altamente conectados influiría drásticamente a nivel agregado<sup>22</sup>. También los autores identificaron una posible estructura centro-periférica dominada por 17 países, entre los cuales estarían Estados Unidos, Alemania, China, Japón, Francia y Reino Unido (resultados similares ya los habían identificado De Benedectis y Tajoli (2011)<sup>23</sup> usando enfoques preliminares). Asimismo, los autores describieron varias redes de mercancías específicas.

Aquí cabe destacar también el trabajo de Cepeda *et al.* (2017) quienes, usando árboles recubridores mínimos, identificaron estructuras jerárquicas dominadas inicialmente por Estados Unidos y Alemania, surgiendo luego China como otro dominador. Sobre la distribución del grado y la “intensidad”, los autores mencionaron que la primera indicaría que la mayoría de países poseen un gran número de conexiones, mientras que la segunda indicaría que muy pocos países concentran la mayoría de “intensidad” (aproximándose a una ley *potencial*). Los autores también estudiaron mercancías específicas, encontrando que la red de “maquinaria y sector eléctrico” sería la de mayores conexiones.

Finalmente, intentando explicar teóricamente los resultados empíricos visualizados en el comercio, Chaney (2014) planteó una teoría de fricciones comerciales basada en la noción de fricciones de información, recuperando propuestas como las de Samuelson (1954) y Krugman (1980). Con tal enfoque, el autor planteó que la distribución del número de contactos que las empresas de un país establecen con empresas extranjeras tendría una cola pesada. Esto sucedería pues, cuántos más contactos tenga una empresa para exportar, más probable será que ésta aumente sus contactos futuros. Así, la posibilidad de usar contactos actuales para encontrar contactos futuros generaría un importante efecto de retroalimentación. Igualmente,

---

<sup>20</sup> En una red ponderada en los enlaces y no direccionada, un árbol recubridor es aquel que conecta a todos los nodos sin bucles, donde cada par de nodos se conecta por un único camino. Se dice que el árbol es mínimo si la suma de pesos de los enlaces del árbol es menor que la suma generada por cualquier otro árbol identificable en la red.

<sup>21</sup> Entre dichos trabajos, están Bhattacharya *et al.* (2008), Tzekina *et al.* (2008) e incluso Serrano y Boguñá (2003), quienes obtienen sub-redes poco densas con “umbrales” que limitan los enlaces relevantes.

<sup>22</sup> Sobre un estudio formal del efecto de variables micro con distribuciones de colas pesadas en términos macro puede revisarse a Gabaix (2011).

<sup>23</sup> De Benedectis y Tajoli (2011) también propusieron utilizar indicadores de redes como variables explicativas en los modelos gravitacionales, alegando un aumento notable del poder explicativo.

hay aportes teóricos al estudio de acuerdos comerciales desde un enfoque de red, entre los cuales se puede mencionar a Goyal y Joshi (2006) y Furusawa y Konishi (2007).

Como muestra la literatura mencionada, hay varios trabajos indicando que la distribución del grado –ponderado o no– y de la “intensidad” de los nodos de la red de comercio sería *heterogénea*, a veces presentando una forma *potencial*, *(cuasi)log-normal*, *exponencial*, o combinaciones; pero siempre con grupos extremos de países que concentran muy baja o muy alta participación. Pero más allá de estos y otros resultados, su sentido económico no es claro, especialmente en el hecho de que los indicadores que usan no poseen una interpretación económica directa –exceptuando, quizá, la propuesta de Serrano *et al.* (2007) sobre el “experimento del dólar”–. Una limitación similar encontramos en los trabajos encaminados a evaluar grupos dentro de la red de comercio, los cuales tienden a fundamentarse en algoritmos –como el de *maximización de la modularidad*– que no arrojan magnitudes con interpretación económica directa, o indicadores de cohesión –como la probabilidad de persistencia de Piccardi y Tajoli (2015)– que son muy restrictivos al no tomar en cuenta que la probabilidad de que los flujos comerciales avancen de un país a otro no solo dependen de la estructura del comercio, sino también del tamaño de las economías que negocian entre sí.

Frente a ambas limitaciones, el presente artículo aporta a la literatura proponiendo indicadores que, si bien analizan al comercio como una red direccionada-ponderada, su intencionalidad es *económica* pues buscan: estimar el impacto que un choque en el ingreso que un país tiene sobre otros difundido a través del comercio bajo un determinado conjunto de supuestos; estudiar la distribución de la “centralidad” de los países en el comercio mundial (en vez de estudiar la distribución del grado o la “intensidad”); y estimar la “cohesión” y el “balance comercial intra-industrial” entre grupos. Todo por medio de indicadores que tengan una interpretación económica inmediata.

### 3. PROPUESTA METODOLÓGICA

En esta sección, explicamos la metodología que proponemos para estudiar tanto la centralidad de los países, así como la fortaleza de los procesos de integración comercial emprendidos por grupos de países, tomando en cuenta la estructura de la red de comercio internacional, que es, como se ha dicho, dirigida, ponderada y cíclica.

#### 3.1. Análisis de centralidad

##### 3.1.1. Elasticidad país-país

El principal indicador que proponemos se sustenta en la siguiente intuición: asumiendo que los países poseen una propensión marginal a importar y una estructura comercial (origen de sus importaciones) estable a lo largo de un determinado período de tiempo (por ejemplo, un año), un choque positivo en el ingreso de un país incrementará sus importaciones a otros países, lo que hace subir el ingreso de éstos, quienes a su vez incrementarán sus importaciones, etc., transmitiendo así el choque positivo a través de la red de comercio internacional. Por supuesto, el efecto final depende de la propensión marginal a importar de cada país y de la estructura de la red de comercio internacional.

Para formalizar tal intuición, consideremos un choque de un dólar en el ingreso de un país  $i$ , representado en un vector fila  $(0 \dots 0 \ 1 \ 0 \dots 0)$ , donde el 1 se ubica en la  $i$ -ésima columna. Con dicho choque,  $i$  incrementa sus importaciones, lo cual implica un aumento en las exportaciones y en el ingreso de sus socios, lo

cual se da en proporciones fijas pues hay una propensión marginal a importar constante en  $i$  (notada como  $m_i$  tal que  $\forall i: 0 \leq m_i \leq 1$ ). Esto genera un primer conjunto de choques en los ingresos de los socios de  $i$  (notados como  $\Delta Y_j^{(1)}$ ), tal como se propone en **(1)**:

$$(\Delta Y_1^{(1)} \Delta Y_2^{(1)} \dots \Delta Y_N^{(1)}) = (0 \dots 0 \ 1 \ 0 \dots 0)(m_i A) \quad (1)$$

donde  $A = [a_{kh}]_{k,h=1,\dots,N}$  es una matriz de transacciones comerciales entre países, tal que  $a_{kh} = M_{kh} / M_k$  es la importación hecha por  $k$  que proviene de  $h \cdot (M_{kh})$  como proporción del total de importaciones hechas por  $k$  ( $M_k = \sum_h M_{kh}$ , implicando necesariamente que  $\forall k, h: 0 \leq a_{kh} \leq 1$ ).

Ahora, este es sólo el primer efecto del dólar adicional de ingreso de  $i$ , pues las exportaciones adicionales de los países de los cuales importó  $i$  implican que éstos obtuvieron un ingreso adicional. Así, en su turno, estos países incrementarán marginalmente sus importaciones, las cuales se distribuirán entre sus socios, originando un nuevo incremento en los ingresos de éstos (reiterando que se asume que la propensión marginal a importar y las estructuras comerciales se mantienen estables), efecto recogido en **(2)**:

$$(\Delta Y_1^{(2)} \Delta Y_2^{(2)} \dots \Delta Y_N^{(2)}) = (0 \dots 0 \ 1 \ 0 \dots 0)(m_i A)(mA) \quad (2)$$

donde  $m = \text{diagonal}(m_1, m_2, \dots, m_N)$ .

Con los supuestos inicialmente establecidos, necesariamente el proceso descrito en **(2)** se repite  $n$  veces como muestra **(3)**:

$$(\Delta Y_1^{(n)} \Delta Y_2^{(n)} \dots \Delta Y_N^{(n)}) = (0 \dots 0 \ 1 \ 0 \dots 0)(m_i A)(mA)^{n-1} \quad (3)$$

Para conocer el efecto total del choque en el ingreso de  $i$  sobre el ingreso de los países del mundo, debemos sumar todos los efectos parciales como se hace en **(4)**:

$$(\Delta Y_1 \Delta Y_2 \dots \Delta Y_N) = (0 \dots 0 \ 1 \ 0 \dots 0)(m_i A)(I + mA + (mA)^2 + (mA)^3 + \dots) \quad (4)$$

Si notamos que  $mA$  es una matriz cuyos elementos son todos positivos y menores a uno, entonces la suma descrita en **(4)** converge como se indica en **(5)**:

$$(\Delta Y_1 \Delta Y_2 \dots \Delta Y_N) = (0 \dots 0 \ 1 \ 0 \dots 0)(m_i A)(I - mA)^{-1} \quad (5)$$

Así, obtenemos una matriz en donde cada  $i$ -ésima fila corresponde al efecto originado en el  $i$ -ésimo país, la cual queda definida en **(6)**:

$$(mA)(I - mA)^{-1} \quad (6)$$

Finalmente, es mejor expresar los efectos medidos en **(6)** como elasticidades, para así considerar el peso de cada país  $i$  y medir la consecuencia sobre cada país  $j$  también en términos proporcionales. Esta idea se recoge en **(7)**:

$$E = Y M A (I - M A)^{-1} Y^{-1} \quad (7)$$

donde  $Y = \text{diagonal}(Y_1, Y_2, \dots, Y_N)$  contiene el ingreso (PIB) de cada país.

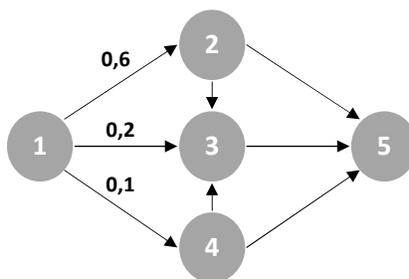
Nótese que  $E = [e_{ij}]_{i,j=1,\dots,N}$  es una matriz de elasticidades que recoge el cambio porcentual que se da en el ingreso de un país  $j$  cuando cambia en un punto porcentual el ingreso de un país  $i$ . A estas elasticidades

$e_{ij}$  las nombraremos *elasticidades país-país* del ingreso o simplemente, *elasticidades país-país*, las cuales nos miden la *influencia* de  $i$  sobre  $j$ .

Consideramos adecuado usar la elasticidad  $e_{ij}$  en un enfoque de red pues provee una alternativa a los indicadores convencionales, los cuales suelen considerar que la importancia comercial (enlace) que tiene un país  $i$  para un país  $j$  depende solo de la participación directa que  $i$  tiene en las exportaciones o importaciones totales de  $j$ , así como del “tamaño del mercado” (ponderación) de  $i$ . A nuestro criterio, tales enfoques no recogen las retroalimentaciones propias de las intermediaciones comerciales ni, por tanto, la estructura de la red, aspectos que sí se recogen con el indicador  $e_{ij}$  (análoga, pero no idéntica, a las interacciones sectoriales descritas en una matriz inversa de Leontief en un modelo insumo-producto). Ilustremos esto con un par de ejemplos hipotéticos.

El Gráfico 1 presenta una red de comercio en donde los enlaces que salen desde un nodo se definen como el flujo de bienes y servicios vendidos por un país a sus socios comerciales. Si analizamos la importancia que para el país 1 tienen las demandas de otros países, podríamos concluir equivocadamente que 2 es el más relevante. Sin embargo, en este ejemplo, los tres países que demandan productos de 1 a su vez dependen completamente de 5, implicando que 1 también depende completamente de dicho país en cuanto a sus exportaciones y al impacto de éstas sobre su ingreso; es decir, en cuanto a los efectos de la red comercial sobre el ingreso de 1, 5 es el más relevante, no 2. Esta situación, presente en formas más sutiles dentro del comercio mundial, se develaría usando  $e_{ij}$  como ponderación de los enlaces de la red en vez de los flujos comerciales.

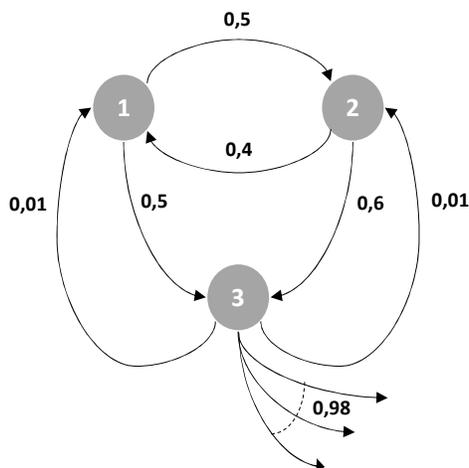
**Gráfico 1:** Representación de la importancia en los flujos comerciales



**Fuente:** elaboración propia.

Siguiendo el mismo esquema, en el Gráfico 2 tenemos una situación similar: 1 y 2 son países pequeños que comercian entre sí, pero una parte muy importante de su comercio se concentra en 3, que podemos imaginar como un país grande comparado con los dos primeros. El análisis tradicional del comercio diría que, siendo 3 un “mercado grande” y destino importante de las exportaciones de 1 (por ejemplo), este último debería priorizar su relación comercial con el anterior. Sin embargo, la relación entre 1 y 2, en donde uno importa al otro una cantidad significativa de su total, crea una retroalimentación positiva entre ambos: cuando 1 exporta a 2, incrementa su ingreso y, por tanto, sus importaciones, incluyendo las que hace desde 2, que a su vez podrían subir sus importaciones, incluyendo nuevamente a 1, y así sucesivamente. Este efecto podría no presentarse entre 1 y 3 pues, aunque este último sea grande en comparación con los otros dos, la mayoría de sus importaciones provienen de otros países, diluyendo la retroalimentación positiva entre los países pequeños. El indicador  $e_{ij}$  consideraría también tales interacciones.

**Gráfico 2:** Representación de retroalimentaciones positivas entre países pequeños



**Fuente:** elaboración propia.

Adicionalmente, las elasticidades  $e_{ij}$  también pueden usarse para estimar la influencia promedio que tiene un país  $i$  sobre el resto del mundo. Para ello, usamos la media de  $e_{ij}$  ponderada por la participación de cada país en la producción mundial, como se presenta en (8):

$$e_i = \frac{\sum_{j \neq i} e_{ij} Y_j}{\sum_{j \neq i} Y_j} \quad (8)$$

Estas magnitudes  $e_i$  las proponemos como medida de la centralidad de cada país en el comercio mundial. Así, un país es más “central” si aumenta su elasticidad  $e_i$ .<sup>24</sup>

Igualmente se puede estimar el efecto promedio que tiene el resto del mundo sobre un país  $j$ , lo cual se logra obteniendo el promedio descrito en (9).

$$e_{.j} = \frac{\sum_{i \neq j} e_{ij} Y_i}{\sum_{i \neq j} Y_i} \quad (9)$$

El indicador  $e_{.j}$  estima la *dependencia* de un país frente a un choque simultáneo en todos los demás países del mundo.

Una vez obtenida la centralidad  $e_i$ , proponemos analizarla con dos opciones: una visual y otra analítica.

### 3.1.2. Propuesta visual

Como herramienta para visualizar la centralidad de los países en el comercio internacional, proponemos construir *redes de estructura de comercio*, definidas como redes ponderadas-direccionadas, en donde el peso de cada enlace y la dirección indican la influencia de un país sobre otro ( $e_{ij}$ ), mientras que el peso de cada

<sup>24</sup> Este indicador es similar a la “intensidad” de un nodo en una red ponderada (Barrat *et al.*, 2004: 3748).

nodo indica su centralidad ( $e_i$ ). Tal grafo muestra tanto la magnitud en la que influye un país sobre otro (ya tomando en cuenta retroalimentaciones) así como la centralidad de cada país.

Luego de construir el mencionado grafo es posible combinarlo con información *georreferenciada* por países, con lo cual se pueden construir *mapas de estructura de comercio*<sup>25</sup>. Estos mapas son viables pues usamos como nodos de la *red de estructura de comercio* precisamente a países, los mismos que poseen una ubicación geográfica específica (relevante en términos de comercio<sup>26</sup>) y brindan una lectura rápida sobre cómo se distribuye geográficamente la centralidad de los países, así como la influencia de unos países sobre otros.

### 3.1.3. Propuesta analítica

Aunque los *mapas* propuestos describen cualitativamente la distribución de la centralidad de los países, sin embargo no son suficientes en términos analíticos. Por ello, proponemos también estudiar la distribución de la centralidad usando procedimientos similares a aquellos utilizados en la literatura para la distribución del grado y la intensidad de los nodos en la red de comercio. En concreto, y siguiendo a Clauset *et al.* (2009), proponemos dos procedimientos: a) estudiar el ajuste de los datos observados a las distribuciones teóricas; y b) evaluar la *hipótesis de plausibilidad*, es decir, evaluar si existe evidencia estadística para rechazar que las distribuciones ajustadas son posibles generadoras de los datos observados (es decir, la hipótesis nula es la plausibilidad)<sup>27</sup>. Con este procedimiento, queremos ganar rigurosidad estadística respecto a otros trabajos dentro de la literatura, los cuales tienden a aceptar que los datos siguen una u otra distribución solo con evidencia visual (por ejemplo, regresiones lineales sobre datos en escala logarítmica)<sup>28</sup>. Véase Sección 4 para la aplicación de estas ideas.

## 3.2. Integración comercial de un grupo de países

Aparte del análisis de la centralidad que acabamos de presentar, también proponemos un par de indicadores para evaluar la fortaleza de la integración comercial de un grupo de países desde dos perspectivas: cohesión y balance de comercio industrial intra-grupo, tal como se explica a continuación.

### 3.2.1. Cohesión comercial

Respecto a la “cohesión comercial”, proponemos un *índice de cohesión*  $\gamma_G$  definido así:

$$\gamma_G = \frac{\sum_{i \in G} \sum_{\substack{j \neq i \\ j \in G}} w_i e_{ij} w_j}{\sum_{i \in G} \sum_{k \notin G} (w_i e_{ik} w_k + w_k e_{ki} w_i)} \quad (10)$$

donde las ponderaciones  $w_i$  representan el peso del PIB de un país en el PIB mundial. Así,  $\gamma_G$  es la ratio entre la elasticidad promedio registrada entre los miembros de un grupo  $G$  y aquella que los miembros del

<sup>25</sup> Para construir tales mapas, se usó R, en concreto los paquetes “igraph” (para grafos) (Csardi y Nepusz, 2006) y “rworldmap” (para ubicar nodos en un mapa) (South, 2011).

<sup>26</sup> La ubicación geográfica es relevante en el comercio como muestra, por ejemplo, el uso de la distancia entre países en los modelos gravitacionales (Tinbergen, 1962; Linnemann, 1966).

<sup>27</sup> Clauset *et al.* (2009) proponen otro paso: comparar entre sí las distribuciones ajustadas con ratios de verosimilitud para definir cuál brinda mejor ajuste. Nosotros omitimos este paso pues solo buscamos verificar la *heterogeneidad* de distribución de la centralidad, además que la forma específica de tal distribución requeriría un análisis estadístico que supera los límites de este artículo.

<sup>28</sup> Clauset *et al.* (2009) muestran que mucha de la literatura que alega la existencia de leyes potenciales con métodos habituales posee errores metodológicos que hasta invalidarían sus conclusiones.

grupo registran con países fuera de éste. De esta forma,  $\gamma_G$  estima la cohesión dentro del grupo  $G$  pues relaciona dos magnitudes: a) el numerador recoge el incremento porcentual promedio del PIB agregado del grupo originado por el incremento en el ingreso en uno de sus miembros, midiendo por tanto la fortaleza de las interacciones comerciales dentro del grupo; y b) el denominador, en cambio, agrega las interacciones entre los miembros del grupo y el resto del mundo en ambos sentidos (es decir, el incremento porcentual en el PIB del grupo originado por el aumento del ingreso de los países no miembros *más* el incremento porcentual del PIB del resto del mundo originado en el incremento del ingreso en sus miembros). A mayor  $\gamma_G$ , se considerará que aumenta la fortaleza de las interacciones dentro del grupo con respecto a aquellas entre el grupo y el resto del mundo.

### 3.2.2. Balance de comercio intra-industrial

Otro indicador que proponemos es un índice que muestre cuán balanceado es el comercio industrial al interior de un grupo de países, al cual llamamos “comercio industrial intra-grupo” (importaciones y exportaciones de productos no primarios entre los países del grupo). Para estimarlo, usamos una variante del indicador de Grubel y Lloyd (1975), que mide la proporción de comercio industrial entre dos países de la siguiente forma:

$$GL_{ij} = 1 - \frac{|\tilde{X}_{ij} - \tilde{X}_{ji}|}{\tilde{X}_{ij} + \tilde{X}_{ji}} \quad (11)$$

donde  $\tilde{X}_{ij}$  son las importaciones de bienes industriales del país  $i$  desde el país  $j$ . Así, si  $\tilde{X}_{ij} = \tilde{X}_{ji} > 0$ , entonces  $GL_{ij} = 1$ ; es decir, hay un balance perfecto. En cambio, si un solo país exporta el producto no primario, mientras que otro solo lo importa, entonces  $GL_{ij} = 0$ , implicando que hay un total desbalance.

Nosotros ampliamos la propuesta de Grubel y Lloyd (1975) para estudiar el balance de comercio industrial intra-grupo. Para ello, partimos de considerar el balance entre un país miembro de un grupo y los demás miembros vistos agregados como un solo nodo: es decir, se reduce la red al interior de un grupo a dos nodos, uno que represente al país  $i$  y otro que representa a la agregación de los demás países del grupo  $j \neq i$ ; luego se obtiene el indicador original de Grubel y Lloyd para ese par de nodos; se repite el proceso para todos los países del grupo y se obtiene un promedio simple del indicador Grubel y Lloyd. Formalmente:

$$GL_G = \frac{1}{\text{card}(G)} \sum_{i \in G} \left( 1 - \frac{\left| \sum_{j \neq i, j \in G} \tilde{X}_{ij} - \tilde{X}_{ji} \right|}{\sum_{j \neq i, j \in G} \tilde{X}_{ij} + \tilde{X}_{ji}} \right) \quad (12)$$

La interpretación de  $GL_G$  a la que se hace de (11), es decir, cuando  $GL_G$  se acerca a 1, decimos que, en promedio, todos los miembros de  $G$  se benefician de un comercio industrial intra-grupo balanceado, en cambio, si  $GL_G$  decrece, se reflejaría un mayor desbalance.

Mientras más balanceado sea el comercio intra-industrial en un grupo (y, por tanto,  $GL_G$  sea más cercano a 1), se podría considerar que el grupo contribuye a que todos sus miembros se industrialicen de forma similar, generando exportaciones intra-grupo relativamente similares que se retroalimentan. En cambio, un comercio industrial intra-grupo desbalanceado implicaría que algunos miembros de un grupo lo aprovechan para industrializarse exportando este tipo de productos, mientras que otros quedan “atrapados” en exportaciones primarias dentro del grupo.

## 4. CENTRALIDAD DEL COMERCIO MUNDIAL Y REGIONAL

En esta sección, presentamos algunos resultados de aplicar la propuesta metodológica de la Sección 3 a los datos de comercio internacional de Naciones Unidas<sup>29</sup> y de ingreso del Banco Mundial<sup>30</sup> entre 1992 y 2015 para 145 países.

### 4.1. Países “centrales” y mapas de estructura de comercio

La estimación de la centralidad ( $e_i$ ) para los países de mayor influencia en el comercio se presenta en el Gráfico 3, donde, en 2015, Estados Unidos (USA<sup>31</sup>) alcanzó el nivel más alto con 0,0784 puntos. Dicho valor, a diferencia de los indicadores convencionales aplicados a la red de comercio, posee una *interpretación económica*: asumiendo una propensión marginal a importar y una estructura comercial constantes, un aumento de un punto porcentual en el ingreso estadounidense aumentó en 0,0784 puntos porcentuales el ingreso del resto del mundo<sup>32</sup>. De hecho, Estados Unidos posee la centralidad más alta en todos los años estudiados.

El siguiente país de mayor centralidad en 2015 fue China (CHN), alcanzando 0,0545 puntos, con un importante repunte desde 1995. Después se ubica Alemania (DEU), con una centralidad relativamente decreciente, llegando a 0,0322 puntos en 2015. Otros países que podrían considerarse de mayor centralidad son Gran Bretaña (GBR), Francia (FRA), Japón (JPN), Hong Kong (HKG), Holanda (NLD), Italia (ITA), Corea del Sur (KOR), India (IND), Canadá (CAN), Singapur (SGP), Bélgica (BEL) y España (ESP). Varios de estos países están presentes en otros intentos de identificar países centrales como, por ejemplo, De Benedectis *et al.* (2014).

Aunque el Gráfico 3 muestra la centralidad de los posibles países más influyentes, sin embargo no brinda una visión global. En respuesta a esta limitación, los Gráficos 4 y 5 presentan los *mapas de estructura de comercio* (obtenidos según se presentó en la Sección 3), tanto a mundiales como continentales para 1992 y 2015. En tales mapas, el tamaño de los nodos representa la centralidad ( $e_i$ ) mientras que los enlaces representan la “influencia” de un país sobre otro (elasticidades país-país  $e_{ij}$ ). Para facilitar la visualización, solo se presenta la “influencia” que supera un determinado “umbral”.

Al revisar dichos mapas, parece visible la existencia de estructuras centro-periféricas globales y regionales. A nivel global (Gráfico 4), entre 1992 y 2015 destaca la consolidación estadounidense, así como un posible estancamiento de Alemania (y, en general, de Europa Occidental), el ascenso China, el debilitamiento de Japón, y un posible ascenso de India y Corea del Sur. En cambio, la centralidad del resto de países parece mínima, denotando su posible condición “periférica”. Por su parte, a nivel continental (Gráfico 5) existen algunos patrones llamativos.

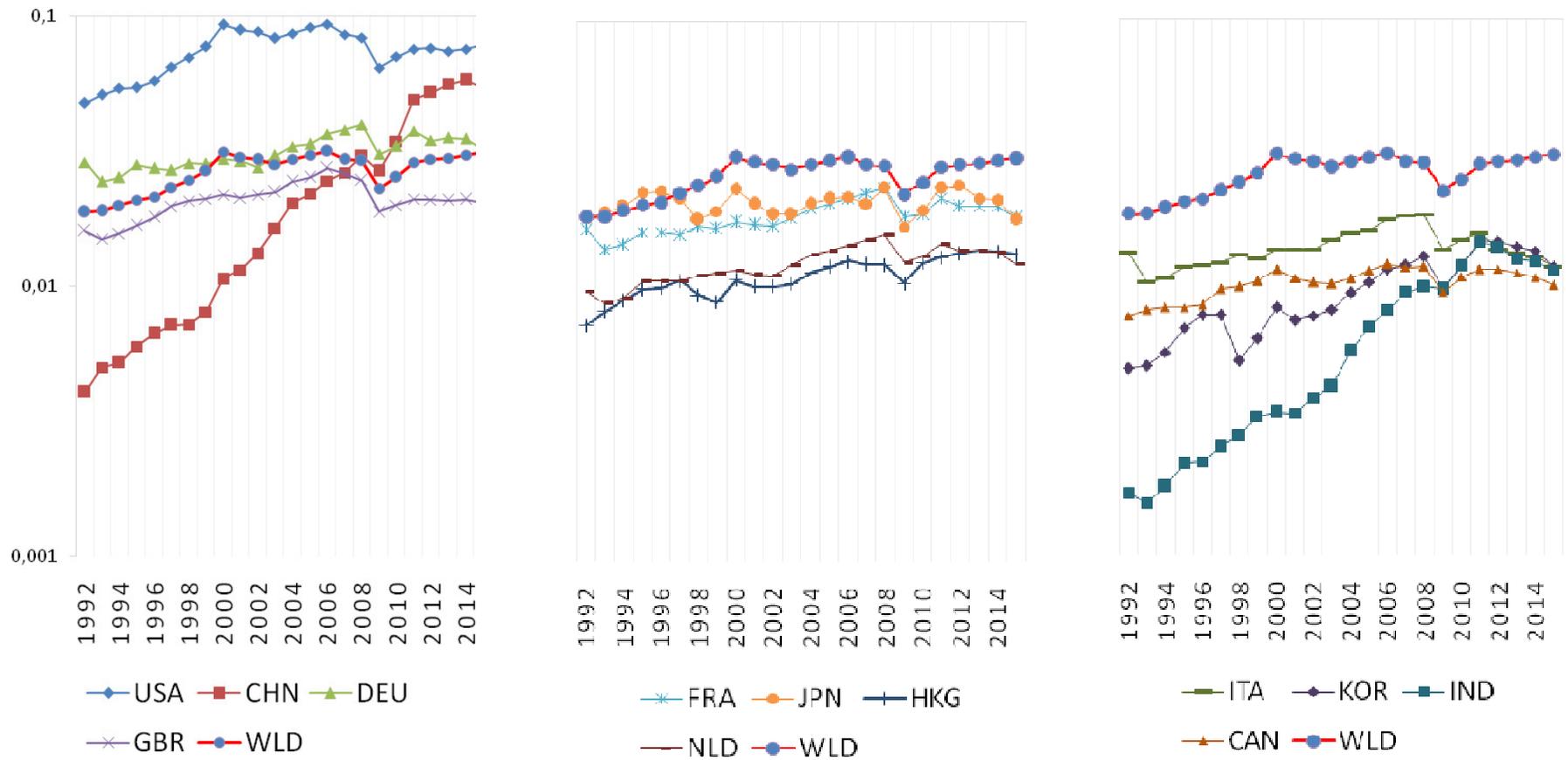
<sup>29</sup> Tales datos provienen del Observatorio de Complejidad Económica (Simoes e Hidalgo, 2011) en dos períodos: 1992-2000 con información de Feenstra *et al.* (2005); y 2001-2014 con información de la “Base de datos estadísticos sobre el Comercio de Mercaderías de Naciones Unidas” (COMTRADE). En cambio, para 2015 se usó directamente información de COMTRADE (Naciones Unidas, 2015). En todos los casos, se tomó información desagregada según la clasificación internacional estándar de comercio (SITC) revisión 2, a 4 dígitos.

<sup>30</sup> Tanto el PIB como la proporción destinada a importaciones, se obtuvieron de los “Indicadores de Desarrollo Mundial” del Banco Mundial.

<sup>31</sup> Las siglas para países usan la codificación ISO a 3 caracteres.

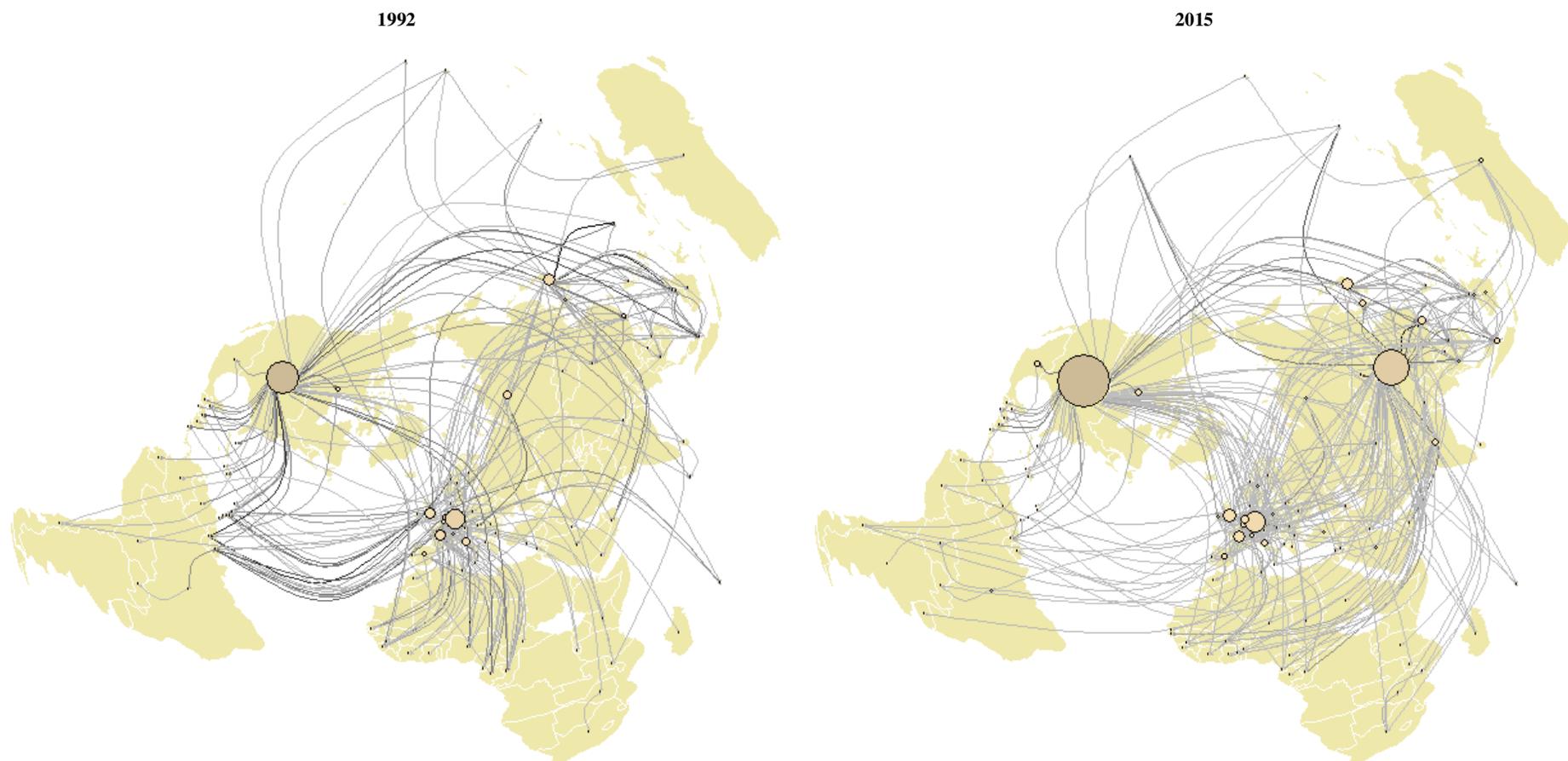
<sup>32</sup> Tal sentido económico se aproxima al “experimento del dólar” de Serrano *et al.* (2007).

**Gráfico 3: Países de mayor centralidad**



**Nota:** eje vertical en puntos porcentuales y escala logarítmica. Siglas corresponden a codificación ISO. WLD: promedio mundial.  
**Fuente:** estimación propia a partir de datos de Naciones Unidas y del Banco Mundial.

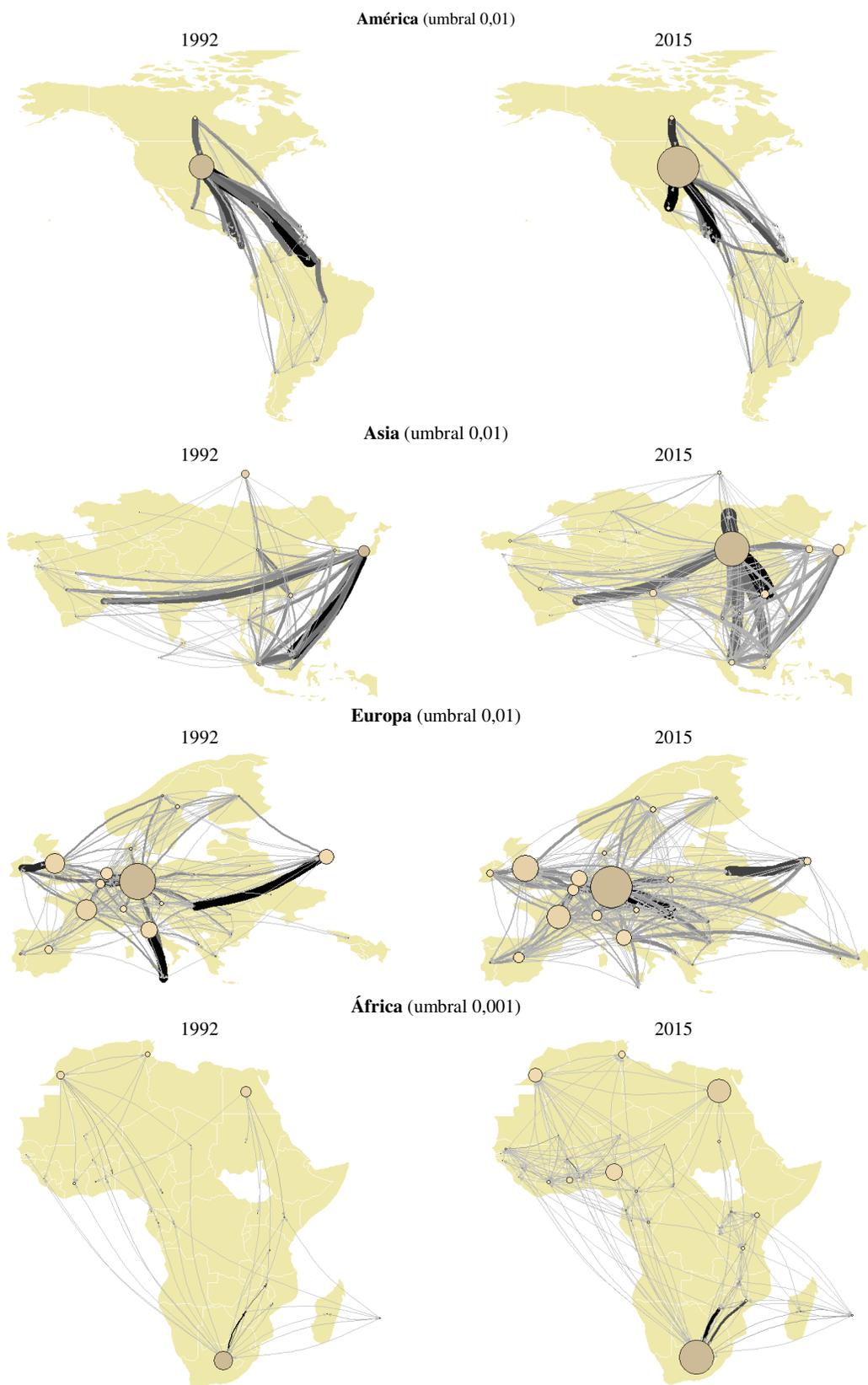
**Gráfico 4:** Mapas de estructura de comercio mundial (umbral 0,04)



**Nota:** solo se presentan enlaces que representan elasticidades país-país mayores que el “umbral”.

**Fuente:** estimación propia con información de Naciones Unidas y Banco Mundial.

**Gráfico 5: Mapas de estructura de comercio regionales**



**Nota:** solo se presentan enlaces que representan elasticidades país-país mayores que el “umbral”. Nodos amplificados para África. Se omite Oceanía por carencia de datos.  
**Fuente:** estimación propia con información de Naciones Unidas y Banco Mundial.

*América:* Estados Unidos impone su centralidad en el continente, con fuerte influencia especialmente en Canadá, México, Centroamérica y los países del Pacífico. Una influencia menor muestra sobre Brasil, país que junto a México parecerían actuar como *sub-centros* latinoamericanos.

*Asia:* mientras que en 1992 Japón mostraba la mayor centralidad, para 2015 su ubicación pasó a ser ocupada por China. A su vez, la India y –en menor grado– Corea del Sur, Hong Kong y Singapur han ascendido. Si se incluye a Rusia en el análisis, se nota que una influencia relativamente baja.

*Europa:* Alemania, Inglaterra y Francia muestran la mayor centralidad, mientras que Holanda, Italia, España, Bélgica y Suiza poseen una situación intermedia, en tanto que el resto de Europa parecería ser “periférica”.

*África:* destaca la centralidad de Sudáfrica y Egipto, seguidos por Marruecos, Túnez y Nigeria con un ascenso relativamente importante.

A más de estos patrones, los Gráficos 4 y 5 indicarían que Europa y Asia son los continentes de mayores interacciones internas, seguidos por América que parece estar más interconectada que África (en donde incluso se necesita aplicar un “umbral” diferenciado para reconocer las interconexiones más relevantes entre países) y Oceanía (cuyas conexiones son tan bajas que se prefirió omitir su mapa continental).

Más allá de las diferencias continentales, los mapas obtenidos parecerían indicar una estructura centro-periferia repetitiva, tanto global como regional (incluso en África). De hecho, así como existirían “centros” y “periferias” mundiales, también existirían “sub-céntricos” y “periferias” regionales. Tal posible estructura repetitiva a diferentes escalas podría implicar que la distribución de la centralidad es *libre de escala*. Sin embargo, reiteremos que los mapas de estructura de comercio son insuficientes como para evaluar dicha hipótesis.

## 4.2. Distribución de la centralidad

Para fines analíticos, el Gráfico 6 presenta la *distribución acumulativa complementaria*<sup>33</sup> de la centralidad de los países analizados para todos los años entre 1992 y 2015. A pesar de que existieron cambios importantes en la magnitud de la centralidad de cada país, es notable –a primera vista– que su distribución sea similar en todos los años, hallazgo parecido al de Serrano (2007). De todas formas, la distribución denota cierto “desplazamiento hacia la derecha” indicando que, con el tiempo, cada vez los niveles más altos de centralidad se concentran en menos países.

Al aplicar la propuesta analítica de la Sección 3 –fundamentada en Clauset *et al.* (2009)<sup>34</sup>–, obtenemos el Gráfico 7 en donde se muestra las distribuciones teóricas que mejor ajustan a los datos observados de centralidad, enfatizando aquellas formas típicas de la literatura: potencial, log-normal y exponencial. Mientras tanto, el Gráfico 8 presenta el valor  $p$  de la prueba de *plausibilidad* aplicada a las distribuciones teóricas ajustadas (donde la hipótesis nula afirma que la distribución teórica es una explicación plausible para los datos empíricos). El principal resultado cualitativo que se obtiene de los Gráficos 7 y 8 es que la distribución de centralidad no se apegaría a una forma única, sino que sería altamente *heterogénea* al

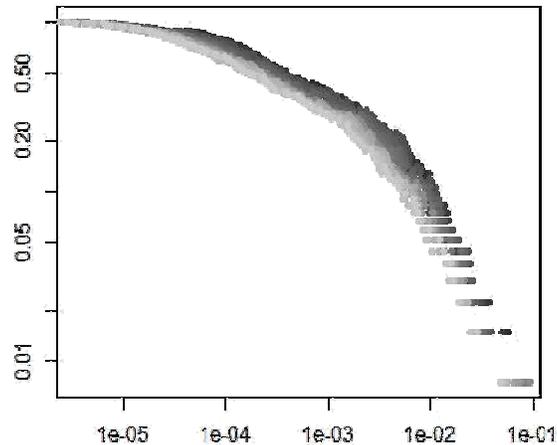
---

<sup>33</sup> Sea  $p(x)$  la función de densidad de probabilidad de  $x$  y  $F(x) = \int f(x)dx$  su distribución acumulativa. La distribución acumulativa complementaria es  $G(x) = 1 - F(x)$ , utilizada pues su forma visual es más robusta frente a otras opciones al reflejar ajustes a distribuciones teóricas (Clauset *et al.*, 2009: 667).

<sup>34</sup> Este análisis se hizo en R usando el paquete “powerLaw” (Gillespie, 2015).

punto que las formas *potencial*, *logarítmica* y *exponencial* son plausibles según el año analizado. Tal resultado coincidiría con la heterogeneidad descrita en la literatura, por ejemplo, en Li *et al.* (2003), Garlaschelli y Loffredo (2005), Kastle *et al.* (2006) o Kali y Reyes (2007), entre otros.

**Gráfico 6:** Distribución de la centralidad (1992-2015)



**Nota:** la serie más clara corresponde a 1992 y la más oscura a 2015. Escala log-log.  
Eje horizontal: centralidad. Eje vertical: distribución acumulativa complementaria.  
**Fuente:** estimación propia con información de Naciones Unidas y Banco Mundial.

En términos específicos, encontramos algunos patrones:

*Distribución potencial:* esta forma no parece plausible para los países de menor centralidad, mientras que podrían existir dos tipos de ley potencial: una para países de centralidad media y otra para aquellos de centralidad alta; similar a los resultados de Li *et al.* (2003). Además, la forma no parece plausible en 1996, 2003-2006, 2008-2009 y 2012.

*Distribución log-normal:* esta forma parece plausible especialmente en países con centralidad media en adelante, aunque también podría ajustarse a países de centralidad baja al final del período. Además, la forma no parece plausible en 1993, posiblemente en 2009, y en el tramo 2012-2015.

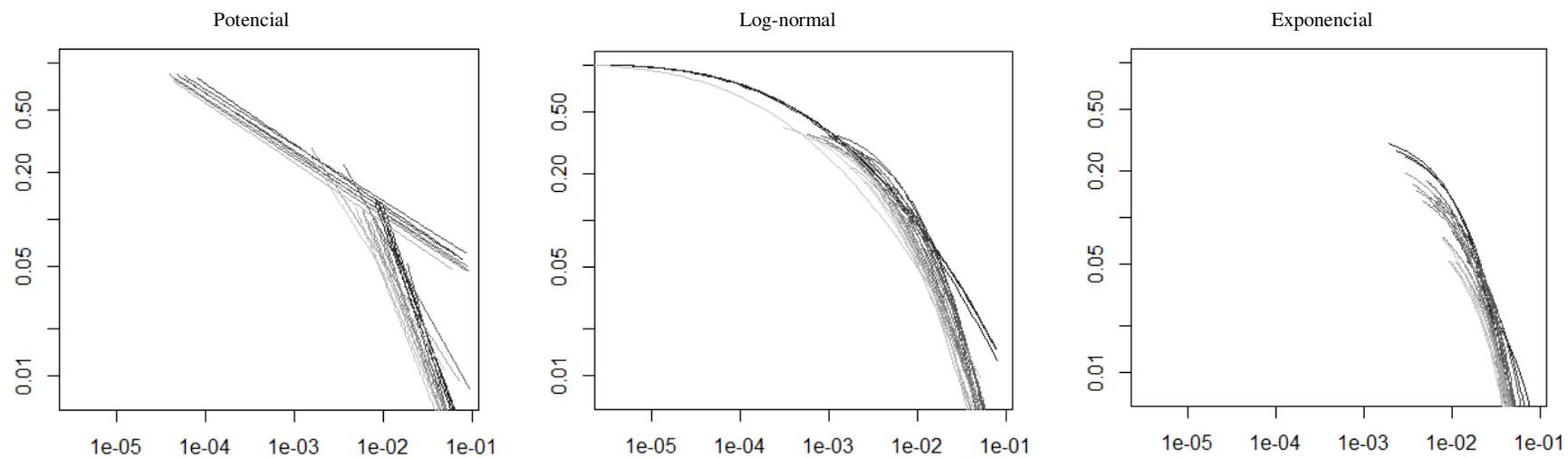
*Distribución exponencial:* esta forma parece plausible solo en países con centralidad media a alta, similar a lo reportado por Kastle *et al.* (2006) para países de altas conexiones. Además, la forma no parece plausible en 1999-2002, 2005-2006, 2009-2011 y 2013-2014.

De estos patrones destaca que el único año en donde ninguna forma teórica sería plausible es 2009, precisamente cuando se registró una caída generalizada de la centralidad como posible reflejo de la crisis económica mundial (véase Gráfico 3).

Tales resultados, en donde es estadísticamente plausible que la centralidad siga una distribución potencial, log-normal o exponencial, ratifican –como sugiere De Benedectis *et al.* (2014)– que pocos países concentran la mayor influencia comercial mundial. Adicionalmente, dicha concentración sería más compleja que una *libertad de escala* generalizada, lo cual se explicaría porque la distribución podría ser de un tipo para países “centrales” y de otro para “periféricos” (quizá similar a la distribución potencial del Gráfico 7). Para evaluar esta posibilidad, se podría replantear la plausibilidad, proponiendo como hipótesis que la centralidad se ajustaría a una distribución anidada o compuesta (por ejemplo, combinaciones entre formas potencial, log-normal, exponencial u otras)<sup>35</sup>. Dejamos planteada esta idea para investigaciones futuras.

<sup>35</sup> Para una primera idea sobre tal procedimiento, véase Clauset *et al.* (2009: 698).

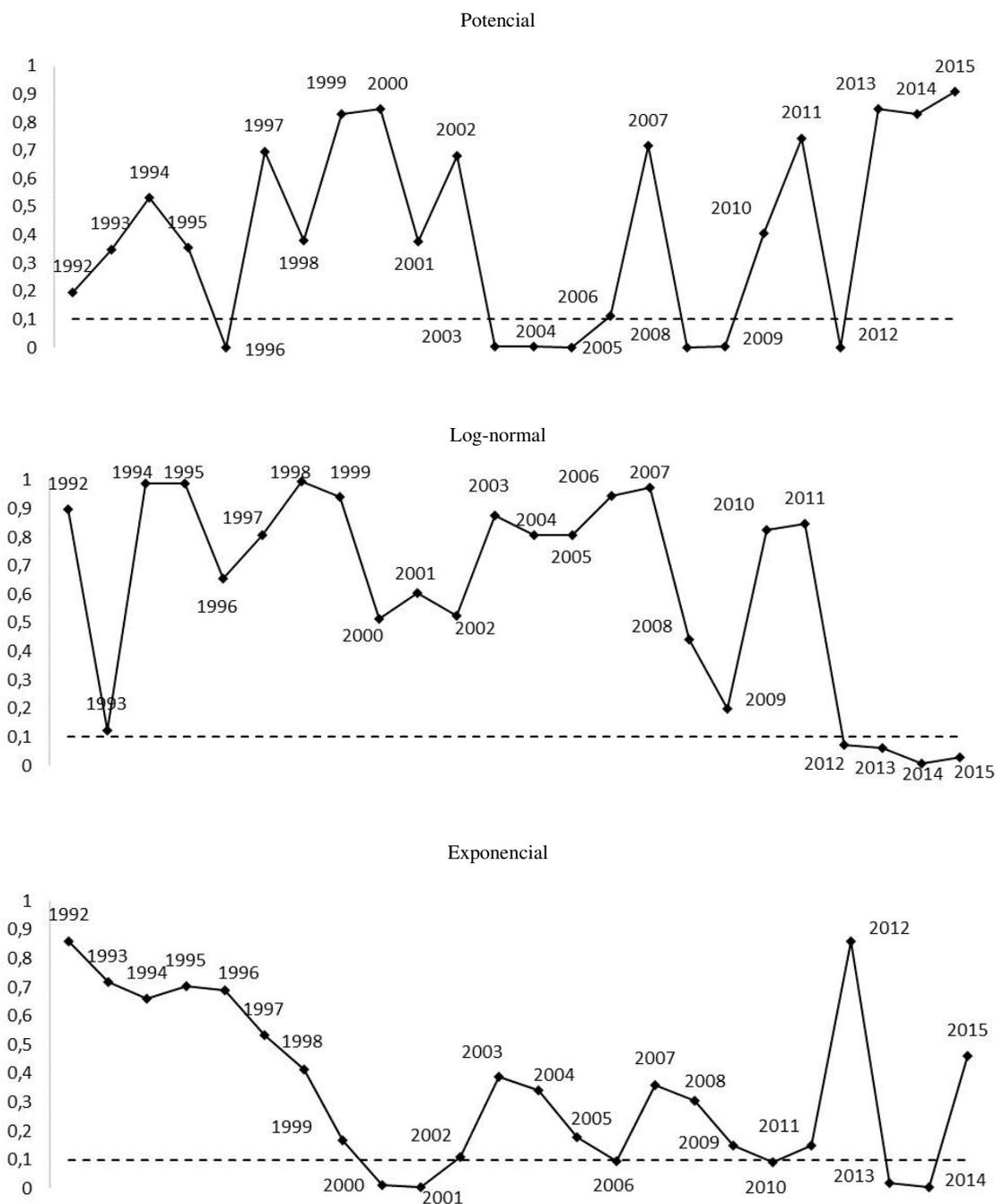
**Gráfico 7:** Distribuciones teóricas ajustadas a la centralidad (1992-2015)



**Nota:** distribuciones teóricas ajustadas para cada año usando los parámetros que minimizan el estadístico Kolmogorov-Smirnov (véase Clauset *et al.*, 2009: 669-673). La distribución más clara corresponde a 1992 y la más oscura a 2015. Escala log-log. Eje horizontal: centralidad. Eje vertical: distribución acumulativa complementaria.

**Fuente:** estimación propia con información de Naciones Unidas y Banco Mundial.

**Gráfico 8:** Valor  $p$  del test de plausibilidad (1992-2015)



**Nota:** hipótesis nula: la distribución teórica es una explicación *plausible* para los datos empíricos. Valores obtenidos por Bootstrap con 500 simulaciones por dato (véase Clauset *et al.*, 2009: 675-8).

**Fuente:** estimación propia con información de Naciones Unidas y Banco Mundial.

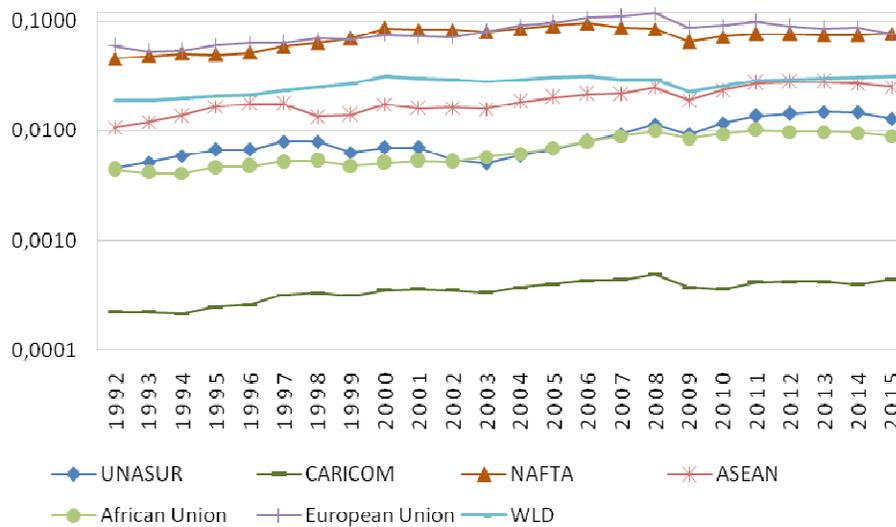
### 4.3. Analizando grupos de países

Aplicamos ahora la propuesta metodológica de la Sección 3 a grupos de países para evaluar la capacidad de los indicadores propuestos de describir la fortaleza de la integración comercial de un grupo de países. Para ello, hemos seleccionado grupos con representatividad regional y que faciliten la identificación de posibles

estructuras centro-periféricas: UNASUR<sup>36</sup>, CARICOM<sup>37</sup>, NAFTA<sup>38</sup>, ASEAN<sup>39</sup>, Unión Africana<sup>40</sup> y Unión Europea<sup>41</sup>.

Empezamos mencionando que, tal como se obtuvo la centralidad de países específicos, también es posible obtenerla para grupos de países, considerando al grupo como un solo nodo agregado en la red de comercio. El Gráfico 9 muestra los resultados de dicho procedimiento, indicando que entre 1992 y 2015, Norteamérica y Europa Occidental siempre toman las posiciones más elevadas; en 2015, un aumento de un punto porcentual en el ingreso de NAFTA aumentó en 0,0777 puntos porcentuales el ingreso del resto del mundo, mientras que la Unión Europea tuvo un efecto de 0,0758 puntos. Luego está ASEAN, con una centralidad intermedia (0,0249), mientras que UNASUR (0,0128), la Unión Africana (0,0089) y especialmente el CARICOM (0,0004) muestran centralidades bajas.

**Gráfico 9:** Centralidad por grupos de países



**Nota:** escala logarítmica. Centralidad estimada considerando a cada grupo como un solo nodo en la red de comercio. WLD: promedio mundial.

**Fuente:** estimación propia con información de Naciones Unidas y Banco Mundial.

Respecto al índice de cohesión de cada grupo ( $\gamma_G$ ), el Gráfico 10 muestra que Norteamérica y Europa Occidental ocupan nuevamente los primeros lugares: NAFTA presenta una cohesión de 0,3177, mientras que la Unión Europea mostró un índice de 0,2976. Muy por debajo está la cohesión de UNASUR (0,0190) y ASEAN (0,0125), y aún más abajo se ubica la Unión Africana (0,0032) y CARICOM (0,0001). Así, en términos relativos, Norteamérica y Europa Occidental tendrían vínculos internos mucho más fuertes que otras regiones.

<sup>36</sup> Unión de Naciones Suramericanas, conformada en 2011 (12 países).

<sup>37</sup> Comunidad del Caribe, conformada en 1973 (15 países).

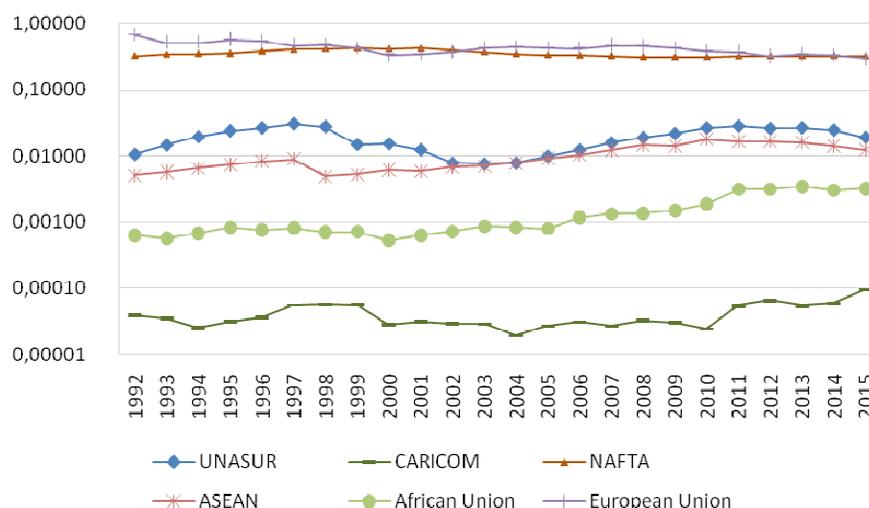
<sup>38</sup> Tratado de Libre Comercio de América del Norte, conformado en 1994 (3 países).

<sup>39</sup> Asociación de Naciones del Sudeste Asiático, creada en 1967 (10 países).

<sup>40</sup> Conformada en 2001 (54 países).

<sup>41</sup> Conformada en 1993 (28 países).

**Gráfico 10: Cohesión por grupos de países**

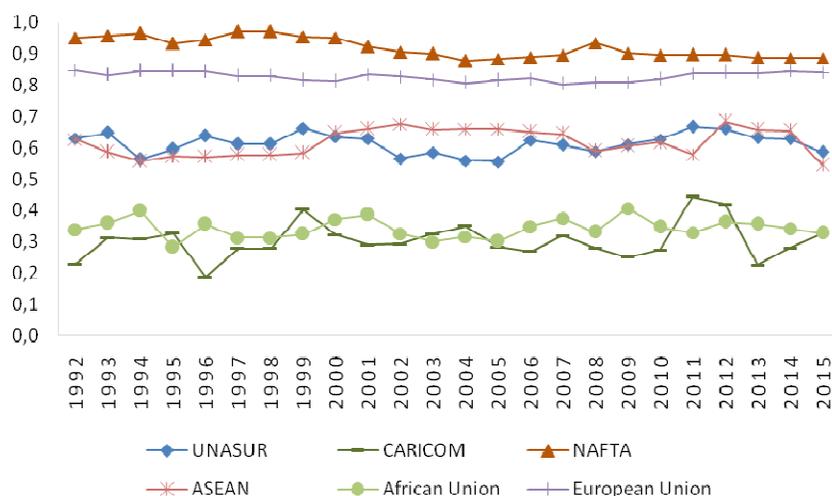


**Nota:** escala logarítmica.

**Fuente:** estimación propia con información de Naciones Unidas y Banco Mundial.

Pasando al índice de balance de comercio industrial intra-grupo ( $GL_G$ ), primero necesitamos diferenciar los flujos comerciales entre productos primarios y no primarios (industrializados). Para ello, usamos la clasificación tecnológica de Lall (2000)<sup>42</sup>, la cual permite identificar explícitamente como productos no primarios a las manufacturas basadas en recursos, y de tecnología baja, media o alta. Con esta clasificación aplicada a la propuesta metodológica de la Sección 3, obtenemos los resultados del Gráfico 11, donde nuevamente Norteamérica y Europa Occidental son primeros: NAFTA con un índice de 0,8856 y la Unión Europea con 0,8411. Tales resultados indicarían que el comercio entre los países al interior de estos grupos tiende a generar incentivos similares a la industrialización para todos los miembros (recordando que el índice va de 0 a 1, donde 1 indica un balance intra-industrial total).

**Gráfico 11: Balance comercio industrial intra-grupo por grupos de países**



**Fuente:** estimación propia con información de Naciones Unidas y Banco Mundial.

<sup>42</sup> Esta clasificación distingue cinco niveles tecnológicos usando codificación SITC revisión 2 a 3 dígitos.

Luego, con un balance intermedio, están UNASUR (0,5871) y ASEAN (0,5444), mientras que la Unión Africana (0,3273) y CARICOM (0,3267) presentan balances bajos, indicando que el comercio al interior de estos grupos no tiende a beneficiar igualmente a sus miembros en incentivar la industrialización; al menos, no al mismo nivel que NAFTA y la Unión Europea. Un índice de balance intermedio y bajo podría indicar que hay países que concentran exportaciones industrializadas mientras que otros estarían estancados en exportaciones primarias. Esa disparidad entre miembros de los grupos podría incluso presionar a que éstos amplíen sus nexos comerciales con países fuera de los grupos, lo cual podría explicar –al menos parcialmente– su baja cohesión (Pérez Oviedo *et al.*, 2017).

Todos los resultados presentados muestran que NAFTA y la Unión Europea son grupos con la mayor centralidad, cohesión y balance industrial intra-grupo, características posiblemente acordes a países de alto desarrollo. Respecto al grupo del sudeste asiático, ASEAN, hay una posición intermedia, pudiendo reflejar que sus miembros se encontrarían entre los “centros” y la “periferia”. En cuanto a UNASUR, su baja centralidad se combina con niveles intermedios de cohesión y balance industrial intra-grupo, posiblemente indicando que, si bien sus países son cercanos a la “periferia”, mantienen características similares y hay interacciones internas relevantes<sup>43</sup>. Por su parte, CARICOM y la Unión Africana se muestran endeble en todos los indicadores, posiblemente indicando que sus miembros serían aún más cercanos a la “periferia” de la red de comercio internacional.

Ahora, cabe indicar que una mirada completa sobre la fortaleza comercial de grupos de países necesita un análisis más exhaustivo. Incluso, como posible investigación futura, se podría estimar los indicadores propuestos en este artículo para *todas las combinaciones posibles* de países participantes en el comercio mundial y evaluar hasta qué punto los grupos de mayor centralidad, cohesión y balance industrial intra-grupo coinciden con múltiples acuerdos comerciales –tomando la intuición de Barigozzi *et al.* (2011) sobre estructuras comunitarias–.

## 5. CONCLUSIONES

Al revisar la literatura referente al estudio del comercio internacional desde un enfoque de redes, hemos encontrado un limitante: la falta de contenido económico en los indicadores genéricos utilizados desde la teoría de redes (con pocas excepciones). Ante esta carencia, hemos presentado una alternativa metodológica que intente describir las especificidades del comercio internacional visto desde un enfoque de red, pero recogiendo –al menos parcialmente– la complejidad económica que parece ausente en la literatura (por ejemplo, retroalimentaciones y otros efectos causados por la interacción comercial entre países) e incluso aclarando los supuestos detrás de la propuesta planteada (los cuales podrían modificarse en investigaciones futuras).

Así, al aplicar la propuesta metodológica sobre información de las Naciones Unidas y el Banco Mundial para 145 países entre 1992 y 2015, hemos podido estimar un indicador de centralidad propio (y económicamente interpretable), así como construir redes y mapas de estructura de comercio. Tales herramientas nos permitieron identificar a los posibles países más influyentes en el comercio mundial (Estados Unidos, China y Alemania, entre otros), así como identificar potenciales estructuras centro-periféricas regionales. También, al analizar estadísticamente la distribución entre países de la

---

<sup>43</sup> Como señalan Pérez-Oviedo *et al.* (2017), tal resultado sería causado por el MERCOSUR, quizá uno de los bloques comerciales sudamericanos de mejor desenvolvimiento.

centralidad estimada, hemos encontrado que ésta sería altamente heterogénea, sin que necesariamente se ajuste a un tipo particular de distribución ni que exista una *libertad de escala* general para todos los participantes del comercio internacional (abriéndose la posibilidad para investigaciones futuras que evalúen tal distribución, que posiblemente podría ser de tipo *anidado y complejo*, con diferentes formas entre países “centrales” y “periféricos”). Pero, a pesar de esa heterogeneidad, está claro que la centralidad se concentra en muy pocos países, concentración que se habría acentuado entre 1992 y 2015.

Otro resultado relevante obtenido es la evaluación de la “fortaleza comercial” de grupos de países relevantes en términos regionales, encontrando que Norteamérica y Europa Occidental serían las regiones de mayor “centralidad”, “cohesión” y “balance comercial intra-industrial” en el mundo. Por su parte, el sudeste asiático tendría una situación intermedia en estos criterios; cosa similar sucedería en Sudamérica, aunque en este continente los países estarían más cercanos a la “periferia” dada su baja centralidad. Respecto a Centroamérica y África, parecería que estas regiones son las más débiles en términos comerciales en las tres dimensiones analizadas, denotando una cercanía aún mayor a la “periferia” en comparación a Sudamérica.

Todos estos resultados, que parecen describir adecuadamente la complejidad del comercio internacional, nos sirven de evidencia para decir que la metodología propuesta en este artículo es una alternativa válida para superar las limitaciones existentes en la literatura, y brindar un sentido económico al comercio internacional visto como red.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abeysinghe, T. y Forbes, K. (2005). Trade linkages and output-multiplier effects: a structural VAR approach with a focus on Asia. *Review of International Economics*, 13(2), 356-375.
- Albert, R. y Barabási, A. L. (2002). Statistical mechanics of complex networks. *Reviews of Modern Physics*, 74(1), 47-97.
- Amin, S. (1974). *Accumulation on a World Scale: A Critique of the Theory of Underdevelopment*. New York: Monthly Review Press.
- Baier, S. L. y Bergstrand, J. H. (2007). Do Free Trade Agreements Actually Increase Members' International Trade? *Journal of International Economics*, 71(1), 72-95.
- Barabási, A. L., y Albert, R. (1999). Emergence of scaling in random networks. *Science*, 286, 509-512.
- Barigozzi, M.; Fagiolo, G. y Garlaschelli, D. (2010). Multinetwork of international trade: A commodity-specific analysis. *Physical Review E*, 81(4), 046104.
- Barigozzi, M.; Fagiolo, G. y Mangioni, G. (2011). Identifying the community structure of the international-trade multi-network. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 390(11), 2051-2066.
- Barrat, A.; Barthelemy, M.; Pastor-Satorras, R. y Vespignani, A. (2004). The architecture of complex weighted networks. *PNAS*, 101(11), 3747-3752.
- Bauch, J. (2001). Business and Social Networks in International Trade. *Journal of Economic Literature*, 39(4), 1177-1203.
- Beaton, K.; Cebotari, A.; Ding, X. y Komaromi, A. (2017). Trade Integration in Latin America: A Network Perspective. *IMF Working Paper WP/17/148*, 33 pp.

- Bonacich P. y Lloyd, P. (2001). Eigenvector-like measures of centrality for asymmetric relations. *Social Networks*, 23(3), 191-201.
- Bhattacharya, K.; Mukherjee, G.; Sarmaki, J.; Kaski, K. y Manna, S. (2008). The international trade network: Weighted network analysis and modelling. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, P02002, 10 pp.
- Cepeda, F.; Gamboa, F.; León, C. y Rincón, H. (2017). The evolution of world trade from 1995 to 2014: A network approach. *Borradores de Economía*, No.985, 38 pp.
- Chaney, T. (2014). The Network Structure of International Trade. *American Economic Review*, 104(11), 3600-3634.
- Clauset, A.; Shalizi, C. R. y Newman, M. E. J. (2009). Power-law distributions in empirical data. *SIAM Review*, 51(4), 661-703.
- Csardi, G. y Nepusz, T. (2006). The igraph software package for complex network research. *InterJournal, Complex Systems*, 1695, 9 pp. Recuperado de <http://necsi.org/events/iccs6/papers/c1602a3c126ba822d0bc4293371c.pdf>.
- De Benedictis, L. y Tajoli, L. (2011). The world trade network. *The World Economy*, 34(8), 1417-1454.
- De Benedictis, L.; Nenci, S.; Santoni, G.; Tajoli, L. y Vicarelli, C. (2014). Network Analysis of World Trade using the BACI-CEPII Dataset. *Global Economy Journal*, 14(3-4), 287-343.
- Fagiolo, G.; Reyes, J. y Schiavo, S. (2008). On the Topological Properties of the World Trade Web: A Weighted Network Analysis. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 387(15), 3868-3873.
- Fagiolo, G.; Reyes, J. y Schiavo, S. (2010). The evolution of the world trade web: A weighted network analysis. *Journal of Evolutionary Economics*, 20(4), 479-514.
- Fagiolo G.; Schiavo, S. y Reyes, J. (2009). World-trade web: Topological properties, dynamics, and evolution. *Physical Review*, E 79, 036115.
- Feenstra, R.; Lipsey, R.; Haiyan, D.; Ma, A., y Mo, H. (2005). World Trade Flows, 1962–2000. *NBER Working Paper*, No.11040, 63 pp.
- Furtado, C. (1975). *El desarrollo económico: un mito*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Furusawa, T. y Konishi, H. (2007). Free trade networks. *Journal of International Economics*, 72, 310-335.
- Gabaix, X. (2009). Power Laws in Economics and Finance. *Annual Review of Economics*, 1, 255-293.
- Gabaix, X. (2011). The Granular Origins of Aggregate Fluctuations. *Econometrica*, 79(3), 733-772.
- Garlaschelli, D. y Loffredo, M. (2005). Structure and evolution of the world trade network. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 355(1), 138-144.
- Gillespie, C. S. (2015). Fitting Heavy Tailed Distributions: The powerLaw Package. *Journal of Statistical Software*, 64(2), 16 pp. Recuperado de <https://www.jstatsoft.org/article/view/v064i02>.
- Goyal, S. (2007). *Connections. An Introduction to the Economics of Networks*. Princeton: Princeton University Press.
- Goyal, S. y Joshi, S. (2006). Bilateralism and Free Trade. *International Economic Review*, 47(3), 749-778.

- Grubel, H. G. y Lloyd, P. J. (1975). *Intra-industry Trade: The Theory and Measurement of International Trade in Differentiated Products*. Londres: MacMillan.
- Hidalgo, C. y Hausmann, R. (2009). The building blocks of economic complexity. *PNAS*, 106(26), 10570-10575.
- Hilgerdt, F. (1942). *The Network of World Trade*. Génova: League of Nations.
- Hilgerdt, F. (1943). The case for multilateral trade. *American Economic Review*, 33(1), 393-407.
- Jackson, M. (2010). *Social and economic networks*. Princeton: Princeton University Press.
- Kahouli, B. y Maktouf, S. (2014). The link between regional integration agreements, trade flows and economic crisis: A static and dynamic gravity model. *International Journal of Development Issues*, 13(1), 35-58.
- Kahouli, B. y Maktouf, S. (2015). Trade creation and diversion effects in the Mediterranean area: Econometric analysis by gravity model. *The Journal of International Trade & Economic Development*, 24(1), 76-104.
- Kali, R. y Reyes., J. (2007). The architecture of globalization: a network approach to international economic integration. *Journal of International Business Studies*, 38(4), 595-620.
- Kastelle, T.; Steen, J. y Liesch, P. (2006). Measuring globalisation: An evolutionary economic approach to tracking the evolution of international trade. En: *DRUID Summer Conference 2006*, Copenhagen, 18-20 junio 2006 (Paper #141, 41 pp.) Danish Research Unit for Industrial Dynamics.
- Krugman, P. (1980). Scale Economies, Product Differentiation, and the Patterns of Trade. *American Economic Review*, 70(5), 950-959.
- Kruskal, J. B. (1956). On the shortest spanning subtree and the traveling salesman problem. *Proceedings of the American Mathematical Society*, 7(1), 48-50.
- Lall, S. (2000). The Technological Structure and Performance of Developing Country Manufactured Exports, 1985-98. *Oxford Development Studies*, 28(3), 337-369.
- Linnemann, H. (1966). *An Econometric Study of International Trade Flows*. Ámsterdam: North-Holland.
- Li, X.; Jin, Y. Y. y Chen, G. (2003). Complexity and synchronization of the World Trade Web. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 328(1-2), 287-296.
- Love, J. (1996). *Crafting the third world: Theorizing Underdevelopment in Rumania and Brazil*. Stanford: Stanford University Press.
- Love, J. (2011). The Latin American contribution to center-periphery perspectives: history and prospect. En P. Hanns y B. Szelényi (eds.), *Cores, peripheries, and globalization. Essays in honor of Ivan T. Berend* (pp. 15-42), Budapest: Central European University Press.
- Maeng, S. E.; Choi, H. W. y Lee, J. W. (2012). Complex networks and minimal spanning trees in international trade networks. *International Journal of Modern Physics: Conference Series*, 16, 51-60.
- Meila, M. (2007). Comparing Clusterings – an Information Based Distance. *Journal of Multivariate Analysis*, 98(5), 873-895
- Mitchell, M. (2009). *Complexity: A guided tour*. New York: Oxford University Press.

- Naciones Unidas (2015). *Base de datos COMTRADE*. Recuperado de <http://comtrade.un.org/>.
- Nemeth, R. y Smith, D. (1985). International Trade and World System Structure: A Multiple Network Analysis. *Review*, 8(4), 517-560.
- Newman, M. E. J. y Girvan, M. (2004). Finding and evaluating community structure in networks. *Physical Review E*, 69(2), 026113.
- Pérez-Oviedo, W. y Cajas-Guijarro, J. (2017). Indicadores de comercio internacional bajo un enfoque de redes ponderadas-direccionadas. *SSRN Working Paper Series*, 17 pp. Recuperado de <https://ssrn.com/abstract=3006778>.
- Pérez-Oviedo, W.; Cajas-Guijarro, J. y Vallejo, M. C. (2017). South America: Trade and integration in the new global trade network. En: E. Vivares (ed.), *South America after the end of the commodities boom: Words from the South on unequal development* (pp. 121-145), Londres: Palgrave-Macmillan.
- Piccardi, C. (2011). Finding and Testing Network Communities by Lumped Markov Chains. *PLoSOne*, 6(11), e27028.
- Piccardi, C. y Tajoli, L. (2015). Are preferential agreements significant for the world trade structure? A network community analysis. *Kyklos*, 68(2):220-239.
- Prebisch, R. (1949). *El desarrollo económico de América Latina y algunos de sus principales problemas*. Santiago: CEPAL.
- Reyes, J., Wooster, R. y Shirrell, S. (2014). Regional trade agreements and the pattern of trade: A networks approach. *The World Economy*, 37(8), 1128-1151.
- Samuelson, P. (1954). The Transfer Problem and Transport Costs, II: Analysis of Effects of Trade Impediments. *Economic Journal*, 64(254), 264-289.
- Saul, S. B. (1954). Britain and World Trade, 1870–1914. *Economic History Review*, 7(1), 49-66.
- Serrano, M. A. (2007). Phase transition in the globalization of trade. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 2007(1), L01002, 7 pp.
- Serrano, M. A. y Boguñá, M. (2003). Topology of the world trade web. *Physical Review E*, 68(1), 015101.
- Serrano, M. A.; Boguñá, M. y Vespignani, A. (2007). Patterns of dominant flows in the world trade web. *Journal of Economic Interaction and Coordination*, 2(2), 111-124.
- Simoes, A. e Hidalgo, C. (2011). The Economic Complexity Observatory: An Analytical Tool for Understanding the Dynamics of Economic Development. En: O. J. Mengshoel, T. Selker y H. Lieberman (eds.), *Scalable Integration of Analytics and Visualization: Papers from the 2011 AAAI Workshop (WS-11-17)* (pp. 39-42), Menlo Park: AAAI Press.
- Skowron, P.; Karpierz, M.; Fronczak, A. y Fronczak, P. (2015). Spanning trees of the world trade web: real-world data and the gravity model of trade. *Acta Physica Polonica A*, 127, A123-A128.
- Smith, D. y White, D. (1992). Structure and Dynamics of the Global Economy: Network Analysis of International Trade 1965-1980. *Social Forces*, 70(4), 857-893.

- Snyder, D. y Kick, E. (1979). Structural Position in the World System and Economic Growth, 1955-1970: A Multiple Network Analysis of Transnational Interactions. *American Journal of Sociology*, 84(5), 1096-1126.
- South, A. (2011). rworldmap: A New R package for Mapping Global Data. *The R Journal*, 3(1), 35-43.
- Tinbergen, J. (1962). *Shaping the World Economy; Suggestions for an International Economic Policy*. New York: Twentieth Century Fund.
- Tzekina, I.; Danthi, K. y Rockmore, D. (2008). Evolution of community structure in the World Trade Web. *The European Physical Journal B-Condensed Matter*, 63 541-545.
- Vega Redondo, F. (2007). *Complex Social Networks*. New York: Cambridge University Press.
- Wallerstein, I. (1974a). *The modern world system I: Capitalist agriculture and the origins of the European world-economy in the sixteenth century*. New York: Academic Press.
- Wallerstein, I. (1974b). The Rise and Future Demise of the World Capitalist System: Concepts for Comparative Analysis. *Comparative Studies in Society and History*, 16(4), 387-415.
- Wasserman, S. y Faust, C. (1994). *Social Network Analysis*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Zenou, Y. (2013). Networks in Economics. En: J. Wright (ed.), *International Encyclopedia of Social and Behavioral Sciences*, 2<sup>nd</sup> Edition (pp. 572-581) Ámsterdam: Elsevier.