



Resumen 068

DOI: 10.47550/RCE/MEM/31.23

# Análisis de la red productiva ecuatoriana de 2019, utilizando la teoría de redes

*Vanessa Chungandro<sup>40</sup>, Nathaly Montenegro<sup>41</sup>, José Ramírez<sup>42</sup> y*

*Carolina Guevara<sup>43</sup>*

---

## Información

---

### Palabras clave:

Theory of networks  
resilience  
centrality indices intersectoral  
links  
power law  
Best regards

---

### Clasificación JEL:

D85

---

## Resumen:

### Planteamiento del problema

La estructura productiva ecuatoriana se ha caracterizado por ser poco diversificada, con una alta concentración en la producción de bienes primarios y baja incorporación de valor agregado. Por ejemplo, el petróleo crudo representa el 31,48%, y los productos tradicionales como el banano, cacao, café y camarón, representan el 27,91% del total de las exportaciones, para el año 2019 (Banco Central del Ecuador, 2019). Aun así, en el ámbito ecuatoriano, las leyes legislativas estipulan que se debe incentivar la producción nacional y la competitividad sistémica. Esta última está conformada por la red de interrelaciones que incluyen a sus proveedores de bienes y servicios en diferentes sistemas como financieros, tecnológicos, energéticos, entre otros (Esser et al., 2013). Dado esto, se requiere fortalecer los vínculos de la red para que fomenten el desarrollo sectorial sostenido y generar valor agregado a las dotaciones naturales.

Para el análisis ex-ante de política económica se ha empleado herramientas habitualmente como la Matriz Insumo-Producto y la matriz inversa de Leontief (1986), que permiten distinguir los encadenamientos hacia atrás y hacia delante dependiendo de las transacciones de compra y venta. Por ejemplo, los sectores clave son aquellos que demandan y proveen la mayor cantidad de insumos al resto de sectores de la economía. En este sentido, el sector clave con un rol de proveedor (i.e. encadenamiento hacia adelante) más alto es: Generación, captación y distribución de energía eléctrica. El análisis de los multiplicadores de Marx-Leontief (1986) es complementado por autores que estudian la red productiva mediante la teoría de redes, con el objetivo de identificar efectos cascada aguas abajo y aguas arriba tras un choque microeconómico. Por ejemplo, los sectores con el mayor monto de transacciones de la red productiva ecuatoriana presentan una correlación del 33.26% con el crecimiento del PIB, este efecto es posible gracias a la topología heterogénea y los vínculos de la red. En este sentido, Acemoglu, Carvalho, et al. (2012) argumentan en base a un modelo de equilibrio general que, los sectores que toman posiciones más centrales en la economía y la presencia de fallas de mercado (i.e. heterogeneidad sectorial) permiten la difusión de los choques idiosincráticos por toda la economía.

---

<sup>40</sup> Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador

<sup>41</sup> Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador

<sup>42</sup> Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador

<sup>43</sup> Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador



El estudio de la estructura de la red productiva puede informar mejor a los académicos como a los hacedores de política pública sobre qué sectores se debe gestionar antes y después de choques adversos. Dado esto, la teoría de redes brinda la oportunidad de analizar el flujo de bienes y servicios; la existencia de fallas de mercado, el papel que desempeñan los sectores en el aparato productivo; y, además, evaluar el impacto que puede tener su estructura en los agregados macroeconómicos (Newman, 2010).

El análisis de los multiplicadores de Marx-Leontief (1986) es complementado por autores que estudian la red productiva mediante la teoría de redes, con el objetivo de identificar efectos cascada aguas abajo y aguas arriba tras un choque microeconómico. Por ejemplo, los sectores con el mayor monto de transacciones de la red productiva ecuatoriana presentan una correlación del 33.26% con el crecimiento del PIB, este efecto es posible gracias a la topología heterogénea y los vínculos de la red. En este sentido, Acemoglu, Carvalho, et al. (2012) argumentan en base a un modelo de equilibrio general que, los sectores que toman posiciones más centrales en la economía y la presencia de fallas de mercado (i.e. heterogeneidad sectorial) permiten la difusión de los choques idiosincráticos por toda la economía.

El estudio de la estructura de la red productiva puede informar mejor a los académicos como a los hacedores de política pública sobre qué sectores se debe gestionar antes y después de choques adversos. Dado esto, la teoría de redes brinda la oportunidad de analizar el flujo de bienes y servicios; la existencia de fallas de mercado, el papel que desempeñan los sectores en el aparato productivo; y, además, evaluar el impacto que puede tener su estructura en los agregados macroeconómicos (Newman, 2010).

### Marco teórico

En economía, la teoría de redes estudia las interrelaciones entre agentes económicos en un sistema altamente interrelacionado, con el fin de describir su estructura (Borgatti y Halgin 2011). Existen diversas aplicaciones de la teoría de redes en áreas como la economía experimental, la difusión de la información, el riesgo sistémico y las finanzas, entre otros (Jackson 2014b).

En las redes productivas, el modelo input-output propuesto por Leontief (1951) es posiblemente la primera aplicación de la teoría de redes. Este modelo permite analizar la interdependencia de las industrias en un sistema económico, considerando cómo la producción de una industria es demandada por otras como insumos. Con base en este trabajo, Hirschman (1958), Rasmussen (1958) y Chenery y Watanabe (1958) establecen el análisis de cadenas productivas. Este análisis permite identificar los sectores económicos que generan grandes encadenamientos hacia abajo o hacia arriba luego de un choque externo, tomando en cuenta los efectos de primer y segundo orden generados por las interrelaciones comerciales en la red productiva.

La idea de que los shocks idiosincráticos a nivel de empresa pueden generar un efecto significativo sobre las fluctuaciones macroeconómicas es una tesis que ha sido descartada, debido a la "ley de los grandes números" introducido por Lucas (1977). Este argumento establece que, a medida que aumenta el número de agentes económicos, los shocks microeconómicos tienden a "promediar" y se vuelven insignificantes.

El trabajo de Acemoglu et al. (2012) es posiblemente uno de los principales referentes sobre difusión en redes productivas que rechaza el argumento de Lucas. Estos autores argumentan que un choque microeconómico puede extenderse en el sistema económico y generar fluctuaciones macroeconómicas, a través de los encadenamientos de la red productiva. Por un lado, las relaciones comerciales propagan choques de un sector a sus vecinos (es decir, interconexiones de primer orden) y extienden estos efectos a otros sectores interrelacionados (es decir, interconexiones de orden superior) en la red productiva. Por otro lado, si el papel de los sectores económicos como proveedores de insumos es muy heterogéneo, de modo que se mantiene la ley de potencias, los choques idiosincráticos tienen un gran efecto sobre las fluctuaciones macroeconómicas.

Todas estas evidencias siguen las afirmaciones de Jackson (2014a) sobre la propagación de un agente económico a otros en función de las características macro y micro de una red. Por un lado, macro características como la densidad y la homofilia, pueden explicar la propagación de un agente económico a otros, mientras que la segregación podría ralentizar la difusión. Por otro lado, micro características, como la centralidad y la transitividad, pueden explicar cómo el comportamiento de los agentes económicos se interrelaciona en este proceso. Los agentes altamente centrales tienen poder económico y social, y puede influir rápidamente en las decisiones de otros agentes.

### Metodología

La característica principal para describir en este estudio, como se menciona en la teoría de la difusión de choques, es la centralidad del sector. Para ello se utiliza la Matriz de Insumo-Producto de Ecuador para el año 2019. Esta matriz muestra las relaciones comerciales intersectoriales entre 70 sectores productivos, divididos según la Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU). Esta información se obtuvo del Sistema de cuentas nacionales elaborado por el Banco Central del Ecuador.



Para efectos de la explicación que se realiza en esta sección, la red productiva ecuatoriana es representada como un grafo dirigido y ponderado  $G = (N, g)$ , donde  $N = \{1, \dots, n\}$  es el conjunto de sectores productivos (i.e. vértices) y  $g = \{g_{ij}\}_{n \times n}$  es la matriz de adyacencia de la red productiva (i.e. aristas). Aquí,  $g_{ij} \in \{0,1\}$  representa la transacción de compra-venta entre el sector  $i$  y el sector  $j$ . Propiamente, si  $g_{ij} = 1$  entonces el sector  $i$  vende al sector  $j$ ; caso contrario, si  $g_{ij} = 0$  entonces el sector  $i$  no vende al sector  $j$ . Sea  $w: g \rightarrow \mathbb{R}_+$  la función de ponderación que asigna a cada transacción  $g_{ij}$  el monto  $w(g_{ij})$  que el sector  $i$  vende a  $j$  (Jackson, 2010). Por simplicidad, la función de ponderación se denotará  $w(i, j) = w(g_{ij})$ .

### Centralidad ponderada de grado

La centralidad ponderada de grado mide la cantidad total de relaciones comerciales directas que un vértice  $i$  establece con otros. Si este índice de centralidad tiene un valor alto (bajo), el número de relaciones comerciales directas para un sector económico es alto (bajo) y, por lo tanto, es más (menos) central en la red productiva.

### Centralidad ponderada de cercanía

La centralidad de cercanía ponderada mide la inversa de la lejanía que, a su vez, es la suma de las distancias del vértice  $i$  a todos los demás nodos (Newman, 2001). Aquí, la distancia se determina aplicando el algoritmo de Dijkstra (1959) sobre la inversa de las relaciones comerciales. Una alta centralidad de cercanía indica que un sector económico mantiene una estrecha relación con el resto de los sectores del tejido productivo, debido a los elevados montos comerciales.

### Centralidad ponderada de intermediación

La centralidad de intermediación ponderada muestra qué tan bien está ubicado un vértice  $i$ , según las trayectorias geodésicas entre todos los vértices de la red productiva, utilizando el algoritmo de Dijkstra (1959). Cuando el índice de centralidad ponderado de intermediación toma valores altos, aparece con mayor frecuencia un sector económico en las trayectorias geodésicas que conecta todos los pares de sectores de la red productiva.

### Centralidad ponderada alpha

La centralidad alfa ponderada determina la influencia del vértice  $i$  hacia sus vecinos y los vecinos de sus vecinos, a través de choques exógenos en la red. Esta influencia se mide sumando los montos de compras y ventas que realizan los vértices  $i$  con otros sectores. Por tanto, el índice alfa es proporcional a la suma de las cantidades de los vértices a los que está conectado. Si el valor del índice alfa es alto, entonces el sector es central porque sus sectores vecinos tienen transacciones altas. Este índice es análogo al índice de sensibilidad de dispersión propuesto por Rasmussen (1958) que mide la importancia de un sector en el encadenamiento hacia adelante de una red productiva (Fuentes and Sastré Gutiérrez 2001).

## Resultados

En la red productiva ecuatoriana existen pocos sectores que son proveedores del resto de sectores. Esto genera un patrón similar a una red en forma de estrella. Las industrias con mayor nivel de transaccionalidad en la red productiva ecuatoriana del 2019 son la construcción, comercio, transporte y servicios profesionales. Dada esta estructura, existe la posibilidad de que un choque microeconómico en estos sectores se extienda por la red y genere fluctuaciones macroeconómicas, como proponen Acemoglu et al. (2012). Los 70 sectores están relacionados entre sí a través de 4.510 transacciones de compra y venta; por lo tanto, existe una densidad de 93%. Además, los sectores de extracción de crudo, industrias manufactureras y transporte son los compradores con mayor número de conexiones (66 transacciones).

Algunos autores como Acemoglu, Carvalho, et al. (2012) y Carvalho et al. (2016), destacan la relevancia de identificar los sectores con mayor centralidad en la economía, ya que un choque idiosincrásico a estos puede ocasionar efectos cascada y por ende fluctuaciones macroeconómicas.

Según el índice de centralidad ponderado por grados, las transacciones de los sectores productivos en Ecuador muestran una alta variabilidad. La centralidad ponderada de grado es de USD \$ 1.798,14 millones. Dado esto, hay 20 sectores que están por encima de la media y 50 por debajo de la media. Los sectores que más impulsan la economía, al registrar relaciones de alto nivel de primer orden con proveedores y compradores, son las actividades profesionales (64), comercio (54), transporte (58) y construcción (53), como se observa en el Panel A de la Figura 1.

El índice de cercanía muestra una gran cantidad de sectores que mantienen una alta proximidad como proveedores que interactúan rápidamente con diversas industrias de la red. Este aspecto facilita un rápido acceso a los insumos por parte de los proveedores, para llevar a cabo su proceso productivo. Los sectores más cercanos a otros son: actividades profesionales (64), transporte (58), fabricación de productos refinados del petróleo (38) y comercio (54), como se observa en el Panel B de la Figura 1.

El índice de centralidad de intermediación muestra una red polarizada, con solo cuatro sectores que participan activamente intermediando entre sectores. La media de la centralidad ponderada por intermediación es 188 transacciones, y hay 10 sectores que están por encima de la media y 60 sectores por debajo de ella. Los sectores de alta intermediación son el transporte (58), comercio (54), servicio de alimentación (57) y actividades profesionales (64) como se observa en el Panel C de la Figura 1.

El índice de centralidad alfa muestra pocos sectores de alta importancia en el intercambio comercial, considerando la relación con otras industrias que también comercian montos elevados. Estos sectores son actividades profesionales (64), comercio (54) transporte (58) y cultivos industriales (5). La media de la centralidad ponderada alfa es 1,60, y hay 18 sectores que están por encima de la media y 52 por debajo de ella, como se observa en el Panel D de la Figura 1.

Figura 1. Grafos de los Índices de Centralidad Ponderados

Panel A) Centralidad Ponderada de Grado Panel B) Centralidad Ponderada de Cercanía

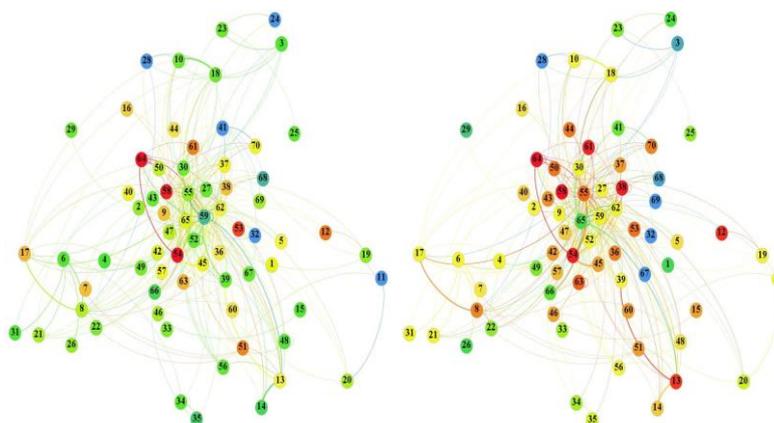
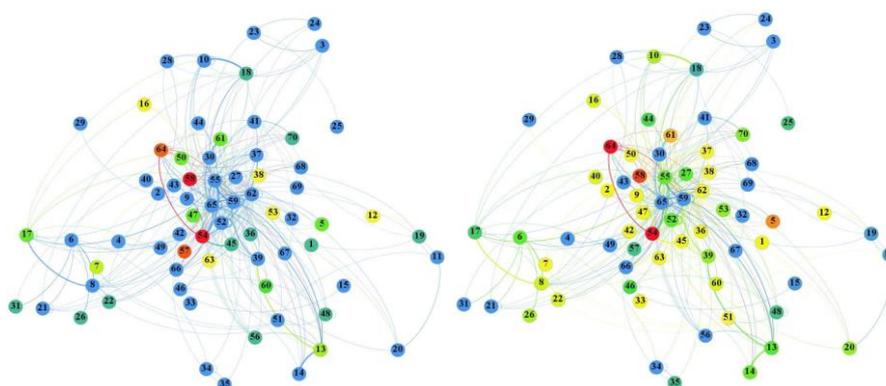


Figura 1 (continuación). Grafos de los Índices de Centralidad Ponderados

Panel C) Centralidad Ponderada de Intermediación Panel D) Centralidad Ponderada de Alfa



Las redes productivas se caracterizan por una alta heterogeneidad, debido al papel de los sectores en las transacciones comerciales; fenómeno caracterizado regularmente a través de una distribución de ley de potencias (Carvalho 2010; Acemoglu, Carvalho, et al. 2012). Las distribuciones de los cuatro índices de centralidad tienen un alto sesgo hacia el lado derecho, lo que indica la presencia de pocos sectores altamente centrales. Para verificar la distribución de la ley de potencias de los índices de centralidad, se emplean las pruebas de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov, las cuales mostraron un valor de significancia mayor a 0.05, lo que sugiere que no se rechaza la hipótesis nula de que los índices de centralidad siguen una ley de potencia.

Finalmente, este estudio muestra la importancia empírica de las herramientas de la teoría de redes para el análisis ex ante, ya que permite a los hacedores de política económica identificar características clave sobre la organización y la interrelación entre industrias en la red de producción. Así, las autoridades correspondientes podrían invertir adecuadamente



en los sectores productivos que generen dinamismo y crecimiento económico. Dados los hallazgos para la economía de Ecuador, el gobierno podría reforzar políticas que protejan a sectores altamente centrales de choques externos adversos o políticas que aumenten su productividad. Por ejemplo, la reducción del impuesto a la renta, la inversión en capacitación laboral y la reducción de las tasas de interés de los préstamos comerciales son choques positivos que generarían un aumento de la producción.

## BIBLIOGRAFÍA

- Acemoglu, Daron, David Autor, David Dorn, Gordon H Hanson, and Brendan Price. 2016. "Import Competition and the Great US Employment Sag of the 2000s." *Journal of Labor Economics* 34 (S1): S141–98. doi:10.1086/682384.
- Acemoglu, Daron, M. Carvalho, Vasco, Asuman Ozdaglar, and Alireza Tahbaz-Salehi. 2012. "The Network Origins of Aggregate Fluctuations." *Econometrica* 80 (5): 1977–2016. doi:10.3982/ECTA9623.
- Borgatti, Stephen P., and Daniel S. Halgin. 2011. "On Network Theory." *Organization Science* 22 (5): 1168–81. doi:10.1287/orsc.1100.0641.
- Carvalho, Vasco M. 2014. "From Micro to Macro via Production Networks." *Journal of Economic Perspectives* 28 (4): 23–48. doi:10.1257/jep.28.4.23.
- Carvalho, Vasco M., and Xavier Gabaix. 2013. "The Great Diversification and Its Undoing." *American Economic Review* 103 (5): 1697–1727. doi:10.1257/aer.103.5.1697.
- Carvalho, Vasco M. 2010. "Aggregate Fluctuations and the Network Structure of Intersectoral Trade." *Economics Working Papers* 1206. <http://www.econ.ucdavis.edu/seminars/papers/337/3371.pdf>.
- Carvalho, Vasco M, Makoto Nirei, Yukiko U. Saito, and Alireza Tahbaz-Salehi. 2016. "Supply Chain Disruptions: Evidence from the Great East Japan Earthquake." *SSRN Electronic Journal*. doi:10.2139/ssrn.2883800.
- Chenery, Hollis B., and Tsunehiko Watanabe. 1958. "International Comparisons of the Structure of Production." *Econometrica* 26 (4): 487. doi:10.2307/1907514.
- Dijkstra, E. W. 1959. "A Note on Two Problems in Connexion with Graphs." *Numerische Mathematik* 1 (1): 269–71. doi:10.1007/BF01386390.
- Fuentes, Noé Arón, and Myrna Sastré Gutiérrez. 2001. "Identificación Empírica de Sectores Clave de La Economía Sudbajacaliforniana." *Frontera Norte* 13,.
- Gabaix, Xavier. 2016. "Power Laws in Economics: An Introduction." *Journal of Economic Perspectives* 30 (1): 185–206. doi:10.1257/jep.30.1.185.
- Hirschman, Albert O. 1958. *The Strategy of Economic Development*. New Haven: Yale University Press.
- INEC. 2010. "Manual de Usuario CIIU - Clasificación Industrial Internacional Unifrome."
- Jackson, Matthew O. 2010. "Social and Economic Networks." *Social and Economic Networks*, 1– 504. doi:10.1093/acprof:oso/9780199591756.003.0019.
- Jackson, Matthew O. 2014a. "Networks in the Understanding of Economic Behaviors." *The Journal of Economic Perspectives* 28 (4): 3–22. doi:10.1257/jep.28.4.3. ———. 2014b. "The Past and Future of Network Analysis in Economics."
- Klaus, Esser. 2013. "Systemic Competitiveness: New Governance Patterns for Industrial Development (GDI Book Series, No. 7)." *Journal of Chemical Information and Modeling* 53 (9): 1689–99. doi:10.1017/CBO9781107415324.004.
- Leontief, Wassily W. 1951. "Input-Output Economics." *Scientific American* 185 (4). *Scientific American*, a division of Nature America, Inc.: 15–21. <http://www.jstor.org/stable/24945285>.
- Lucas, Robert E. 1977. "Understanding Business Cycles." *Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy* 5 (1933): 7–29. doi:10.1016/0167-2231(77)90002-1.
- Newman, M. E. J. 2001. "The Structure of Scientific Collaboration Networks." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 98 (2): 404–9. doi:10.1073/pnas.98.2.404.
- Rasmussen, Poul. 1958. *Studies in Inter-Sectorial Relations*. Amsterdam, North- Holland P. C.