



INFORME ESTADO DE LA NACIÓN EN DESARROLLO HUMANO SOSTENIBLE 2017

Análisis de redes de la Matriz Insumo-Producto de Costa Rica

Vladimir González Gamboa

Esteban Durán Monge



Nota: El contenido de esta ponencia es responsabilidad del autor. El texto y las cifras de las ponencias pueden diferir de lo publicado en el Informe sobre el Estado de la Nación en el tema respectivo, debido a revisiones posteriores y consultas. En caso de encontrarse diferencia entre ambas fuentes, prevalecen las publicadas en el Informe.

Índice

1. Resumen Ejecutivo	3
2. Introducción	4
3. Metodología.....	5
4. Resultados	10
5. Conclusiones	45
Bibliografía	47
Anexo metodológico.....	49

Resumen Ejecutivo

A partir de la matriz insumo producto de Costa Rica (MIP) es posible observar los flujos de insumos que tienen lugar entre bienes y servicios dentro la economía. Para efectos de este estudio la MIP se interpreta como una red que permite estudiar la dinámica de relaciones entre productos pertenecientes a distintos sectores y regímenes. Mediante el análisis de redes (AR) es posible analizar la estructura de la red que surge a partir de las interacciones entre productos a nivel de demanda intermedia. Además, el análisis permite identificar patrones de relaciones entre productos que explican el funcionamiento de la red y sus posibles consecuencias en la economía.

Primeramente, a través de estadísticas propias del análisis de redes es posible estimar el rol de los principales productos tanto en la estructura, como en el funcionamiento de la red. Estas estimaciones corroboran que no existen productos que sobresalen por tener una gran cantidad de contactos, lo que reduce la posibilidad de expandir shocks rápidamente.

Posteriormente, un análisis de comunidades muestra cómo se forman grupos que determinan la estructura en el sistema de relaciones. Este tema se aborda desde dos perspectivas. En primer lugar desde el punto de vista estructural y posteriormente desde una perspectiva teórica. Esto permitió ubicar los productos de la red en términos de sectores económicos. Los resultados indican que los productos se agrupan en clústeres que se interconectan por pocas relaciones. Esta característica provoca vulnerabilidad dado que el debilitamiento o desaparición de alguno de estos productos que funcionan como puentes entre clústeres, podría causar desconexión en la red, dejando así una economía poco o nada interconectada. Una red con alto grado de desconexión entre productos y clústeres es un impedimento para que exista un flujo dinámico de bienes y servicios, al mismo tiempo que limita el desarrollo de encadenamientos productivos.

Finalmente, un análisis detallado en los patrones de relaciones entre productos permitió aplicar un índice de similitud estructural, a saber, el índice de Jaccard. Esta aplicación muestra que, dependiendo de la función de los productos en la red, ya sea como proveedores o demandantes de insumos, se crean patrones diferentes de interacción. Estos patrones analizados a la luz de los montos totales transados y de las estadísticas de centralidad de la red muestran diferencias y ventajas entre sectores.

Introducción

Comprender cómo se interrelacionan las industrias de la economía costarricense es fundamental para el entendimiento de la realidad económica del país. Esta investigación analiza la dinámica de las relaciones entre los distintos productos, regímenes y sectores a nivel de demanda intermedia. De esta manera, a través del análisis de redes, es posible identificar patrones en las relaciones que explican el funcionamiento de la economía.

A partir de la matriz insumo producto, se analiza la estructura que emerge del proceso en que los productos actúan como proveedores o demandantes de insumos. Si bien cada relación entre productos puede tener características distintas o únicas, al mismo tiempo la estructura de la red a nivel macro tiene características propias que pueden influenciar la creación de relaciones a nivel producto-producto y además propiciar interacciones más complejas entre grupos de productos. Por ejemplo, las relaciones de tres productos que forman una especie de estructura tríadica en la red puede tener influencia en cómo se constituye la estructura de la red, tal y como se analizará en el documento.

Así, el análisis permite determinar cuáles son los productos más centrales en la red, y analizar el nivel de dependencia y vulnerabilidad del sistema de relaciones. Además permite estudiar en qué forma y a qué nivel se relacionan los productos, y si estos forman subestructuras determinadas que no obedecen a preceptos teóricos. Más allá, también se estiman las características globales de la red para comprender qué ventajas y desventajas tiene esta en el accionar económico del país.

Estudios previos han analizado la matriz insumo-producto (MIP) de diferentes países europeos utilizando el análisis de redes. En un estudio se exploran principalmente características estructurales de las redes y su influencia en la economía (Blöchl et al., 2011). A través del desarrollo de medidas de centralidad basadas en la distancia dentro de la red, Blöchl et al. (2011) demuestran la existencia de similitud y diferencia entre economías. Las medidas de centralidad miden la posición de un producto en la red, de esta forma se puede cuantificar, por ejemplo, a cuántos productos provee un producto y así estimar qué tan importante o central es un producto cumpliendo esta función en la red. Productos con más relaciones tienden a ser más centrales y se encuentran a menos productos de distancia de otros productos.

Carvalho (2014) analiza como micro shocks, localizados en la red de la matriz insumo-producto de Estado Unidos, pueden difundirse a través de la red. Es entonces cuando estos shocks se pueden transformar en macro shocks que afectan toda la economía y no solamente un sector de esta. Medidas basadas en centralidad y distancia son utilizadas para dicho análisis. Más específicamente, el autor identifica *Hubs* (productos con una cantidad excepcional de relaciones) que adicionalmente cumplen con una función de puente o intermediación. Carvalho (2014) concluye que son diez los sectores de la economía norteamericana que más centralidad presentan, empezando por comercio y terminando por mercadeo. Interesantemente, cada sector de la economía con más centralidad tiene un tipo de tecnología especializada, lo que en apariencia puede brindar cierta independencia de otros sectores. Sin embargo, estos *Hubs* pueden propagar shocks económicos fácilmente y rápidamente a través de la red.

Más recientemente, Cerina et al. (2015) se dieron a la tarea de estudiar las redes que emergen de las relaciones basadas entre sectores de las economías más importantes del mundo: dentro de la Comunidad Europea, fuera de la Comunidad Europea (China y otros países selectos) y el NAFTA. Basándose en las matrices insumo producto de los países, los autores, pudieron analizar las relaciones de los sectores de cada economía con otros sectores fuera de sus fronteras para el periodo de 1995 al 2011. Se encontraron redes altamente y, a la vez, asimétricamente conectadas. Este análisis se basó en la distribución de las cantidades por producto, según la cantidad de relaciones que un producto tiene y según la tendencia a relacionarse con otros productos centrales (con muchas relaciones). Esto en términos prácticos indica que pequeños shocks en la economía nacional tienen alta probabilidad de difundirse por la red.

El presente estudio primero se enfocará en determinar la posición de los productos más sobresalientes de la Matriz Insumo Producto (MIP), desde un punto de vista estructural y en términos monetarios. Posteriormente, se analizará la presencia de grupos o comunidades que emergen en la red desde una perspectiva estructural, así como de categorías realizadas a priori. Por último, se estudiarán las características globales de la red, estas son importantes para estimar la vulnerabilidad ante shocks en la economía costarricense. Así, este trabajo se perfila como una investigación pionera de carácter exploratorio debido a que al momento de iniciar la investigación no se había encontrado ningún otro estudio de la MIP costarricense desde la perspectiva del análisis de redes.

Metodología

El análisis expuesto en el presente documento se basa en la MIP de Costa Rica que utiliza como año base el 2012 y fue publicada por el Banco Central de Costa Rica en el 2016. Esta matriz presenta la demanda y oferta entre productos pertenecientes a distintos sectores, es decir, describe las transacciones entre los diferentes productos de la economía.

Así, la MIP es en realidad una matriz de relaciones insumo-producto donde un producto i se relaciona con un producto j , y esa relación tiene un valor w , w_{ij} . Además, este vínculo tiene una dirección pues un producto determinado puede actuar como proveedor o demandante de insumos.

En toda red de insumo producto es común que existan *loops*, es decir, *vínculos* donde un producto brinda insumos a sí mismo (Blöchl et al., 2011). Por lo que estos *loops* son permitidos e incluidos en el presente análisis. Las redes de insumo producto son normalmente redes densas y altamente conectadas (Blöchl et al., 2011, Cerina et al., 2015).

Dadas las condiciones anteriores la visualización de la red puede ser difícil. Además, la alta densidad exige precaución al momento de determinar los criterios de análisis debido a que no cualquier medida estadística permitirá captar de manera acertada ciertas características estructurales de la red. Si una red es muy densa, la cantidad de relaciones y la distancia entre los productos tenderá a ser pequeña y similar. Estas características requieren especial atención.

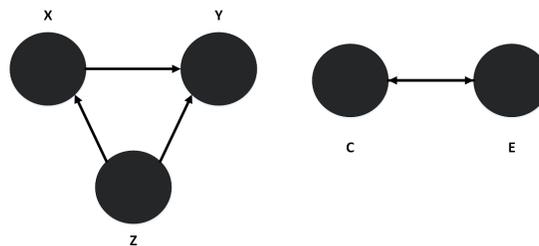
Análisis de redes

El análisis de redes (AR) es una aproximación teórica y metodológica que analiza las relaciones entre actores. Este enfoque asume explícitamente que estos participan en sistemas de relaciones que los conectan con otros actores.

Este enfoque requiere la existencia de dos elementos indispensables para conformar una red: los actores y sus relaciones. Los actores pueden ser individuos o colectivos, como personas, empresas, productos, sectores económicos o incluso países. Las relaciones se definen como un tipo de contacto específico o conexión entre pares de actores. Existe una enorme variedad de vínculos que tienen lugar entre individuos y actores sociales. Por ejemplo, a nivel interpersonal, dos individuos pueden interactuar, ser amigos, pelear, sentir afecto, entre otras relaciones. Dos empresas pueden intercambiar bienes y servicios, competir, comunicarse, colaborar o demandarse (Knoke y Yang, 2008).

El análisis de redes utiliza grafos para representar las relaciones que resultan de los vínculos entre actores. Así, se utilizan nodos o círculos para representar individuos y líneas para mostrar sus conexiones (figura 1). El mapeo de estas relaciones permite visualizar canales a través de los cuales puede darse el intercambio de información, recursos, o que funcionan como medio para que un individuo u organización pueda influenciar a otro (Scott, 2013).

Figura 1
Representación de una red



Fuente: Elaboración propia.

Definición de la red

Conceptualmente, en la red de la MIP cada producto está representado por un nodo. Y una relación diádica (entre dos productos) existe si y sólo si un producto sirve de insumo a otro producto, demanda insumos de otro producto, o ambas a la vez (Chartrand, 1985). En pocas palabras el vínculo existe cuando se representa una relación en la MIP.

De esta forma, la red se crea al tomar en cuenta las interacciones entre los productos incluidos en la MIP publicada por el Banco Central de Costa Rica en el 2016, que utiliza como año base el 2012. Además, se considera la distinción entre régimen definitivo y régimen especial (zonas francas y perfeccionamiento activo). De este modo por producto se tiene una cantidad demandada (entrada o *input*) y una cantidad ofrecida (salida o

output). Este análisis se realizó solamente a nivel de demanda intermedia, es decir, no considera la demanda final de los hogares y el gobierno, formación bruta de capital, variación de existencias ni exportaciones.

Es importante mencionar que existen 5 productos identificados como aislados, es decir, que no tienen ninguna relación con otros en la red, estos son: trigo, otros cereales, petróleo y gas natural, gasolina y servicios domésticos. En el caso del trigo, esto se debe a que el consumo a nivel nacional se enfoca en la harina de trigo, que se considera como otro producto en la MIP. En lo que se refiere a petróleo, gas natural y gasolina, la inexistencia de relaciones se debe a que estos bienes no se producen en el país y únicamente se reflejan en la demanda intermedia importada que no forma parte del análisis. En lo que respecta a los servicios domésticos, estos no son insumo para la producción, ni tampoco utiliza insumos de otros productos, así, se reflejan directamente en el consumo de los hogares. Por estas razones la matriz no registra relaciones de ningún tipo entre los productos antes mencionados y otros bienes y servicios. Por lo tanto, estos productos fueron excluidos de los análisis.

Dicho lo anterior se procede a definir las redes. La red de la MIP se denomina G_M , esta es una red dirigida por tener direccionalidad en cada relación debido a que un producto puede proveer (salida de insumos) o demandar (entrada de insumos) de otro. Por ejemplo, en la figura 1, el nodo x representa un producto que provee insumos al nodo y . Esta red representa cómo se relacionan todos los productos de la matriz insumo producto entre sí. Tiene un tamaño de 12.439 lazos, creados por 183 productos que conforman el orden de la red. Dicha red considera todos los productos y sus interacciones de demanda intermedia, sin distinguir entre los regímenes definitivo o especial.

Si se consideran estos mismos productos y se hace la distinción por régimen, se obtiene una segunda red llamada G_{MR} . Esta cuenta con 259 productos y 21.259 relaciones. Así, si un producto se encuentra en ambos regímenes, se considera como dos nodos o productos separados, cada uno asociado a un régimen y con relaciones propias.

Niveles del análisis de Redes para el caso de la MIP costarricense

El análisis de la MIP se realiza en tres niveles, pero además se complementa con un análisis de similitud estructural que es transversal a los dos primeros niveles y un breve estudio de redes egocéntricas.

Las estimaciones de las estadísticas se realizaron en el programa estadístico R (R, 2008), y específicamente con el paquete *igraph* (Csardi y Nepusz, 2006) especializado en el análisis complejo de redes. Los detalles técnicos de las estadísticas analizadas se presentan en el anexo metodológico al final de este documento.

Análisis de Centralidad

El primer nivel se basó en un análisis de los productos a nivel individual. En este caso algunas estadísticas propias del análisis de redes permiten estimar la importancia de los productos dada su posición estructural en la red, esto se conoce como el análisis de

centralidad.

Dada la posición estructural en la red un producto tiene más o menos importancia que otro. La posición se determina, en primer lugar, según la cantidad de contactos y, en segundo lugar, de acuerdo a qué tan estratégicos son dichos contactos. Las medidas utilizadas fueron: centralidad de grado, centralidad de entrada, centralidad de salida, e intermediación. A continuación se presentan un breve resumen de cada uno:

- **Centralidad de grado:** suma de la cantidad de relaciones que tiene cada producto.
- **Centralidad de grado de entrada:** cantidad de relaciones que tiene cada producto al demandar insumos. Este se refiere a que tan central es un producto al ser *demandante de insumos*.
- **Centralidad de grado de salida:** cantidad de relaciones que cada producto tiene al proveer insumos. Este se refiere a que tan central es un producto al ser *proveedor de insumos*.
- **Intermediación:** Esta medida cuantifica la cantidad de veces que un producto sirve como puente al ser el camino más corto para conectar otros dos nodos en la red. Así un producto que sirve como puente para conectar más productos tendrá un valor mayor.

Análisis de Grupos

El segundo nivel de análisis, se basó en el análisis de grupos o comunidades también denominados clústeres. Este tiene como objetivo determinar la existencia de agrupaciones en la estructura de la red. Es importante destacar que en el caso del presente estudio, el término clúster se utiliza desde el punto de vista meramente estadístico, no desde la perspectiva económica. Así, este tipo de análisis considera cómo se relaciona cada producto con los demás, y para estimar clústeres se utilizan dos técnicas propias del análisis de redes.

La primera se basa en la técnica de detección de subgrupos en redes conocida como Girvan-Newman (Girvan y Newman, 2002). Esta técnica analiza la estructura de la red a través de la existencia de productos que funcionan como puentes entre otros productos. Como se demuestra en la sección de resultados, estos puentes tienen un rol importante en la estructura de la MIP. Por este motivo se utiliza esta técnica para analizar la estructura de la red.

El algoritmo en el cual se basa la técnica estima primero los niveles de centralidad por intermediación, después elimina estos lazos y procede a recalcularla. Así es posible encontrar subgrupos que se conectan a través de puentes en la red. La técnica de Girvan-Newman no captura las relaciones locales por la alta densidad de la red (Girvan y Newman, 2002). Sin embargo, por la forma en que funciona (dado que elimina primero los productos con una intermediación más alta y luego recalcula la intermediación) permite ver con claridad la división en grupos dentro de la red.

La segunda técnica empleada se conoce como Walktrap y se basa en trayectorias al azar

(conocida como *random walk*), pero cortas (menos de 6 vecinos de distancia). Esta técnica es ideal para redes de gran tamaño (Ponds y Latapy, 2005). Captura la vecindad de los productos hasta seis contactos de lejanía. De esta forma se puede capturar un clúster de vecindarios inmediatos a cada producto. El objetivo es poder reconstruir la verdadera estructura de la red, asumiendo que la red está muy clústerizada.

Características Globales de la Red

Por último el tercer nivel de análisis, consistió en identificar y describir ciertas características globales de la red. Esto es importante, ya que la red es más que la suma de los productos y sus atributos. Más bien la red toma propiedades en sí misma, como un sistema ordenado y con capacidad de autorregularse es capaz de limitar o potencializar las capacidades de cada uno de los productos que la conforman.

Estas características globales dan un contexto de la estructura en la que están inmersos los productos. Para este nivel de análisis se usaron cinco estadísticas de red: distancia promedio, promedio de intermediación, reciprocidad, triangulación y densidad.

- **Distancia promedio:** es la distancia promedio que existe entre los productos de la red. Por ejemplo, si entre dos productos solo existe un producto, entonces la distancia será 1. En este caso dos productos estarían conectados indirectamente solo por un producto.
- **Reciprocidad:** indica la proporción del total de lazos en la red que son recíprocos. Por ejemplo, un producto demanda de otro y al mismo tiempo provee insumos a ese mismo producto, es decir, una relación bidireccional (ver figura 1 red derecha)
- **Triangulación o transitividad:** esta medida muestra en una escala de 0 a 1 la capacidad de la red para formar clústeres basándose en triadas de productos. Esto significa que tres productos se relacionan entre sí tal y como lo muestra la figura 1 en la red de la izquierda. Un valor cercano a 1 indica que la red está formada por clústeres que se conectan entre sí, pero que a la vez se desencadenan del resto de la economía. Por el otro lado un valor más cercano a 0 indicaría que los productos están conectados en forma muy desorganizada. Un valor intermedio sería por ende más deseado.

Densidad: esta medida presenta la proporción de lazos existentes dada la cantidad de lazos posibles.

Similitud Estructural en la Red

Este es un análisis transversal a los dos primeros niveles y permite profundizar en sus resultados. Mediante esta técnica se puede estudiar cómo diferentes productos que comparten muchas de las relaciones en la red, puedan tener funciones estructuralmente similares.

El índice de Jaccard (**Jc**) fue inicialmente propuesto por Jaccard (1901), y es una forma de medir *similitud estructural* entre productos dada por el patrón de relaciones entre ellos (Leicht et al., 2006). Dos productos pueden tener una equivalencia estructural si ellos comparten muchos o todos los productos con los que se relacionan (Lorrain and White,

1971; Leicht et al., 2006). A partir de esta premisa, es posible saber qué atributos tienen en común productos que comparten las mismas relaciones insumo-producto.

La medida se normaliza de tal forma que un valor de **1** indica que dos productos *i* y *j* comparten todas sus relaciones. En este caso *i* y *j* serían dos productos diferentes, pero con la misma posición estructural en la red (pues comparten todas sus relaciones). Esto ayuda a conocer cuáles productos cumplen funciones similares o idénticas en la red. Sabiendo esto y el nivel de interdependencia entre productos, se podrían elaborar políticas claras para evitar duplicidad de funciones entre productos que comparten muchas relaciones y por tanto cumplen una función similar en términos de la estructura de la red. Además, comprender este aspecto también puede para mejorar la eficiencia de la economía promoviendo especializaciones donde sea posible.

Según los resultados, podemos estimar diferentes niveles de similitud estructural. Cero similitud cuando el **Jc** igual a **0**, un nivel bajo de similitud cuando el **Jc** está entre **0.1** y **0.39**, nivel medio de similitud cuando **Jc** está entre **0.4** y **0.59**, nivel alto de similitud cuando **Jc** está entre **0.6** y **0.79**, un nivel muy alto de similitud cuando **Jc** está entre **0.8** y **0.99**, y en **1** la similitud es perfecta.

Redes egocéntricas o ego

De manera complementaria, se realiza un análisis utilizando la metodología de redes egocéntricas. Se refiere a las red de un nodo particular seleccionado y conocido como ego. El análisis se concentra en identificar los nodos o alters que comparten la relación con el ego, y de ser posible las relaciones entre ese segundo grupo de nodos. Las redes egocéntricas son utilizadas en muchos casos para analizar muestras de un gran número de egos y sus respectivas redes (Scott y Carrington, 2011).

Resultados

Análisis individual: posición estructural de productos

Esta sección pretende analizar la estructura de la red y, mediante el uso de estadísticas del AR e identificar productos que sobresalen por su posición en el funcionamiento dentro del sistema de relaciones.

Los datos muestra que la red G_M considera 178 productos cuya interacción genera 12.439 vínculos que representan el flujo de insumos a nivel de demanda intermedia. La figura 2 representa la red G_M donde se muestran las relaciones registradas entre productos sin realizar distinción alguna por régimen. Retomando lo explicado en la metodología, cada nodo o círculo representa un producto y las líneas muestran las transacciones entre estos.

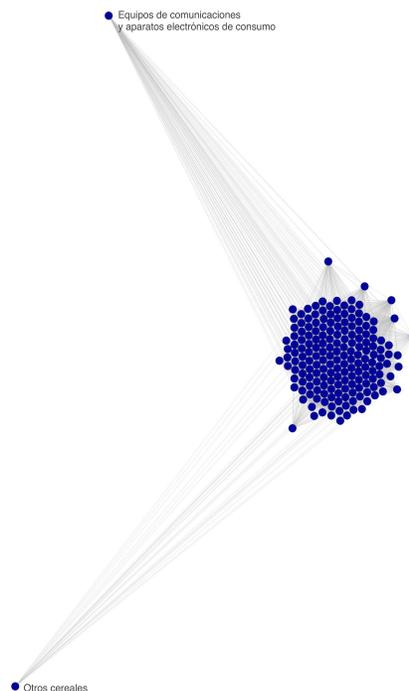
Para efectos de la visualización se utiliza el algoritmo ForceAtlas2 desarrollado por Jacomy et al. (2014). Para interpretar la posición de un nodo en la red se debe comparar con la posición de los otros nodos. Este algoritmo representa visualmente las

proximidades estructurales, es decir, productos que se encuentran más conectados entre sí tienden a estar más cerca.

En la figura 2 se observa una alta concentración de nodos en un zona específica ubicada en el centro del grafo. La cercanía entre los nodos refleja la gran cantidad de relaciones que existe entre estos productos, se observa una estructura donde la gran mayoría de los nodos están muy cerca unos de otros. Es posible observar dos nodos que se encuentran alejados del resto, a saber, otros cereales y equipos de comunicaciones y aparatos electrónicos de consumo. Estos dos productos se encuentran relativamente menos conectados con el resto, por ende se posicionan a una mayor distancia del resto de nodos.

Figura 2

Representación gráfica de la red G_M , matriz insumo productos de la economía costarricense (178 productos, 12439 relaciones)



Fuente: Elaboración propia con datos del BCCR.

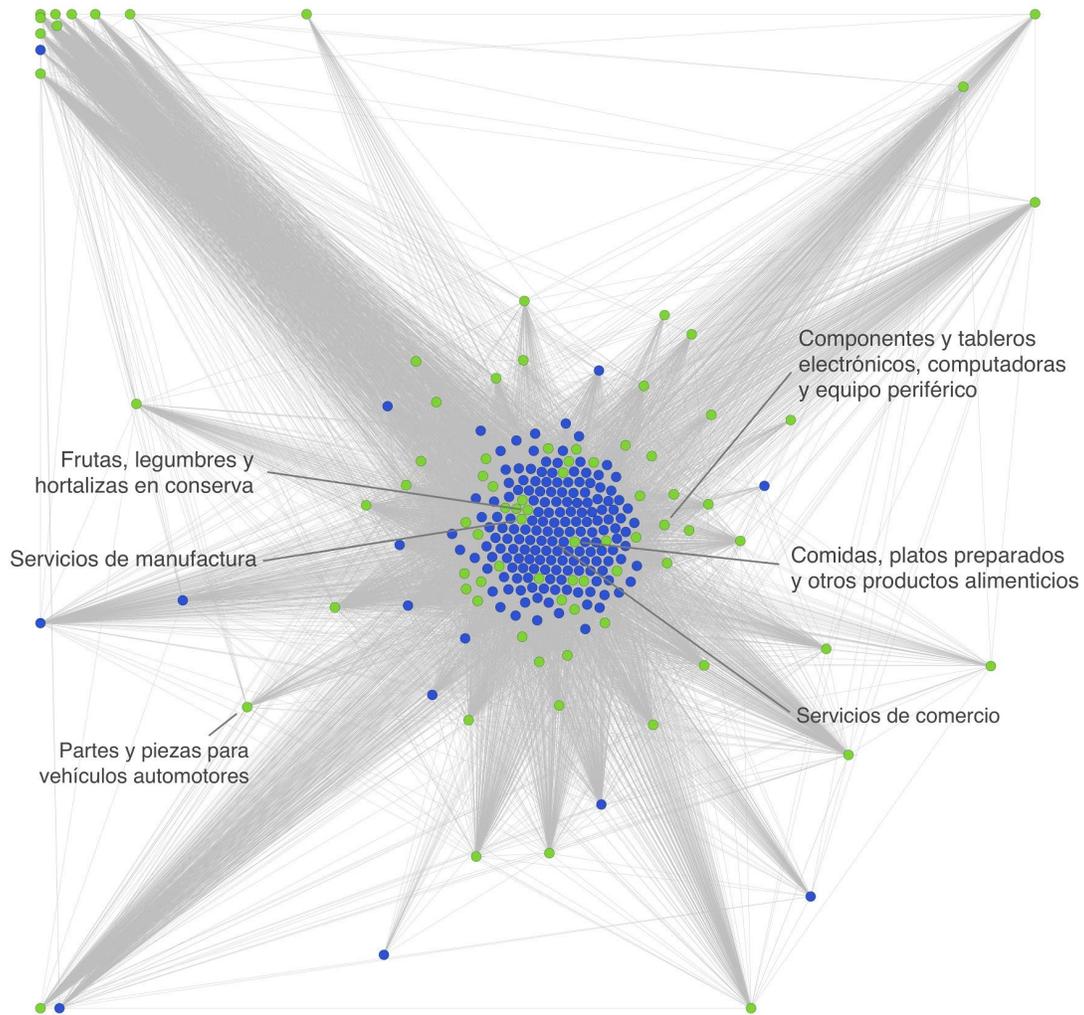
Al analizar la red G_{MR} , es decir, al incorporar la distinción según régimen, se observa un panorama distinto. La figura 3, muestra una segunda versión de la red donde los productos del régimen definitivo se representan con color azul y los del régimen especial con color verde. Nuevamente se da una alta concentración de nodos en el centro de la red, por ejemplo, servicios de comercios se ubica en el centro del grafo. Sin embargo, también se observa como algunos nodos se ubican a una mayor distancia, tal es el caso de componentes y tableros electrónicos, computadoras y equipo periférico, así como, partes y piezas para vehículos automotores. Incluso destacan casos extremos muy alejados de la zona central. Estos nodos ubicados en la periferia se encuentran

relativamente menos relacionados con el resto de la economía, estructuralmente se encuentran más distantes.

Nótese una alta presencia de nodos pertenecientes al régimen definitivo (nodos de color azul) en el área de mayor concentración. En cambio, una gran cantidad de nodos del régimen especial (color verde) aparecen ubicados a una mayor distancia en las regiones periféricas de la red. Estos productos más alejados se encuentran menos conectados y tienen menor cantidad de vínculos con el resto a nivel de demanda intermedia. Destaca el caso de algunos productos como frutas, legumbres y hortalizas en conserva, servicios de manufactura, y comidas, platos preparados y otros productos alimenticios, que a pesar de pertenecer al régimen especial, se ubican en el centro de la red. Estos productos están más conectados al resto de la economía y comparten más lazos, estructuralmente se encuentran ms cercanos.

Figura 3

Representación gráfica de la red G_{MR} , matriz insumo productos de la economía costarricense (259 productos, 21259 relaciones, 177 productos en régimen definitivo y 82 productos en régimen especial)



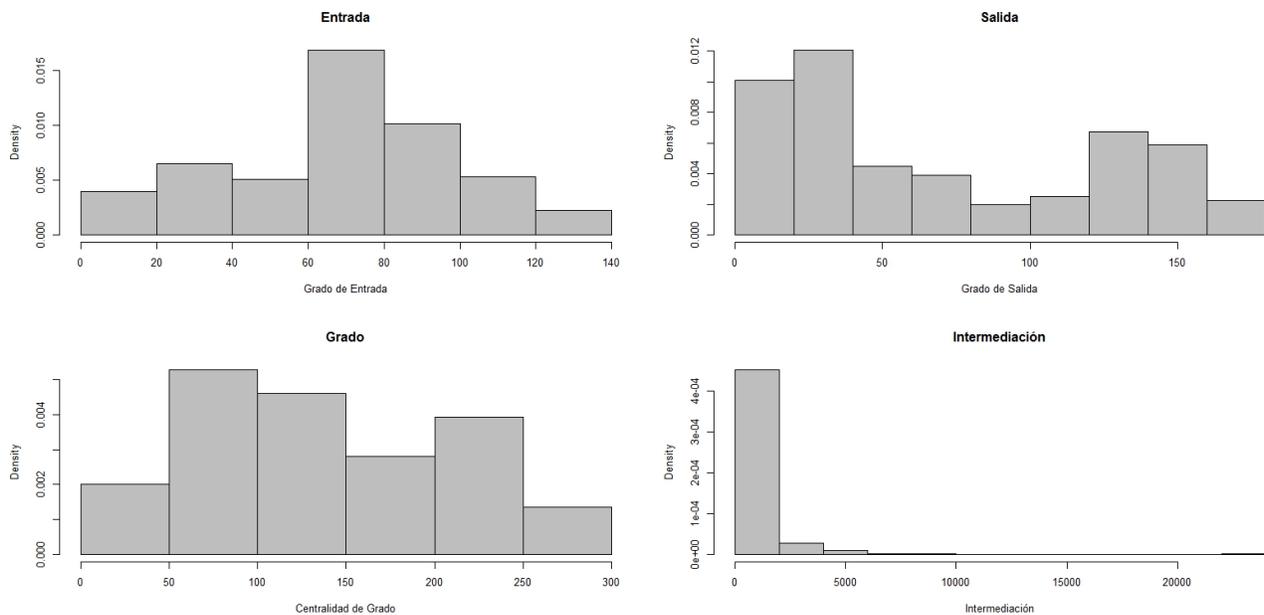
Régimen definitivo ■
 Régimen especial ■

Fuente: Elaboración propia con datos del BCCR.

En una red dirigida como lo es la matriz insumo-producto, cada producto puede servir de insumo a otros productos. Por lo tanto, existe una direccionalidad en la red. Esta está claramente establecida por la demanda y oferta del mercado. Para cuantificar esto el análisis de redes ofrece una serie de estadísticas que nos indican la posición estructural de un producto en la red. Las diferentes estadísticas de red darán luz de cómo un mismo producto puede ocupar estructuralmente diferentes posiciones en la red y a la vez diferentes roles.

La primera estadística a analizar es la *Centralidad de Grado* (D_M), esta es la suma de relaciones que un producto tiene, considera de manera conjunta la entrada y salida. Esta medida será llamada “Producto Central”. El promedio en la red, G_M , es de 115 relaciones, y el máximo es de 276. En términos generales la red es bastante homogénea. Esto quiere decir que los productos tienen una cantidad de relaciones que giran en torno a un rango no muy amplio. Esto se refleja, en la diferencia de apenas 161 conexiones entre el máximo y el mínimo (gráfico 1 sección inferior izquierda). Para el caso de G_{MR} , la red por régimen presenta un comportamiento similar a la red G_M , pero por ser una red más grande tiene valores mayores (gráfico 2 sección inferior izquierda).

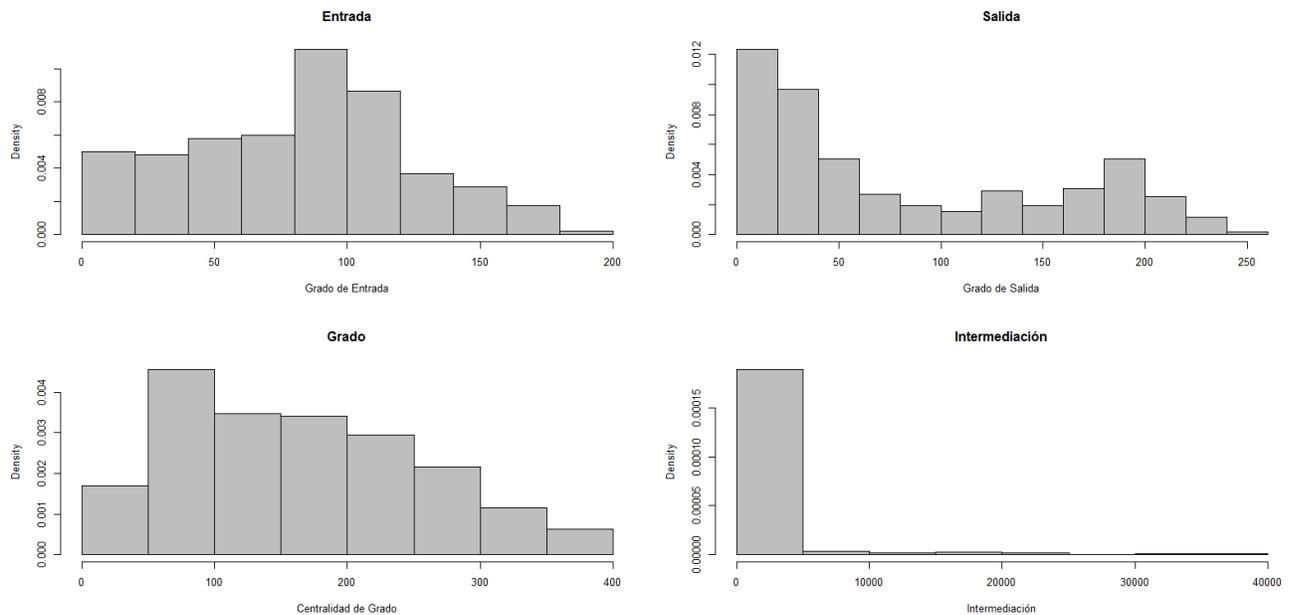
Gráfico 1
Distribución de medidas de centralidad de la red G_M



Fuente: Elaboración propia con datos del BCCR.

En términos prácticos conocer cuando un producto es más central es de suma importancia para ver la posible existencia de niveles de dependencia. Un producto con gran centralidad, tiene conexiones con muchos otros productos a la vez. En términos económicos si este producto demanda o provee a muchos otros, existirá una alta dependencia de este en la red. Por lo que de existir algún tipo de shock económico que alcance a este producto también existirá una alta probabilidad de que este shock se disperse rápidamente por la red, dado que afecta a un nodo que puede alcanzar a una gran cantidad de productos de manera simultánea.

Gráfico 2
Distribución de medidas de centralidad de la red G_{MR}



Fuente: Elaboración propia con datos del BCCR.

La *Centralidad de Grado de Ingreso o entrada* (C_{ing}), permite saber qué tan central en relación a los demás es un producto según su capacidad de demandar insumos. De aquí en adelante le llamaremos a esta medida "*Demandante de Insumos*". En la red G_M , el promedio de *Demandante de Insumos* es de 57 y el máximo es de 128. Esto nos dice que en promedio cada producto demanda insumos de 57 productos. La diferencia entre el promedio y el máximo es de 71 relaciones. Además, el 75 por ciento de los productos tiene 75 o menos relaciones. Esto nos indica que la mayor parte de los productos tienen una distribución similar en la demanda de insumos (gráfico 1 sección superior izquierda). En términos prácticos, saber que la economía costarricense no depende de pocos demandantes de insumos tiene ventajas. La crisis de algún producto o de pocos productos no afectaría a la mayoría de productos en la red.

El *Centralidad de Grado de Salida* (C_{out}) es la cantidad de relaciones que un producto tiene con otros al proveer insumos. De aquí en adelante le llamaremos a esta medida "*Proveedor de Insumos*". En la red G_M el valor promedio es de 57 y el máximo es de 176. El valor máximo lo tienen los servicios de comercio que en total sirve de insumo a 176 productos. A pesar de proveer a muchos contactos y estar por encima del promedio, no se observa una alta dependencia pues existen otros productos que tienen un rol similar y poseen valores cercanos en términos de la medida de proveedor de insumos (gráfico 1 sección superior derecha).

Para la red G_{MR} , el promedio de la medida de proveedor de insumos es 82.1 y el máximo es de 242. En esta red también servicios de comercio, pero en régimen definitivo, es el

producto más central a la hora de proveer a otros productos. Se observa una alta concentración de productos que funcionan como proveedores de pocos productos, menos de 50 productos, y otros que suministran insumos a 150 y 200 productos (gráfico 2 sección superior derecha). A pesar esto, no existen productos que provean de manera excepcional a muchos otros en la economía. En términos generales esto nos indica que existe un nivel bajo de dependencia de proveedores de insumos, ya sea por lo diversa que es la economía o por la existencia de proveedores de productos similares. Si ponemos esto en otra perspectiva, en caso de que algún shock económico afecte a un sector específico, esto no afectará directamente, ni en forma inmediata, a otros sectores.

La *Centralidad por Intermediación* (B_M) indica la posición en la estructura de la red de cada producto según la cantidad de veces que un producto sirve como puente entre dos productos. Un valor más alto, implica un mayor rol de intermediación en la red. El valor promedio de este indicador en G_M es de 330 y el valor máximo es de 3816, esto significa que la función de intermediación está concentrada en pocos productos. Si comparamos la intermediación en el gráfico 1 y el gráfico 2 (sección inferior derecha), en G_{MR} la intermediación es aún más concentrada.

El principal producto en G_M en intermediación es Equipos de comunicaciones y aparatos eléctricos de consumo, que abarca video juegos, receptores de radiodifusión, teléfonos, alarmas y aparatos de grabación de sonido y video, entre otros. En G_{MR} el principal producto es Maquinaria de uso general y especial, partes y piezas en régimen especial que incluye productos como motores, turbinas, maquinaria agropecuaria, fotocopiadoras, impresora, entre otros. Productos con esta función tiene la particularidad de conectar otros productos o inclusive sectores que de lo contrario estaría desconectados o usarían otros caminos más distantes en la red y menos eficientes para suplir sus necesidades, pudiendo encarecer así su producción.

La concentración de la función de intermediación tiene consecuencias estructurales y de funcionamiento en la economía. La existencia de pocos productos que fungen como puentes o intermediarios entre otros causa un nivel de dependencia a la hora de mantener interconectada la red. ¿Qué pasaría si estos productos puente se vieran afectados por algún shock económico? En pocas palabras, si bien es cierto que el shock se puede transmitir por los productos puente, también la afectación dejaría desconectado a los sectores que dicho producto estaba conectando como intermediario. Ahora si lo vemos desde otra perspectiva, ¿qué pasa si en la economía existen pocos productos puente? Teniendo en cuenta el crecimiento económico y la transmisión de beneficios por encadenamientos, la presencia de pocos productos intermediarios significa una más lenta difusión de beneficios entre sectores que de no ser por los intermediarios estarían desconectados unos de otros.

Los gráficos 3 y 4, resumen las principales estadísticas de centralidad y los productos sobresalientes para G_M y G_{MR} respectivamente. Además, es posible observar los montos totales transados por estos productos de mayor centralidad. Vale recalcar que para el caso de las estadísticas de Producto Central, Proveedor de Insumos, Demandante de Insumos, los productos más sobresalientes son los mismos en la red completa (G_M) y en la red estudiada por régimen (G_{MR}), respectivamente: energía eléctrica, gas, vapor y aire

acondicionado; servicios de enseñanza; y servicios de comercio.

Gráfico 3**Resumen de medidas de centralidad y principales productos para G_M** 

Fuente: Elaboración propia con datos del BCCR.

Gráfico 4
Resumen de Medidas de Centralidad y Principales Productos para G_{MR}



Fuente: Elaboración propia con datos del BCCR.

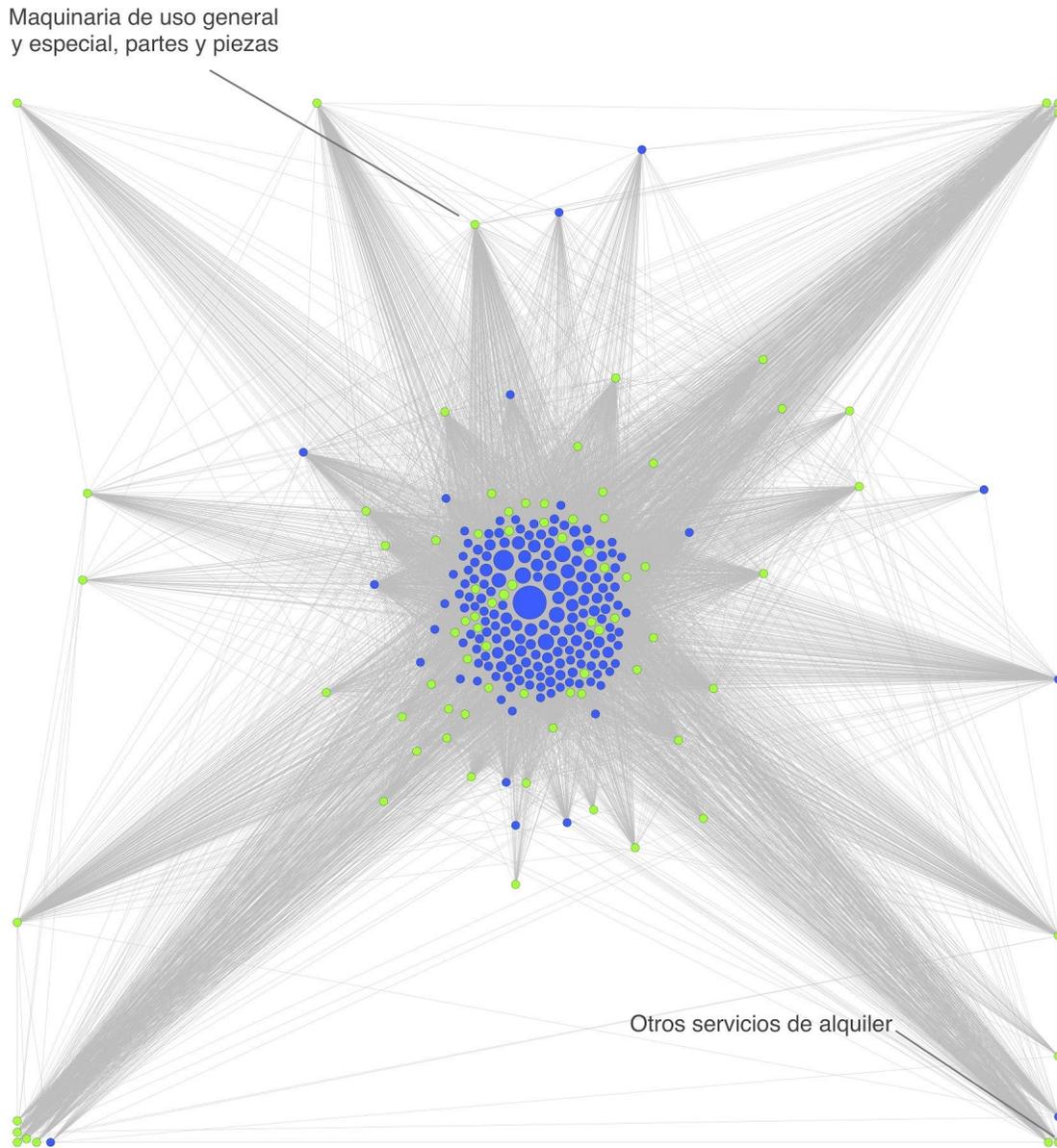
Como se observa en los gráficos 3 y 4 los productos que manejan mayores montos en la red no son necesariamente los que tienen un mayor papel de intermediación. Es importante considerar que este papel en términos de estructura, implica mantener unidos

sectores y productos dentro de la economía. Nótese una mayor participación de productos del régimen especial (barras de color verde) como puentes en la economía, es decir, con un alto nivel de intermediación.

La figura 4 muestra la red G_{MR} y señala los dos principales productos intermediarios. Estos productos se encuentran alejados de la zona central de la red pues no están interconectados a través de una gran cantidad de lazos con esta sección, sin embargo, las relaciones que tienen son estratégicamente relevantes, pues estructuralmente son importantes para mantener unida la red y la economía costarricense. Estos puentes conectan productos que de otra forma estarían desconectados. Adicionalmente, el tamaño de los nodos indica que estos puentes manejan pocos recursos monetarios.

Por ejemplo, en el caso de uno de los dos principales actores puente, a saber, Maquinaria de uso general, especial, partes y piezas del régimen especial, este contribuye conectando productos de la región periférica con la región central. Tal es el caso de vidrio y productos de vidrio del régimen especial con transporte de carga del régimen definitivo que se conectan indirectamente a través de este puente. Otro ejemplo es el caso de café molido, soluble, extractos y concentrados, que se conecta con jabones, detergentes y perfumes del régimen definitivo mediante este mismo actor puente.

Figura 4
Principales productos intermediarios de la red G_{MR}



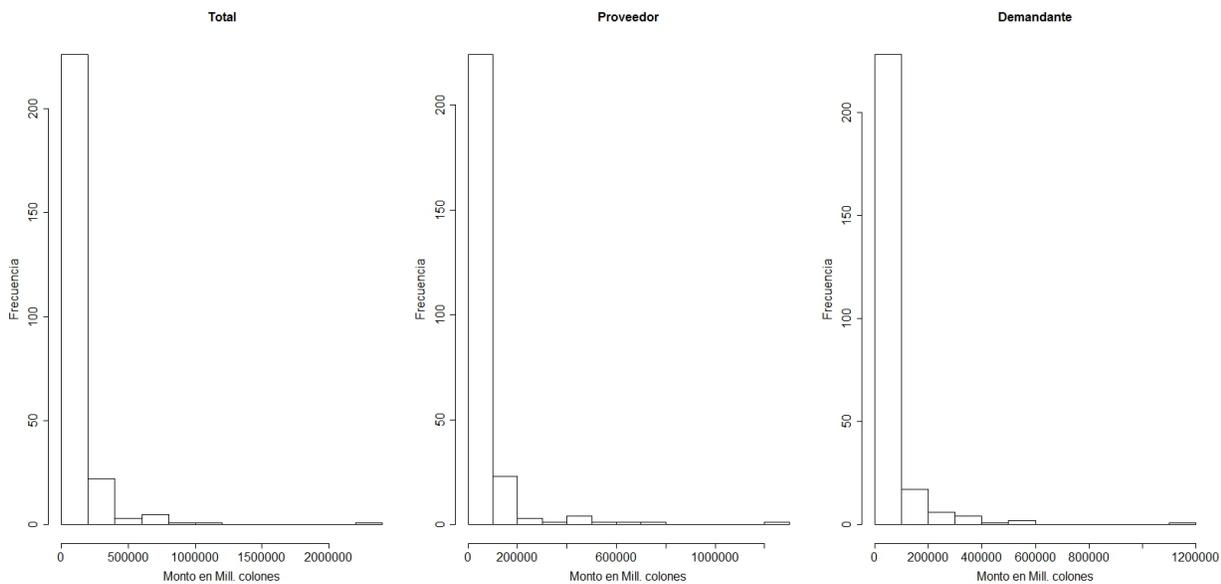
Fuente: Elaboración propia con datos del BCCR.

En resumen, estas redes se perfilan como poco dependientes estructuralmente de algunos productos. Según lo muestra la relativa homogeneidad en cuanto a los grados de demandante y de proveedor de insumos, no existen productos que concentren la mayoría de relaciones, esto significa que la economía no depende de pocos productos

para demandar y proveer. Esto tiene implicaciones prácticas. Dado que no existen pocos productos que concentren la mayor parte de las relaciones directas (por tener muchos lazos), se reduce la posibilidad de que posibles shocks económicos se puedan expandir rápidamente en forma directa a través de toda la red. Ciertamente, la no existencia de estos productos *Hubs* tiene ventajas. Por otro lado, la existencia de pocos productos intermediarios deja la economía expuesta a ser fácilmente fracturada o particionada, pues se puede crear una alta dependencia de estos puentes. Esta última afirmación se detallará en otros apartados, dado la relevancia estructural para la economía.

En este punto es conveniente recordar que la matriz insumo-producto genera una red de valor, donde la cantidad ofrecida o demandada determina el peso de la relación entre dos productos. Tal y como lo muestra el gráfico 5, la mayor parte de los productos manejan cantidades relativamente pequeñas. Se puede ver un producto que sobresale con valores altos en cuanto a las cantidades que maneja, este es servicios de comercio.

Gráfico 5
Distribución de cantidades por producto en millones de colones en la red G_{MR}



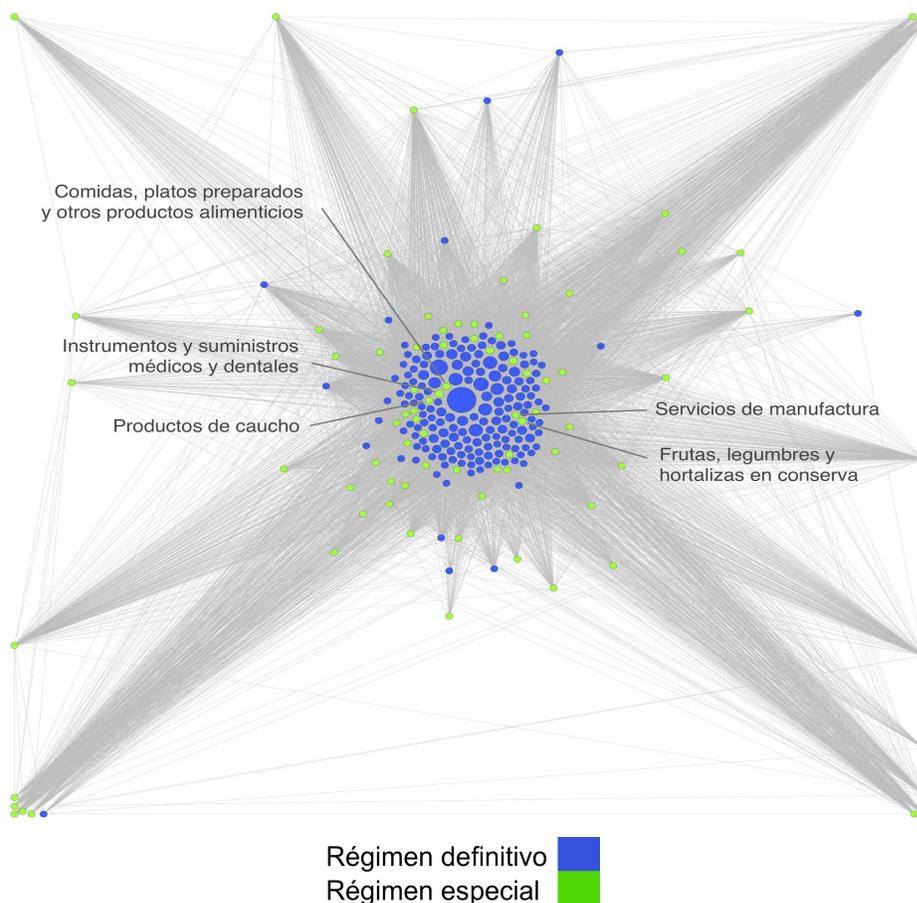
Fuente: Elaboración propia con datos del BCCR.

Algo importante que recalcar, es que productos que manejan montos altos no son necesariamente los que tienen posiciones más centrales en la estructura de la economía. Esto se observa cuando se comparan los productos destacados en términos de las estadísticas de centralidad descritas arriba. Por ende, si uno de los productos que más demanda o más provee en términos monetarios entrara en crisis, en primer lugar, provocaría un impacto económico por los montos que transa. Sin embargo, dada su posición en la estructura, no implicaría una caída de todo el sector, ni tendría efectos en toda la economía. Por no ejercer una función como puente y además debido a su número limitado de contactos, estos productos tendrían una menor probabilidad de contagiar a toda la economía rápidamente.

Para finalizar el presente apartado, la figura 5 muestra una nueva versión de la red G_{MR} , donde se realiza distinción por régimen, pero el tamaño de cada nodo está en función del monto total que cada producto aporta a la economía (considerando de manera conjunta tanto los montos de entrada como de salida, esto es, lo que transan como oferentes y como demandantes de insumos).

Al considerar estas variables se visualiza como los productos de mayor tamaño y que mueven más recursos pertenecen al régimen definitivo y se concentran en un solo sector en el centro de la red, muy cerca unos de otros. Esto significa que estos productos destacados, en términos de las cantidades demandadas y ofrecidas, se relacionan más entre ellos. Como ya se mencionó anteriormente hay una alta concentración de productos del régimen definitivo en esta zona de la red. Sin embargo, destacan nodos del régimen especial que se posicionan cerca de este bloque más dinámico, tal es el caso de comidas, platos preparados y otros productos alimenticios, instrumentos y suministros médicos y dentales, productos de caucho, servicios de manufactura, frutas, legumbres y hortalizas en conserva, entre otros.

Figura 5
La red G_{MR} , tamaño del producto según las cantidades que manejan en la economía por tipo de régimen



Fuente: Elaboración propia con datos del BCCR.

4.2 Análisis de grupos en la Red Insumo-Producto

Para poder comprender la formación de grupos en la red, el análisis se lleva cabo desde dos perspectivas. La primera se basa en la estructura de la red toma como punto de partida dos criterios: **i)** el análisis de centralidad realizado arroja que la centralidad por intermediación es clave en mantener la red unida, **ii)** la literatura sugiere que en redes muy densas la técnica de trayectorias al azar puede capturar con cierta eficiencia la estructura real de la red.

La segunda perspectiva se basó en criterios teóricos para asignar a cada producto de la matriz insumo producto un sector. Jiménez-Fontana (2017) crea una nueva clasificación de los sectores económicos del país que adapta y reclasifica los productos según las nuevas dinámicas económicas del país.

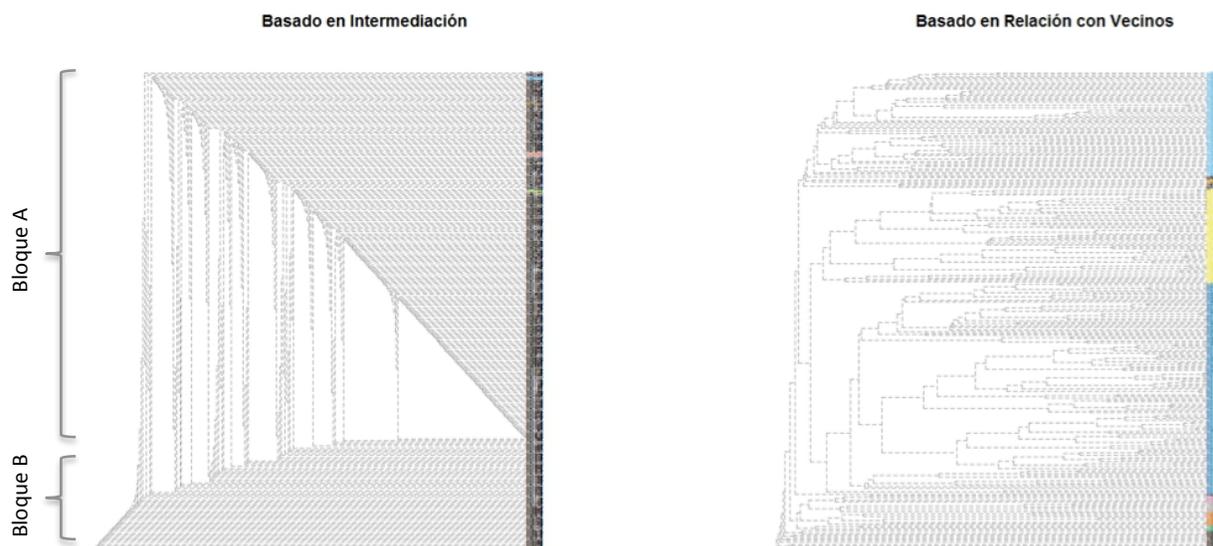
Subgrupos según la estructura de la red

Debido a la alta densidad de lazos, la estructura de una red insumo-producto presenta particularidades que se reflejan en dificultades para encontrar grupos. Dado los resultados del análisis de centralidad y los métodos usados según la literatura para estudiar subgrupos en matrices insumo productos, se decidió utilizar dos técnicas. La primera se basa en la metodología de detección de subgrupos en redes conocida como Girvan-Newman (Girvan y Newman, 2002). En forma general esta técnica encuentra subgrupos cuando la estadística de centralidad según intermediación tiene un rol importante en la red.

Esta técnica se aplicó a las redes G_M (total) y G_{MR} (por régimen), sin embargo, dado que los resultados para ambas redes son muy similares solo se presentan los de la red que hace distinción por régimen G_{MR} . La figura 6 en su lado izquierdo muestra los resultados de las subestructuras encontradas según dicha técnica. Cada fila en la columna de la derecha representa un producto y las líneas representan relaciones de intermediación. Se observa que según este indicador la estructura de la economía está dividida, esto se puede ver en la formación de dos bloques en la parte izquierda.

Sin embargo, los lazos que tienen algunos productos crean una conexión entre estos dos bloques. Esto es de suma relevancia, ya que si estos productos no funcionaran como puente la economía costarricense estaría claramente dividida. Esto tendría implicaciones graves, ya que una economía más desconectada tiene menos capacidad de difundir información, ideas, innovaciones y tener más encadenamientos productivos. Además, una economía desconectada tendría más vulnerabilidad frente a efectos externos, por ejemplo, menos capacidad de reacción y por ende dificultad para adaptarse. La técnica Girvan-Newman es capaz de mostrar en buena manera esta partición.

Figura 6
Identificación de subgrupos según su posición de los nodos y su forma de relacionarse con otros productos de la red G_{MR}



Fuente: Elaboración propia con datos del BCCR.

La segunda técnica empleada se denomina Walktrap y fue adecuada para capturar los sectores en los cuales cada producto se desenvuelve (**figura 6** sección derecha). Cada línea ubicada en la columna de la derecha representa un producto y el color indica la asignación en grupos realizada por esta técnica. Para el caso de la red G_{MR} , se encontraron cerca de tres subgrupos principales que concentran gran parte de los productos (líneas celestes, amarillas y azules).

Estos resultados tienen implicaciones importantes. La economía costarricense parece estar construida estructuralmente por relaciones de corta distancia en la red, formando un tipo de vecindario, en vez de tener relaciones con productos más lejanos o de otros sectores de la economía. Esto da indicios de la existencia de una economía segmentada con relaciones basadas en cercanía. Esta técnica muestra que los productos se ubican en clústeres donde los miembros están muy interconectados, pero dicha interconexión es menor con productos fuera del clúster.

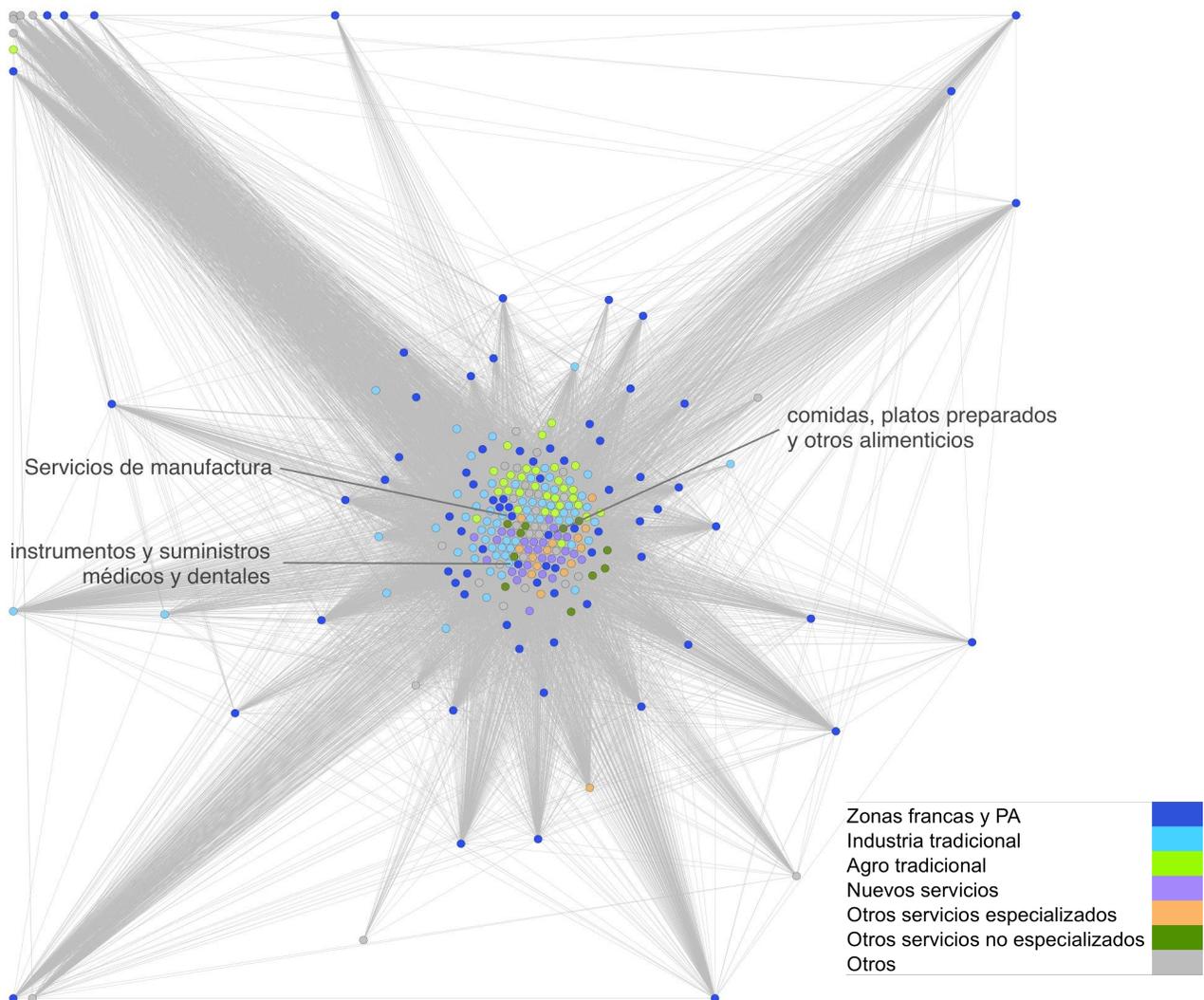
Con la información disponible no es posible identificar los factores que determinan lo anterior. Un posible factor que podría originar este comportamiento es que las compañías que integran cada producto se basan en relaciones de confianza para crear los lazos. Otro criterio probable es que estas mismas empresas desconozcan de otras compañías en el mercado que ofrecen los bienes y servicios demandados (Jimenez-Fontana,

comunicación personal).

4.2.2 Subgrupos según la teoría

A partir de Jiménez-Fontana (2017), se asignó a cada producto de la MIP un sector de la economía. Esto se realiza utilizando la metodología de nueva-vieja economía implementada por el Vigésimoprimer Informe del Estado de la Nación en el 2015. Al realizar el análisis de redes e incorporar dicha clasificación fue posible ver cuáles sectores son los más relevantes desde un punto de vista estructural y según su peso económico. La figura 7 muestra una versión de la red G_{MR} , donde los colores de los nodos están determinados por los sectores de esta nueva clasificación.

Figura 7
Red G_{MR} según los sectores de nueva-vieja economía

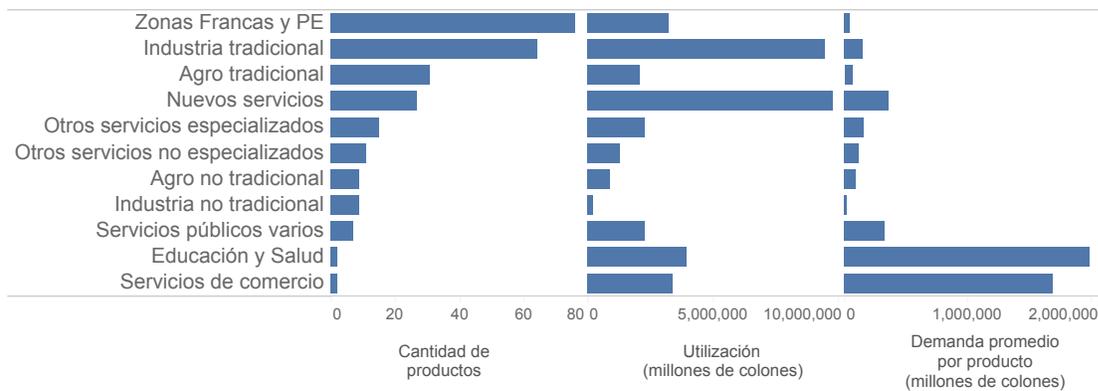


Fuente: Elaboración propia con datos del BCCR.

La mayor parte de los productos que interactúan en la economía costarricense se clasifican principalmente en 6 grandes grupos o sectores. Tomando en cuenta que la red, G_{MR} , consta de 259 productos, el sector que más productos agrupa es el de zonas francas y Perfeccionamiento Activo (PA) con un 30%. El segundo sector con más productos es el de la industria tradicional con 25%, seguido por el agro tradicional con 12%, los nuevos servicios con 11%, otros servicios especializados 6% y otros servicios no especializados con 4%. El resto de productos se clasifican en categorías con proporciones más reducidas en cuanto a la cantidad de productos (gráfico 6).

Hay una alta concentración de nodos en los sectores de zonas francas y PA e industria tradicional, estos aglutinan más del 50% de los productos de la economía costarricense. Por su parte, agro tradicional y los nuevos servicios cuentan con cantidades similar de productos. Por su parte, los sectores con mayor demanda intermedia son la industria tradicional y los nuevos servicios. La demanda promedio por producto más alta la tienen los sectores de Educación y salud, y servicios de comercio (gráfico 6).

Gráfico 6
Cantidad de productos, utilización y demanda promedio por producto según clasificación de sectores de nueva-vieja economía



Fuente: Elaboración propia con datos del BCCR.

La red presentada en la figura 7 muestra el alto grado de interacción entre los nodos de ciertos sectores que se concentran en la zona central de la red: agro tradicional, industria tradicional, nuevos servicios, otros servicios especializados y servicios de comercio.

Al alejarse del centro aparecen, a mayor distancia y dispersos, nodos de zona franca y PA, que tienen una menor vinculación con el resto del sistema de relaciones. Algunos productos de zona franca se posicionan en el centro del grafo y tienen una mayor proximidad estructural con otros nodos que interactúan en la zona central, por ejemplo los productos de comidas, platos preparados y otros alimenticios, instrumentos y suministros médicos y dentales, así como servicios de manufactura, entre otros.

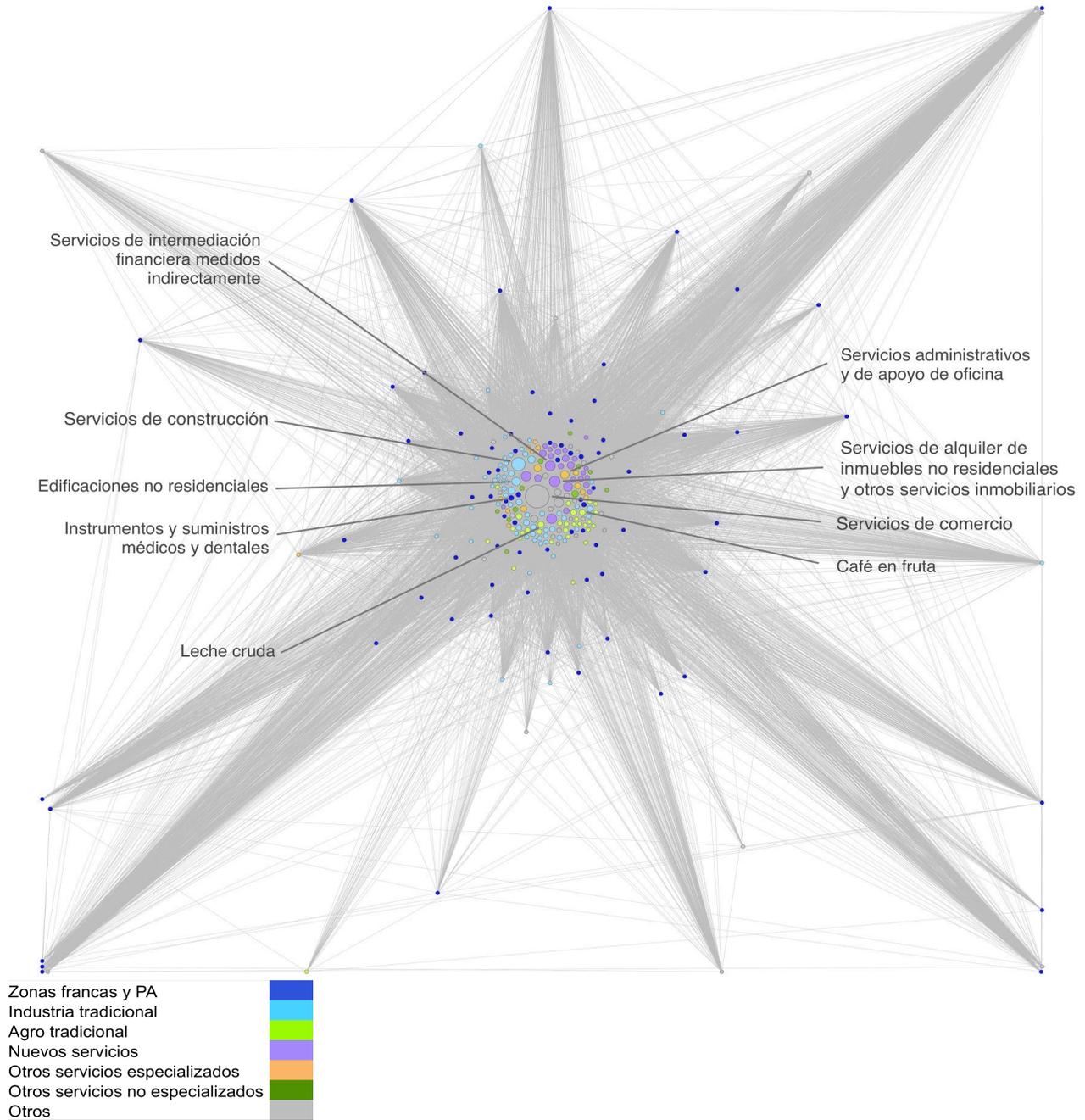
Así, se observa que en general los productos pertenecientes a zona franca y PA tienden a relacionarse menos con el resto de la economía, razón por la cual se posición a mayor distancia de la región central de la red (figura 7). Sin embargo, existen excepciones. Algunos productos como los mencionados anteriormente tienen un papel de distinto, pues poseen más vínculos con otros sectores y están más integrados.

Estos resultados concuerdan con los hallazgos del Vigésimosegundo Informe Estado de la Nación (PEN, 2016), que identifica algunos productos de zona franca y PA que tienen una fuerte capacidad de arrastre en la economía, por ejemplo, el caso de instrumentos y suministros médicas y dentales. Productos con este rol son denominados impulsores, pues demandan insumos intermedios de otras industrias para la elaboración de bienes finales.

La figura 8 muestra la red G_{MR} según la clasificación de sectores de nueva-vieja economía y utiliza el tamaño del nodo para representar los productos que manejan más recursos. Destacan en el centro del grafo nodos de gran tamaño pero además muy cercanos (con un alto grado de relación entre sí). Muchas de estos pertenecen a sectores distintos, tal es el caso de los servicios de comercio y servicios de construcción, ambos del sector industria tradicional. También destacan con gran aporte nodos del sector nuevos servicios como servicios de suministro de comidas y bebidas, alquiler de inmuebles no residenciales, servicios de publicidad, entre otros.

La presencia de estos productos en el centro de la red implica la existencia de una gran cantidad de relaciones entre ellos, es decir, es una sección de la economía muy interconectada donde interactúan distintos sectores. Algunos de estos tienen más peso que otros si se considera el monto de las transacciones que realizan. Por ejemplo, el nodo de mayor tamaño correspondiente a servicios de comercio se ubican en el centro de la red. Según el Vigésimosegundo Informe del Estado de la Nación (PEN, 2016) servicios de comercio es clave si se considera su nivel de encadenamiento. Este tiene gran capacidad de arrastre y de empuje en la actividad productiva, dado que demanda insumos intermedios de otros sectores y sirve de insumos para la elaboración de bienes finales.

Figura 8
Red G_{MR} según los sectores de nueva-vieja economía y tamaño de nodos según cantidades manejadas en la economía



Fuente: Elaboración propia con datos del BCCR.

Dada las diferencias encontradas entre grupos en la red, es importante determinar qué función cumplen dentro de la estructura en la medida que se relacionan con otros. Para

explicar esto, un análisis de similitud estructural de los productos nos permitirá ir más allá en el entendimiento de la red.

Similitud Estructural de Productos y Sectores de la Economía

Para poder profundizar más en las diferencias entre productos y sectores se realizó el análisis de similitud estructural. Este acercamiento analiza qué productos se relacionan con cada producto y a partir de los resultados los sitúan en posiciones similares o disimilares. Si los productos comparten relaciones con otros productos tenderán a ser más similares. En este caso como medida de similitud estructural se utiliza la *similaridad de Jaccard*. Esta indica cómo los productos tienen una posición similar en la red según la cantidad de contactos que comparten.

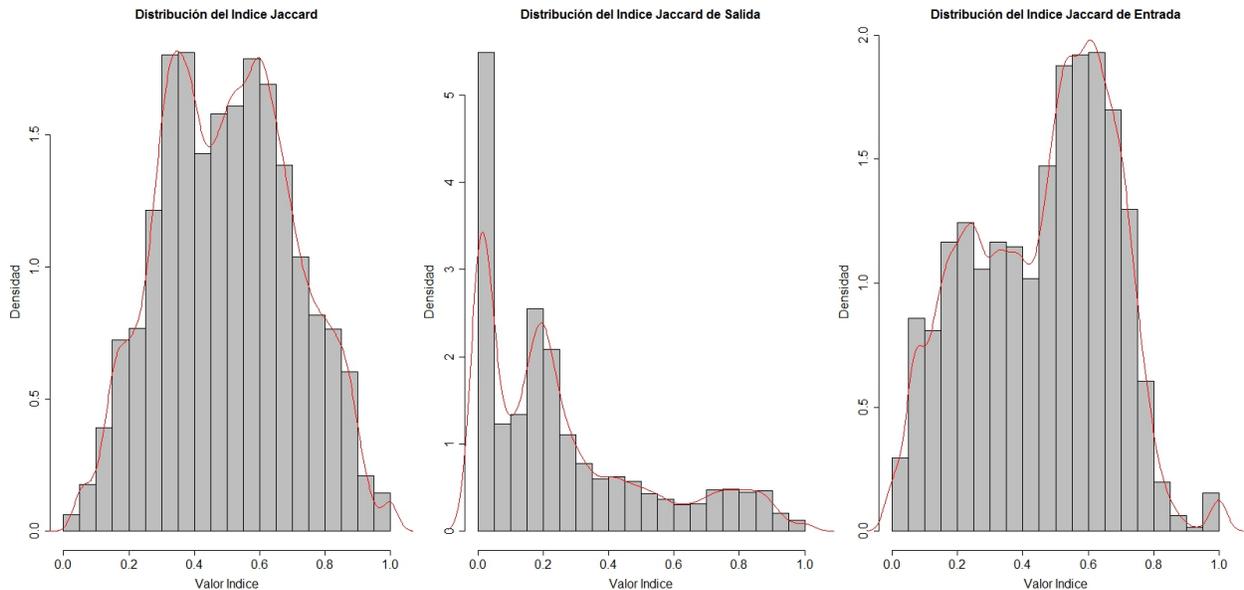
Primeros Indicios de Similitud

La existencia de similitud estructural en una red puede tener implicaciones. Por ejemplo, si se considera una red de plantas, la llegada de una plaga traería una inminente alerta. La probabilidad de contagio aumenta cuando estas plantas son similares, por ejemplo si pertenecen a la misma especie, están expuestas a las mismas condiciones ambientales y la forma en que están plantadas favorece la diseminación de la enfermedad.

Una efecto similar podría ocurrir en el caso de la red de la MIP. La existencia de productos que ocupan posiciones similares puede tener implicaciones. En caso de una crisis económica una parte de los productos de la economía costarricense se podrían ver afectados. Sin embargo, dada la marcada organización de la economía en clústeres y la poca presencia de *Hubs* o productos con extraordinariamente muchos lazos, es poco probable que un shock económico se disemine rápidamente. Más bien, el contagio primeramente ocurriría dentro de los densos clústeres donde sus productos tienen una alta similitud estructural, es decir, comparten muchos contactos y ocupan posiciones similares.

La distribución de los valores del índice Jaccard toma diferentes formas cuando tomamos en cuenta todos los vínculos en la red a nivel general (gráfico 7, histograma de la izquierda), los lazos de salida o de proveedor (gráfico 7, histograma del centro) y los lazos de entrada o de demandante (gráfico 7, histograma de la derecha). Un valor cercano a 1, indica una mayor probabilidad de que los contactos de cada producto sean los mismo de sus contactos. Dados los resultados obtenidos se asume que hay en general una similitud intermedia entre todos los productos.

Gráfico 7 Distribución de índice de Jaccard de la red G_M



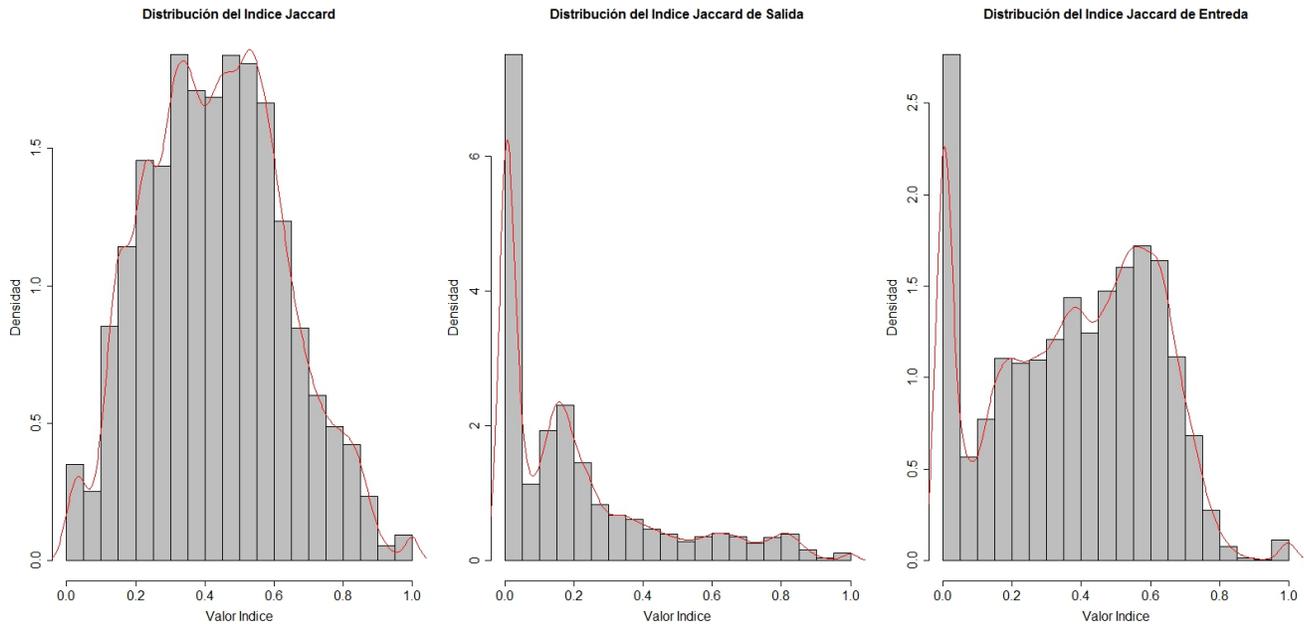
Fuente: Elaboración propia con datos del BCCR.

Sin embargo, esta similitud cambia cuando solo tomamos en cuenta la función de los productos al proveer a otros o así mismos (gráfico 7, histograma del centro). En este caso el valor tiene una mayor concentración entre 0 y 0.2, esto indica que tiende a haber una mayor disimilitud entre productos si se considera su papel como suplidores de insumos. Así, al momento de brindar insumos los productos comparten pocos contactos, esto es, hay un nivel bajo de similitud.

Las razones por las que esto es posible no están totalmente claras. Una posible explicación es que podría haber mucha especificidad entre productos al proveer y esto genera más heterogeneidad entre proveedores. Por otro lado este fenómeno se pueda dar por la falta de información en el mercado de que existen otros proveedores.

Si tomamos solo en cuenta la función que cumplen los productos como demandantes de insumos, se observa una distribución de los valores del índice Jaccard bastante diferente (gráfico 7, histograma de la derecha). Se da una mayor concentración del valor entre 0.5 y 0.7. Este resultado muestran que si se considera la función de los productos como demandantes, estos tienden a tener una similitud de media a alta, tomando en cuenta que 1 sería una similitud estructural perfecta, es decir, tendrían entonces exactamente las relaciones con los mismos productos. Esto sugiere la existencia de clústeres de productos con características similares entre sí que requieren insumos similares o la existencia de reciprocidad al momento de demandar insumos. Los resultados arriba explicados son muy similares para el caso de la red G_{MR} , es decir, tomando en cuenta las diferencias por régimen. El gráfico 8 muestra estos resultados.

Gráfico 8 Distribución de índice de Jaccard de la red G_{MR}



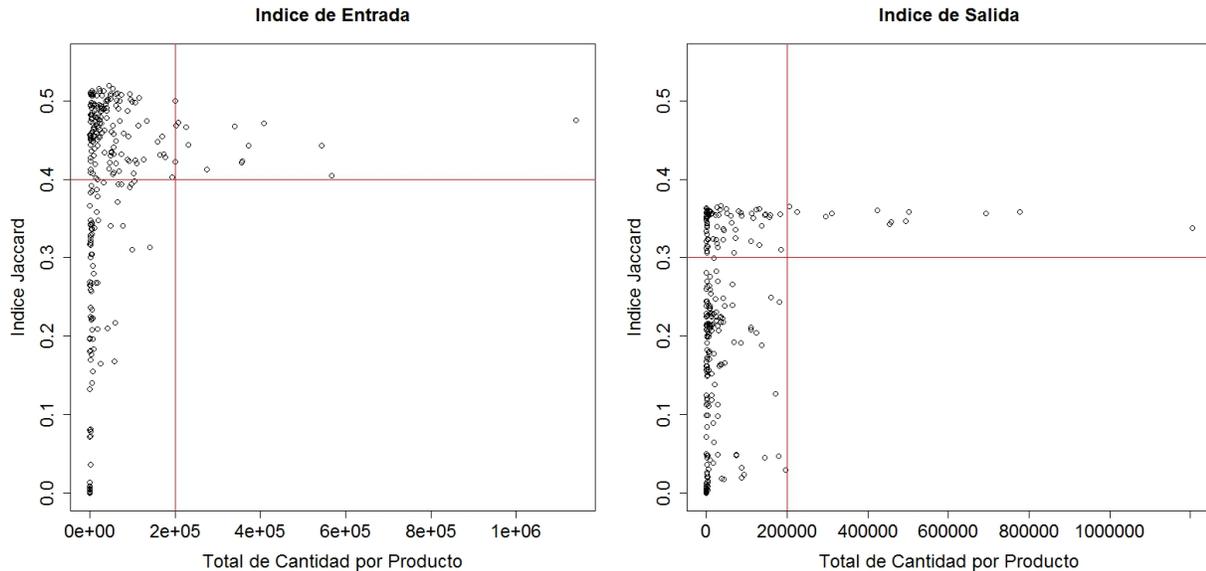
Fuente: Elaboración propia con datos del BCCR.

Al tomar como referencia la red de la economía que hace la distinción por regímenes (G_{MR}), cuando se analiza el *índice Jaccard* de similitud estructural, en conjunto con las cantidades que cada producto recibe o envía dentro de la red en términos monetarios, es posible observar importantes agrupaciones. Los productos que son demandantes y que manejan cantidades mayores de recursos tienden a ser similares estructuralmente entre sí. Esto quiere decir que productos que gastan grandes cantidades de dinero en insumos tienden a relacionarse con productos similares (gráfico 9 lado izquierdo).

En términos generales si se tienen dos productos con un índice jaccard de 0.5, esto indica que la mitad de sus relaciones en términos de demanda de insumos es con los mismos proveedores. En este caso, no existen productos con un índice menor a 0.4 y que demanden montos altos a nivel de demanda intermedia. Solo productos que comparten al menos el 40% de sus contactos en su función de demandantes de insumos, es decir, productos con niveles intermedios de similitud, manejan montos por encima de 200 000 millones de colones, por ejemplo los servicios de comercio y servicios de suministro de comida y bebida, ambos del régimen definitivo, con valores de Jaccard de 0.47 y 0,40 respectivamente. Es importante recalcar que estos dos servicios son claves por tener capacidad de arrastre y empuje en la actividad productiva (PEN, 2016).

Gráfico 9

Promedio del índice de Jaccard según la función de Proveer o ser Proveído de acuerdo a los montos transados en millones de colones G_{MR}



Fuente: Elaboración propia con datos del BCCR.

Para el caso de los productos en su función como proveedores (gráfico 9 lado derecho), en términos generales los resultados evidencian niveles bajos de similitud a nivel de demanda intermedia. Productos que proveen bajas cantidades en términos monetarios, tienden a ser estructuralmente disímiles, es decir, proveen a diferentes demandantes. Sin embargo, conforme los productos proveen mayores cantidades los valores de similitud tienden a ser más altos. Esto es, los proveedores más grandes y que manejan grandes cantidades monetarias tienden a proveer hasta entre un 30% a 40% a los mismos demandantes.

El análisis también indica que los productos en su función como demandantes que son similares estructuralmente, y que a la vez manejan grandes cantidades de recursos, tienen hasta veinte contactos por encima del promedio (gráfico 10 lado izquierdo). La cantidad de contactos compartidos cae conforme aumenta la cantidad de insumos demandados, en otras palabras los productos que poseen mayor número de contactos que los proveen tienden a ser más disímiles. Esto sugiere que productos con cierto tamaño y en ciertos sectores tienden a agruparse entre sí, de este modo comparten relaciones con productos. Algunos ejemplos de estos productos son servicios de enseñanza y servicios artísticos, ambos del régimen definitivo y con valores de 0,41.

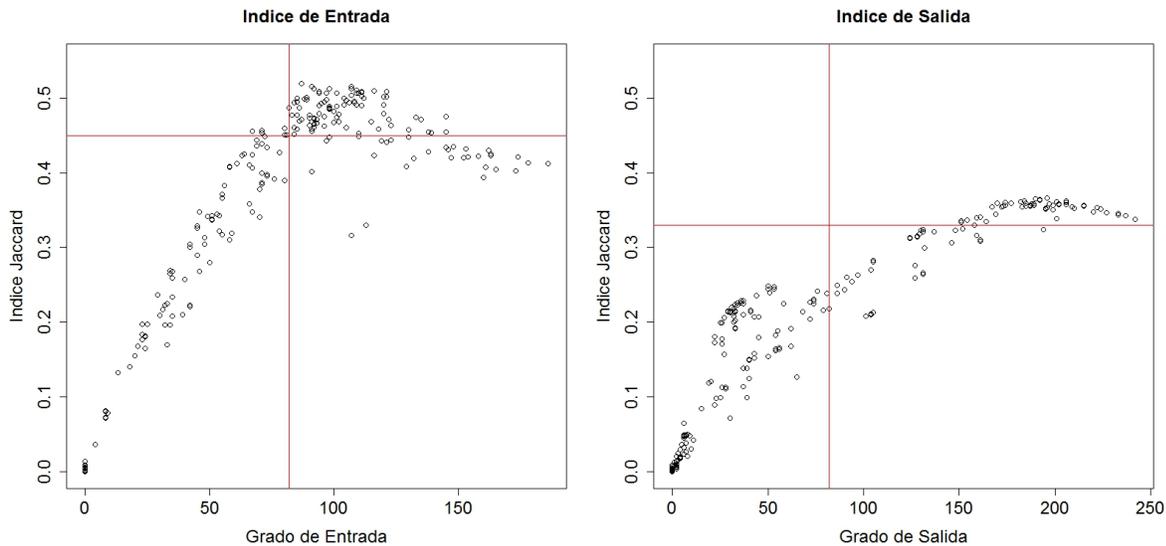
Estos productos que tienen un promedio de índice de Jaccard alrededor de 0.5, tienen

alrededor de 100 proveedores (gráfico 10, lado izquierdo) y manejan cantidades por encima de 200.000 de millones de colones (gráfico 9 lado izquierdo), las más grandes de la economía costarricense.

Por su parte, los productos que proveen a más productos y tienen cierta similitud estructural, están muy por encima del promedio de 82 contactos en la medida de proveedor de insumos, tal y como lo muestra la línea roja vertical en el gráfico 10 (lado derecho). Para el caso los proveedores, con forme aumenta la cantidad de productos a los que sirven de insumo, en promedio proveen a los mismos productos hasta en un 30%, es decir, tienden a ser más similares que los que proveen a menos productos. Este fenómeno se puede deber al tamaño de la economía costarricense.

Gráfico 10

Promedio del índice de Jaccard según la función de demandate o proveedor según medidas de centralidad de grado G_{MR}



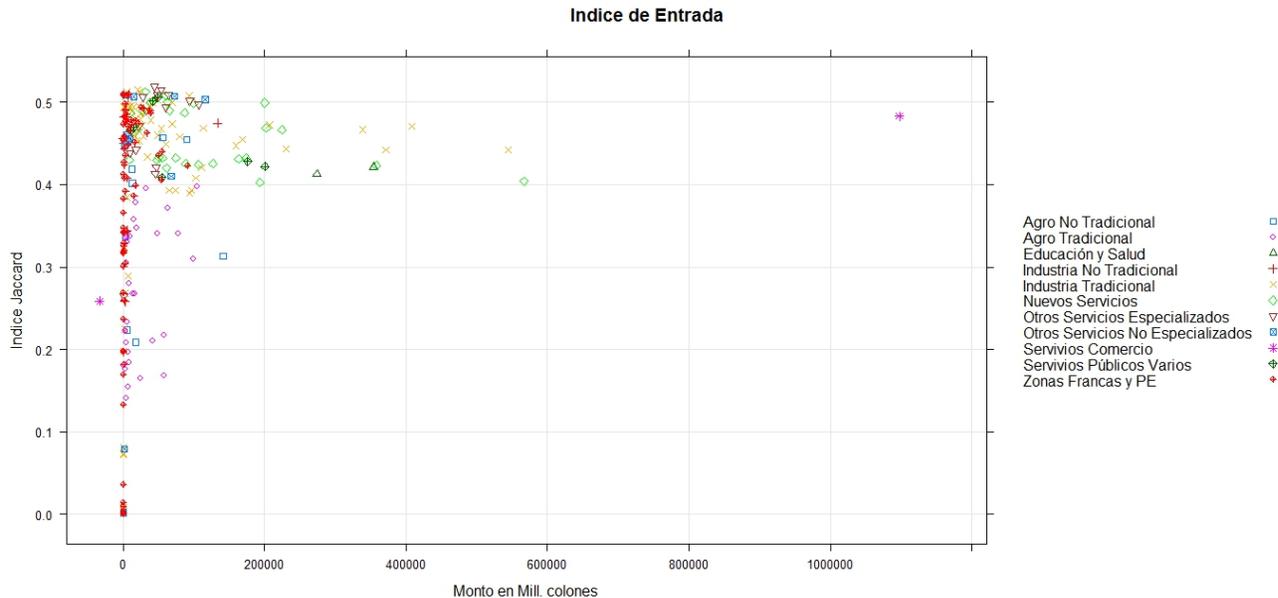
Fuente: Elaboración propia con datos del BCCR.

Similitud Estructural y sectores económicos

Para poder entender las implicaciones del análisis de similitud estructural es necesario complementarlo con la clasificación de los productos por sector económico. El gráfico 11, detalla cómo se comportan los productos según su similitud estructural, sector y las cantidades monetarias que manejan. El primer punto es la concentración en la parte alta de productos de nuevos servicios, que son más similares estructuralmente (índice Jaccard 04 - 0.55), se relacionan proporcionalmente con los mismos productos y a la vez son los que manejan los montos más elevados de la economía.

Gráfico 11

Promedio del índice de Jaccard de los productos en su función como demandantes de insumos, según montos demandados en millones de colones y sector



Fuente: Elaboración propia con datos del BCCR.

Un posible shock económico que afecte directamente a este sector como demandante de insumos, también afectará a algunos productos de otros sectores como nuevos servicios, y algunos productos de industria tradicional quienes comparten muchos de sus contactos. Sin embargo, este posible shock no alcanzaría con tanta facilidad y directamente al sector de agro tradicional debido a que en promedio comparten una menor proporción de sus contactos con los sectores mencionados arriba. Este se evidencia en un valor de similitud más bajo (índice Jaccard menor a 0.4) entre los productos del agro.

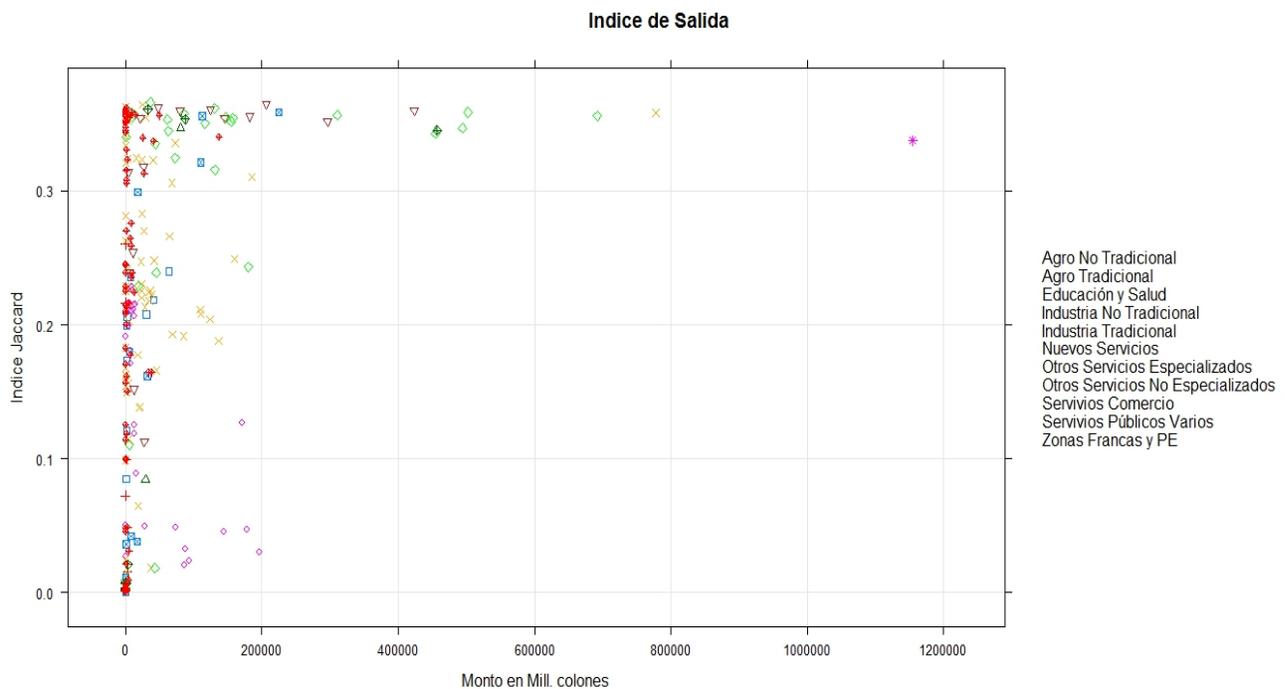
A su vez, este sector maneja montos económicos más bajos por lo que, la magnitud de un shock será menor en el corto plazo, sobre todo si se compara con lo que podría ocurrir en otros sectores de la economía que manejan mayores montos. Por ejemplo, productos que manejan montos mayores a 200000 millones de colones en el gráfico 11. Adicionalmente, los productos de zonas francas y PA se encuentran en casi todos los niveles de similitud. Esto refleja la diversidad de empresas y actividades que se acomodan bajo este régimen.

Este análisis se debe de extender para incorporar otras variables como empleo, y así considerar más elementos de un posible shock. Sin embargo, esto escapa al alcance de la presente investigación. Se espera incorporar estos factores en futuros trabajos de modelación que corroboren los presentes hallazgos. El ejercicio de modelación permitiría comprender con detalle y certeza cómo se vería afectada la economía ante un shock.

Si analizamos el gráfico 12, que muestra los productos según su sector y su similitud basada en su papel como proveedores, es posible concluir que los nuevos servicios junto con servicios públicos varios, un producto de comercio y servicios, y otros servicios especializados tienen una similitud estructural de entre 0.3 a 0.4. Aunque es relativamente baja (menor a 0.5), es la más alta para proveedores. Si un shock afecta a estos productos directamente, primero habría un impacto directo a la economía por los altos montos que estos manejan. Sin embargo, dada la relativamente baja proporción de contactos que comparten con otros sectores de la economía, se esperaría que a la hora de proveer, el shock económico sea primeramente localizado.

Gráfico 12

Promedio del índice de Jaccard de los productos en su función como proveedores de insumos, según montos proveídos en millones de colones y sector



Fuente: Elaboración propia con datos del BCCR.

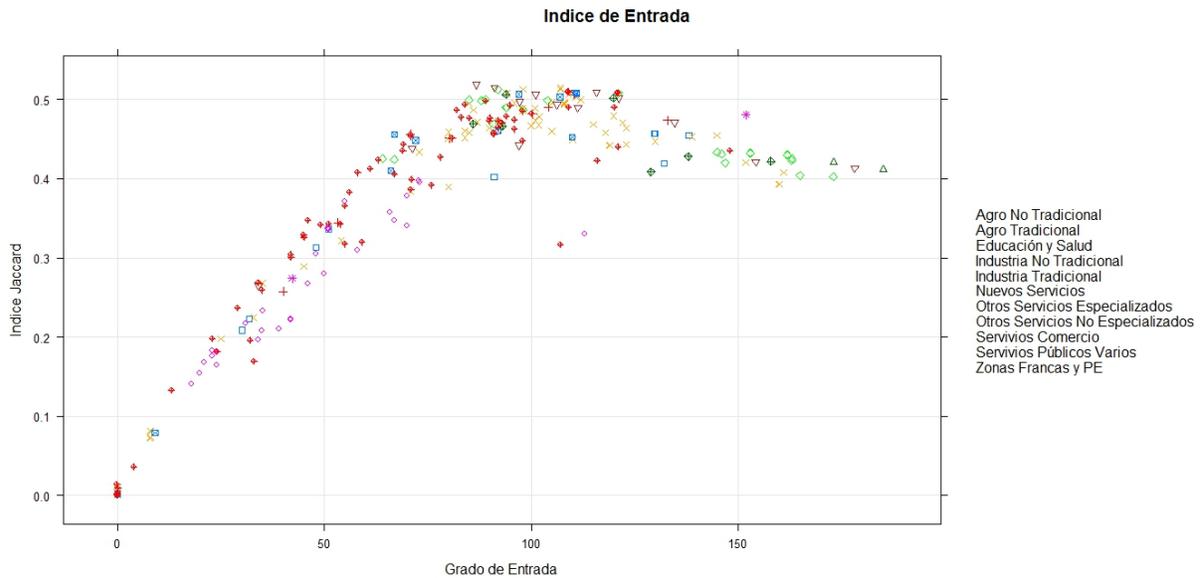
Esto daría tiempo de reacción para tomar medidas económicas al respecto. En este caso los productos de la industria tradicional y casi todos los de agro tradicional son muy disímiles con los sectores mencionados anteriormente a la hora de proveer. En el gráfico 12 se puede ver una partición y disimilitud de la economía costarricense más fácilmente en los productos que proveen cantidades mayores a 200 000 millones de colones.

El gráfico 13, muestra el índice Jaccard según la cantidad de contactos que los productos tienen a la hora de demandar insumos. Los productos más similares o que comparten más contactos son los que están alrededor del promedio, como se mencionó anteriormente. Estos productos son principalmente de nuevos servicios, zonas francas y y

PA, industria tradicional, otros servicios especializados; y otros servicios no especializados.

Gráfico 13

Promedio del índice de Jaccard de los productos en su función como demandantes de insumos, según medida de demandante de insumos (grado de entrada) y sector



Fuente: Elaboración propia con datos del BCCR.

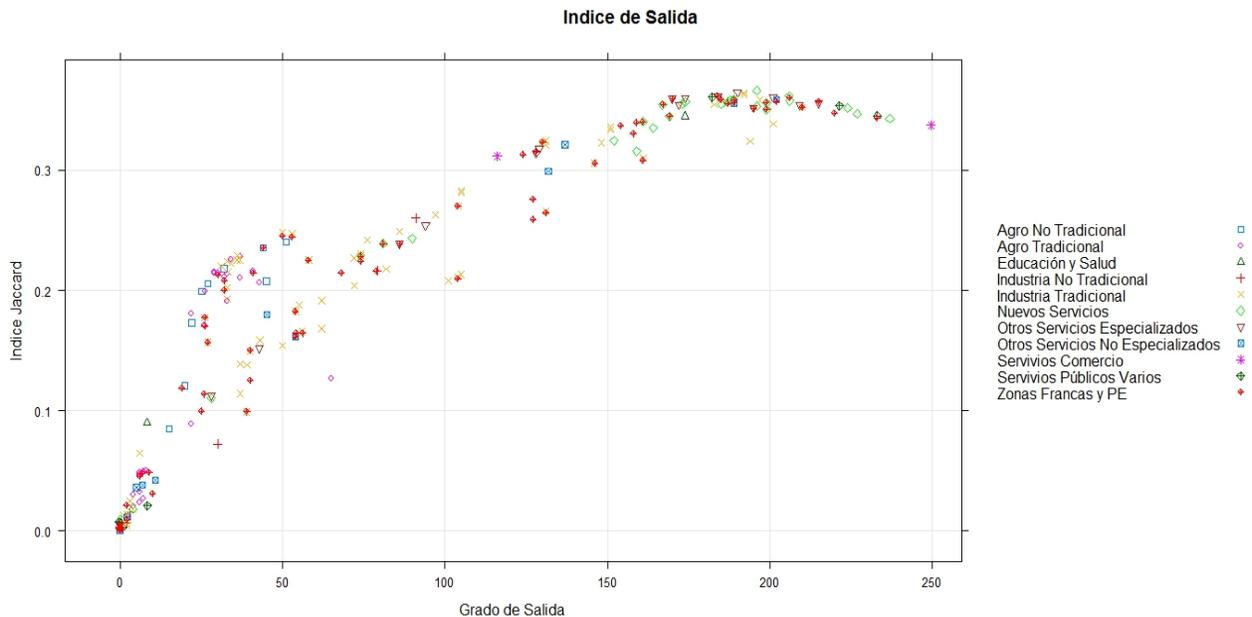
En este caso se pueden observar tres bloques, el primero con menos de 80 contactos a la hora de demandar y un índice Jaccard menor a 0.4, donde encontramos productos del agro tradicional, agro no tradicional y zonas francas. El segundo segmento se encuentra entre 80-120 contactos y un índice Jaccard de entre 0.4 y 0.55. Y un tercer segmento con más de 120 contactos al demandar insumos y un índice Jaccard descendente. En este último segmento sobresalen los nuevos servicios. Al ser tan especializados tienden a compartir menos contactos y a ser productos más disímiles que los demás. Si un shock económico impacta directamente a alguno de estos productos, esto probablemente afectaría a los productos más similares a ellos (comparten muchos proveedores) y a los más encadenados hacia adentro de su clúster. Pero es de esperar que se requiera tiempo para que ocurra un efecto dominó en toda la economía, debido a la segmentación de la red y la presencia de disimilitudes estructurales. Sin embargo, para poder predecir más concretamente efectos y reacciones temporales de posibles shocks, es necesario hacer un ejercicio de modelación en la red que escapa del alcance de esta investigación.

El gráfico 14, muestra los productos según su rol como proveedores, la cantidad de productos a los que sirven de insumos y su similitud estructural. Existe un bloque que está 150 contactos por encima del promedio de 82 y una similitud entre 0.3 y 0.4. En este bloque principalmente encontramos a productos de nuevos servicios, zonas francas y PA, otros servicios especializados pocos productos de industria tradicional y un producto

de comercio y servicios. Es un bloque diverso pero bastante diferenciado del resto de los productos, que tienen menos contactos como proveedores y similitud por debajo de 0.3. Básicamente, lo observado son sectores de la economía que tienden más a relacionarse entre sí, y que en términos de la estructura de la red forman clústeres de interacción.

Gráfico 14

Promedio del índice de Jaccard de los productos en su función como proveedores de insumos, según medida de proveedor de insumos (grado de salida) y sector

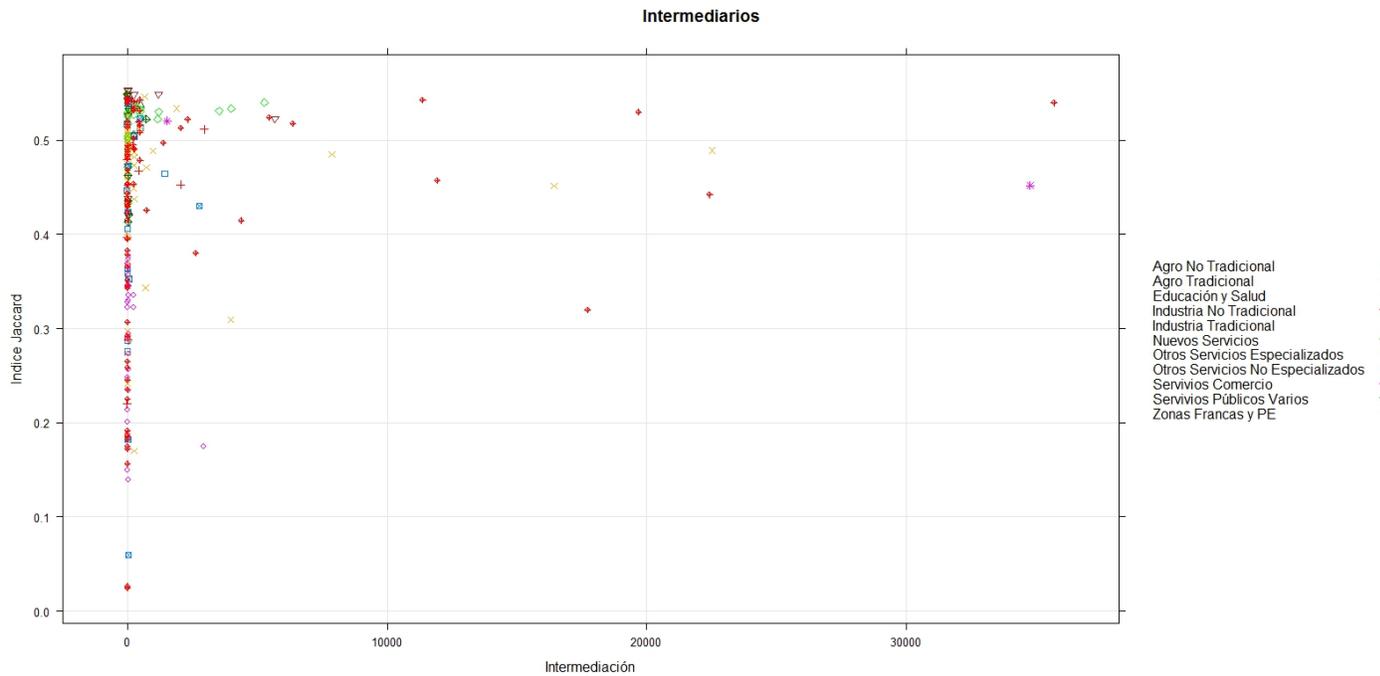


Fuente: Elaboración propia con datos del BCCR.

Intermediación y Similitud Estructural

Por último, es preciso retomar el rol de intermediación dada su relevancia estructural (gráfico 15). Existen ocho productos que tienen un índice Jaccard de entre 0.4-0.55, es decir, una similitud estructural considerada de baja a media (entre 0.6 a 0.8 alta, y 0.8-0.9 muy alta, 1 perfecta). Entre estos productos encontramos a cinco productos de zonas francas y PA, dos de industria tradicional y uno de servicios y comercio. En este punto aparece la vulnerabilidad estructural de la economía. Si un shock afectará a varios de estos productos sus encadenamientos se afectarían y podrían dejar a la economía costarricense virtualmente particionada y desconectada, dejando meramente las relaciones que ocurren dentro de cada clúster. La mejor opción es diseñar políticas que se encarguen de multiplicar los encadenamientos entre sectores y que se creen más funciones de intermediación para que los beneficios se puedan diseminar. Una economía mejor interconectada es más robusta y cohesiva, y por ende menos frágil a ser particionada fácilmente.

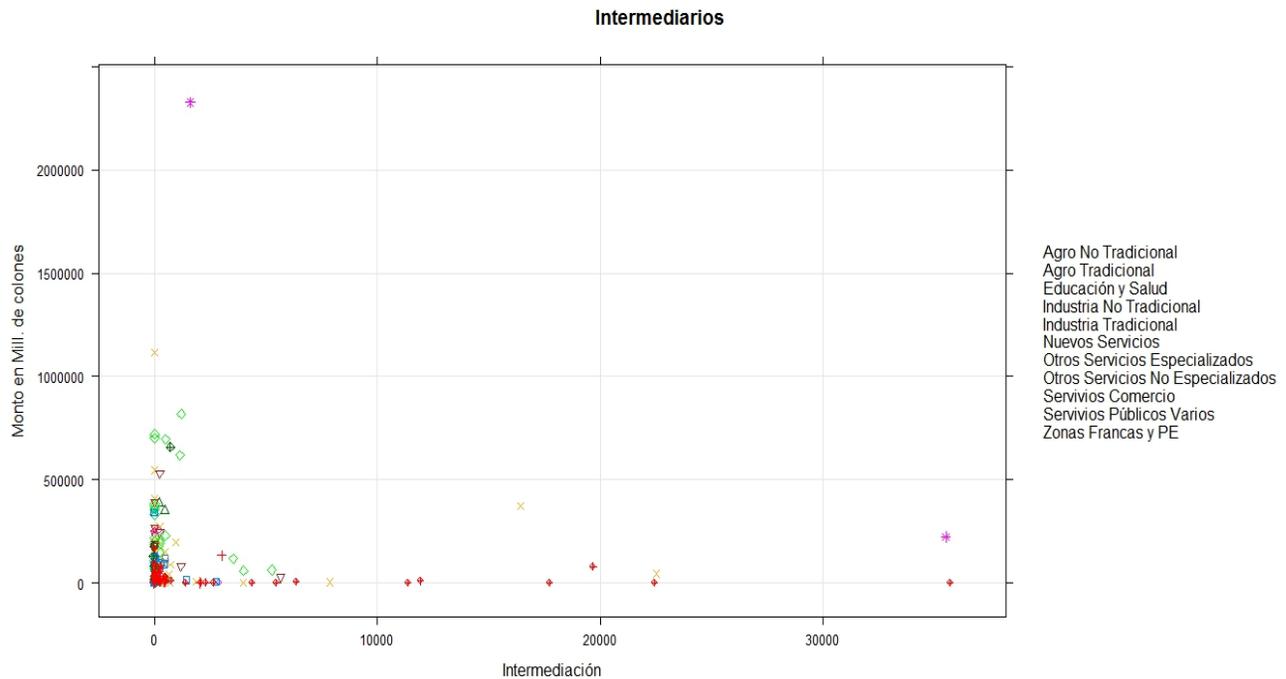
Gráfico 15
Promedio del índice de Jaccard de los productos en su función como intermediarios, según grado de intermediación y sector



Fuente: Elaboración propia con datos del BCCR.

El gráfico 16, muestra la distribución de los productos según su grado de intermediación y según los montos que cada producto maneja en millones de colones, además, muestra la clasificación por sector de nueva y vieja economía. Son tres los sectores cuyos productos se encargan de conectar a otros sectores: Zonas Francas y PA, Industria Tradicional y Servicios de Comercio. Sin embargo, tal y como se aprecia en gráfico 16, estos productos no son los que manejan más montos.

Gráfico 16
Productos Intermediarios de la Economía Costarricense según su Sector



Fuente: Elaboración propia con datos del BCCR.

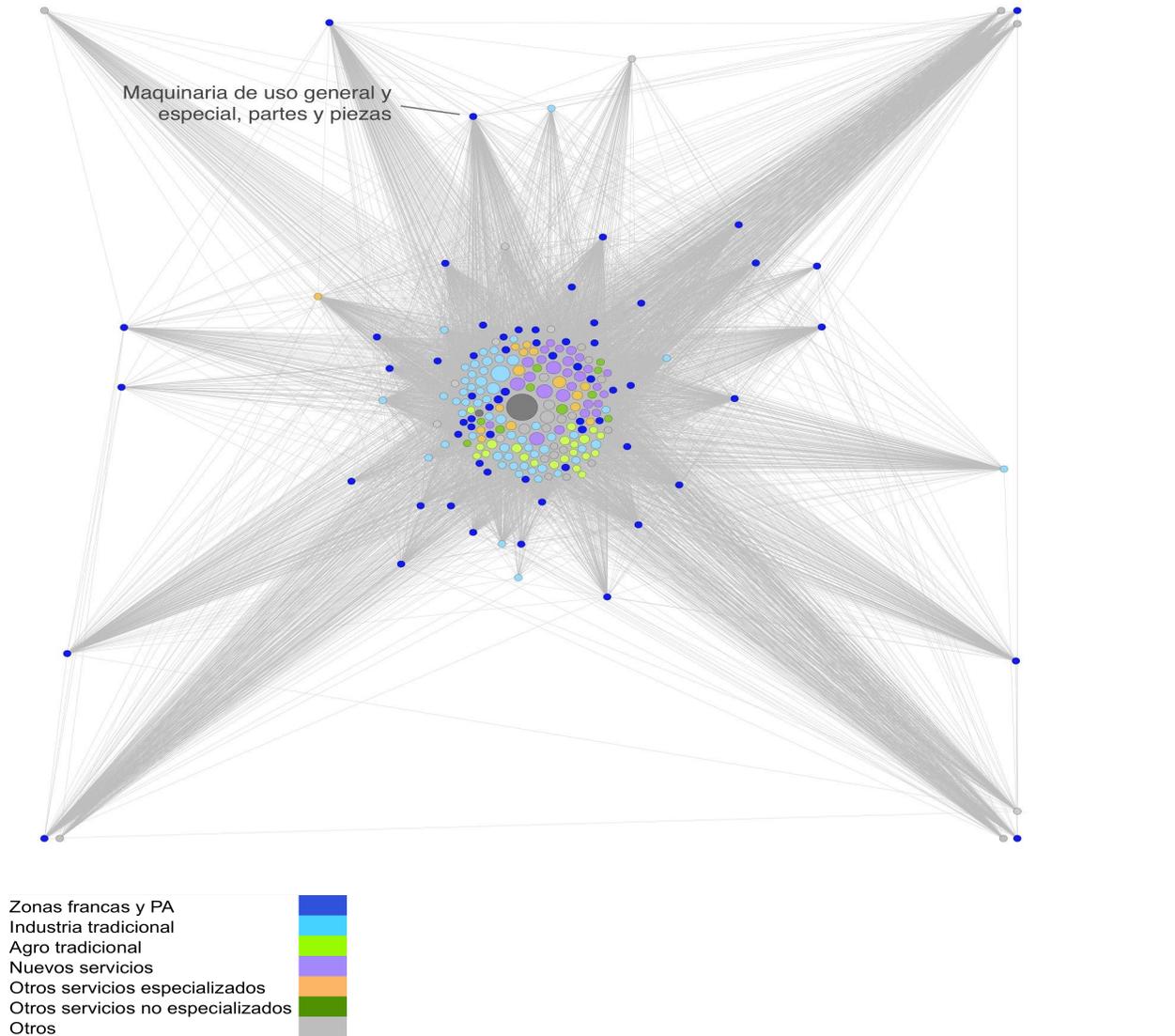
Para ejemplificar es posible centrar el análisis en el producto con el mayor grado de intermediación. La figura 9 muestra la red ego del producto “maquinaria de uso general y especial, partes y piezas” en régimen especial perteneciente al sector de zona franca y PA.

Esta red muestra únicamente las relaciones inmediatas de este producto y las de los vecinos inmediatos de los productos con que este se relaciona. El tamaño de los productos está en función de las cantidades manejadas. Como se observa este producto se ubica hacia las afueras y no maneja los montos más grandes. Su ubicación más alejada refleja su posición en la estructura de la red. Se conecta con los nodos del centro, pero además con los nodos más distantes localizados en la sección periférica.

La clave está en los productos con los cuales se relaciona. Su alta intermediación se debe a su papel de puente entre productos que de otra manera no se relacionarían. La clave no está en la cantidad de contactos o la cantidad monetaria de la relación, sino en su posición estratégica en el sistema de relaciones económicas. A pesar de tratarse de una red ego, si esta se compara con la red de G_{MR} , no se observan grandes diferencias. Dado el papel de puente que cumple este nodo, tiene relaciones directas con gran cantidad de productos distribuidos en diferentes secciones de la red.

Figura 9

Red ego del producto maquinaria de uso general y especial, partes y piezas en el régimen especial, tamaño de los nodos según las cantidades que manejan en la economía y colores según nueva clasificación de la economía

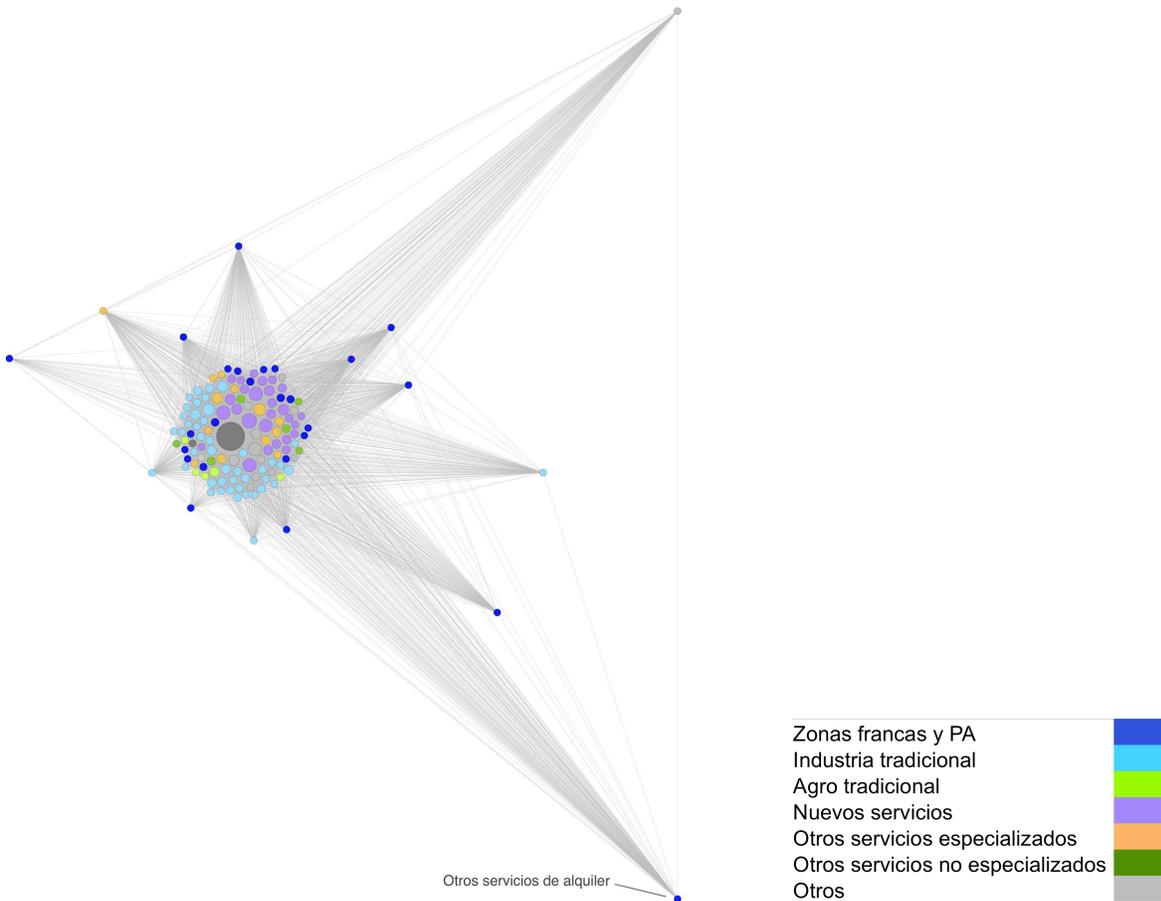


Fuente: Elaboración propia con datos del BCCR.

Adicionalmente, la figura 10 muestra la red ego del segundo producto con más nivel de intermediación, “otros servicios de alquiler” en el régimen especial. De forma similar al producto descrito anteriormente este producto se ubica en las afueras de la red, pero cumple un rol destacado como puente dentro del sistema de relaciones.

Figura 10

Red ego de otros servicios de alquiler en el régimen especial, tamaño de los nodos según las cantidades que manejan en la economía y colores según nueva clasificación de la economía

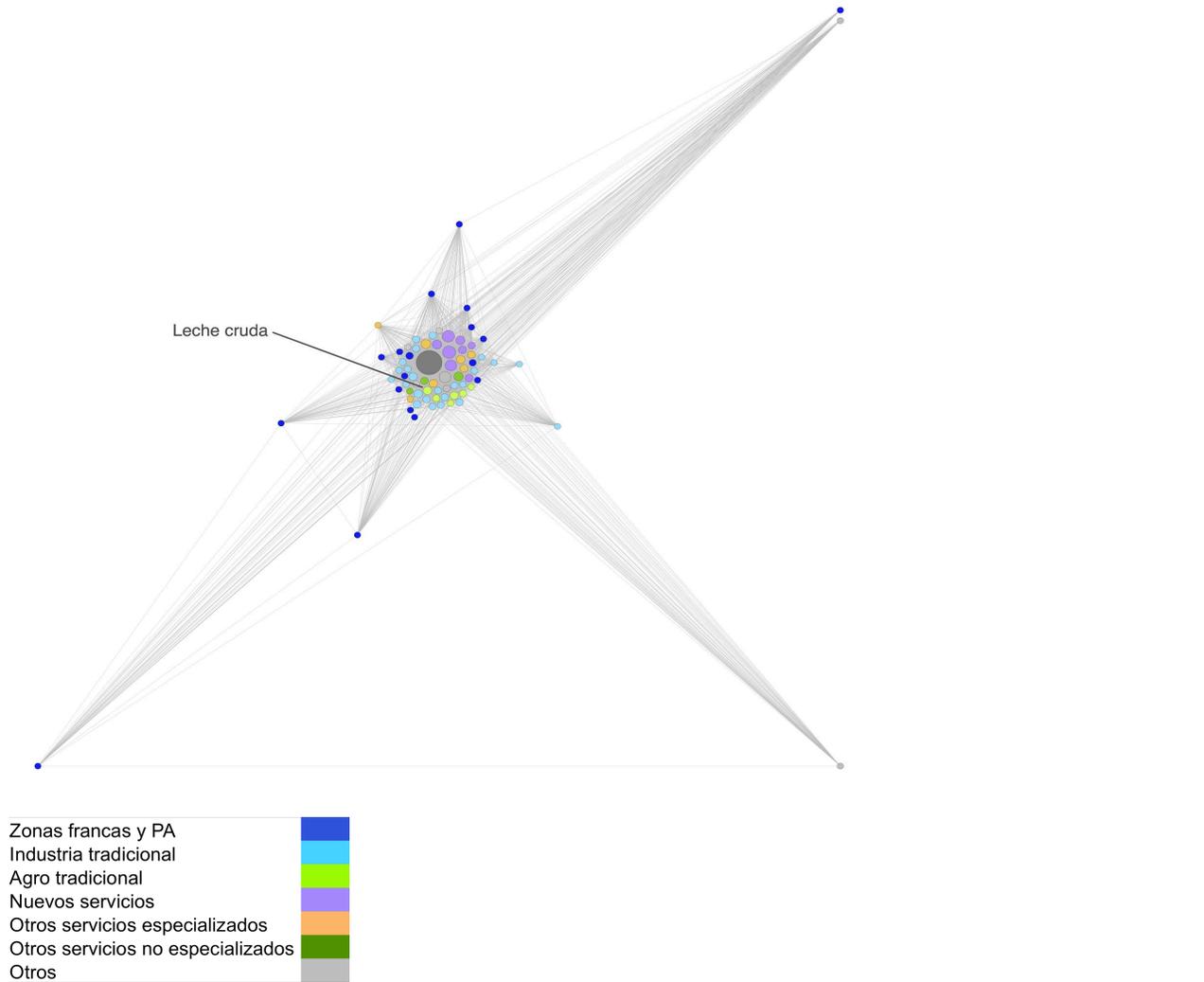


Fuente: Elaboración propia con datos del BCCR.

Subredes de sectores distintos según su dinámica económica

Dado que se espera que el sector de agricultura tradicional tenga un comportamiento diferente al de los nuevos servicios, se realiza un breve análisis a las redes de los principales productos (que manejan montos más altos) dentro de estos sectores. Para el caso del agro tradicional, la leche cruda es la que maneja mayor cantidad recursos (figura 11) y se relaciona en total con 74 productos, es decir, sostiene relaciones con 28% de los nodos en la red.

Figura 11
Red ego del producto leche cruda en el régimen definitivo, tamaño de los nodos según las cantidades que manejan en la economía y colores según nueva clasificación de la economía

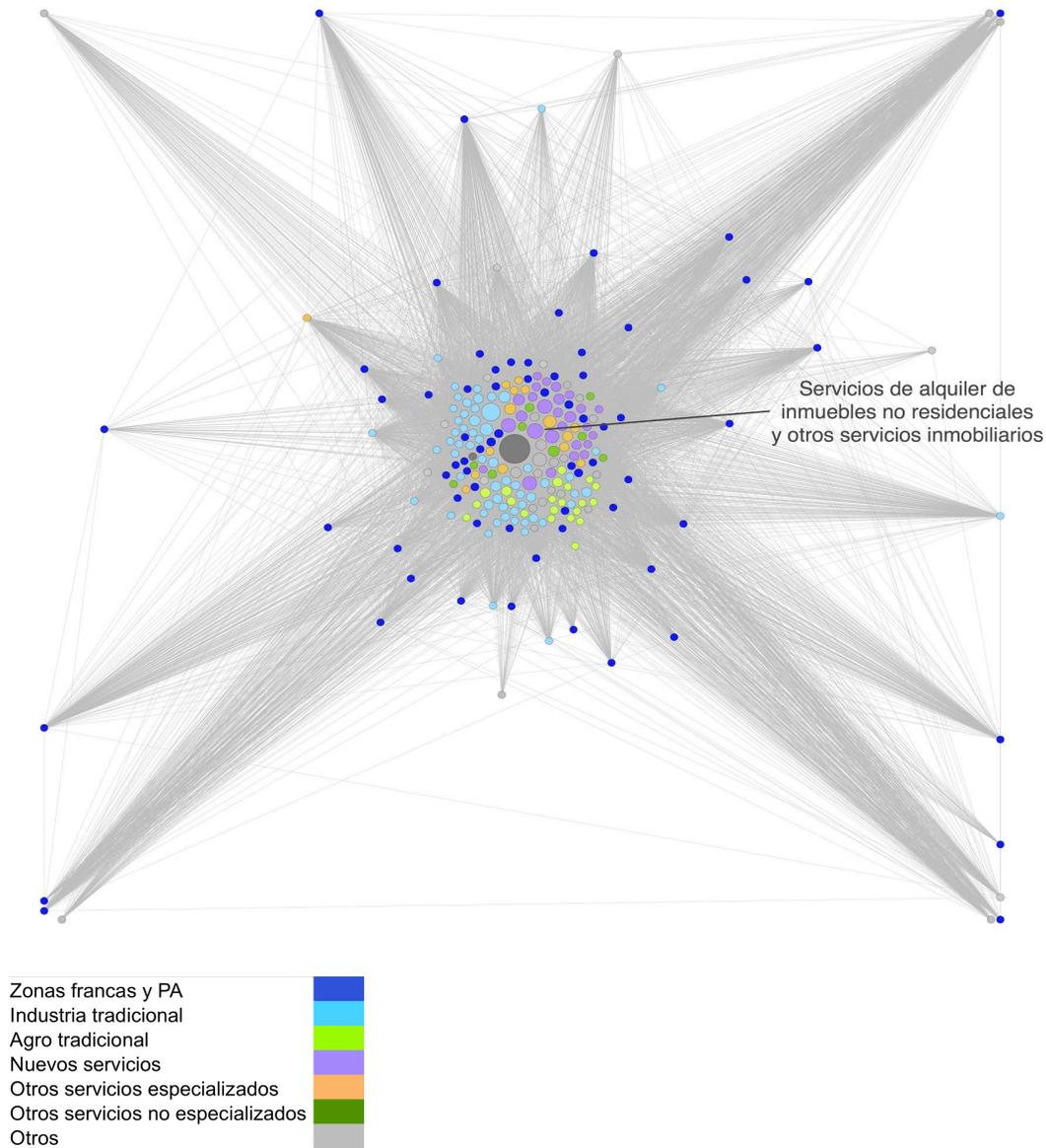


Fuente: Elaboración propia con datos del BCCR.

Por otro lado, en el sector nuevos servicios, los servicios de alquiler de inmuebles no residenciales y otros servicios inmobiliarios en el régimen definitivo son los que manejan la mayor cantidad de recursos económicos (figura 12). Este producto a diferencia de la leche cruda, tiene una red mucho más densa y se interrelaciona con el 90% de nodos en la red, un total de 235 productos.

Figura 12

Red ego de servicios de alquiler de inmuebles no residenciales y otros servicios inmobiliarios en el régimen definitivo, tamaño de los nodos según las cantidades que manejan en la economía y colores según nueva clasificación de la economía



Fuente: Elaboración propia con datos del BCCR.

Características globales de la red

Retomando los apartados anteriores, se puede resumir que la economía costarricense es una economía densa en relaciones, pero fragmentada en clústeres altamente densos a lo interno. Las características globales de la red, se refieren a una serie de indicadores que explican en términos más agregados las características de su estructura y en

términos prácticos contribuyen a explicar cómo afecta o beneficia a los productos inmersos en esta. El **cuadro 1** muestra las principales estadísticas usadas para describir propiedades globales.

Cuadro 1
Resumen de la principales estadísticas de red

Estadísticas	G_M	G_{MR}
Distancia promedio	1.69	1.67
Reciprocidad	0.50	0.37
Triangulación	0.74	0.69
Densidad	0.39	0.32

Fuente: Elaboración propia con datos del BCCR.

La *distancia promedio* de las redes, G_M y G_{MR} , indica en promedio cuántos productos hay de distancia entre un producto y otro. La distancia para ambas redes es similar, 1.69 y 1.67 productos de distancia. Se puede decir que las distancias promedio en la red son bastante pequeñas y al tomar en cuenta la diferencias entre regímenes, esta distancia se reduce. Esto implica que en promedio los productos se encuentran muy cerca unos de otros, sin embargo, como ya se analizó en apartados anteriores, al tomar en cuenta otros elementos, algunos sectores y productos se ubican a una mayor distancia.

En este punto, la reciprocidad es un indicador relevante para complementar el análisis. La reciprocidad tomando en cuenta la división por régimen es de 0.37, Se puede decir que más de un tercio de los productos de la economía nacional son demandantes de los productos a los que ellos ofrecen insumos. A más reciprocidad existe más interacción mutua, lo que hace que el dinero fluya en forma bidireccional. Esto también sugiere que estos productos están encadenados entre sí (comunicación personal, Jimenez Fontana, 2017). Por lo que un mayor nivel de reciprocidad será más deseado.

Para el caso de la red G_{MR} , la triangulación es de 0.69, esto indica un alto nivel de clusterización y encadenamientos dentro de cada clúster pero con cierta desconexión del resto de la red. Existe una tendencia a que pocos productos puedan demandar u ofrecer a muchos. Esta tendencia jerarquizada comprueba la existencia de grandes y de pequeños demandantes y oferentes, además con una tendencia a formar clústeres.

Cuando se toman en consideración las diferencias por regímenes en la economía nacional, la triangulación cae ligeramente, lo que refuerza el argumento de que la división por regímenes en la economía afecta su estructura y la forma en que se encadenan los productos.

Lo anterior también se ve reflejado en la **densidad**. A pesar de ser una red que parece bastante densa por la gran cantidad de vínculos, apenas el 32% de los lazos posibles realmente existen en G_{MR} . Mientras que en la red total, G_M , sin diferencias por régimen, el porcentaje es ligeramente mayor (39%). En la economía costarricense, tomando en

cuenta la diferencia por regímenes, apenas el 32% de los lazos posible se concretan, esto evidencia una economía que podría interconectar aún más y mejor sus productos, y sectores.

Conclusiones

El análisis de redes muestra un patrón de relaciones que evidencia una red dividida en dos sectores. El primero, forma una sección central, concentra gran cantidad de productos muy interconectados y por tanto, cercanos estructuralmente. El segundo, está más alejado y forma una sección periférica con productos menos conectados y con menor cantidad de vínculos con el resto de la economía a nivel de demanda intermedia. Se observa una mayor participación de nodos del régimen definitivo en la sección central. En cambio, en la periferia la mayoría de productos pertenecen al régimen especial. Sin embargo, hay excepciones, ciertos productos del régimen especial se ubican en la sección central de la red, por tanto se relacionan más con los otros productos del centro. Esto representa un primer indicio que demuestra la desconexión entre regímenes.

Los resultados también muestran una red que no depende estructuralmente de pocos productos. Esto se aprecia en la relativa homogeneidad en cuanto los grados de demandante y de proveedor de insumos, no existen productos que concentren la mayoría de relaciones, esto significa que la economía no depende de pocos productos para demandar y proveer insumos. Lo anterior representa una ventaja estructural en el contexto de la red, ya que una economía que no depende de un producto o de muy pocos productos, no sería tan susceptible a un rápido contagio ante un eventual shock.

Dado que la mayor parte de productos ofrecen y demandan insumos de un números similares de contactos, se plantea un panorama en el que el dinamismo económico no se encuentra concentrado. Estas características de la red son determinantes para el diseño de políticas económicas, pues estas deben tomar en cuenta que no existen grandes protagonistas, sino muchos actores con cantidades similares de relaciones.

Sin embargo, se pudo identificar una vulnerabilidad estructural en la red. Los hallazgos demuestran la existencia de productos que funcionan como puentes. además estos son pocos y manejan montos económicos relativamente bajos. Los productos puente o intermediarios tienen la función estructural de conectar sectores o clústeres de la economía que de otra forma estarían desconectados, dinamizando así el intercambio entre estos. Como resultado en este aspecto se evidencia dependencia de unos pocos productos que desempeñan este rol. La presencia de pocos intermediarios refleja una economía que podría dividirse si estos puentes son afectados de alguna manera.

El análisis de grupos mediante la técnica de Girvan-Newman, permite constatar la existencia de dos bloques en la economía. Además se identifican algunos productos que conectan ambos bloques. Por otro lado, la técnica de Walktrap muestra como los productos se ubican en clústeres donde los miembros están muy interconectados y dicha interconexión es menor con productos fuera del clúster. Los resultados de estas dos técnicas requieren mayor profundidad de análisis, que será llevado a cabo en futuras

investigaciones.

Al utilizar la clasificación en sectores según la metodología de nueva-vieja economía es posible observar un alto grado de interacción entre ciertos sectores que se concentran en la zona central de la red, esto son: agro tradicional, industria tradicional, nuevos servicios, otros servicios especializados y servicios de comercio. Por su parte, en general los productos pertenecientes a zona franca y PA tienden a relacionarse menos con el resto de la economía y se ubican en mayor proporción en la sección periférica. Nuevamente se pueden ubicar algunos nodos de zona franca y PA que interactúan en la zona más central de la red, por ejemplo el caso de instrumentos y suministros médicos y dentales.

En lo que se refiere al análisis de similitud estructural, en general se estiman niveles de similitud bajos e intermedios. Se muestra la existencia de distintos grados de similitud cuando se consideran las funciones de los productos y sectores como proveedores o demandantes de insumos. Hay mayor similitud entre productos en su función como demandantes, que cuando estos cumplen un papel de proveedores.

Por ejemplo, en su función como demandantes de insumos, los nuevos servicios y la industria tradicional, que manejan montos relativamente mayores, presentan niveles intermedios de similitud. Estos en promedio comparten más del 40% de sus relaciones. Por otro lado, está el caso de algunos productos de nuevos servicios y otros servicios especializados. Estos también manejan los montos más elevados y, en su función como proveedores de insumos, presentan los niveles más altos de similitud. Estos productos comparten en promedio más del 30% de sus relaciones.

Las características globales de la red confirman que la economía costarricense, en términos de la demanda intermedia, se encuentra segmentada en clústeres. Además, el bajo nivel de reciprocidad de las relaciones muestra también el poco encadenamiento de la economía. A pesar de que la red tiene una gran cantidad de vínculos, únicamente una tercera parte de las relaciones posibles se materializan en la realidad. Esto implica una economía con oportunidad de generar más interconexiones. Dichos aspectos son importantes para la generación de políticas cuyo objetivo sea aumentar el crecimiento económico a través de encadenamientos productivos.

Dadas las limitaciones y el alcance de este estudio, se identifican algunas tareas pendientes. En primera instancia, es necesario realizar ejercicios de modelación, tomando en cuenta el tamaño de la red de la economía costarricense y su nivel de interdependencia con otros países. Además, a futuro es importante considerar la evolución de la MIP a través del tiempo y analizar la difusión micro shocks económicos y como estos pueden convertirse en macro shocks, tal y como se ha estudiado para otros países (Acemoglu et al., 2012; Carvalho, 2014). Es necesario un estudio más detallado de las distancias en la red, así como un análisis de trayectorias para determinar la eficiencia en el sistema de relaciones.

Así, los resultados indican que la economía costarricense se encuentra dividida en dos

diferentes niveles. El primero se relaciona con la existencia de los dos regímenes, definitivo y especial, mientras que el segundo muestra una economía segmentada en grupos, conformados por distintos sectores, que están poco interconectados.

Esta desconexión sugiere la necesidad de una revisión de las políticas alrededor de cada régimen. Lejos de crear las interacciones y encadenamientos que se requieren para generar más dinamismo, estas políticas han creado una división. Sin embargo, se identifican productos que, a pesar de pertenecer al régimen especial, lograron ubicarse en la zona central de la red, generar más lazos e incluso posicionarse como demandantes con gran capacidad de arrastre. Por ejemplo, el producto instrumentos y suministros médicos y dentales se encuentra más conectado con el resto de la economía y además, según los resultados del Vigésimo Segundo Informe Estado de la Nación, se posiciona como un sector impulsor (PEN, 2016).

Casos como este requieren un estudio más detallado que permita analizar las políticas aplicadas y las condiciones que propiciaron este posicionamiento en la red. Conocer con más profundidad dichas características permitiría generar políticas específicas que catalicen el desarrollo de más productos con altos niveles de encadenamientos.

Finalmente, las divisiones que se observan en la estructura de la red sugieren una serie de implicaciones relacionadas con la manera en que fluyen los recursos económicos. Dada la segmentación de la economía en grupos poco interconectados que están integrados por diversos sectores, se podría esperar una rápida diseminación de shocks a lo interno de cada grupo, pero una lenta propagación entre grupos. Adicionalmente, estas divisiones implican dificultades para multiplicar el crecimiento económico entre sectores. Este contexto presenta la necesidad de diseñar políticas dirigidas a múltiples sectores pero que además consideren la economía como un sistema interconectado que permite, mediante el aprovechamiento de puentes, la transmisión del crecimiento económico.

Bibliografía

Acemoglu, D.; Carvalho, V.; Ozdaglar, A. y Tahbaz-Salehi, A. (2012) The Networks Origins of Aggregate Fluctuations. *Econometrica* 80(5):1977-2006.

- Albert, R. y Barabasi, A-L. (2002) Statistical mechanics of complex networks. *Reviews of Modern Physics* 74(1): pp. 47-97.
- Barrat, A.; Barthélemy, M.; Pastor-Satorras, R. y Vespignani, A. (2004) The architecture of complex weighted networks. *PNAS* 101(11): pp. 3747-3752.
- Brandes, U. y Erlebach, T. (2005) *Network Analysis: Fundamental Foundations*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Germany.
- Blöchl, F.; Theis, F.J.; Vega-Redondo, F., y Fisher, E. (2011) Vertex Centralities in Input-Output Networks Reveal the Structure of Modern Economies. *Physical Review E* 83(4):046127.
- Blöchl, F.; Theis, F.J.; Vega-Redondo, F.; y Fisher, E. (2010) *Which sectors of a modern economy are most central?*, CESifo Working Paper Series No. 3175.
- Carvalho, V. (2014). *From Micro to Macro via Production Networks*. Cambridge-INET Working Paper Series 2014/18, Cambridge Working Paper in Economics 1467.
- Csardi, G. y Nepusz, T. (2006) The igraph software package for complex network research. *InterJournal Complex Systems* 1695. <http://igraph.org/r/>
- Chartrand, G. (1985) *Introductory Graph Theory*. Dover Publications INC. New York.
- Cerina, F.; Zhu, Z.; Chessa, A. y Riccaboni, M. (2015) World Input-Output Network. *Plos One* 10(7): 1-21.
- Freeman, L. (1977) A set of measures of centrality based on betweenness. *Sociometry* 40(1):pp. 35-41.
- Girvan, M. y Newman, M. (2002) Community structure in social and biological networks. *PNAS* 99(12): 7821-7826.
- Jaccard, P. (1901) Etude comparative de la distribution florale dans une portion des alpes et des jura. *Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles* 37:547.
- Jacomy, M.; Venturini, T.; Heymann, S. y Bastian, M. (2014) ForceAtlas2, a continuous Graph Layout Algorithm for Handy Network Visualization Designed for the Gephi Software. *Plos One* 9(6):1-12.
- Jiménez-Fontana, P. (2017) Nota Metodológica: Clasificación de la Matriz Insumo Producto con la Metodología de la Nueva/Vieja Economía.
- Jiménez-Fontana, P. (2017) Comunicación Personal.

- Knoke, D. y Yang, S. (2008) *Social network analysis*. Sage Publications
- Lada, A. y Adar, E. (2003) Friends and neighbors on the Web. *Social Networks* 25: 211-230.
- Leicht, E.; Holme, P. y Newman, M. (2006) Vertex Similarity in Networks. *Physical Review E* 73: 026120.
- Lorrain, F. y White, H. (2010) Structural equivalence of individuals in social networks. *The Journal of Mathematical Sociology* 1(1): 49-80.
- Newman, M.; Forrest, S. y Balthrop, J. (2002) Email networks and the spread of computer viruses. *Physics Review E* 66 .
- PEN. (2015) Vigésimoprimer Informe Estado de la Nación. San José: PEN.
- PEN. (2016) Vigésimosegundo Informe Estado de la Nación. San José: PEN.
- Ponds, P. y Latapy, M. (2005) *Computing communities in Large Networks using random walks*. <https://arxiv.org/abs/physics/0512106>
- R Development Core Team (2008) *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, <https://www.r-project.org/>
- Scott, J. (2013) *Social network analysis*. Sage Publications.
- Scott, J. y Carrington, P. (2011) *The SAGE handbook of social network analysis*. Sage Publications.
- White, D. y Harary, F. (2001) The cohesiveness of blocks in social networks: Node connectivity and conditional density. ***Sociological Review* 31(1)**: pp. 305-359.

Anexo metodológico

A continuación, se presentan los detalles de los cálculos de las estadísticas de centralidad descritas en la sección metodológica.

Centralidad en la Red

- **Centralidad de grado:** $C = d(i)$, donde i es un producto cualquiera y $d(.)$ representa los productos más próximos a i , su vecindario más inmediato (Kotschützki et al. En Brandes y Erlebach, 2005).
- **Centralidad de grado de entrada:** $C_e = d - (i)$, donde i es un producto cualquiera y $d - (i)$ representa los productos más próximos a i , su vecindario más inmediato cuando i demanda insumos (Kotschützki et al. En Brandes y Erlebach, 2005).
- **Centralidad de grado de salida:** $C_s = d + (i)$, donde i es un producto cualquiera y $d + (i)$ representa los productos más próximos a i , su vecindario más inmediato cuando i provee insumos (Kotschützki et al. En Brandes y Erlebach, 2005).
- **Intermediación:** $I = \sum_{i \neq s, i \neq j, j \neq s} \frac{b_{isj}}{b_{ij}}, \frac{b_{isj}}{b_{ij}}$ son todos los posibles caminos cortos entre los productos i, j que pasan por el producto s (Freeman, 1977).

Análisis de Grupos

Para estimar los grupos en la red a través de la técnica Girvan-Newman se siguió el orden asignado por los autores (Girvan y Newman, 2002):

1. Estimar el nivel de intermediación para los lazos en la red
2. Eliminar los lazos con el mayor nivel de intermediación
3. Recalcular la intermediación para todos los lazos que se afectaron por la eliminación anterior
4. Repetir el paso 2 hasta que no queden lazos

Para el caso de la técnica Walktrap (Ponds y Latapy, 2005), el algoritmo propone:

1. Se particiona la red de n comunidades a un producto v , $P_1 = \{\{i\}, i \in V\}$. Donde V es el universo de todos los posibles productos. Así primero se calculan las distancias entre todos los productos adyacentes.
2. Después de $n - 1$ pasos, el algoritmo obtiene $P_n = \{V\}$. Cada paso define una partición P_k , en comunidades, donde k es la cantidad de pasos. Esto da una jerarquía a la estructura de comunidades llamada dendograma. Esta estructura tiene forma de árbol y corresponde a los productos donde cada uno está asociado a una comunidad. La clave del algoritmo es que las distancias se actualizan eficientemente a la vez que se evalúa la calidad de la partición, P_k .

Similitud Estructural en la Red

El índice de Jaccard ($Jc = \delta$) se estima de la siguiente forma:

$$\delta = \frac{|C_i \cap C_j|}{|C_i \cup C_j|}$$

En este caso C_i es el vecindario del producto i en la red. El numerador se refiere a la cantidad de productos en común que i y j tienen. El denominador tiene la función de normalizar, para que en caso que i y j tengan exactamente relaciones con los mismo productos, el índice de 1 (Leicht et al., 2006).

Características Globales de la Red

Las principales estadísticas se estiman de la siguiente forma:

- **Distancia promedio:** $L = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i \neq j} D(v_i, v_j)$. Donde n es la cantidad total de productos. $D(v_i, v_j)$ es la distancia más corta entre los productos i y j (Albert y Barabasi, 2002).
- **Reciprocidad:** Esta medida se estima: $R = \frac{r^{\leftrightarrow}}{r}$. Donde r^{\leftrightarrow} es la cantidad de lazos que son direccionales y r es la cantidad de lazos en la red (Newman et al., 2002).
- **Triangulación o transitividad:** Se estima de la siguiente manera:

$$c_i^w = \frac{1}{s_i(k_i - 1)} \sum_{j,h} \frac{(w_{ij} + w_{ih})}{2} a_{ij} a_{ih} a_{jh}$$

Donde a representa las triangulación de relaciones, w es el peso de la relación, y i, j, h son los tres productos en la triangulación. Además, $\frac{1}{s_i(k_i - 1)}$ es el factor de normalización que toma en cuenta la cantidad máxima de triangulaciones posibles en la red, tomando en cuenta los pesos de las relaciones, donde k_i se refiere al grado de centralidad del producto i . De esta forma se asegura que $0 \leq c_i^w \leq 1$ (Barrat et al., 2004).

- **Densidad:** Siguiendo a White y Harary (2001) la densidad corresponde a: $\theta = \frac{2e}{n(n-1)}$. Donde e es la cantidad de lazos o relaciones en la red, y el denominador es la cantidad de lazos posibles de encontrar en la red. Este a la vez es el factor

normalizador, que garantiza que el máximo valor posible sea **1** en caso que la red tenga todos los lazos posibles.