



# Un enfoque de red para estudiar los efectos de la inversión extranjera directa sobre el crecimiento económico\*

*A network approach to study the effects of foreign direct investment on economic growth*

**MATÍAS PARDINI**

Universidad de Buenos Aires (CABA, Argentina)  
[matias.pardini@fce.uba.ar](mailto:matias.pardini@fce.uba.ar)

**GABRIEL MONTES ROJAS**

Universidad de Buenos Aires y Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CABA, Argentina)  
[gabriel.montes@fce.uba.ar](mailto:gabriel.montes@fce.uba.ar)

## RESUMEN

*Los estudios empíricos de la Inversión Extranjera Directa (IED) han generado evidencia ambigua sobre el signo y la magnitud que esta ejerce sobre el crecimiento económico. En este trabajo se usa un enfoque de redes para evaluar si la interconectividad de los flujos de IED, medida a través de la centralidad en redes, tiene un efecto sobre el crecimiento. Se utiliza una base de datos por origen y destino del flujo de IED entre 175 países en el período comprendido entre 2001 y 2012. Los resultados indican un efecto negativo para la centralidad local (grado) y positivo para las medidas de centralidad global sobre el crecimiento económico. Este último resultado sugiere que la propensión de la IED a generar efectos positivos sobre el crecimiento reside en la mayor interconectividad de los países con otros de mejor posicionamiento relativo en las redes globales de inversión.*

Palabras clave: Inversión extranjera directa; redes; crecimiento económico .

Código JEL: F15; F21.

Fecha de recepción: 04/05/2020.

Fecha de aceptación: 24/10/2020.

\*. Los autores agradecen los comentarios recibidos por el Editor, Prof. Pedro Moncarz, y por dos evaluadores anónimos que han contribuido a mejorar este trabajo.



**ABSTRACT**

*Empirical papers on Foreign Direct Investment (FDI) produced ambiguous evidence on the sign and magnitude that it has on economic growth. This paper uses a network approach to evaluate if interconnectedness measures of FDI flows, namely network centrality, have an effect on growth. It uses a database of 175 countries for the 2001-2012 period. Results indicate that there is a negative effect of local centrality (degree) and a positive one for global centrality measures on economic growth. The latter result suggests that the ability of FDI to produce positive effects on economic growth relies on the degree of interconnectedness of the countries to others with a relatively better position in the global investment network.*

Keywords: Foreign direct investment; networks; economic growth.

JEL Code: F15; F21.

**I. INTRODUCCIÓN**

El economista Kenneth Arrow realizó una analogía que podría haber resultado llamativa en la economía en la que él vivía: la difusión tecnológica puede ser un fenómeno similar a la transmisión de una enfermedad infecciosa, porque necesita del contacto entre individuos que portan el conocimiento para materializarse (Arrow, 1971). En las economías modernas, estas unidades individuales pueden ser representadas por las firmas o corporaciones multinacionales que transfieren tecnología de sus procesos productivos entre sus filiales localizadas alrededor del mundo a través de la Inversión Extranjera Directa (*IED*) y, tal como expuso Findlay (1978), esta última es la herramienta principal para reducir el *gap* tecnológico entre regiones de distinto desarrollo relativo. Por ende, la *IED* es fundamental para comprender el progreso tecnológico, uno de los factores fundamentales del crecimiento económico.

Sin embargo, el impacto de la *IED* y su creciente importancia en el desarrollo de las economías abiertas han sido un eje de discusión de la teoría económica desde hace algunas décadas, dado que la globalización ha reforzado sus efectos y consecuencias en una amplitud sin precedentes. A su vez, este suceso ha sido acompañado por una mayor apertura de las naciones al mercado mundial de bienes y servicios, lo cual ha permitido que el ingreso de la *IED* a los países haya crecido sostenidamente desde la

década del 80, cuando se encontraba en alrededor del 0.5% del PBI, hasta alcanzar picos del 5.2% previo a la crisis del 2008 y luego mantenerse entre el 2% y el 3% del PBI.<sup>1</sup>

La razón por la cual la literatura económica se ha interesado en el fenómeno de la *IED* parte de la conjetura, usualmente aceptada, de que esta produce efectos favorables sobre la economía receptora porque generalmente solo aquellas firmas más productivas pueden expandirse al extranjero y, en consecuencia, se concluye que esto permite acceder a las mejores prácticas y al conocimiento de frontera necesario para encaminarse en el largo sendero del desarrollo económico. Por otra parte, la *IED* se ha convertido en la fuente más grande de financiamiento externo para las economías en desarrollo, sobrepasando la asistencia internacional, las remesas y las inversiones de portafolio. En 2016, más del 40% de los 1.75 billones del flujo de *IED* fue dirigido hacia los países en desarrollo, proveyendo una gran cantidad de capital privado. Además de ser una fuente de financiamiento, sus beneficios confieren el *know-how* técnico, las capacidades de gestión y *management* que brindan el potencial de transformar a las economías a través de la innovación, el aumento de la productividad y la creación de trabajos con mejores salarios y de mayor estabilidad.<sup>2</sup> A estos beneficios se los conoce como *spillovers*, por su denominación en la literatura en inglés.

En consecuencia, el presente trabajo realiza un abordaje alternativo para analizar los efectos de la *IED* en cuanto a la centralidad de los flujos en redes sobre el crecimiento económico. El estudio de las redes económicas permite entender mejor la estructura y la dinámica del funcionamiento de la economía, ya que los sistemas económicos se construyen sobre interdependencias que se implementan a través de redes internacionales de inversión, conocimiento, comercio, etc. Se necesita, entonces, un enfoque que destaque la complejidad sistémica que caracteriza a la economía global, y que a su vez sirva para expandir las teorías modernas (Schweitzer *et al.*, 2009). Las redes, naturalmente, suelen dar cuenta de características propias de los sistemas complejos que se representan en ella y que muchas veces son independientes del análisis de los componentes que la conforman. Esto complementa el análisis empírico de los efectos de a la *IED*, dado que diver-

---

1. Ratio de ingreso neto de *IED* sobre el PBI, datos del Banco Mundial (Disponible en: <https://data.worldbank.org/indicator/bx.klt.dinv.wd.gd.zs>).

2. Ver Global Investment Competitiveness Report (1,2 y 3).

Los trabajos han considerado que la interacción de los países con otros que cuentan con niveles de tecnología y conocimiento más avanzados, así como los patrones de comunicación entre ambos, constituyen un factor fundamental en el entendimiento de las relaciones de causa y efecto que explican el crecimiento y el desarrollo económico.

Se construyen las redes anuales para el período 2001-2012 de los flujos de *IED*, y se realiza un análisis de la centralidad de los nodos o países de esas redes para obtener variables que capturen características relacionadas con la posición relativa de cada país y su capacidad de captar la *IED* que traslada el *know-how* y otros factores que influyen sobre el crecimiento económico. Esta centralidad se usa como factor explicativo del crecimiento económico (PBI per cápita). Esto último se enmarca en la necesidad explicitada por Bolívar *et al.* (2019) de llenar el *gap* en el estudio de los flujos de *IED* que ha dejado de lado las características relacionales de los países integrados a la red global, a los patrones de poder que existen entre ellos y cómo esto impacta en la *performance* económica de los mismos. La contribución de este trabajo radica en encontrar evidencia empírica sobre el impacto de estos factores identificándolos en las estructuras de red e incorporándolos al análisis del crecimiento económico para aportar al estudio de los flujos de *IED*, el crecimiento económico y las redes complejas.

El resultado principal de este estudio es que el efecto de las medidas globales de centralidad sobre el crecimiento económico es positivo, en línea con una visión amplia de la red mundial de *IED* que incorpora tanto los aspectos normativos de los países, sus políticas y relaciones, como los aspectos específicos de las industrias que en ellos se localizan. Por otro lado, el efecto de la centralidad local es negativo, lo cual indica que no es tan importante la cantidad de países con los que se intercambian flujos de *IED*, sino más bien la ubicación y procedencia de esos flujos en el contexto de la red global.

El trabajo se organiza de la siguiente manera. En la Sección II se hace un repaso de la bibliografía, y en la Sección III se realiza un análisis descriptivo de la red y los datos utilizados. En la Sección IV se presentan los modelos econométricos y en la Sección V se realiza una interpretación de sus resultados. Finalmente, en la Sección VI se concluye.

## II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Avanzado el siglo XX, la teoría predominante era aquella que explicaba el crecimiento como una variable exógena, ya sea a partir del crecimiento de los factores de la producción o de la productividad total de factores, véase Solow (1956) y Swan (1956) como el modelo fundacional. Luego, se buscó explicar el crecimiento como una variable endógena. Por ejemplo, Romer (1986) expone un modelo que permite que el crecimiento económico no sea necesariamente convergente a una tasa estable, sino que a través de la acumulación de conocimientos generados por las firmas que introducen nuevas tecnologías e invierten en innovación se genera un proceso cuyas externalidades positivas y *spillovers* de conocimiento permiten alcanzar tasas crecientes en el tiempo.<sup>3</sup> En un trabajo subsiguiente, Romer (1993) toma en cuenta la existencia de dos tipos de *gaps* entre los países avanzados y los rezagados: el *gap* de objetos, cuando un país carece de objetos físicos tales como maquinarias y tecnología, y el *gap* de ideas, cuando este carece de los conocimientos necesarios para crear valor en una economía moderna. Esto provoca una ruptura entre el punto focal al que se dedican los estudios empíricos, pues el *gap* de objetos conduce la atención al ahorro y la acumulación, mientras que el *gap* de ideas conduce la atención hacia los patrones de interacción y comunicación entre los países. Dado que considera al *gap* de ideas como la clave para entender el desarrollo relativo, el conocimiento técnico toma un carácter más protagónico en el proceso del desarrollo económico y la incorporación de tecnología respecto de la frontera internacional se convierte en uno de los procesos fundamentales para las economías que desean embarcarse en el camino del crecimiento haciendo un *catch-up* hacia aquellas que mueven la frontera internacional.

---

3. Los *spillovers* de la *IED* pueden ocurrir a través de 5 canales principales: i) el canal de demostración o imitación; ii) movilidad en el mercado laboral; iii) exportación; iv) competencia; v) encadenamientos hacia atrás y adelante con firmas domésticas (Crespo *et al.*, 2007). Sin embargo, hay muchos condicionantes que determinan si los *spillovers* se producen o no, y gran parte de la literatura y la modelización teórica se ha dedicado a intentar determinar qué aspectos de las economías receptoras son esenciales para que esto suceda. La capacidad de absorción y el *gap* tecnológico condicionan el efecto derrame, porque si se establecen firmas de gran productividad en un país, pero los trabajadores no se encuentran con la capacitación necesaria para comprender y adoptar los procesos, es factible que la *IED* no logre canalizarse en mejoras de la productividad (Borensztein *et al.*, 1998). Asimismo, las características propias de la *IED* pueden ser determinantes: no es lo mismo cuando se produce por una fusión o adquisición que cuando se produce como una inversión de *greenfield* (se considera *greenfield* cuando la multinacional abre una subsidiaria en el país de destino en donde construye instalaciones, contrata nuevos/as empleados/as, etc.).

En este proceso es donde las corporaciones multinacionales adquieren un rol protagónico, porque son las encargadas de trasladar las prácticas e ideas más avanzadas hacia los países en desarrollo.

En paralelo, se desarrolló una vasta literatura que ha estudiado la relación entre la difusión tecnológica protagonizada por las empresas transnacionales y la *IED*. Por ejemplo, en Findlay (1978) se esboza un modelo en donde la difusión de tecnología, la apertura a la *IED* y el rol de las multinacionales sirve para explicar el crecimiento. Wang (1990) incorpora estas ideas a un modelo de crecimiento económico de dos países, asumiendo que el incremento en el conocimiento aplicado a la producción es una función de la *IED* dado que esta facilita el cambio tecnológico. Borensztein *et al.* (1998) estudian como la *IED* impacta sobre el crecimiento económico incorporando el rol del capital humano como factor explicativo de la capacidad de absorción de nuevas tecnologías que tiene una economía dada, y concluyen que los incrementos de la productividad y el conocimiento de la economía receptora de la *IED* están ligados al nivel de capital humano preexistente que actúa como factor limitante de dicho impacto sobre el crecimiento. Sus resultados, además, acentúan que el canal principal a través del cual la *IED* impacta este último es el progreso tecnológico y no la acumulación de capital.

Una visión alternativa, de carácter más institucionalista, fue expuesta por Alfaro *et al.* (2004). Este trabajo puso mayor énfasis en la calidad de los mercados financieros como el canal fundamental para que la *IED* genere efectos positivos sobre el crecimiento, desde una perspectiva más bien *schumpeteriana*. La conclusión es que el potencial que tiene la *IED* para generar encadenamientos hacia atrás (*backward linkages*) se ve impedido por el grado de desarrollo de los mercados financieros.

El análisis de la *IED* con un enfoque de redes se suele centrar en las firmas multinacionales como unidad de decisión, siendo ésta la que toma la iniciativa de explotar ventajas de propiedad, localización e internacionalización. Por ejemplo, De Masi *et al.* (2018) construyen la red de *IED outflows* para las empresas italianas buscando detectar los nodos claves del sistema y analizar las distintas estrategias de internacionalización de las firmas líderes; Chen *et al.* (1998) examinan la importancia de la decisión de localización de la *IED* para firmas taiwanesas a través de la teoría de los enlaces estra-

tégicos de Nohría y García Point (1991). A nivel de países, Bolívar *et al.* (2019) estudian la red global de *IED* construyendo una red del stock de *IED* para 229 economías y su relación con los tratados bilaterales de inversión, y concluyen que las características de los países como el tamaño, la apertura comercial, los niveles de capital humano y la estabilidad institucional no solo influyen la asignación de *IED*, sino también la estructura de la red y las relaciones de poder entre los nodos.

### III. DATOS Y VARIABLES

#### III.1. Datos

Para la realización de este trabajo se utilizó como fuente la base de Estadísticas Bilaterales de la UNCTAD (Conferencia del Trabajo y del Desarrollo de las Naciones Unidas) del 2014, ya que esta reúne información de 206 países recolectada de fuentes de información propias de cada país sobre la *IED*, cruzados en algunos casos con fuentes de otros países para compensar faltantes.

La base original se encontraba separada por país, dividido en “*inflow*”, “*outflow*”, “*instock*” y “*outstock*”. Para unificar la información, se eligió la información de “*inflow*” que se traspasó a una base única, siendo esta elección principalmente porque los países, generalmente, realizan un registro más minucioso de la inversión entrante, dado el impacto que esta tiene sobre la contabilidad nacional. Por otra parte, la elección del ingreso de *IED* en lugar del egreso responde a la necesidad de representar la transferencia de tecnología que se produce desde el exterior hacia el país bajo análisis, dado que no hay razón para considerar que el egreso de *IED* genere el efecto contrario (Borensztein *et al.*, 1998).

Por su parte, los datos sobre las variables de Producto Bruto Interno (PBI) e ingreso neto de *IED* fueron extraídos de World Development Indicators (WDI). En la Tabla 1 se exponen las estadísticas descriptivas básicas de las variables que se utilizan para los modelos de regresión. La variable *Crec. PBI pc* es la tasa de crecimiento anual medida como diferencia de los logaritmos de *PBI pc* a precios constantes. Se reportan también las principales medidas de redes usadas, descritas en la siguiente sección.

**Tabla 1: Estadísticas descriptivas por variable**

Variables	N	Promedio	Desv.est.	Min	Máx
<i>PBIpc</i> (constant US\$ 2010)	2,579	14,309.53	21,537.28	194.87	170,376
<i>IED</i> (%PBI)	2,45	6.515	23.26	-58.32	587.1
<i>Crec. PBI pc</i>	2,374	0.0239	0.0581	-0.978	0.797
<i>Degree-In</i>	2,287	10.61	11.92	0	69
<i>Eigen-Centrality</i>	2,287	0.239	0.225	0	1
<i>PageRank</i>	2,287	0.00517	0.00568	0.00108	0.0801

Fuente: elaboración propia en base a UNCTAD y WDI.

### III.2. Redes y centralidad

Las estructuras de red proveen la posibilidad de modelizar la interacción de una forma específica, que escapa a los análisis económicos más tradicionales. Una red, por su naturaleza, expresa la relación entre los elementos que la conforman y, por ende, la dependencia e interconexión de los mismos es un aspecto distintivo del cual surgen una multiplicidad de conclusiones que no son posibles de encontrar en otro tipo de análisis.

Para este trabajo, se recolectó información del flujo de inversión extranjera directa entre todos los países del mundo disponibles en la base de datos de la Conferencia sobre el Comercio y el Desarrollo de las Naciones Unidas (UNCTAD, por sus siglas en inglés) con el objetivo de poder elaborar gráficos de red para cada uno de los años comprendidos entre el 2001 y el 2012 (años para los cuales la información está disponible), y extraer de ellos diversas medidas de cohesión e interconexión que permitan profundizar el contraste empírico de los efectos de la *IED* sobre el crecimiento económico.

La definición de cada red anual se puede simplificar de la siguiente manera: sea la red  $IED_{\text{año}}(N, g)$ , para la cual  $N = \{1, 2, \dots, n\}$  es el conjunto de los países o nodos, y sean  $\{g_{ij}\}$  los enlaces o *links* que conectan a los mismos. En este caso, los *links* son los flujos de *IED* del país  $i$  al país  $j$ . Las redes  $IED_{\text{año}}$  son siempre redes direccionadas, dada la naturaleza del análisis. En todos los casos se han omitido los *links* con flujos nulos, lo que permite que la cantidad de nodos difiera a lo largo del período analizado.



En el estudio de las redes hay muchos aspectos que son susceptibles de analizar, entre ellos, la centralidad y la cohesión. La centralidad intenta expresar la importancia relativa que tiene un nodo respecto de la red, y existe una multiplicidad de formas de calcularla según cual sea el aspecto que se busque destacar. Por ejemplo, una medida simple de centralidad local es el grado de un nodo, que es la cantidad de *links* que inciden sobre él, y se puede dividir en “*in*” y “*out*” cuando la red es dirigida, es decir, la cantidad de *links* que “entran” o “salen” de un determinado nodo, respectivamente.

Por otro lado, hay medidas de centralidad que expresan la importancia relativa de un nodo respecto de la posición global que este ocupa en la estructura de la red. A continuación, se definen las más utilizadas:

- “*Betweenness*” (intermediación): mide la cantidad de veces que el nodo se encuentra entre otro par de nodos interconectados entre sí. Si definimos la distancia geodésica entre dos nodos como el camino más corto para llegar de un nodo al otro en un sendero dirigido, entonces la *betweenness* indica cuantas veces se encuentra el nodo en los senderos que unen a todos los pares de nodos pertenecientes a la red. Por ejemplo: para llegar de A→C y de A→D, siempre se debe pasar por B, por lo tanto, B podría tener una medida alta de intermediación incluso cuando su grado sea bajo.

- “*Closeness*” (cercanía): mide la cercanía relativa de un nodo respecto del resto de los nodos de la red. La distancia, nuevamente, se mide como la cantidad de *links* que hay entre el nodo y el resto de los nodos de la red, de lo cual se extrae un promedio y se normaliza entre 0 y 1.

- Medidas de ranking y prestigio: existen una gran cantidad de medidas propuestas por distintos autores, pero en este trabajo se utilizaron solamente medidas de *Eigen-Centralidad* y *PageRank*, que generan una medida que se basa en la centralidad de los nodos a los cuales el nodo analizado se encuentra conectado.

Los detalles matemáticos del cálculo se exponen en el Apéndice A, pero resulta importante comprender cuál es el aspecto que cada medida intenta destacar para lograr desentrañar la utilidad que pueden tener en el análisis del flujo de inversión.

La centralidad medida por el grado del nodo (*degree*) es una medida local, es decir, solo expresa la centralidad respecto de los nodos que inciden de forma directa sobre el mismo. Esta se divide en entrante (*in*) y saliente (*out*). Intuitivamente, puede suceder que haya países que reciban *IED* proveniente desde pocos países (en cuyo caso su grado *in* será bajo), pero que estén conectados a países que sean fundamentales en la geopolítica internacional y el desarrollo tecnológico y, por ende, accedan a las prácticas e innovaciones de frontera. Entonces, estos países probablemente arrojen una medida de centralidad más elevada, visto que el sendero que debería realizar la inversión y tecnología de punta para arribar desde un país importante es más corto que en el caso de un país que se encuentra muy conectado con sus vecinos en una región de bajo desarrollo. Si bien la situación actual, debido a la globalización, es muy diferente a la que se daba en otras épocas, podría interpretarse que muchos intentos de diversos imperios durante los siglos XIX y XX de formar monopolios y alianzas estratégicas con sus colonias o excolonias tendían a formar redes muy conectadas. Sin embargo, estas eran cuasi cerradas, por lo que podría estudiarse cómo el grado de desarrollo tecnológico del país central de la red influyó en la tecnología a la cual accedieron los países periféricos y cómo esto impactó sobre el desarrollo de largo plazo de los mismos. Por ejemplo, podría verse la diferencia que esto generaba entre la Commonwealth y el Imperio Español, algo que trabajos como los de Acemoglu, Johnson y Robinson (2001) han intentado explicar a través de una distintas metodologías.

Por su parte, la centralidad “*betweenness*” o de intermediación, presentada por Freeman (1979), es una medida global porque intenta capturar la proporción de las veces que un nodo o país se encuentra entre medio del sendero más corto entre cada par de nodos conectados. En una red de *IED*, la intermediación es generalmente considerada una medida de poder en un sentido relacional, pues un país que arroje una medida muy alta indica que las transferencias tecnológicas y de conocimiento suelen estar intermediadas por él. En consecuencia, la intermediación es una medida global de centralidad.

La centralidad por cercanía o “*closeness*” mide cuán cerca está un nodo de cada uno de los otros, considerando que la distancia es la cantidad de *links* que separan a cada par de nodos. Esta medida, sin embargo, no será utilizada en el análisis dado que esta no se encuentra bien definida para gráficos múltiples (*multigraphs*).

Por último, las medidas de prestigio buscan representar, de forma más compleja, la centralidad de un nodo teniendo en cuenta cuan centrales son sus nodos vecinos. Para el presente trabajo se eligieron las medidas de *Eigen-Centralidad*, tal como fue propuesta por Bonacich (1983), y las medidas de *PageRank* (Page *et al.*, 1999).

En la Tabla 2 se puede observar un resumen descriptivo de cada medida de centralidad en el período elegido para el presente análisis, del 2001 al 2012. Dado que no existe una convención sobre la forma adecuada de elegir una medida de centralidad que se adapte a las distintas características topológicas de una red, se calcularon 21 medidas de centralidad con el objetivo de lograr un análisis exhaustivo de los datos.

**Tabla 2. Estadísticas descriptivas**

Variables	N	mean	sd	min	max
<i>Degree-In</i>	2,329	10.57	11.91	0	69
<i>Degree-Out</i>	2,329	10.57	18.37	0	124
<i>Degree-All</i>	2,329	21.14	28.63	1	189
<i>Closeness-In</i>	2,329	0.000103	2.93e-05	2.49e-05	0.000145
<i>Closeness-Out</i>	2,329	0.000237	0.000127	2.49e-05	0.000433
<i>Closeness-All</i>	2,329	0.00247	0.000342	0.00137	0.00398
<i>Closeness-In (Weighted)</i>	2,329	0.000103	2.93e-05	2.49e-05	0.000145
<i>Closeness-Out (Weighted)</i>	2,329	0.000237	0.000127	2.49e-05	0.000433
<i>Closeness-All (Weighted)</i>	2,329	0.00247	0.000342	0.00137	0.00398
<i>Betweenness</i>	2,329	180.0	648.0	0	7,052
<i>Betweenness (Undirected)</i>	2,329	109.7	440.1	0	5,206
<i>Eigen-Centrality</i>	2,329	0.238	0.225	0	1
<i>Eigen-Centrality</i>	2,329	0.198	0.213	0.000128	1
<i>PageRank (Directed-Weighted)</i>	2,329	0.00515	0.00566	0.00108	0.0801
<i>PageRank (Undirected-Weighted)</i>	2,329	0.00515	0.00638	0.000915	0.0601

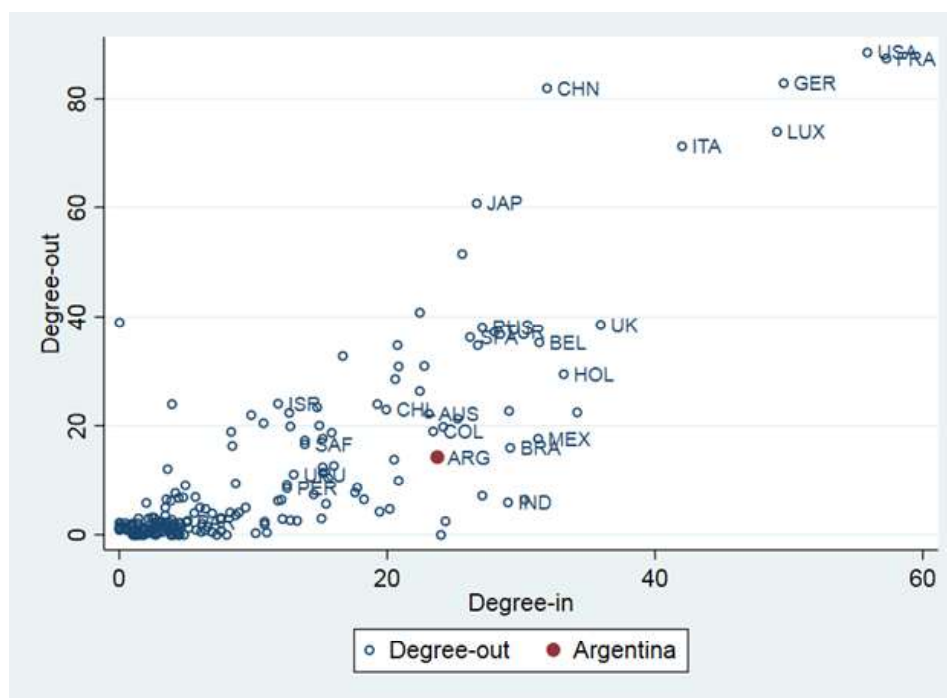
Fuente: elaboración propia

Se puede observar que el grado promedio para el período analizado es 21, es decir, que en promedio cada país está conectado con 21 países entre inversión saliente y entrante, aunque también se observa que el valor mínimo es 1, o sea que existen países que se encuentran conectados con un solo país. Se puede apreciar también que el máximo grado “out” es considerablemente mayor que el máximo grado “in”.

En el Gráfico 1 se presenta la relación entre el grado entrante y saliente, *Degree-In* y *Degree-Out*, respectivamente, para el promedio de los periodos analizados. El Gráfico 2 muestra *Degree-In* y la *Eigen-Centralidad* para el promedio de los periodos analizados. El Gráfico 3 presenta la relación de *Degree-In* con *PageRank*. En las figuras se señalan algunos países con altos grados de centralidad y de interés, como por ejemplo muchos países latinoamericanos.

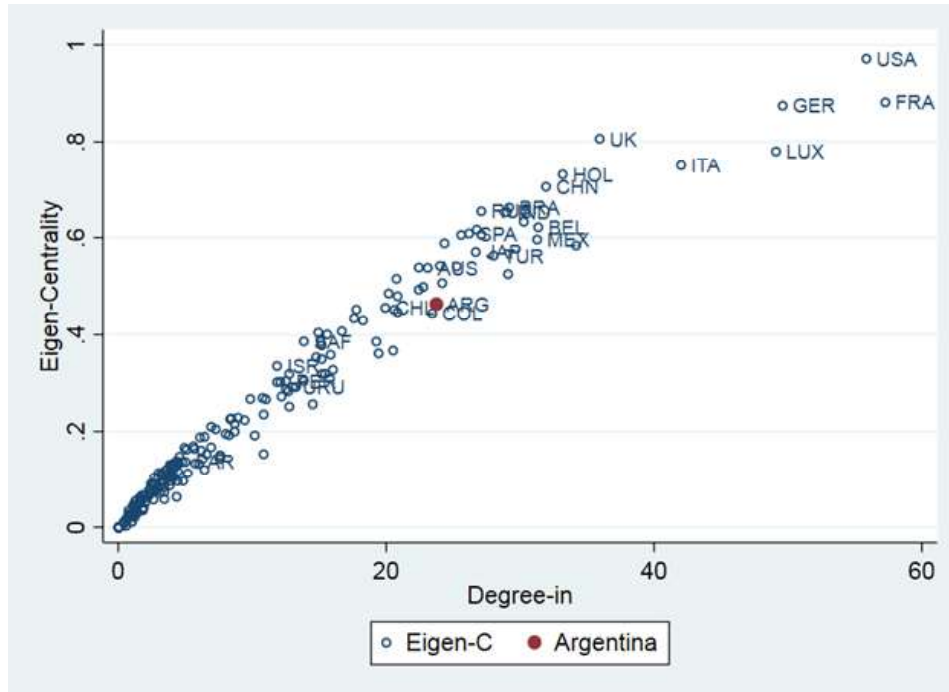
En la cima del ranking para ambas medidas se encuentran Estados Unidos, Francia, Alemania, Luxemburgo y China. En el caso del grado, se observó en muchos casos que los países que poseyeron muchas colonias

**Gráfico 1: *Degree-In* y *Degree-Out* promedio durante el período analizado.**



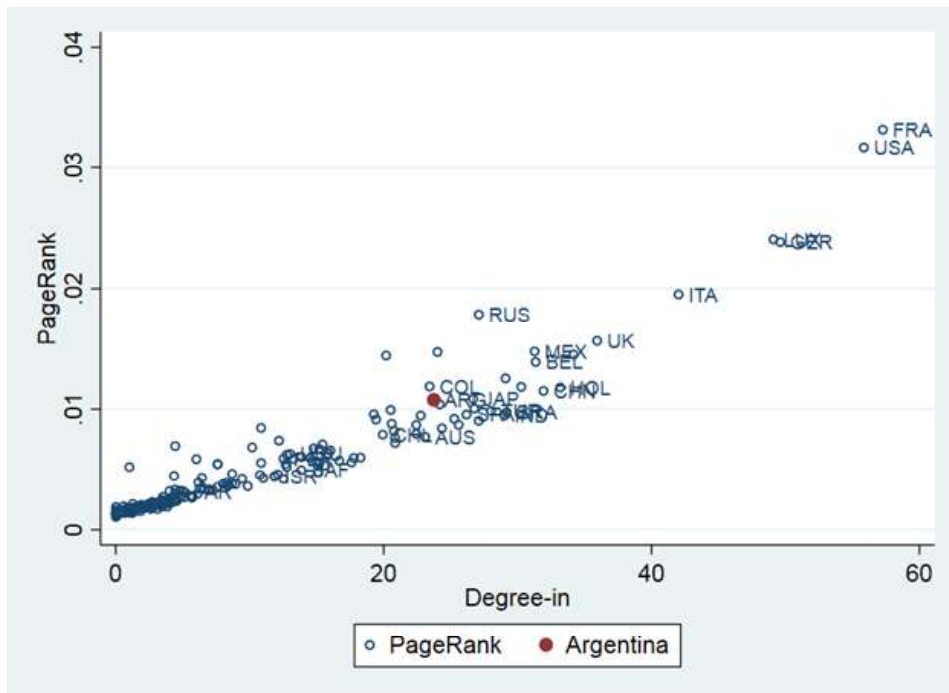
Fuente: elaboración propia

**Gráfico 2: Degree-In y Eigen-Centralidad promedio durante el período analizado**



Fuente: elaboración propia

**Gráfico 3. Degree-In y PageRank promedio durante el período analizado.**



Fuente: elaboración propia

durante el período de gran expansión imperial del siglo XIX contaban con un alto grado, incluso cuando sus otras medidas de centralidad ponderadas daban más bajas. Respecto de Luxemburgo, es lógico suponer que existen razones de naturaleza fiscal que generan medidas de centralidad ficticiamente elevadas. Por otro lado, aparece una clara relación entre grado entrante y saliente. Esto significa que países que invierten mucho *IED* en otros países también reciben. En los gráficos se resalta el caso de Argentina, que en ambos casos aparece con valores de centralidad media.

Cabe destacar que en ambos casos se observa una fuerte relación entre las medidas de centralidad de redes. Esto es así porque las medidas de grado son un insumo necesario para las medidas de centralidad global, como de autovalor. Este hecho determina que para aislar el efecto individual de cada uno se deba incorporar estas medidas al mismo tiempo, evaluando el posible y esperable efecto de alta multicolinealidad.

#### IV. MODELO ECONÓMICO

Las especificaciones presentadas se asimilan a aquellas propuestas en los trabajos de Borensztein *et al.* (1998) y Alfaro *et al.* (2004), pero se han hecho modificaciones por la disponibilidad de datos y por la falta de datos recientes de los controles utilizados por aquellos para el nivel de capital humano y educación. En esta sección se presentarán dos especificaciones que difieren solamente en el control por convergencia.

La elección de las medidas de centralidad se realizó teniendo en cuenta lo que se desea captar con una red de flujos de inversión de *IED*. El grado es importante dado que refleja, de manera local, cuántos países invierten en una economía y nos permite visualizar rápidamente el grado de apertura que esta exhibe a la economía global. Sin embargo, no se espera que el impacto sobre el crecimiento económico sea muy grande porque esta medida no expresa ningún tipo de ponderación por el monto invertido o por la procedencia de los fondos, es decir, no existe diferencia entre la inversión proveniente de un país desarrollado y de otro que sea irrelevante en términos de los *spillovers* de conocimiento y la transferencia tecnológica, que son los factores que podrían impactar sobre la productividad y luego sobre el crecimiento.

Como medidas globales, la elección de incluir variables que ponderen el prestigio relativo de los vecinos de cada país (o nodo) se basa en el hecho de que los países que reciben inversión proveniente de una gran cantidad de países que sean centrales en la red mundial da cuenta del potencial poder político e institucional dentro del cual esta economía se integra, haciendo que la transferencia tecnológica sea más plausible entre estos “clubes” de países que invierten activamente entre sí. Análogamente, este razonamiento se asocia de forma consistente con una vasta literatura de la teoría del crecimiento económico que formaliza los modelos de clubes de países de mayor crecimiento y desarrollo, por ejemplo, ver Baumol *et al.* (1986) y Quah (1996).

El primer modelo considerado es el siguiente:

$$\begin{aligned} \text{CREC}_{i,t} = & \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{IED}_{i,t-1} + \beta_2 \cdot \text{DEGREE-IN}_{i,t-1} + \beta_3 \cdot \text{EIGEN-C}_{i,t-1} \\ & + \beta_4 \cdot \text{PAGERANK}_{i,t-1} + u_{i,t} \end{aligned} \quad (1)$$

en el cual la variable dependiente es CREC, que mide el crecimiento del PBI per cápita entre el periodo  $t-1$  y  $t$ , medido como primeras diferencias de logaritmos, y las variables explicativas son: *IED*, que es el ingreso neto de *IED* como porcentaje del PBI, *DEGREE-IN*, el grado “entrante”, *EIGEN-C*, que es la *Eigen-Centralidad*, *PAGERANK*, que es el *PageRank* del nodo, todas expresadas para el país  $i$  en el momento  $t$ .

Para la estimación de los parámetros se realizó una regresión de efectos fijos, dado que se contaba con una base de datos de panel y, por lo tanto surgió la necesidad de controlar por aquellos efectos constantes que responden a características de los individuos (países) que no dependen del tiempo, es decir, las heterogeneidades propias de cada observación analizada en el tiempo. Esta regresión permite obtener estimadores insesgados, suponiendo la exogeneidad estricta del error sobre las variables explicativas.

El panel utilizado no está balanceado, ya que la muestra carecía de ciertos años en algunas observaciones. Un problema podría surgir si la ausencia de datos se correlacionara con el error  $u$ , pero para los países analizados en general esto responde a circunstancias de discontinuidad en el registro y los casos son pocos.

Las medidas de centralidad intentan capturar distintos aspectos de la red, pero exhiben una alta correlación entre ellas, lo cual se puede observar en los Gráficos 2 y 3. Por esta razón, se fueron agregando por separado a la especificación para intentar aislar sus efectos.

El grado, como medida local, no se espera que tenga un coeficiente de gran relevancia dado que no está ponderado y, por lo tanto, es esperable que de un coeficiente que no aporte al análisis del efecto sobre el crecimiento económico. Esto puede ser interpretado teniendo en cuenta que puede haber diversos determinantes para la decisión de *IED* que no necesariamente supongan una transferencia de tecnología. La *IED* hacia un país puede incrementar por factores tales como venta de activos que no implica la creación de nuevas plantas o la expansión de empresas multinacionales.

Sin embargo, las medidas globales de centralidad brindan una interpretación más interesante, dado que las medidas de *Eigen-Centralidad* y *PageRank* destacan la centralidad de un nodo considerando la centralidad de sus vecinos, es decir, detecta la formación de cliques. Los cliques son subgráficos de la red cuyos nodos se encuentran altamente conectados entre sí. La detección o medición de la formación de cliques resulta determinante ya que existe mucha literatura que destaca la formación de clubes de crecimiento económico, algo que es esperable que se replique en los gráficos de *IED*, dado que la inversión recíproca entre países de alto grado de complejidad tecnológica es muy alta. La tendencia de las empresas multinacionales de alta productividad a invertir en países de alto grado de desarrollo y dinamismo productivo ha incrementado considerablemente, sobre todo desde que la posibilidad de realizar out-sourcing de servicios ha sido facilitada por el desarrollo de las telecomunicaciones.

Por lo tanto, es esperable que la centralidad de un nodo en términos de los flujos de *IED* y su conexión con otros países que también cuentan con un alto grado de centralidad en la red reflejen una asociación importante con los spillovers de conocimiento e inversión productiva. Un aumento de la centralidad en este sentido implicaría una mayor conexión con países cuyas empresas invierten fuertemente en sectores intensivos en conocimiento.

Por otro lado, el segundo modelo a considerar es el siguiente:



$$\begin{aligned} \text{CREC}_{i,t} = & \beta_0 + \beta_1 \text{PBI}_{\text{PC},i,t-1} + \beta_2 \text{IED}_{i,t-1} + \beta_3 \text{DEGREE-IN}_{i,t-1} \\ & + \beta_4 \text{EIGEN-C}_{i,t-1} + \beta_5 \text{PAGERANK}_{i,t-1} + u_{i,t} \end{aligned} \quad (2)$$

en el que la interpretación de los parámetros es la misma, a diferencia de que se incluye como control la variable  $\text{PBI}_{\text{PC}}$ , que es el PBI per cápita en dólares constantes de 2010 en el período anterior, cuya motivación surge de la literatura de convergencia.

## V. RESULTADOS

Los resultados obtenidos de la regresión para el modelo 1 se encuentran en la Tabla 4. Se realizaron tres especificaciones diferentes de modelos de efectos fijos por país, y se estudió el efecto de las siguientes variables de control: la *IED*, el grado entrante (*Degree-In*), *Eigen-Centralidad* y *Page-Rank*.

A partir de los resultados, la tercera regresión fue aquella que consolidó un modelo con mejores estimadores de los efectos de las medidas de centralidad sobre el crecimiento económico.

La variable *IED* (*FDI net inflows*) es estadísticamente significativa en todas las especificaciones. Respecto a la interpretación del coeficiente de regresión, al ser la variable dependiente una variable medida en diferencias de logaritmos, los coeficientes de la regresión se interpretan como la semi-elasticidad del crecimiento económico respecto del porcentaje de *IED* entrante sobre el *PBI*. Por lo tanto, un aumento de un 1% en *IED/PBI* genera-

---

4. El concepto de convergencia surgió cuando los teóricos del crecimiento endógeno argumentaron que el supuesto de rendimientos decrecientes del capital del modelo neoclásico implicaba convergencia entre los países. A su vez, la convergencia se separó entre el concepto de beta convergencia ( $\beta$ -convergencia) y sigma convergencia ( $\sigma$ -convergencia). La primera existe cuando hay una relación inversa entre la tasa de crecimiento de la renta y el nivel inicial de la misma, mientras que sigma convergencia existe cuando la dispersión de la renta real per cápita entre los países se reduce a través del tiempo. Luego de que la evidencia mostrara que no existía  $\beta$ -convergencia, los neoclásicos presentaron un nuevo concepto, el de convergencia condicional. Básicamente, la crítica al concepto de convergencia suponía que todos los países contaban con los mismos parámetros estructurales, es decir, convergían al mismo estado estacionario dadas sus preferencias institucionales y tecnológicas. El concepto de convergencia condicional, por el contrario, permite que los países converjan a distintos estados estacionarios. Por esta razón, esperamos que el parámetro  $\beta_1$  de la segunda especificación arroje un valor negativo, es decir, que la correlación entre la renta inicial y el crecimiento de cada país sea negativa.

**Tabla 4: Resultados del modelo 1**

Variables	(1)	(2)	(3)
IED (% of PBI) (t-1)(a)	0.150** (0.0736)	0.163** (0.0758)	0.167** (0.0758)
Degree-In (t-1)		-0.00176*** (0.000387)	-0.00201*** (0.000401)
Eigen-Centrality (t-1)		0.0728*** (0.0269)	0.0655** (0.0270)
PageRank (t-1)			1.040** (0.434)
Constante	0.0238*** (0.00111)	0.0267*** (0.00496)	0.0257*** (0.00497)
Obs.	2,232	1,799	1,799
R2	0.002	0.015	0.019
Países	190	177	177

Notas: errores estándar en paréntesis. \*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1. (a) Los coeficientes originales están multiplicados por 1000.

ría un incremento promedio de 0.15% a 0.167% del crecimiento económico (notar que los coeficientes para esta variable están reescalados por 1000).

Por otro lado, si bien se destacó en la sección anterior que el grado no sería importante en términos del análisis, es relevante señalar que su coeficiente resultó estadísticamente significativo, con un efecto negativo. El signo negativo muestra que, en parte, con el objetivo de explicar los efectos sobre el crecimiento económico, hay muchos aspectos que una medida local y no ponderada deja de lado, por lo que el coeficiente sugiere que un aumento de la centralidad medida por el grado (*in*) provocaría una disminución de la tasa de crecimiento, lo cual es difícil de interpretar teóricamente. En cierta manera este resultado muestra que no necesariamente tener más conexiones de *IED* lleva a mayor crecimiento.

La variable de *Eigen-Centrality* es de principal interés dentro del modelo especificado porque los altos valores en esta indican que el nodo no solo se encuentra muy conectado, sino que aquellos nodos con los que se

conecta son también muy centrales. Esto, a nivel de la red de este trabajo, implica que el país se conecta con otros países cuya posición relativa es importante y, en consecuencia, la inversión que fluye entre estos países puede indicar un alto contenido de tecnología y conocimiento. El coeficiente estimado da un valor de 0.0655. Para una mejor interpretación de la estimación, se considerará en términos de variación respecto de los desvíos estándar, que permitirá una interpretación más intuitiva de la magnitud e influencia que la *Eigen-Centralidad* del flujo de *IED* puede tener sobre el crecimiento económico. Entonces, si se incrementara la *Eigen-Centralidad* en la magnitud de su propio desvío estándar (0.225), esto provocaría un aumento del crecimiento económico de 0.0147 ( $0.225 \times 0.0655$ ), es decir, de 1.47%.

Por su parte, la última variable proveniente de la red que fue incluida es el *PageRank*, que no difiere sustancialmente de la *Eigen-Centralidad* ya que ambos ponderan las relaciones indirectas de la red, es decir, un valor más alto implica no solamente mayor centralidad del nodo, sino también de aquellos nodos con los que se conecta. Una diferencia importante es que *PageRank* tiene en cuenta la dirección de la *IED* y esta ponderado por el monto, lo cual lo hace aún más sugestivo. El coeficiente estimado para la medida de *PageRank* arrojó un valor de 1.040, estadísticamente significativo. En este caso, un aumento en la magnitud de su propio desvío estándar (0.00568) provocaría un incremento del crecimiento económico del 0.59% ( $0.00568 \times 1.040$ ).

La segunda regresión se realizó sobre el modelo especificado en la ecuación (2). Los resultados se encuentran en la Tabla 5.

En este caso también se realizaron tres regresiones, siguiendo análogamente la incorporación de variables de centralidad como en el caso de la regresión (1). El coeficiente para el primer control, el rezago del PBI per cápita, da estadísticamente significativo. Tal como predice la teoría, su signo es negativo. Dado que el panel no es lo suficientemente grande en su dimensión temporal se analizan también modelos de paneles dinámicos Arellano-Bond y Blundell-Bond y se obtienen resultados similares. Dado que no se observan grandes sesgos de Nickel se reporta solamente el modelo de efectos fijos.

La variable ingreso neto de *IED* muestra un valor poco mayor que aquel observado en la regresión (1) y su significatividad estadística es la misma.

**Tabla 5: Resultados de la Regresión 2**

Variabes	(1)	(2)	(3)
<i>PBI pc</i> (constant 2010 US\$) (t-1)	-0.00454*** (0.000551)	-0.00458*** (0.000636)	-0.00445*** (0.000641)
<i>IED</i> (% PBI) (t-1)(a)	0.166** (0.00724)	0.169** (0.00747)	0.171** (0.00747)
<i>Degree-In</i> (t-1)		-0.000868** (0.000401)	-0.00105** (0.000419)
<i>Eigen-Centrality</i> (t-1)		0.0316 (0.0271)	0.0281 (0.0272)
<i>PageRank</i> (t-1)			0.654 (0.431)
Constant	0.0802*** (0.00694)	0.0904*** (0.0101)	0.0880*** (0.0102)
Obs.	2,232	1,799	1,799
R2	0.034	0.046	0.047
Países	190	177	177

Notas: errores estándar en paréntesis. \*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1. (a) Los coeficientes originales están multiplicados por 1000.

En el caso *Degree-In* la significatividad estadística es también la misma, pero el coeficiente arroja un valor más pequeño manteniéndose negativo su efecto. Por su parte, se observa que las variables de *Eigen-Centralidad* y *PageRank* no son estadísticamente significativas, aunque se mantienen con valores positivos. Interpretamos esta pérdida de significatividad como que la centralidad de la red en los flujos de *IED* depende del grado de desarrollo de los países, medido esto con el PBI per cápita.

Se utilizó también un modelo en el cual se incluyó la interacción entre los niveles de *IED* y las medidas de red. En todos los casos las interacciones no fueron estadísticamente significativas. Este resultado se puede interpretar como que mientras el crecimiento económico se vería afectado positivamente por los niveles de *IED*, la magnitud del efecto de la *IED* no dependería de la ubicación del país dentro de la red.

## VI. CONCLUSIONES

Este trabajo incursiona en un área de investigación que conecta la inversión, el crecimiento y la ciencia de redes, que aún se encuentra escasamente explorada. Con el salto cualitativo que esta última ha experimentado, la capacidad de procesamiento de datos de gran escala (*Big Data*) y la generación constante de nuevas fuentes, sería fundamental que en trabajos sucesivos se pueda alcanzar una mejor calidad de datos de *IED* por origen y destino, algo que en efecto dificultó el análisis presentado, proponiendo nuevos desafíos a la hora de aglomerar la información en una sola base para su posterior procesamiento estadístico.

Los resultados de los modelos de regresión muestran que las medidas de centralidad de *IED* están asociadas a mayores tasas de crecimiento de PBI per cápita. Esto implica que los países pueden implementar políticas estratégicas para fomentar flujos de entrada de *IED* que están asociados a mayor centralidad, y con ello aumentar el efecto sobre el crecimiento. En otras palabras, el efecto de entrada de *IED* en un país no es independiente de la red global de *IED*. Los valores observados en las medidas de *Eigen-Centralidad* y *PageRank* también proponen un desafío al nivel de los bloques de integración regional.

## VII. REFERENCIAS

- Arrow, K. J. (1969). Classificatory notes on the production and transmission of technological knowledge. *American Economic Review*, 51 (2), 29-35.
- Acemoglu, D., Johnson S. & Robinson J. A. (2001). The colonial origins of comparative fevelopment: An empirical investigation. *American Economic Review*, 91(5), 1369-1401.
- Alfaro, L., Chanda, A., Kalemli-Ozcan, S., & Sayek, S. (2004). FDI and economic growth: The role of local financial markets. *Journal of International Economics*, 64, 89-112.
- Baumol, W. J. (1986). Productivity growth, convergence, and Welfare: What the long-run data show. *American Economic Review*, 76 (5), 1072-1085.
- Bonacich, P. (1987). Power and centrality: A family of measures. *American Journal of Sociology*, 92(5), 1170–1182.
- Borensztein, E., De Gregorio, J., & Lee, J-W. (1998). How does foreign direct investment affect economic growth? *Journal of International Economics*, 45, 115-135.
- Chen, H. & Chen, T-J. (1998). Network linkages and location choice in foreign direct investment. *Journal of International Business Studies*, 29 (3), 445-469.
- Crespo, N. & Fontoura, M. P. (2007). Determinant factors of FDI spillovers - What do we really know? *World Development*, 35 (3), 410-425.
- De Masi, G., Giovannetti, G. & Ricchiuti, G. (2018). A network analysis of italian foreign direct investments. *Physica A*, 392, 1202-1214.
- Findlay, R. (1978). Relative backwardness, direct foreign investment, and the transfer of technology: A simple dynamic model. *The Quarterly Journal of Economics*, 92 (1), 1-16.
- Freeman, L. C. (1978). Centrality in social networks conceptual clarification. *Social Networks*, 1(3), 215–239.
- Jackson, M. O. (2008). *Social and Economic Networks*. Princeton University Press.
- Johanson, J. & Mattson, L.G. (1987). *Interorganizational relations in industrial*

systems: A network approach compared with the transaction-cost approach. *International Studies of Management and Orgnaization*, 17 (1), 34-48.

Kolaczyk, E. D. (2009). *Statistical Analysis of Network Data*. New York, NY: Springer Series in Statistics.

Nohria, N. & Garcia-Pont, C. (1991). Global strategic linkages and industry structure. *Strategic Management Journal*, 12, 105-124.

Page, L., Brin, S., Motwani, R., & Winograd, T. (1999). The PageRank citation ranking: Bringing order to the web. Stanford University Infolab.

Quah, D. T. (1996). Empirics for economic growth and convergence. *European Economic Review*, 40, 1353-1375.

Romer, P. (1986). Increasing returns and long-run growth. *Journal of Political Economy*, 94 (5), 1002-1037.

Romer, P. (1993). Idea gaps and object gaps in economic development. *Journal of Monetary Economics*, 32, 543-573.

Solow, R. M. (1956). A contribution to the theory of economic growth. *Quarterly Journal of Economics*, 70 (1), 65-94.

Schweitzer, F., Fagiolo, G., Sornette, D., Vega-Redondo, F., Vespignani, A. & White, D. R. (2009). Economic Networks: the new challenges. *SCIENCE*, Vol 325 (5939), 422-425.

Swan, T. W. (1956). Economic growth and capital accumulation. *Economic Record*. 32 (2), 334-361.

Wang, J-Y. (1990). Growth, technology transfer, and the long-run theory of international capital movements. *Journal of International Economics*, 29, 255-271.

World Bank (2017-2018). *Global Investment Competitiveness Report*. The World Bank, Washington, DC.

### VIII. APÉNDICE A: ALGUNAS DEFINICIONES DE CENTRALIDAD EN REDES

Sea la Red IED<sub>año</sub> (N,g), para la cual  $N=\{1,2,\dots,n\}$  es el conjunto de los países o nodos, mientras que  $g_{ij}$  son los enlaces o *links* que conectan a los mismos.

La matriz A es una matriz de adyacencias cuyos elementos tomarán el valor  $a_{ij}=1$  si hay inversión extranjera directa del país  $i$  al país  $j$  y  $a_{ij}=0$  en el caso contrario.  $A^T$  es la matriz transpuesta. Se utiliza la matriz A para calcular las medidas de centralidad “out” y la matriz  $A^T$  para las medidas de centralidad “in”.

Para las medidas de centralidad ponderadas se utilizarán, análogamente, las matrices W y  $W^T$ , cuyos elementos son los  $w_{ij}$  que representan el monto de IED desde el país  $i$  hacia el país  $j$ .

La centralidad por grado es un conteo simple de la cantidad de elementos que inciden sobre un nodo, y se define mediante las siguientes fórmulas:

$$(1) \text{ DegreeIn } (k) = d^{\text{IN}}$$

$$(2) \text{ DegreeOut } (k) = d^{\text{OUT}}$$

para todo  $k \in N$ .

La centralidad *Betweenness* o de intermediación se define como la cantidad de veces que un vértice se encuentra en el sendero más corto que une a dos vértices. El sendero más corto también es conocido como la distancia geodésica. Las fórmulas son las siguientes:

$$\text{InBetweenness}(k) = \sum_{i \neq j} [\sigma^{\text{IN}}(i,t/k) / \sigma^{\text{IN}}(i,t)]$$

$$\text{OutBetweenness}(k) = \sum_{i \neq j} [\sigma^{\text{OUT}}(i,t/k) / \sigma^{\text{OUT}}(i,t)]$$

Para la cual  $\sigma(i,t)$  es la cantidad de senderos más cortos entre los nodos  $i$  y  $j$ , mientras que  $\sigma(i,t/k)$  es la cantidad de geodésicas que pasan a través del nodo  $k$ .

La centralidad por cercanía o *Closeness* es una medida que busca representar cuan cerca se encuentra un nodo de todos los demás nodos de la red.



$$Closeness(k) = 1 / (\sum_{u \in N} \text{dist}(k, u))$$

Para la cual  $\text{dist}(k, u)$  es la distancia geodésica entre el nodo  $k$  y cada nodo  $u$  distinto de  $k$  de la Red.

La *Eigen-Centralidad* se basa en la idea de que la centralidad del nodo  $k$  depende de la centralidad de los nodos con los que este se conecta.

$$InEigen-Centralidad(i) = \sum_j a_{ji} InEigenvector(j)$$

$$OutEigen-Centralidad(i) = \sum_j a_{ij} OutEigenvector(j)$$

En la cual  $InEigenvector(i)$  en  $InEigenvector(j)$  son los vectores que expresan la medida de centralidad.

Por último, se define la medida de *PageRank* como en el trabajo de Page *et al.* (1999), donde cada nodo vecino conserva una fracción de la centralidad del nodo.

$$InPageRank(i) = \beta \cdot \sum_j [ a_{ji} / OutDegree(j) ] \cdot InEigenvector(j)$$

$$OutPageRank(i) = \beta \cdot \sum_j [ a_{ij} / InDegree(j) ] \cdot OutEigenvector(j)$$

En los que  $\beta$  representa un factor que indica cuanto de su centralidad transfiere el nodo a sus vecinos, y para  $\beta=1$  *PageRank* converge a la centralidad *Eigenvector*.

Para definiciones más detalladas, ver Kolaczyk (2009) y Jackson (2008).