



# Las propiedades estructurales de la red productiva de México

*The Structural Properties of Mexico's Productive Network*

**Martha G. Alatríste Contreras \***

**34**

## Palabras clave

*desindustrialización*

*reconfiguración*

*propiedades estructurales*

*red de producción*

*análisis de redes complejas*

## Keywords

*deindustrialization*

*reconfiguration*

*structural properties*

*production network*

*complex network analysis*

**Jel:** C67,D57,D85,O1

\* marthaalatríste@gmail.com  
Facultad de Economía, UNAM

## Resumen

La reconfiguración del sistema económico es un resultado emergente de las relaciones intersectoriales en la economía y cambios en su organización. En este trabajo se analizan las propiedades estructurales de la red productiva de México aplicando análisis de redes complejas para identificar si México ha experimentado algún proceso de reconfiguración. Resultados más relevantes dan evidencia de una reconfiguración de la economía mexicana encaminada a una desindustrialización. Sin embargo, no hay evidencia de un cambio estructural.

## Abstract

The reconfiguration of the economic system is an emergent outcome of intersectoral relationships and changes in the organization of the economy. This paper analyzes the structural properties of Mexico's productive network by applying complex network analysis to identify whether the country has undergone any process of reconfiguration. The most relevant results provide evidence of a reconfiguration of the Mexican economy oriented toward deindustrialization. However, there is no evidence of a structural change.

## Introducción

Los procesos de reorganización de los sectores en el sistema económico pueden desencadenar una reconfiguración de la estructura productiva e incluso un cambio estructural. La importancia de estudiar los procesos de reorganización y reconfiguración y posibles cambios estructurales radica en poder identificar hacia dónde se encamina el sistema económico. Estos procesos pueden reflejar industrialización o desindustrialización de una economía, lo cual es clave en las estrategias de crecimiento y desarrollo económicos de un país. Para identificar estos procesos de reorganización, analizamos la

estructura de las relaciones intersectoriales de la economía considerándola un sistema complejo y modelándola como una red.

Un sistema complejo es aquel donde partes heterogéneas interactúan entre sí y se autoorganizan. De esta interacción emergen comportamientos y patrones en el agregado que no pueden deducirse del comportamiento de una parte individual aislada o de la media; la suma de las partes no es el comportamiento del agregado. Un sistema complejo es dinámico por naturaleza; es adaptativo donde el comportamiento de sus agentes no necesariamente responde a un proceso de optimización. Un sistema complejo puede ser modelado como una red, lo cual permite tomar en cuenta las interacciones y los procesos más relevantes de un sistema. El análisis de redes provee de una herramienta esencial para entender la complejidad del sistema y sus propiedades emergentes (Barabasi, 2012). Por ello, se propone utilizar el análisis de redes, el cual resulta fundamental para considerar esta complejidad y nos permite ir más allá del análisis de insumo-producto.

En el análisis de insumo-producto tradicionalmente se calculan los encadenamientos directos y totales hacia atrás y hacia adelante y se compara lo que obtuvo cada sector con la media. Sin embargo, en un sistema complejo que frecuentemente está caracterizado por distribuciones sesgadas y asimétricas, el comparar con la media no es informativo ya que la media no es una medida de tendencia central precisa para estos sistemas. En cambio, en el análisis de redes complejas, se calcula la centralidad de cada sector y se observa la jerarquía que se forma. Esta jerarquía refleja la organización de los sectores dentro de la estructura productiva. Se toman los sectores más centrales siendo estos los cinco o diez con la centralidad más alta. El número de nodos a considerar dentro de la jerarquía depende de la pregunta de investigación, la asime-

tría en la distribución de centralidades y el tipo de sistema que se esté estudiando.

Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es triple. Se usan datos de insumo-producto y se aplica un análisis de redes complejas para: 1) caracterizar las propiedades estructurales de la red productiva de México y cómo han cambiado en el tiempo; 2) identificar los sectores clave con base en su posición dentro de las jerarquías dadas por diferentes medidas de centralidad; y 3) determinar si la economía mexicana ha experimentado un proceso de reconfiguración de su estructura productiva.

### Datos

Los datos que se utilizan son datos de las matrices de insumo-producto para México para los años 2008, 2013, and 2018 publicados por el INEGI en las cuentas nacionales (<https://www.inegi.org.mx/temas/mip/>).

Estas matrices clasifican la economía de acuerdo al SCIAN a nivel sector, subsector, rama y clase. Para esta investigación se utilizó el nivel clase, la cual clasificó a la economía en 814 sectores en 2008, 822 en 2013, y 834 sectores en 2018. Para poder comparar las estructuras de cada año entre sí, homologamos la clasificación de sectores para tener los mismos 803 sectores en cada uno de los tres años de estudio.

### Método

El método que aplicamos para responder las preguntas de investigación se divide en tres etapas: 1) construcción de la red productiva; 2) identificar las propiedades estructurales aplicando análisis de redes complejas; y 3) análisis estadístico.

En la primera etapa se construyen las redes productivas de cada año utilizando las matrices de insumo-producto ya homologadas. En particular, se usa la matriz de demandas inter-

medias como la matriz de adyacencia ponderada y dirigida de la red.

De acuerdo al Modelo de Insumo-producto propuesto originalmente por Leontief (1936; Leontief, 1949), la producción total de la economía tiene dos componentes uno endógeno de demandas intermedias y otro exógeno de demanda final. En forma matricial, la producción total es:

$$X=Z1+DF$$

donde  $X$  es el vector de producción final,  $Z$  es la matriz de demandas intermedias con entradas  $z_{ij}$ . Cada entrada contabiliza el flujo de dinero (\$) que el sector  $i$  le paga al sector  $j$  por los insumos que  $j$  le vendió a  $i$ ; la matriz  $Z$  es cuadrada.  $1$  es el vector suma y  $DF$  es el vector de demanda final.

Con la matriz e demandas intermedias modelamos a la economía como una red. Una red es un grafo  $G(V,E)$  dirigido, donde  $V=\{v_i | i=1,2,\dots,n\}$  son los nodos que corresponden a sectores y  $E = \{e_{ij} | i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,n; i,j \in V; e_{ij} \neq e_{ji}\}$ . Para describir la red se utiliza su matriz de adyacencia que en este caso es ponderada y tiene entradas  $W[z_{ij}]$ . También definimos la matriz binaria que será necesaria para el cálculo de algunas medidas de centralidad como los grados. La matriz binaria  $A$ , tiene entradas  $a_{ij}$ , donde

$$a_{ij} = \begin{cases} a_{ij} = 1 & \text{si el sector } i \text{ está conectado al sector } j \\ a_{ij} = 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

En la red productiva, los nodos son sectores y las conexiones ponderadas son las demandas intermedias. Las conexiones son dirigidas ya que  $z_{ij} \neq z_{ji}$ , e incluyen auto-conexiones. No se impone algún umbral para considerar una conexión como existente ya que todas las conexiones incluyendo las más débiles son im-

portantes para determinar las propiedades estructurales y configuraciones emergentes en un sistema complejo.

Para caracterizar las propiedades estructurales de las redes productivas de México en 2008, 2013 y 2018 se calculan dos tipos de medidas: una para el agregado y otra para cada nodo en la red. En el agregado se calculan: 1) densidad y 2) entropía. La medida de densidad de una red brinda información sobre la conectividad global de la red y se calcula como el cociente entre el número de conexiones que existen dividido entre el número de conexiones que existirían si todos los nodos estuvieran conectados. La medida de entropía es una medida de diversidad en sistemas complejos. Se calcula la entropía de Shannon, la cual de acuerdo a la teoría de la información es una medida de incertidumbre. A mayor entropía, mayor orden y las frecuencias de los valores observados son similares por lo que es difícil poder predecir cual será el valor que se obtenga ya que todos tienen la misma o similar probabilidad. En cambio a menor entropía, mayor desorden y mayores diferencias en las frecuencias observadas por lo que se podrá distinguir qué valor tiene más probabilidad de ocurrencia sobre los demás y habrá menor incertidumbre. En sistemas complejos, se relaciona una menor entropía con mayor diversidad.

Para cada nodo calculamos las siguientes medidas de centralidad: 1) grado hacia afuera y grado hacia adentro; 2) fortalezas o grados ponderados hacia afuera y hacia adentro; 3) score de autoridad y de hub. Las medidas de grado miden el número de conexiones adyacentes directas a cada nodo de acuerdo a la dirección de las mismas y son la suma de los renglones y columnas de la matriz binaria  $A$ . Las medidas de fortaleza o grado ponderado miden la suma de las ponderaciones de las conexiones adyacentes directas a cada nodo y son

la suma de renglones y columnas de la matriz  $Z$ . Finalmente, los scores de autoridad y hub son una generalización de la centralidad de valor propio y corrigen ciertas limitaciones de la misma para nodos fuera de los componentes fuertemente conectados (Newman, 2003; Newman 2010). Se calculan aplicando el algoritmo HITS, donde los scores tienen una relación de retroalimentación, mutuamente influyente (Kleinberg, 1999).

### *Análisis estadístico*

En el análisis estadístico consta dos partes. La primera parte incluye las pruebas de mejor ajuste con base en la estimación de máxima verosimilitud de los parámetros para diferentes variables aleatorias y la prueba Kolmogórov-Smirnov (KS).

La estimación de máxima verosimilitud maximiza la función de probabilidad en logaritmos definida para cada distribución. La función de verosimilitud es la función de probabilidad conjunta de observar los datos. Entonces, esta función de máxima verosimilitud es la función optimizada de la función de verosimilitud con los parámetros más probables. Por lo tanto, la función de probabilidad conjunta es el producto de las funciones de probabilidad individuales de los datos.

$$L(\theta) = P(X_1 = x_1, X_2 = x_2, \dots, X_n = x_n) = f(x_1, \theta) \dots f(x_2, \theta) \dots f(x_n, \theta) = \prod_{i=1}^n f(x_i, \theta)$$

La maximización de la función se realiza al diferenciar la función de verosimilitud con respecto a los parámetros de la distribución e igualando a cero.

$$\max_{\theta} \left\{ \prod_{i=1}^n f(x_i, \theta) \right\}$$

La maximización de la función de verosimilitud en logaritmos es equivalente a la maxi-

mización de la función original ya que es una función estrictamente creciente de la misma,  $\log L(\theta)$ . Los parámetros que maximizan son los mismos para ambos. La transformación logarítmica convierte el producto de funciones en una función de sumatoria, lo que simplifica el cómputo.

$$\max_{\theta} \{ \ln \{ \prod_{i=1} f(x_i \theta) \} \} = \max_{\theta} \{ \sum_{i=1} \ln(f(x_i \theta)) \}$$

La estimación de máxima verosimilitud tiene la ventaja de que no asume alguna distribución antes de la estimación. Se utilizó la librería `scipy.stats` de Python 3 para obtener estimadores de máxima verosimilitud (MLEs) para parámetros de forma, location (relacionado a la media), y escala (relacionado a la dispersión) de la demanda final. Realizamos este procedimiento para las siguientes variables: Beta, Exponencial, Exponencial-Weibull, Exponencial Power, Gilbrat, Logistic, Lognormal, Normal, Pareto, Power Law, Weibull min and Weibull max.

Después se aplicó la prueba de mejor ajuste o bondad de ajuste KS para identificar la variable que mejor describe la estructura productiva. La prueba de mejor ajuste KS es una prueba no paramétrica que contrasta la distribución de una variable observada contra una distribución dada (teórica) bajo la hipótesis nula de que las dos distribuciones son idénticas.

La segunda parte consiste en calcular la correlación de Spearman entre las jerarquías de las diferentes medidas de centralidad para los tres años. La correlación de Spearman mide la asociación entre dos variables. La correlación de Spearman es una medida no paramétrica de la relación monotónica entre dos variables. Varía entre -1 y +1, donde 0 implica no correlación. Correlaciones de -1 o +1 implican una relación monotónica exacta. Correlaciones positivas de +1 implican que conforme crece una variable

también lo hace la otra. Correlaciones negativas implican que conforme crece una variable, la otra disminuye. Así, a más baja correlación, habrá mayor diferencia en las jerarquías de un año a otro y más cambios en las posiciones de los sectores dentro de las jerarquías. La correlación de Spearman tiene la ventaja de no asumir una relación lineal entre las variables ex ante.

## Resultados

Primero se presentan los resultados respecto las propiedades de la red productiva en el agregado. En seguida se presenta la caracterización de la estructura de la red de acuerdo a la prueba de mejor ajuste y las correlaciones de Spearman. Posteriormente, se detallan los cambios en las posiciones de las jerarquías de acuerdo a las medidas de centralidad. En conjunto, los resultados darán evidencia de los cambios en las propiedades estructurales y darán evidencia de si hubo una reconfiguración o cambio estructural.

El número de relaciones intersectoriales aumentó un 18.7 por ciento de 2008 a 2013 y un 5 por ciento de 2013 a 2018. Esto se tradujo en un incremento de la densidad de la red del 22 por ciento y del 5 por ciento respectivamente (ver Tabla 1). Por otro lado, la entropía aumentó de 2008 a 2013 pero disminuyó ligeramente al 2018, dejando un balance al alza en todo el periodo.

**Tabla 1. Propiedades de la red productiva**

	2008	2013	2018
Número de conexiones	60,200	71,467	75,191
Densidad	0.0909	0.1109	0.1167
Entropía	11.33	11.74	11.69

Dentro de la estructura productiva, cabe destacar el comportamiento de las industrias manufactureras. Una reconfiguración de la estructura productiva caracterizada por una pérdida de jerarquía de la manufactura podría dar evidencia de un proceso de desindustrialización ya que mostraría una desintegración de la manufactura con el resto de la estructura productiva. La Tabla 2 presenta cambios en las conexiones de las industrias manufactureras.

**Tabla 2.** *Sectores Manufactureros y sus conexiones*

	2008	2013	2018
Nodos	285	285	285
Conexiones	20,016	21,771	17,496
Conexiones porcentaje del total	33.25	30.46	23.22
Conexiones como compradores	35,419	38,126	33,179
Porcentaje del total	58.84	53.35	44.03
Conexiones como proveedores	28,584	35,237	36,664
Porcentaje del total	47.48	49.31	48.65

Observamos que el número de conexiones totales de las industrias manufactureras disminuyeron en un 12.6 por ciento en el periodo de estudio. Como porcentaje del total de conexiones de toda la economía, también disminuyeron en 10 puntos porcentuales, una caída considerable.

**Tabla 3.** *Caracterización de la estructura productiva*

Año	Distribución de mejor ajuste	Prueba KS	MLEs
2008	Logística	(0.481, 0.0)	(1.046, 13.607)
2013	Logística	(0.479, 0.0)	(1.747, 20.6003)
2018	Logística	(0.480, 0.0)	(2.590, 32.867)

En todos los años las demandas intermedias fueron mejor descritas por la distribución logística (ver Tabla 3). La distribución logística tiene colas más anchas que la distribución normal, por lo que se considera que es más consistente con la descripción de algunos datos y provee un mejor entendimiento respecto la probabilidad de eventos o datos extremos (muy pequeños o muy grandes). La función acumulada de la logística ha sido utilizada para modelar funciones de crecimiento. El hecho de que en todos los años, la distribución de mejor ajuste fue la logística da evidencia de que la estructura no presentó un cambio estructural de lo contrario habría cambiado su forma y hubiera sido mejor descrita por otra variable. Los parámetros estimados de la distribución muestran una alta dispersión alrededor de la media e incrementaron su valor año con año. Esto cambió la forma de la distribución a una más ancha y chata. Esta nueva forma da evidencia de un aumento de dispersión.

Las correlaciones de Spearman muestran diferencias en la jerarquía de sectores de acuerdo a las diferentes medidas de centralidad; el mayor cambio se observó de 2008 a 2013 con una disminución del coeficiente de correlación a 0.6.

Dentro de las jerarquías, observamos cambios en la organización de los sectores de la economía ya que experimentaron cambios en sus posiciones (ver Tabla 4). En general, se observa una disminución en la jerarquía de las industrias manufactureras a favor de un aumento de la posición en la centralidad de actividades relacionadas a la extracción, refinación y derivados del petróleo y la administración pública (regulación y fomento, órganos legislativos, administración pública en general). En particular observamos que en los diez sectores más centrales de acuerdo a todas las medidas, aparecen 12 manufacturas en el 2008.

Sin embargo esta cifra disminuye para 2013 y 2018 años en los cuales sólo aparecen 9 y 7 respectivamente. Es importante señalar que en 2018, las siete manufacturas que aparecieron

en el top diez lo hicieron en las jerarquías de autoridades y hub únicamente. En las demás medidas de centralidad sólo aparecen dos manufacturas: refinación de petróleo y elabora-

ción de computadoras y equipo periférico.

**Tabla 4.** *Manufacturas en los top 10 de los sectores mas centrales de acuerdo a todas las medidas*

2008	2013	2018
Fabricación de otras auto partes	Refinación de petróleo	Fabricación de componentes electrónicos
Fabricación de petroquímicos básicos del gas y del petróleo	Fabricación de petroquímicos básicos del gas y del petróleo refinado	Refinación de petróleo
Refinación de petróleo	Fabricación de otros productos químicos	Elaboración de computadoras y equipo periférico
Elaboración de otros instrumentos de medición, control y equipo médico electrónico	Elaboración de automóviles y camionetas	Fabricación de petroquímicos básicos del gas y del petróleo refinado
Fabricación de componentes electrónicos	Fabricación de componentes electrónicos	Fabricación de equipo de transmisión y recepción de señales
Fabricación de equipo eléctrico y electrónico y auto partes	Elaboración de otros instrumentos de medición, control y equipo médico electrónico	Fabricación de audio y video
Fabricación de equipo y aparatos de distribución de energía eléctrica	Fabricación de otras auto partes	Fabricación de equipo eléctrico y electrónico y auto partes
Fabricación de audio y video	Fabricación de equipo y aparatos de distribución de energía eléctrica	
Fabricación de otros productos de plástico sin reforzamiento	Fabricación de audio y video	
Fabricación de otros productos metálicos		
Fabricación de autos y camionetas		
Fabricación de piezas metálicas para maquinaria y equipo		

### Discusión

De 2008 a 2013 la densidad de la red productiva mexicana aumentó y la configuración de su estructura cambió. Se crearon nuevas conexiones pero de forma heterogénea a lo largo de la economía.

Las conexiones de la manufactura disminuyeron sobre todo como compradores de insumos. Resultados dan evidencia de que los sectores manufactureros como proveedores de insumos se vieron más afectados en términos de la fortaleza de sus conexiones más que

en el número.

El resultado de las correlaciones de Spearman muestra que las jerarquías de sectores de acuerdo a las medidas de centralidad es diferente en cada año. Más aún, la mayor diferencia se observa de 2008 a 2013. Esta diferencia se refleja en cambios en la organización de sectores y, por lo tanto, en la configuración sectorial.

La distribución de una Logística fue el mejor ajuste en los tres años con diferencias en los parámetros. Valores estimados muestran una mayor dispersión y una distribución más acha-

tada. Estos resultados dan evidencia de una reconfiguración pero no de un completo cambio de estructura. Si el sistema económico hubiera experimentado un cambio estructural, la prueba de mejor ajuste hubiera arrojado una diferencia en las variables aleatorias que mejor describen la estructura de la economía. Esto no ocurrió por lo que la economía mexicana no experimentó un cambio estructural en el periodo de estudio.

Existe evidencia de que la economía experimentó un proceso de desindustrialización ya que la centralidad de los sectores manufactureros disminuyó y sus conexiones con el resto de los sectores se vio afectada en términos de número y fortaleza de conexiones con sectores fuera de la manufactura.

Los resultados de esta investigación contribuyen a la discusión sobre cómo identificar un proceso de industrialización o desindustrialización. Tradicionalmente, desindustrialización se mide como una disminución en la contribución de la manufactura en el valor agregado o producción total nacional. Sin embargo, si vemos estas contribuciones en los años de estudio observamos que éstas aumentaron de 2008 a 2018. Por lo tanto, si se hubieran utilizado estas contribuciones únicamente, se hubiera llegado a una conclusión imprecisa. Los resultados de esta investigación dan evidencia de la importancia de estudiar las propiedades de la estructura completa de la economía y la posición que tienen los sectores manufactureros en ella. El basarse únicamente en contribución de las medidas macroeconómicas no es suficiente para caracterizar un proceso como de industrialización.

## Conclusiones

La economía mexicana experimentó una reconfiguración que puede ser atribuida a un proceso de desindustrialización. Sin embargo, resultados señalan que esta reconfiguración no es un cambio estructural.

La desindustrialización identificada es consecuencia de que México ha fracasado en integrar a los sectores manufactureros con el resto del sistema económico debido, en parte, a la ausencia de una política industrial que coordine sectores público y privado para llevar esfuerzos de investigación y desarrollo a la creación de más y más fuertes conexiones productivas dentro y fuera de la manufactura. Este enfoque implica el trabajar desde la perspectiva de sistemas complejos y diseñar políticas que consideren cadenas de producción en vez de productos finales únicamente. 🌐

## Referencias

- Barabási, Albert-László. The network takeover, *Nature Physics*, 8, 2012, pp.14-16
- Cuauhtemoc Calderon Villarreal y Leticia Hernandez-Biela (2016). Cambio estructural desindustrialización en México. *Panorama Económico*, Escuela Superior de Economía, Instituto Politécnico Nacional, vol. 12(23), pages 29-54
- González Arévalo, Ana Luisa (2017). *México ante la desindustrialización de su manufactura*. Ediciones Del Lirio
- Hirschman, A. O.. *Strategy of Economic Development*. Yale University Press, USA, 1958.
- Kleinberg, J.M (1999). Authoritative Sources in a Hyperlinked Environment. *Journal of the ACM*, 46(5), pp. 604–632
- Langville, Amy N. and Carl D. Meyer (2005). A survey on Eigenvector Methods for Web Information Retrieval. *SIAM Review*, 47(1), pp. 135-161
- Leontief, Wassily. Quantitative input and output relations in the economic systems of the United States. *The Review of Economics and Statistics*, 18(3), 105-125, 1936.
- Leontief, Wassily. Structural Matrices of National Economies. *Econometrica*, Supplement: Report of the Washington Meeting, 17, 273-282, 1949.
- McGilvray, J. Linkages, Key Sectors, and Development Strategy in *Structure, System, and Economic Policy*, pp. 49-56. Cambridge University Press, 1977.
- Miller, Ronald E. and Peter D. Blair (2009). *Input-Output Analysis. Foundations and Extensions*. Cambridge University Press
- Newman, M.E.J. The Structure and Function of Complex Networks. *SIAM Review*, 45(2), pp. 167-256, 2003.
- Newman, M.E.J. *Networks: An Introduction*. Oxford University Press, USA, 2010.
- Rodrik, Dani (2016). Premature deindustrialization. *Journal Economic Growth*, (2016) 21, pp. 1–33.
- Salama, Pierre (2020) ¿Por qué los países latinoamericanos sufren un estancamiento económico de largo plazo? Un estudio a partir de los casos de Argentina, Brasil y México. *El Trimestre Económico*, vol. LXXXVII (4), núm. 348, pp. 1083-1132.