

Análisis de Redes de Mercado entre Estados Unidos y China

Maria Paula Gaviria e Isabella Martínez

Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, Universidad del Rosario

12 de noviembre de 2019

1 Introducción

La teoría de grafos es un campo de las matemáticas con muchas aplicaciones para problemas en el mundo actual. Un ejemplo de esto es la implementación de redes para analizar flujos que pueden representar diversas cosas: en el caso particular de las redes de mercado representan dinero.

Utilizando estas herramientas se puede estudiar numéricamente situaciones de interés actual, como en el caso del presente informe, la situación comercial entre Estados Unidos y China.

2 Descripción del Problema

El conflicto comercial entre Estados Unidos y la República Popular China es una delicada situación que afecta no sólo a dichos países sino también a gran cantidad de naciones que dependen económicamente de estas potencias. Este desacuerdo empezó en marzo de 2018, cuando el presidente estadounidense Donald Trump impuso aranceles argumentando "prácticas desleales de comercio" y el robo de propiedad intelectual.

Así pues, la situación económica de Estados Unidos y China ha cambiado drásticamente desde entonces. Recientemente decidieron cortar tratos comerciales entre ellos, al menos directamente.

3 Objetivos

3.1 Objetivo General

Presentar un análisis visto desde el marco de la teoría de grafos y de las matemáticas de la delicada situación en el mercado entre Estados Unidos y China.

3.2 Objetivos Específicos

- Modelar mediante herramientas computacionales las redes de flujo correspondientes para el estudio.
- Estudiar conceptos de distancias y redes de flujo en los grafos implementados.
- Presentar un análisis numérico de los resultados obtenidos.

4 Marco Teórico

Para el proyecto se utilizarán los siguientes conceptos de la teoría de grafos:

4.1 Grafos Dirigidos

Un **grafo dirigido** G es una terna que consiste en un conjunto de vértices $V(G)$, un conjunto de aristas $E(G)$ y una función que asigna a cada arista un par ordenado de vértices.

El **grafo subyacente** de un grafo dirigido D es el grafo G obtenido al considerar las aristas de D como pares no ordenados.

4.2 Distancias en Grafos

Circunferencia: longitud del ciclo más largo.

Cintura: longitud del ciclo más pequeño.

Distancia: Si G tiene un u, v -camino, la distancia de u a v , denotada $d(u, v)$ es la longitud mínima de un u, v -camino. Si G no tiene dicho camino, $d(u, v) = \infty$.

Diámetro: denotado por $diam(G)$, es la $\max(d(u, v))$ para todo $u, v \in V(G)$.

Radio: denotado por $rad(G)$, es la $\min(d(u, v))$ para todo $u, v \in V(G)$.

4.3 Redes de Flujo

Una red es un grafo dirigido G con capacidad $c(e)$ no negativa en cada arista $e \in E(G)$ y dos vértices específicos s y t denominados vértice fuente (s) y vértice sumidero (t). Una red de flujo simple siempre tiene una fuente y un sumidero.

El **flujo** es una función que asigna a cada arista e un valor $f(e)$. Se escribe $f^+(v)$ al flujo total de las aristas que salen de v y $f^-(v)$ al flujo total de las aristas que entran a v .

Un flujo f es **factible** si satisface:

Restricción de capacidad: $0 \leq f(e) \leq c(e)$, $\forall e \in E(G)$.

Restricción de conservación: $f^+(v) = f^-(v)$, $\forall v \in V(G)$.

El **valor** de un flujo f , denotado $val(f)$ es el flujo neto $f^-(t) - f^+(t)$ del sumidero. A su vez, el **flujo máximo** es un flujo factible de valor máximo.

Si además de capacidad las aristas poseen también costo $a(e)$ no negativo en cada arista $e \in E(G)$, se define el costo de mandar el flujo f por una arista (u, v) como $f(u, v) \cdot a(u, v)$. El problema de **flujo a costo mínimo** es entonces minimizar el costo total del flujo sobre todas las aristas, es decir:

$$\sum_{(u,v) \in E(G)} f(u, v) \cdot a(u, v)$$

con las siguientes restricciones:

Restricción de capacidad: $f(u, v) \leq c(u, v)$.

Antisimetría: $f(u, v) = -f(v, u)$.

Conservación de flujo: $\sum_{w \in V(G)} f(u, w) = 0$ para todo $u \neq s, t$.

Flujo requerido: $\sum_{w \in V(G)} f(s, w) = d$ y $\sum_{w \in V(G)} f(w, t) = d$. Siendo d el flujo que se necesita mandar de la fuente al sumidero.

5 Modelamiento y Solución Propuesta

Para el análisis se necesitó implementar dos redes de flujo: una con Estados Unidos como fuente y China como sumidero, y viceversa, de la manera propuesta en la Fig. 1. Esto con el fin de considerar el flujo máximo y el flujo a costo mínimo que podría enviar Estados Unidos a China sin su conexión directa por un lado, y el que podría enviar China a Estados Unidos por el otro.

Note que en las relaciones entre otros países en la parte interna de la red se encuentran las importaciones y exportaciones entre ellos. Es decir, todos los países internos en la Fig. 1a reciben flujo de Estados Unidos y mandan flujo a China, mientras que en la Fig. 1b es a la inversa.

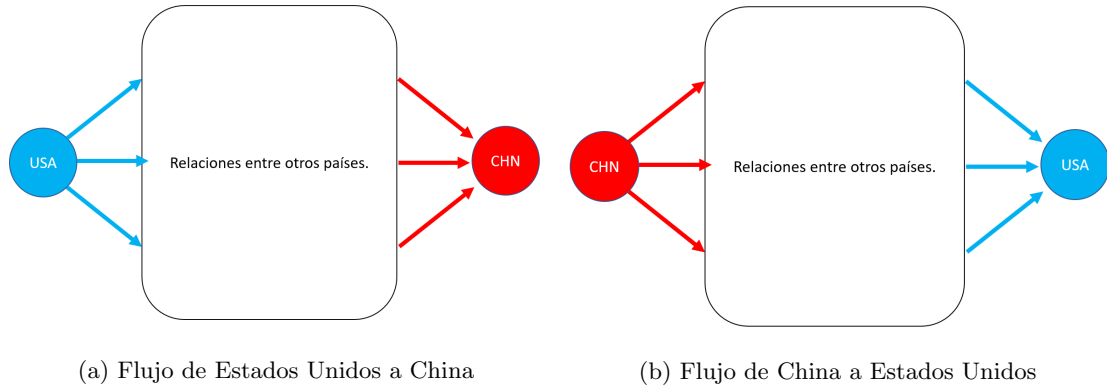


Figure 1: Ejemplificación de las redes de flujo propuestas.

Con dichos grafos se estudiarán conceptos de distancias en las redes de mercado propuestas.

Los datos utilizados para el modelo fueron obtenidos del *Observatorio de Complejidad Económica* [2], conocido por sus siglas *OECE*, relacionados con importaciones y exportaciones de los países que forman parte de la red para el año 2017.

Para seleccionar los países que forman parte de la red se escogieron aquellos que representan el 80% de la actividad económica de Estados Unidos y China para importaciones y exportaciones, y de ellos se eligieron los que presentaban en común. Estos fueron:

Código	País	USA IMP.	USA EXP.	CHN IMP.	CHN EXP.
AUS	Australia	0.4%	1.64%	5.52%	1.95%
BRA	Brasil	1.16%	1.63%	3.12%	1.12%
CAN	Canadá	12.71%	11.95%	1.2%	2.07%
DEU	Alemania	5.18%	4.92%	6.18%	4.53%
ESP	España	0.65%	1.19%	0.48%	1.18%
FRA	Francia	1.67%	2.98%	1.44%	2.19%
GBR	Reino Unido	2.09%	3.72%	1.43%	2.44%
HKG	Hong Kong	0.19%	2.44%	1.06%	10.61%
ITA	Italia	2.08%	1.33%	1.06%	1.32%
JPN	Japón	5.79%	5.35%	8.85%	6.51%
KOR	Corea del Sur	3.21%	3.89%	9.74%	4.07%
MEX	México	14.21%	14.5%	0.58%	2.16%
MYS	Malasia	1.53%	1.17%	2.76%	1.58%
NLD	Países Bajos	0.76%	2.81%	0.77%	1.82%
SGP	Singapur	0.77%	1.94%	3.27%	1.77%

Además, China representa el 22.05% y el 10.65% de las importaciones y exportaciones de Estados Unidos respectivamente, y Estados Unidos representa el 8.66% y el 19.77% de las importaciones y exportaciones de China respectivamente. Note que los porcentajes en la tabla anterior son respecto al total de todos los países, no solo de los 15 escogidos (17 contando a Estados Unidos y a China).

6 Implementación Computacional

Para implementar las correspondientes redes de flujo se utilizó el lenguaje de programación `python` y las librerías `NetworkX` y `Matplotlib`. Como los datos de *OECD* están en dólares, los mismos se convirtieron a millones de dólares para una comprensión mejor.

Los valores de exportaciones e importaciones entre países que se poseen se redondearon y se utilizaron como las correspondientes capacidades para las redes de flujo. La red de flujo que tiene a Estados Unidos como fuente y a China como sumidero utiliza los valores de exportaciones estadounidenses e importaciones chinas, y la red que usa a China como fuente y a Estados Unidos como sumidero usa los valores de exportaciones chinas e importaciones estadounidenses.

Como la conexión directa entre Estados Unidos y China se rompió en el modelo, se utilizó ese valor de exportación de Estados Unidos para aumentar la capacidad de las conexiones entre la fuente Estados Unidos y los otros países equitativamente. De manera análoga se realizó con el valor de las exportaciones de China a Estados Unidos. En el caso de importaciones de Estados Unidos a China y de China a Estados Unidos se llevó a cabo un procedimiento similar con el sumidero China y el sumidero Estados Unidos respectivamente.

Para las redes de flujo que se implementaron en el problema de flujo a costo mínimo se manejó una escala de costos en el intervalo $[1, 10]$. Para distribuir estos valores tomamos la distancia directa entre países (como un transporte aéreo), y dividimos el intervalo en 10 subintervalos, de manera que si una distancia cae en el primer intervalo su costo será de 1, y así sucesivamente.

Se utilizaron los algoritmos y la representación visual proporcionada por `NetworkX` y `Matplotlib` para el análisis.

También, para los cálculos de las distancias se implementó el grafo subyacente de una de las redes, dado que los demás son isomorfos a él.

7 Resultados y Análisis

Para el cálculo de las distancias se determinaron los siguientes datos de interés:

- **Circunferencia:** 17
- **Cintura:** 3
- **Diámetro:** 2
- **Radio:** 1

Lo que confirma que las redes implementadas tienen poco trasbordo y que el modelo es relativamente bastante conexo. Note además que la conexidad de la red depende directamente de las relaciones de los países escogidos.

Los resultados obtenidos para los algoritmos de flujo máximo y flujo máximo a costo mínimo en las redes de flujo fueron los siguientes:

Resultados del Modelo				
Valor	USA-CHN Directo	CHN-USA Directo	USA-CHN	CHN-USA
Flujo Máximo	682.800	1'259.200	682.900	1'259.300
Costo Mínimo	6'381.500	11'130.100	6'729.300	12'307.400

Table 1: Resultados de Algoritmos

Para la comparación note que para 2017, Estados Unidos le exportaba a China 133.307 millones de dólares, y le importaba 476.801 millones de dólares. Los datos para flujo máximo en la Tabla 1 implican un aumento del 512% para dicha exportación y del 264% para la importación. Esto tiene sentido pues las importaciones de China a Estados Unidos ya eran más grandes en un principio, por lo que se puede decir que ambos aumentan casi en la misma medida.

Además, la diferencia del flujo máximo con y sin la arista directa es de apenas 100 millones de dólares, y curiosamente el mayor flujo máximo se encuentra cuando la conexión directa no se encuentra presente. La mayor diferencia se encuentra en el costo mínimo de dicho flujo, aumentando 347.800 millones de dólares para el flujo de Estados Unidos a China y 1'177.300 millones de dólares para el flujo de China a Estados Unidos. Es decir, para Estados Unidos aumenta mucho comprarle a China, en comparación del caso contrario.

Para analizar la importancia de los países que conforman la red de flujo máximo considere la Tabla 2. Observe que en el flujo de Estados Unidos a China son países importantes Canadá y México, pues actúan como distribuidores de USA (a Canadá le entran 2 aristas y le salen 14, mientras que a México le entra 1 y le salen 15). Cabe resaltar a Australia y Brasil, con 10 y 9 aristas entrantes respectivamente y una arista de salida para ambos, al recibir flujo de diversos países para mandárselos a China.

De manera análoga, en el flujo de China a Estados Unidos vemos a México y Canadá como componentes importantes para USA al recibir flujo de otros países y mandárselo a el mismo (en este caso, ambos reciben 14 aristas y mandan 1 a Estados Unidos). El país más importante para China entonces es Hong Kong, al ser su distribuidor con 15 aristas de salida y una de entrada.

En el caso del flujo máximo a costo mínimo, como se observa en la Tabla 3 se nota también la importancia de México y Canadá para el flujo en ambas direcciones para disminuir el costo. En general, se nota una distribución equilibrada en los grados de las aristas de los países.

8 Conclusiones

1. La teoría de grafos tiene muchas aplicaciones en problemas del mundo moderno, y el estudio de estos mediante este punto de vista deja ver resultados interesantes.
2. La conexidad de la red se ve determinada por los países que la conforman y de las relaciones que estos tengan entre ellos.
3. Aunque la diferencia de flujo máximo con y sin arista es poca, se nota el aumento en el costo mínimo para el flujo, lo que perjudica a Estados Unidos y China, aunque con mayor intensidad al primero.
4. En la red son fundamentales Canadá y México, sobre todo para Estados Unidos al ser sus principales aliados para el recibimiento y la distribución de flujo. Se nota que China tiene mayor diversidad en cuanto a sus países importantes.

References

- [1] Douglas B. West. *Introduction to Graph Theory, 2nd Edition*. Pearson, 2000.
- [2] Observatorio de Complejidad Económica. Available at: <https://oec.world/en/>

Grado de los Países en la Red de Flujo Máximo				
País	USA-CHN Directo	CHN-USA Directo	USA-CHN	CHN-USA
AUS	$\delta^- = 10$ $\delta^+ = 1$	$\delta^- = 3$ $\delta^+ = 13$	$\delta^- = 10$ $\delta^+ = 1$	$\delta^- = 5$ $\delta^+ = 11$
BRA	$\delta^- = 9$ $\delta^+ = 1$	$\delta^- = 9$ $\delta^+ = 7$	$\delta^- = 9$ $\delta^+ = 1$	$\delta^- = 9$ $\delta^+ = 7$
CAN	$\delta^- = 2$ $\delta^+ = 14$	$\delta^- = 14$ $\delta^+ = 1$	$\delta^- = 2$ $\delta^+ = 14$	$\delta^- = 14$ $\delta^+ = 1$
CHN	$\delta^- = 15$ $\delta^+ = 0$	$\delta^- = 0$ $\delta^+ = 15$	$\delta^- = 15$ $\delta^+ = 0$	$\delta^- = 0$ $\delta^+ = 15$
DEU	$\delta^- = 7$ $\delta^+ = 4$	$\delta^- = 10$ $\delta^+ = 6$	$\delta^- = 8$ $\delta^+ = 6$	$\delta^- = 9$ $\delta^+ = 6$
ESP	$\delta^- = 4$ $\delta^+ = 5$	$\delta^- = 7$ $\delta^+ = 7$	$\delta^- = 3$ $\delta^+ = 4$	$\delta^- = 10$ $\delta^+ = 6$
FRA	$\delta^- = 4$ $\delta^+ = 5$	$\delta^- = 7$ $\delta^+ = 8$	$\delta^- = 4$ $\delta^+ = 4$	$\delta^- = 10$ $\delta^+ = 5$
GBR	$\delta^- = 4$ $\delta^+ = 9$	$\delta^- = 8$ $\delta^+ = 6$	$\delta^- = 4$ $\delta^+ = 4$	$\delta^- = 5$ $\delta^+ = 8$
HKG	$\delta^- = 4$ $\delta^+ = 12$	$\delta^- = 1$ $\delta^+ = 15$	$\delta^- = 3$ $\delta^+ = 9$	$\delta^- = 1$ $\delta^+ = 15$
ITA	$\delta^- = 4$ $\delta^+ = 2$	$\delta^- = 5$ $\delta^+ = 6$	$\delta^- = 4$ $\delta^+ = 2$	$\delta^- = 10$ $\delta^+ = 4$
JPN	$\delta^- = 9$ $\delta^+ = 1$	$\delta^- = 10$ $\delta^+ = 6$	$\delta^- = 5$ $\delta^+ = 1$	$\delta^- = 4$ $\delta^+ = 11$
KOR	$\delta^- = 6$ $\delta^+ = 1$	$\delta^- = 3$ $\delta^+ = 11$	$\delta^- = 5$ $\delta^+ = 1$	$\delta^- = 4$ $\delta^+ = 9$
MEX	$\delta^- = 1$ $\delta^+ = 15$	$\delta^- = 14$ $\delta^+ = 1$	$\delta^- = 1$ $\delta^+ = 15$	$\delta^- = 14$ $\delta^+ = 1$
MYS	$\delta^- = 5$ $\delta^+ = 1$	$\delta^- = 6$ $\delta^+ = 10$	$\delta^- = 4$ $\delta^+ = 1$	$\delta^- = 4$ $\delta^+ = 12$
NLD	$\delta^- = 4$ $\delta^+ = 6$	$\delta^- = 11$ $\delta^+ = 4$	$\delta^- = 3$ $\delta^+ = 4$	$\delta^- = 6$ $\delta^+ = 8$
SGP	$\delta^- = 5$ $\delta^+ = 1$	$\delta^- = 3$ $\delta^+ = 10$	$\delta^- = 3$ $\delta^+ = 1$	$\delta^- = 5$ $\delta^+ = 6$
USA	$\delta^- = 0$ $\delta^+ = 15$	$\delta^- = 15$ $\delta^+ = 0$	$\delta^- = 0$ $\delta^+ = 15$	$\delta^- = 15$ $\delta^+ = 0$

Table 2: Grados Red Flujo Máximo

Grado de los Países en la Red de Flujo Máximo a Costo Mínimo				
País	USA-CHN Directo	CHN-USA Directo	USA-CHN	CHN-USA
AUS	$\delta^- = 4$ $\delta^+ = 1$	$\delta^- = 1$ $\delta^+ = 3$	$\delta^- = 4$ $\delta^+ = 1$	$\delta^- = 1$ $\delta^+ = 3$
BRA	$\delta^- = 3$ $\delta^+ = 1$	$\delta^- = 3$ $\delta^+ = 3$	$\delta^- = 3$ $\delta^+ = 1$	$\delta^- = 4$ $\delta^+ = 3$
CAN	$\delta^- = 1$ $\delta^+ = 14$	$\delta^- = 15$ $\delta^+ = 1$	$\delta^- = 10$ $\delta^+ = 14$	$\delta^- = 15$ $\delta^+ = 1$
CHN	$\delta^- = 15$ $\delta^+ = 0$	$\delta^- = 0$ $\delta^+ = 15$	$\delta^- = 15$ $\delta^+ = 0$	$\delta^- = 0$ $\delta^+ = 15$
DEU	$\delta^- = 8$ $\delta^+ = 3$	$\delta^- = 6$ $\delta^+ = 3$	$\delta^- = 8$ $\delta^+ = 3$	$\delta^- = 5$ $\delta^+ = 3$
ESP	$\delta^- = 3$ $\delta^+ = 3$	$\delta^- = 1$ $\delta^+ = 4$	$\delta^- = 3$ $\delta^+ = 5$	$\delta^- = 1$ $\delta^+ = 4$
FRA	$\delta^- = 3$ $\delta^+ = 5$	$\delta^- = 1$ $\delta^+ = 5$	$\delta^- = 3$ $\delta^+ = 3$	$\delta^- = 2$ $\delta^+ = 4$
GBR	$\delta^- = 3$ $\delta^+ = 4$	$\delta^- = 1$ $\delta^+ = 5$	$\delta^- = 3$ $\delta^+ = 4$	$\delta^- = 1$ $\delta^+ = 7$
HKG	$\delta^- = 3$ $\delta^+ = 9$	$\delta^- = 1$ $\delta^+ = 6$	$\delta^- = 3$ $\delta^+ = 9$	$\delta^- = 1$ $\delta^+ = 7$
ITA	$\delta^- = 5$ $\delta^+ = 2$	$\delta^- = 6$ $\delta^+ = 3$	$\delta^- = 5$ $\delta^+ = 2$	$\delta^- = 7$ $\delta^+ = 3$
JPN	$\delta^- = 8$ $\delta^+ = 1$	$\delta^- = 1$ $\delta^+ = 4$	$\delta^- = 8$ $\delta^+ = 1$	$\delta^- = 1$ $\delta^+ = 3$
KOR	$\delta^- = 10$ $\delta^+ = 1$	$\delta^- = 2$ $\delta^+ = 5$	$\delta^- = 10$ $\delta^+ = 1$	$\delta^- = 3$ $\delta^+ = 5$
MEX	$\delta^- = 1$ $\delta^+ = 14$	$\delta^- = 14$ $\delta^+ = 2$	$\delta^- = 1$ $\delta^+ = 14$	$\delta^- = 14$ $\delta^+ = 2$
MYS	$\delta^- = 5$ $\delta^+ = 1$	$\delta^- = 1$ $\delta^+ = 3$	$\delta^- = 4$ $\delta^+ = 1$	$\delta^- = 1$ $\delta^+ = 3$
NLD	$\delta^- = 4$ $\delta^+ = 5$	$\delta^- = 1$ $\delta^+ = 5$	$\delta^- = 4$ $\delta^+ = 5$	$\delta^- = 1$ $\delta^+ = 5$
SGP	$\delta^- = 4$ $\delta^+ = 1$	$\delta^- = 1$ $\delta^+ = 3$	$\delta^- = 4$ $\delta^+ = 1$	$\delta^- = 1$ $\delta^+ = 3$
USA	$\delta^- = 0$ $\delta^+ = 15$	$\delta^- = 15$ $\delta^+ = 0$	$\delta^- = 0$ $\delta^+ = 15$	$\delta^- = 15$ $\delta^+ = 0$

Table 3: Grados Red Flujo Máximo a Costo Mínimo