

Una comparación de las Redes de Comercio Internacional de Petroleo Crudo: 2012 - 2016

FRANCISCO JAVIER RODRIGUEZ LANZA *

frjrodriguezla@unal.edu.co

* Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, Departamento de Física, Facultad de Ciencias.
17 de Noviembre del 2019

Resumen:

En el 2016 los precio del petroleo crudo en el mundo llegaron al punto mas bajo en los últimos 10 años, situándose por debajo del promedio de precios del periodo 2008-2009, esta caída de los precios, según el World Bank, fue causado por una serie de factores concatenados, de los cuales destaca el aumento de la producción de los Estados Unidos y factores geopolíticos. En este trabajo se estudia el mercado intencional de petroleo crudo como una red en la cual se representa los países como nodos, y sus vínculos comerciales por las aristas, este enfoque permitió estudiar las propiedades topológicas presentes en este comercio y hacer un estudio comparativo para las redes del 2012 y del 2016. Los resultados de este estudio muestran cambios estructurales globales del sistema significativos que reflejan una dinámica muy diferente de comercialización del crudo para ambos años, También los resultados sugieren dos hechos importantes; El aumento de la producción de EEUU es uno, si no, el factor mas significativo en esta comparativa, y que la OPEP esta perdiendo influencia sobre el mercado.

1 Introducción

El petroleo crudo es el hidrocarburo en su estado natural antes de ser procesado, principalmente previo a la refinación, de este existen de varios tipos dependiendo de su densidad, la cual se mide por su índice de gravedad API o por su composición, que puede ser ácida cuando contiene alta concentración de azufre o dulce cuando se encuentra con bajas concentraciones de este compuesto [2]. Su precio de referencia fijado por la Organización de Países Exportadoras de Petroleo OPEP se calculo como un promedio de la canasta de precios de las diferentes mezclas de petroleo crudo que esta organización produce [4].

La organización de países exportadores de petroleo OPEP, fue fundada en 1960 con el objetivo de regular los precios del petroleo mediante la disminución o aumento de su producción. El poderío de esta organización sobre el comercio del petroleo es tan alta que en muchas ocasiones se refieren a esta como un cartel, se cree que sus conflictos geopolíticos he intereses han influido de forma importante a la crisis de los precios de estos últimos años y que conforme avanza la crisis va perdiendo su dominio en el mercado.

En el 2016 los precios de referencia para el barril de

petroleo crudo, Brent, WTI y los fijados por la OPEP descendieron casi en un 60% respecto a el valor mas alto promedio anual alcanzo en el 2012. En el caso de la OPEP el precio fijado para el 2016 fue de 26,5 dólares estadounidenses situándose por debajo del precio promedio del periodo 2009-2013, esta caída del precio del barril, que para el año 2012 rondaba los 109.45 dólares estadounidense, tuvo fuertes repercusiones en el desarrollo de países cuya economías nacionales depende fuertemente de la exportación de este producto.[1]

La caída reciente del precio del petroleo crudo se debe a una serie de factores, según lo establece el World Bank, entre los hechos mas destacables se incluyen los acontecimientos geopolíticos ocurridos al interior de la OPEP y el considerable aumento de las exportaciones de países ajenas a esta organización, también la coincidencia de un momento de disminución de la demanda global con un exceso de producción de crudo, hecho en el cual destaca el papel de Estados Unidos que con su novedoso método de extracción no convencional, paso de ser el mayor consumidor mundial de petroleo a uno de los mayores productores de petroleo crudo, reduciéndose de esta forma una parte importante de la demanda global[1].

El sistema económico global de exportación de petróleo crudo puede ser analizado desde las propiedades topológicas de las redes, en este sentido la caída del precio del petróleo crudo en el periodo que va del 2012-2016 pudo haber influido significativamente en la estructura de la red, realizar una comparativa de la topología de las redes de comercio internacional de petróleo para los años 2012 y 2016 nos puede dar una visión más completa de lo que ha venido ocurriendo en este mercado, en cuanto a cambios en las dinámicas de exportación e importación de los países involucrados, y explorar sus consecuencias futuras.

En este trabajo se buscan elementos relevantes dentro de la estructura de las redes de comercio internacional de crudo, que permitan explorar las hipótesis propuestas por el World Bank, sobre el papel de los estados unidos y el fracking en la crisis, y la pérdida de poder de la OPEP en la regulación de los precios del crudo.

2 Metodología

Se realiza la red de exportaciones internacionales de petróleo crudo para todos los países del mundo involucrados en este mercado para los años 2012 y 2016, donde los nodos son los países participantes y sus vínculos los flujos comerciales de exportaciones que cada país tiene.

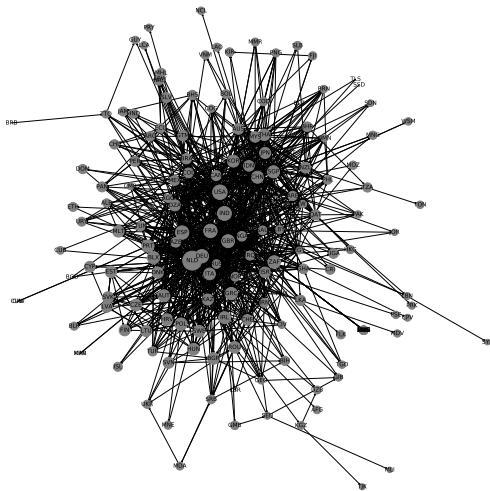


Figure 1: Ejemplo de una red que representa el comercio internacional de petróleo crudo, cuyos nodos son los países participantes en el comercio, sus vínculos las relaciones comerciales que tiene cada país, y el tamaño del nodo refleja alguna característica comparativa entre los países.

2.1 Recolección de los datos

Los datos de exportaciones de petróleo crudo se obtienen del Observatorio de Complejidad Económica (OEC) del conjunto de datos HS92 para los años 2012 y 2016, la referencia para este producto es 2709.

2.2 Medidas topológicas de redes implementadas

Para este análisis comparativo se mide de ambas redes las principales centralidades y medidas de red.

2.2.1 Grado promedio

El grado promedio del grafo no dirigidos se puede calcular como:

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^g K_i}{g} = \frac{2L}{g} \quad (1)$$

Donde K_i es el numero de vínculos que tiene el nodo i , g es el numero total de nodos de la red, y L el numero total de vínculos.

Para el caso del grafo dirigido, que es del tipo que necesitamos, el vinculo existente entre dos nodos se cuenta solo una vez, con esto la expresión cambia como:

$$\bar{d} = \frac{L}{g} \quad (2)$$

2.2.2 Densidad

Una medida importante de un grafo es su densidad, que se define como el número de vínculos totales sobre el número de vínculos posibles. Para calcular el número de vínculos posibles para grafos no dirigido se utiliza la expresión:

$$L_p = \frac{g(g-1)}{2} \quad (3)$$

Para el caso de grafos dirigidos es:

$$L_p = g(g-1) \quad (4)$$

Con esto entonces la densidad sera:

$$\rho = \frac{L}{L_p} \quad (5)$$

2.2.3 Diámetro

El diámetro de una red se puede entender mediante el concepto de geodésica que se define como el camino más corto entre un par de nodos. En este sentido el diámetro es la longitud de la geodésica mas larga entre dos nodos del grafo. Su medida es útil si todos los nodos de la red están fuertemente o recursivamente conectados.

2.2.4 Coeficiente de Asortatividad

Este coeficiente esta asociado con el coeficiente de correlación de Pearson, el cual cuantifica la preferencia que tienen los nodos de la red a establecer vínculos con nodos que le son similares en alguna característica, como el grado. Este coeficiente se define como:

$$r = \sum_{jk} \frac{jk(e_{jk} - q_j q_k)}{P^2} \quad (6)$$

Con

$$P^2 = \sum_k K^2 q_k - \left[\sum_k k q_k \right]^2 \quad (7)$$

Este coeficiente puede tener valores entre -1 y 1. Cuando la característica es el grado de los nodos, un Coeficiente de Asortatividad positivo nos indica que los nodos de la red tiene preferencia en establecer vínculos con nodos de grado similar, en el caso de que $r = 0$ la red no es asortativa, pero cuando la red tiene un coeficiente negativos la red es Disortativa y nos sugiere que los nodos de la red de grado alto o atractores tienen preferencia por vincularse con nodos de bajo grado y ellos a su vez a vincularse con nodos de grado alto, como consecuencia esta red muestra un carácter de concentrador haciéndola desordenada.

2.2.5 Centralidad de grado

El grado de un nodo nos da información que usualmente es relevante para entender la importancia de un nodo en el sistema, debido a que un nodo muy conectado puede ser muy influyente en el sistema, es por eso que una medida de centralidad es el grado del nodo K_i

$$C_d(n_i) = K_i \quad (8)$$

Para hacer esta medida comparable para redes de tamaños diferentes se hace una estandarización de la medida:

$$C'_d(n_i) = \frac{K_i}{g-1} \quad (9)$$

Aquí C'_d es independiente de g . [5]

2.2.6 Centralidad por fortaleza

Para esta centralidad de fortaleza no se tiene en cuenta solamente el grado del nodo sino la ponderación de los vínculos que entran y salen del nodo.

$$C_d(n_i) = \sum_j W_{ij} \quad (10)$$

Donde W_{ij} es el peso del vínculo que va de un nodo n_j al nodo n_i , y se hace la suma sobre todo los vínculos que entran o salen del nodo n_i [5]

2.2.7 Centralidad por cercanía

Esta centralidad esta basada en la cercanía de un nodo a los demás nodos de la red, en este sentido un actor es central si interactúa rápidamente con todos los nodos. Una forma de calcular esta centralidad es:

$$C_c = \left[\sum_{j=1}^g d(n_i, n_j) \right]^{-1} \quad (11)$$

Esta formulación es propuesta por Sabidussi (1966) donde $d(n_i, n_j)$ es el número de líneas geodésicas que unen los nodos i y j , entonces $\sum_{j=1}^g d(n_i, n_j)$ sera la distancia total a la que esta n_i de los demás nodos.

Dado a que la suma de distancias depende del número de nodos de la red a los que el nodo n_i tiene acceso, es decir $g-1$ se hace la estandarización de esta medida como:

$$C'_c = \frac{g-1}{\left[\sum_{j=1}^g d(n_i, n_j) \right]} \quad (12)$$

2.2.8 Centralidad de intermediación

Es un centralidad basada en la importancia que tiene un nodo respecto a su capacidad de conectar otros nodos a la red, su medida cuantifica el número de veces que dicho nodo actúa como puente entre otro par de nodos del sistema. Esta centralidad se calcula como una suma de probabilidad definida como:

$$C_B(n_i) = \sum_{j < k} \frac{g_{ik}(n_i)}{g_{ik}} \quad (13)$$

Donde $g_{ik}(n_i)$ es el número de geodésicas que unen a dos actores n_j y n_k , y que contiene el nodo n_i , dado que la probabilidad de escoger cualquier geodésica es la misma, se divide entonces por el número total de geodésicas que unen a los nodos n_j y n_k .

2.2.9 n-clique

Un n-Clique es un sub-grafo en el cual todos los nodos están conectados entre si por una distancia geodésica inferior o igual a n . El 1-clique es el clique que contiene todas sus nodos conectados entre si con una distancia geodésica de 1, esta sub-grafo tiene propiedades topológicas específicas, como una densidad igual a 1. El número de cliques en la red da una noción de que tan cohesiva es la red [3].

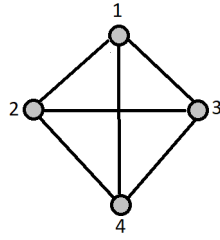


Figure 2: Ejemplo de un 1-Clique

3 Resultados

3.0.1 Diámetro, Densidad y Varianza de las redes

En la Tabla 1 se puede observar que para el 2016 se a excluido del mercado a un país respecto al año 2012, esto combinado con un aumento considerable de los vínculos comerciales nos dan una red de comercio internacional de petroleo crudo del 2016 más densa que la del 2012. Es importante tener en cuenta la diferencia entre la asortatividad r para ambos años.

	g	L	\bar{d}	s_D^2	ρ	D	r
2012	161	1030	6.39	81.64	0.03998	5	-0.16
2016	160	1144	7.15	92.72	0.04496	6	-0.25

Table 1: Medidas topológicas de numero de nodos g , numero de aristas L , grado promedio \bar{d} , densidad ρ , varianza s_D^2 , diámetro D y asortatividad r para cada una de las redes.

3.1 Centralidad de grado

En la Tabla 2 se hace una lista de los 14 países con mayor centralidad de grado C_D para las redes del 2012 y 2016. En esta se subrayan los países pertenecientes a la OPEP en color cyan, en el cual solo destaca Nigeria(NGA), en gris a los Estados Unidos(USA) y en color naranja a Rusia(RUS), estos países se subrayan dado a que destacan en su producción y exportación de petroleo en el 2019. Para el 2016 hubo

un aumento de 228 vínculos comerciales mas en la red, en comparación al 2012.

En la tabla 3 se muestran los países que mas ganaron y perdieron vínculos en el 2016 respecto al 2012, en esta tabla destaca el gran número de países de la OPEP que se encuentran en la lista de los 14 países que mas perdieron vínculos, y el aumento de vínculos de los Estados Unidos (USA) y de Arabia Saudita (SAU).

Países	$C_D(n_i)$ 2012	Países	$C_D(n_i)$ 2016
USA	73	NLD	116
CHN	62	USA	86
GBR	62	GBR	63
NLD	57	CHN	57
FRA	56	ITA	57
DEU	53	RUS	56
RUS	53	ESP	54
IND	49	IND	49
NGA	48	DEU	49
ITA	47	SGP	46
ESP	46	FRA	45
SGP	42	NGA	44
KOR	35	KAZ	41
JPN	35	KOR	40

Table 2: Lista de los 14 países con mayor centralidad de grado $C_D(n_i)$, para los año 2012 y 2016, la convención usada para el nombre de los países se pueden ver en la tabla 14 de los anexos. Azul: Países de la OPEP.

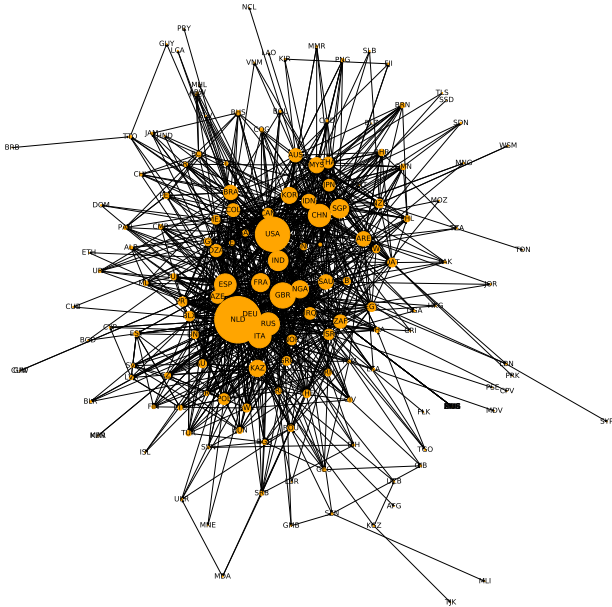


Figure 3: Grafo de la red de comercio internacional de petroleo, donde los nodos son los países participantes en el mercado y los enlaces son los vínculos comerciales entre ellos, el peso del vínculo refleja la cantidad de barriles comerciados, y el tamaño del nodo representa la centralidad C_D del país para el 2016.

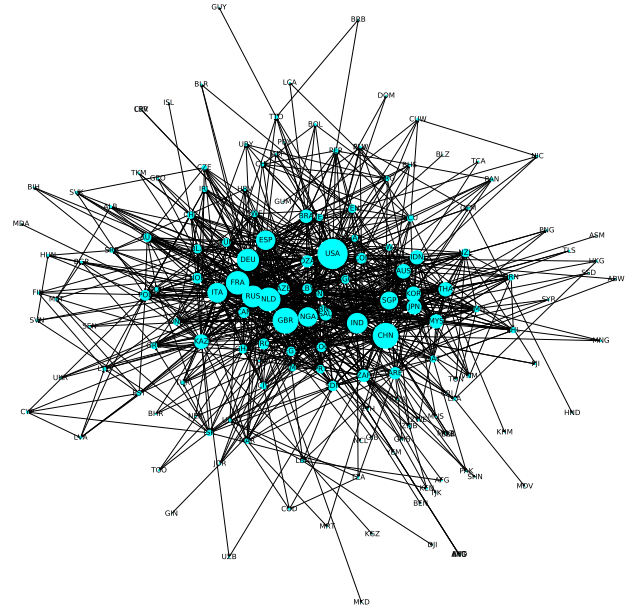


Figure 4: Grafo de la red de comercio internacional de petroleo, donde los nodos son los países participantes en el mercado y los enlaces son los vínculos comerciales entre ellos, el peso del vínculo refleja la cantidad de barriles comerciados, y el tamaño del nodo representa la centralidad C_D del país para el 2012.

Pais	Aumento de grado 2016-2012	Pais	Disminución de grado 2016-2012
NLD	13	FRA	-10
USA	11	THA	-9
BHR	9	COG	-7
ESP	7	VEN	-6
BRA	7	GHA	-6
ISR	6	LBY	-6
MEX	6	NGA	-4
GRC	5	LBN	-4
ITA	5	UGA	-4
TCD	5	CHN	-3
KAZ	5	JPN	-3
SAU	5	TUN	-3
GBR	4	IRN	-3
BHS	4	SYR	-3

Table 3: Esta tabla muestra cuales fueron los países que mas vínculos ganaron (izquierda de la tabla) y perdieron (derecha de la tabla) entre los dos años, 2012 y 2016. Azul: Países de la OPEP, Gris: Estados Unidos. la convención usada para el nombre de los países se pueden ver en la tabla 14 de los anexos.

3.1.1 Centralidad de grado de entrada

En la Tabla 4 se encuentran los países con mayor centralidad de grado de entrada C_{Din} para las redes del 2012 y 2016,

esta tabla no aparece ningún país de la OPEP. Destaca China (CHN) y los Estados Unidos (USA) en el 2012, y en el 2016 Holanda(NLD) y Estados Unidos(USA).

Pais	$C_D(n_i)_{in}$ 2012	Pais	$C_D(n_i)_{in}$ 2016
CHN	45	NLD	86
USA	43	USA	45
IND	42	CHN	42
NLD	40	IND	42
DEU	36	ITA	37
ESP	35	ESP	36
FRA	35	DEU	34
SGP	33	SGP	34
ITA	32	FRA	34
JPN	30	KOR	33
GBR	29	JPN	27
KOR	28	THA	27
THA	24	GBR	26
IDN	20	MYS	23

Table 4: Los principales países que destacan por su centralidad de grado de entrada $C_D(n_i)_{in}$ en el año 2012 y 2016, la convención usada para el nombre de los países se pueden ver en la tabla 14 de los anexos

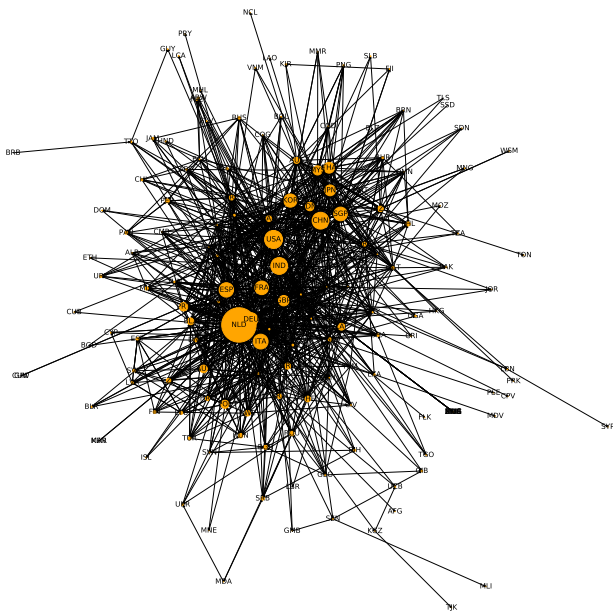


Figure 5: Grafo de la red de comercian internacional de petroleo crudo para el 2016. Nodos: países. Tamaño del nodo: centralidad C_{Din} . Vínculos: relaciones comerciales. Peso del vínculo: volumen de barriles comerciados.

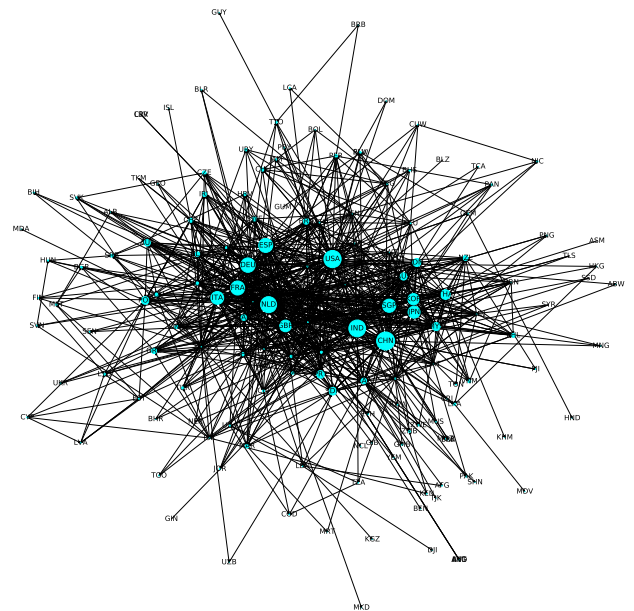


Figure 6: Grafo de la red de comercian internacional de petroleo crudo para el 2012. Nodos: países. Tamaño del nodo: centralidad C_{Din} . Vínculos: relaciones comerciales. Peso del vínculo: volumen de barriles comerciados..

3.1.2 Centralidad de grado de salida

En la Tabla 5 se encuentran los países con mayor centralidad de grado de salida C_{Dout} para las redes del 2012 y 2016, esta

tabla se subrayan en color azul los países pertenecientes a la OPEP, de los cuales aparecen siete para el 2012 y solo cinco para el 2016, destaca Rusia(RUS) en ambos periodos y los Estados Unidos con un aumento destacado de centralidad.

Pais	$C_D(n_i)_{out}$ 2012	Pais	$C_D(n_i)_{out}$ 2016
RUS	52	RUS	52
NGA	46	USA	41
GBR	33	NGA	41
SAU	33	GBR	37
KAZ	32	KAZ	37
USA	30	SAU	35
AZE	29	NLD	30
DZA	25	AZE	29
COL	25	COL	27
ARE	24	DZA	27
IRQ	24	ARE	27
LBY	23	IRQ	27
VEN	22	BRA	25
FRA	21	ITA	20

Table 5: Lista de los países con mayor centralidad de grado de salida $C_D(n_i)_{out}$ para el 2012 y 2016. La convención de nombre de los países se encuentra en la tabla 14 de los anexos. Azul: Países de la OPEP

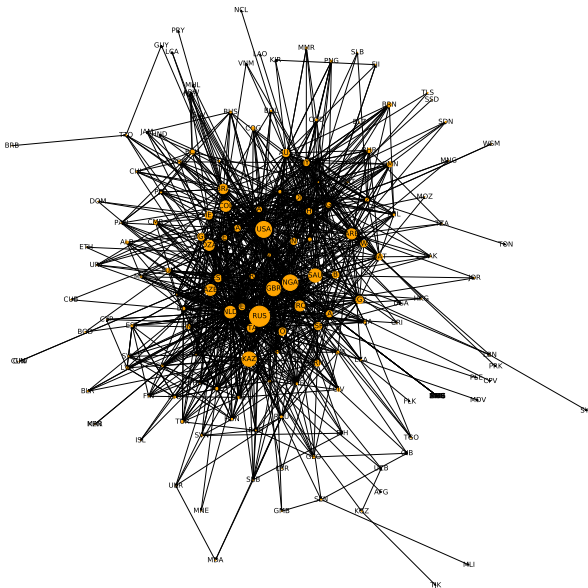


Figure 7: Red de comercio internacional de petroleo para el 2016. Nodos: países. Vínculos: interacciones comerciales. Peso del vinculo: número de barriles comerciados. Tamaño del nodo: centralidad de grado de salida $C_D(n_i)_{out}$.

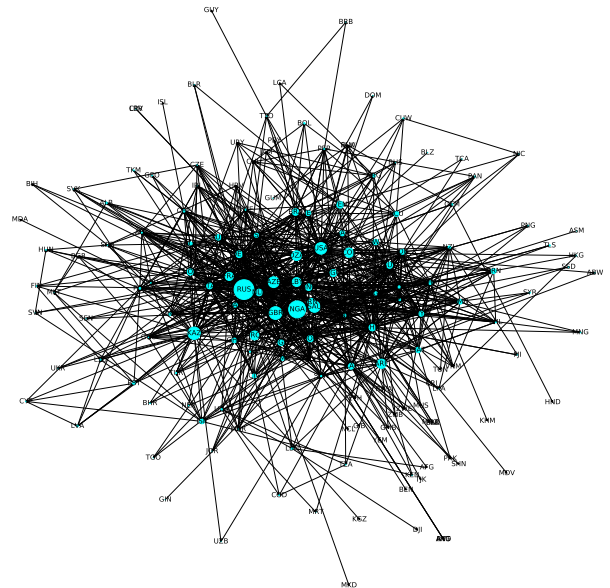


Figure 8: Red de comercio internacional de petroleo para el 2012. Nodos: países. Vínculos: interacciones comerciales. Peso del vinculo: número de barriles comerciados. Tamaño del nodo: centralidad de grado de salida $C_D(n_i)_{out}$.

3.2 Centralidad de intermediación

En la tabla 6 se muestran los países más destacados por su centralidad de intermediación $C'_B(n_i)$ para los años 2012 y 2016. Estados Unidos(USA) fue el país con mayor interme-

diación en el 2012, esto cambio para el 2016, que fue superada por Holanda (NLD). Ningún países de la OPEP para el 2012 destaca en la lista, en el 2016 entran 3 países de esta organización. El promedio de la intermediación, en el 2012 y 2016 fue de 0.0078 y 0.0076 respectivamente.

Pais	$C'_B(n_i)$ 2012	Pais	$C'_B(n_i)$ 2016
USA	0,117877905	NLD	0,27176136
NLD	0,108020726	USA	0,15974353
GBR	0,073044737	GBR	0,09309427
CHN	0,06985552	ZAF	0,05893385
KAZ	0,057218318	SGP	0,04136113
ZAF	0,052920217	CHN	0,03999205
ESP	0,048758106	KAZ	0,0365958
ITA	0,044547324	ESP	0,03418377
FRA	0,043747195	ARE	0,03372827
IND	0,043107062	ITA	0,03258477
DEU	0,039365515	IND	0,03145117
POL	0,034866352	NGA	0,02657463
SGP	0,032410954	DZA	0,0240666
SDN	0,030590368	BRA	0,02251879

Table 6: Lista de los principales países por centralidad de intermediación $C'_B(n_i)$ para el 2012 y el 2016. La convención usada para el nombre de los países se pueden ver en la tabla 14 de los anexos. Azul: Países de la OPEP

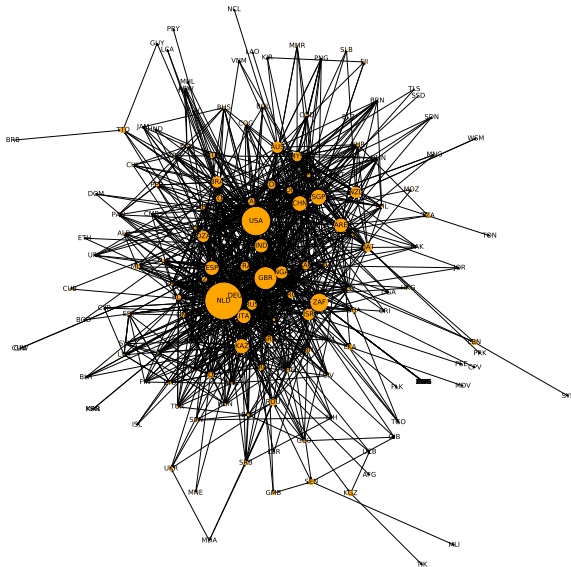


Figure 9: Red del comercio internacional de petroleo del 2016. Nodos: países. Vínculos: interacciones comerciales. Peso: número de barriles comerciados. Tamaño del nodo: centralidad de intermediación.

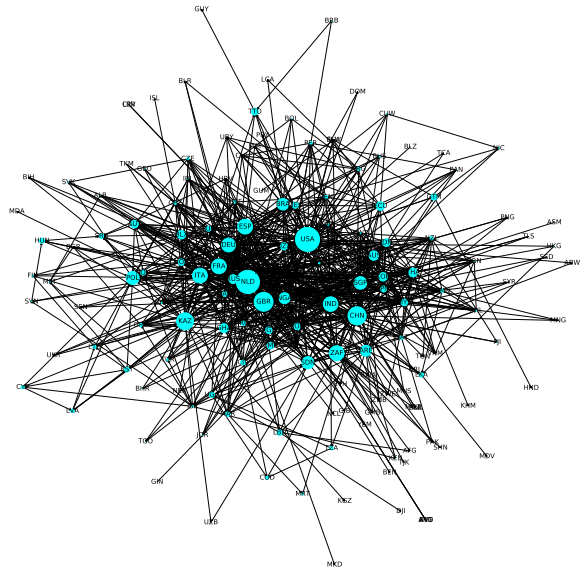


Figure 10: Red del comercio internacional de petroleo del 2012. Nodos: países. Vínculos: interacciones comerciales. Peso: número de barriles comerciados. Tamaño del nodo: centralidad de intermediación.

3.3 Centralidad por cercanía

En la tabla 7 se muestran los países mas destacados por su centralidad de cercanía para el 2012 y el 2016. La centralidad

promedio aumento para el 2016, esta fue de 0.26 en comparación al 2012 que fue de 0,214. No destaca ningún país de la OPEP en ninguno de los dos periodos por su $C'_C(n_i)$ en cambio Estados Unidos (USA) destaco en ambos periodos.

País	$C'_C(n_i)$ 2012	País	$C'_C(n_i)$ 2016
USA	0,365630008	NLD	0,5873059
NLD	0,363837704	USA	0,45026786
IND	0,362062886	IND	0,4317637
CHN	0,350107979	FRA	0,41654736
SGP	0,342040975	DEU	0,41472039
FRA	0,34047198	ESP	0,41472039
ESP	0,332838079	GBR	0,40066208
ITA	0,332838079	ZAF	0,39072831
SDN	0,332838079	BLX	0,37974398
GBR	0,318553183	GRC	0,37974398
JPN	0,318553183	PRT	0,37974398
DEU	0,317191844	POL	0,37974398
KOR	0,314503778	SGP	0,37522321
IDN	0,304192179	CHN	0,37374012

Table 7: Tabla de los países mas destacados por su Centralidad de cercanía $C'_C(n_i)$, para los años 2012 y 2016. La convención usada para el nombre de los países se pueden ver en la tabla 14 de los anexos.

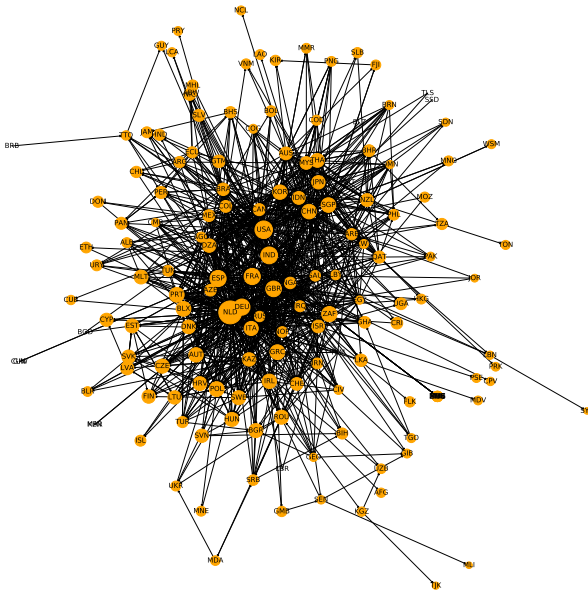


Figure 11: Red de comercio internacional de petroleo del 2016. Nodos: países. Vínculos: relaciones comerciales. Peso del vinculo: número de barriles comerciados. Tamaño del nodo: centralidad de cercanía $C'_C(n_i)$.

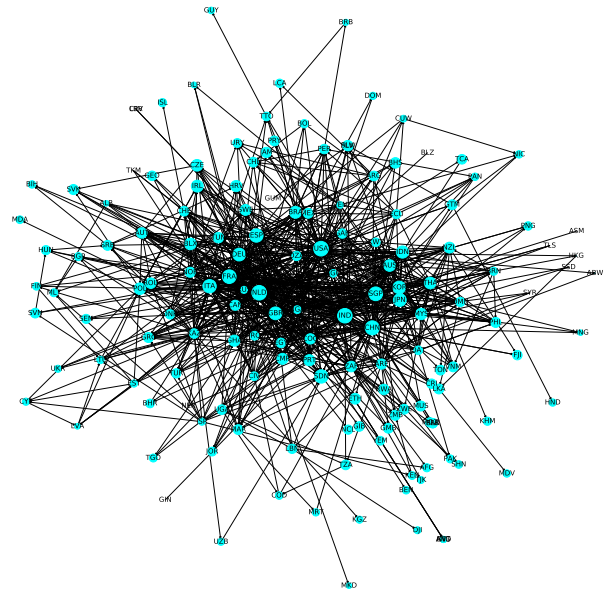


Figure 12: Red de comercio internacional de petroleo del 2012. Nodos: países. Vínculos: relaciones comerciales. Peso del vinculo: número de barriles comerciados. Tamaño del nodo: centralidad de cercanía $C'_C(n_i)$.

3.4 Centralidad de fortaleza out

# 2012	Pais	Barriles /e6	# 2016	Pais	Barriles /e6
1	SAU	4966,28258	1	SAU	3628,23398
2	RUS	1687,54331	2	RUS	2856,08915
3	VEN	1143,99443	3	IRQ	1567,86099
4	NGA	800,751692	4	CAN	1493,86608
5	ARE	795,409127	5	ARE	1374,40435
6	IRQ	728,472333	6	NGA	1021,87237
7	CAN	684,957902	7	IRN	971,478749
8	KWT	597,689425	8	KWT	969,946279
9	NOR	513,06222	9	NOR	856,576636
10	AGO	505,105374	10	AGO	851,631637
11	KAZ	421,607904	11	VEN	688,426368
12	MEX	420,759994	12	MEX	596,057803
13	IRN	418,717298	13	KAZ	496,4172
14	LBY	417,796119	14	QAT	488,523006
62	USA	2,1757386	22	USA	332,114233

Table 8: En esta tabla se muestran los países con mayor fortaleza out en la red de comercio internacional de petroleo para el 2012 y el 2016. Azul: Paises de la OPEP, Naranja: Rusia (RUS), Gris: Estados Unidos. La convención usada para el nombre de los países se pueden ver en la tabla 14 de los anexos.

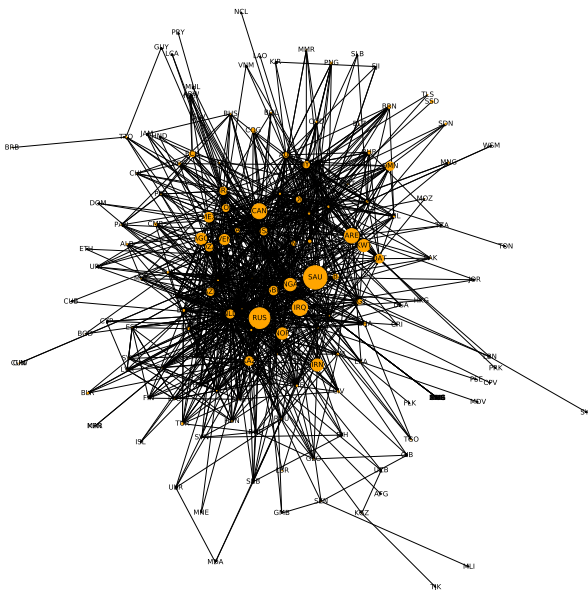


Figure 13: Red de comercio internacional de petroleo del 2016. Nodos: países. Vínculos: relaciones comerciales. Peso del vinculo: número de barriles comercializados. Tamaño de nodo: fortaleza out.

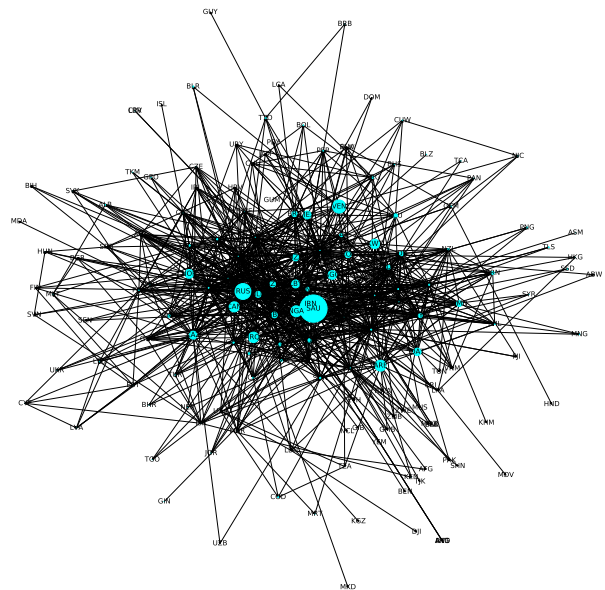


Figure 14: Red de comercio internacional de petroleo del 2012. Nodos: países. Vínculos: relaciones comerciales. Peso del vinculo: número de barriles comercializados. Tamaño de nodo: fortaleza out.

En la Tabla 8 se muestran los países con mayor fortaleza out de las redes de comercio internacional de crudo del 2012 y 2016.

Por centralidad de fortaleza out destaca un gran numero de países de la OPEP que para el 2012 fueron 9, con 4 en el Top#5, y para el 2016 fueron 8, con 3 en el Top#5, en este sentido también hubo una leve disminución de la importancia de la OPEP en cuanto a fortaleza out en el 2016, también reflejada en la disminución de las exportaciones de su mejor representante en esta lista, Arabia Saudita (SAU), que dejo de exportar mas del 20% el 2016 respecto al 2012. Destaca Rusia (RUS) y Arabia Saudita(SAU) en los primero puestos de centralidad de fortaleza out de ambos años, también es muy relevante el aumento de la fortaleza out que tubo los Estados Unidos para el 2016 en relación al 2012 que fue impresionantemente mas alta.

La fortaleza out es una medida asociada, en este sistema, al numero de barriles exportados. Para el 2016 hubo un aumenta supero al 20% de las exportaciones de barriles de

petroleo crudo en el mundo, esto en comparación a lo exportado en el 2012.

3.5 Centralidad de fortaleza in

En la tabla 9 se muestra una lista de los países con mayor fortaleza in para las redes de comercio internacional de petroleo crudo del 2012 y 2016, esta medida esta relacionada con la cantidad de barriles importados por cada país.

En esta centralidad destaca Estados Unidos (USA) y China (CHN) ocupando los primeros puestos para ambos años, también se observa la alta centralidad de países ampliamente industrializados como Japón (JPN), Alemania (DAU) y Gran Bretaña (GBR), es relevante también la india que para ambos años ocupo el 3 lugar.

China fue el país que mas aumento sus importaciones en el 2016 comparado al 2012, lo hizo en mas del 50%, en cambio estado unidos lo hizo en menos de 30%, y india en menos del 40%.

# 2012	Pais	Barriles /e6	# 2016	Pais	Barriles /e6
1	USA	2684,75799	1	CHN	3775,67118
2	CHN	1753,09339	2	USA	3745,17904
3	IND	1215,43445	3	IND	2066,48354
4	JPN	1196,32733	4	JPN	1748,50886
5	KOR	891,901593	5	KOR	1540,37323
6	NLD	691,121736	6	NLD	1040,8057
7	DEU	562,776519	7	DEU	863,169587
8	ITA	492,930423	8	ITA	682,548656
9	GBR	407,474508	9	ESP	639,839353
10	ESP	377,733228	10	FRA	583,082221
11	FRA	375,427573	11	SGP	523,134957
12	SGP	324,678107	12	GBR	519,118769
13	THA	266,08653	13	THA	511,091991
14	BLX	221,016913	14	CAN	388,892897

Table 9: Esta tabla muestra los países con mayor fortaleza de entrada en la red de petroleo crudo para los año 2012 y 2016. La convención usada para el nombre de los países se pueden ver en la tabla 14 de los anexos.

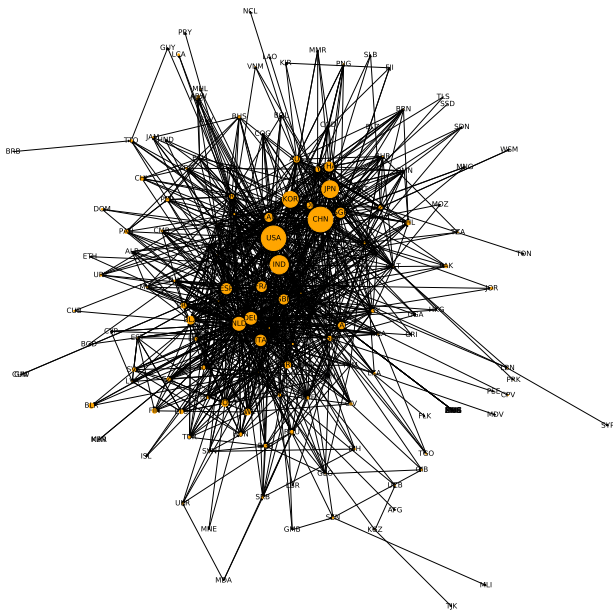


Figure 15: Red de comercio internacional de petroleo del 2016, Nodos: países. Vínculos: relaciones comerciales. Peso del vinculo: número de barriles comercializados. Tamaño del nodo refleja su fortaleza in.

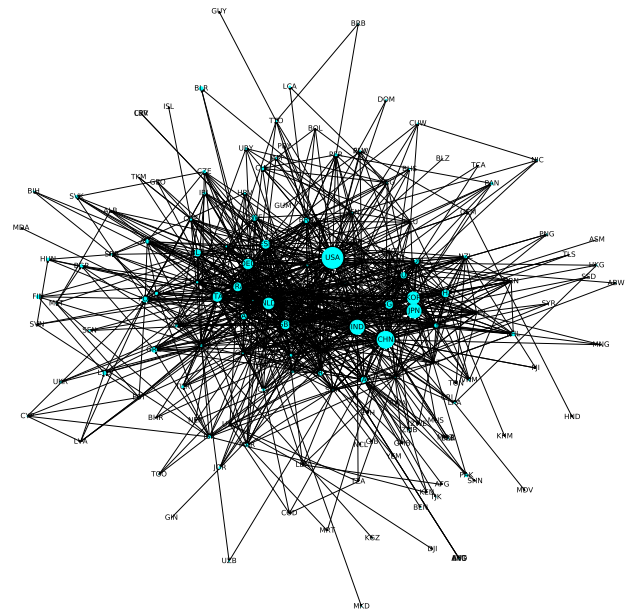


Figure 16: Red de comercio internacional de petroleo del 2012, Nodos: países. Vínculos: relaciones comerciales. Peso del vinculo: número de barriles comercializados. Tamaño del nodo refleja su fortaleza in.

3.6 Centralidades de grupo

	Centralidad de intermediación de grupo	Centralidad de cercanía de grupo
2012	0.255	0.3371
2016	0.471	0.6563

Table 10: Medidas de centralidad de grupo de intermediación y de cercanía de las redes de comercio internacional de petroleo del 2012 y 2016

3.7 Aristas ponderados

En la tabla 11 se muestran los vínculos más pesados de las redes de comercio internacional de crudo para los años 2012 y 2016.

Existen diferencias relevantes entre los vínculos mas pesados de las redes de comercio internacional de crudo del 2012 y 2016, aquí principalmente destacada la reducción del papel de los estados unidos para el 2016, reflejada en la desaparición de vínculos dirigidos hacia este país en el

ranking del 2016 en comparación al 2012. También es muy destacado el aumento de la participación de la OPEP dentro de los países de origen con vínculos mas pesados para el 2016 en comparación al 2012.

En general para el 2016 las exportaciones aumentaron respecto al 2012 y en algunos casos, como el vinculo de Rusia con China aumento de forma significativa. China es el país que mas aparece como país de destino en el 2016, 5 veces en total, a diferencia del 2012 que solo esta en 2 vínculos.

Ranking 2012	Pais origen	Pais destino	Barriles	Ranking 2016	Pais origen	Pais destino	Barriles
1	CAN	USA	674032441	1	CAN	USA	1468379128
2	SAU	USA	439192963	2	SAU	JPN	603269862
3	SAU	JPN	400675743	3	RUS	CHN	562026195
4	SAU	CHN	352786268	4	SAU	USA	554278199
5	MEX	USA	317025537	5	SAU	CHN	524218350
6	SAU	KOR	283493068	6	AGO	CHN	462619775
7	RUS	NLD	281343343	7	SAU	KOR	449739989
8	VEN	USA	279648432	8	RUS	NLD	442217695
9	ARE	JPN	266690735	9	ARE	JPN	432401323
10	AGO	CHN	263558069	10	SAU	IND	412295229
11	SAU	IND	223979087	11	OMN	CHN	379148904
12	NOR	GBR	222237526	12	IRQ	CHN	359451703
13	NLD	BLX	194605053	13	NOR	GBR	348639903
14	RUS	DEU	186152779	14	IRQ	IND	336449685

Table 11: En esta tabla se muestran los vínculos mas pesado para las redes de comercio internacional de petroleo crudo para los año 2012 y 2016. Azul: Países de la OPEP, Naranja: Rusia, Magenta: China, Gris: Estados Unidos. La convención usada para el nombre de los países se pueden ver en la tabla 14 de los anexos.

3.8 N-Cliques

En la tabla 12 se puede observar fácilmente que el número de Cliques disminuyo para el 2016 en 58 en comparación con el 2012, una reducción del 8.4%. En las Figuras 17 y 18 se obser-

van los sub-grafos conformados por los países pertenecientes a los 1-Cliques mas grande para cada una de las redes de comercio de petroleo, por lo tanto este sub-grafo es altamente denso, para el 2016 el numero de nodos fue de 31 y para el 2012 de 33 en cada sub-grafo.

	El tamaño del N-Clique mas grande de la red:	El número de N-cliques en el grafo.
2012	8	691
2016	9	633

Table 12: Tabla comparativa, muestra el N-clique mas grande para la redes de cada año y el numero de cliques totales presentes en cada una de ellas

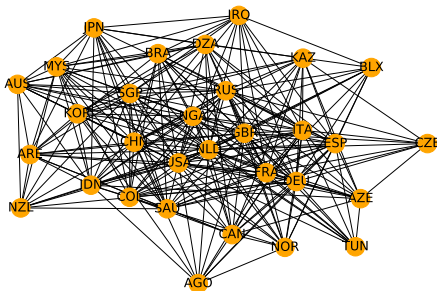


Figure 17: Sub-grafo de los países participantes en el 1-Cliques mas grande para la red de crudo del 2016

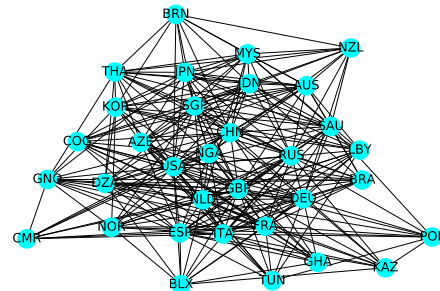


Figure 18: Sub-grafo de los países participantes en 1-Cliques mas grande para la red de crudo del 2012

Pais	# Clique 2012	Pais	# Clique 2016
GBR	221	NLD	379
USA	220	USA	266
NLD	209	GBR	180
CHN	189	SGP	150
FRA	133	CHN	141
IND	129	DEU	130
DEU	109	ITA	125
SGP	105	RUS	121
ESP	97	MYS	118
KOR	97	ARE	112
NGA	96	ESP	98
JPN	93	IND	85
RUS	91	NGA	82
MYS	89	IDN	81

Table 13: Esta tabla muestra los países que aparecen en mayor numero de Cliques. Azul: Paises de la OPEP, Naranja: Rusia, Gris: Estados Unidos. a convención usada para el nombre de los países se pueden ver en la tabla 14 de los anexos.

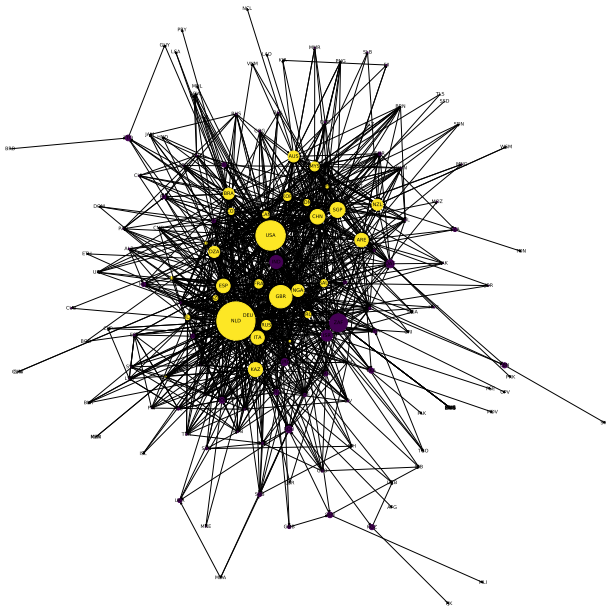


Figure 19: Red del comercio internacional de petroleo crudo del año 2016, los nodos son los países participantes del mercado, sus vínculos las relaciones comerciales entre ellos y su peso el flujo de barriles comerciados. El tamaño del nodo refleja su centralidad de intermediación, y el color amarillo indica los países que conforman a los 9-Cliques.

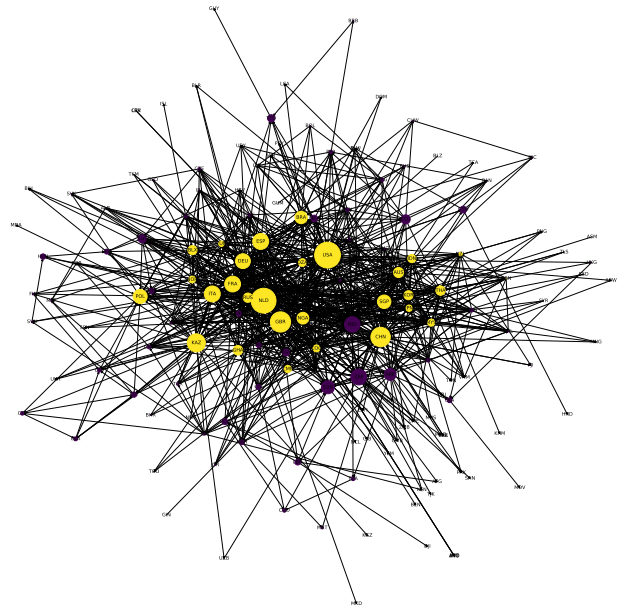


Figure 20: Red del comercio internacional de petroleo crudo del año 2016, los nodos son los países participantes del mercado, sus vínculos las relaciones comerciales entre ellos y su peso el flujo de barriles comerciados. El tamaño del nodo refleja su centralidad de intermediación, y el color amarillo indica los países que conforman a los 8-Cliques.

3.9 Centralidad de intermediación vs Centralidad de grado

En la Figura 21 se puede observar que la centralidad de intermediación aumenta proporcionalmente a la centralidad de grado, este comportamiento es similar para las redes de comercio de crudo de ambos años.

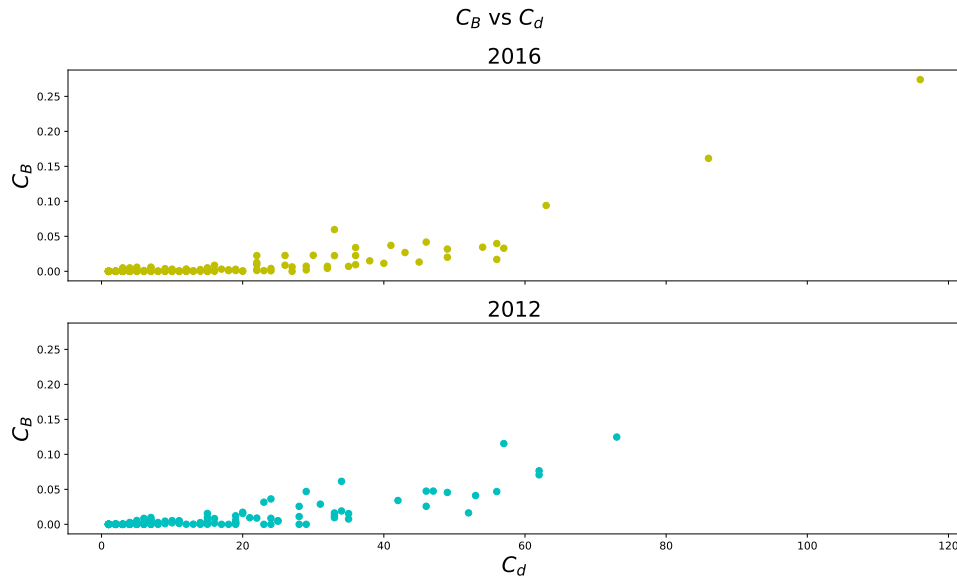


Figure 21: Gráfica de la centralidad de intermediación vs Centralidad de grado para los años 2012 y 2016.

3.10 Centralidad de intermediación vs Centralidad de fortaleza out

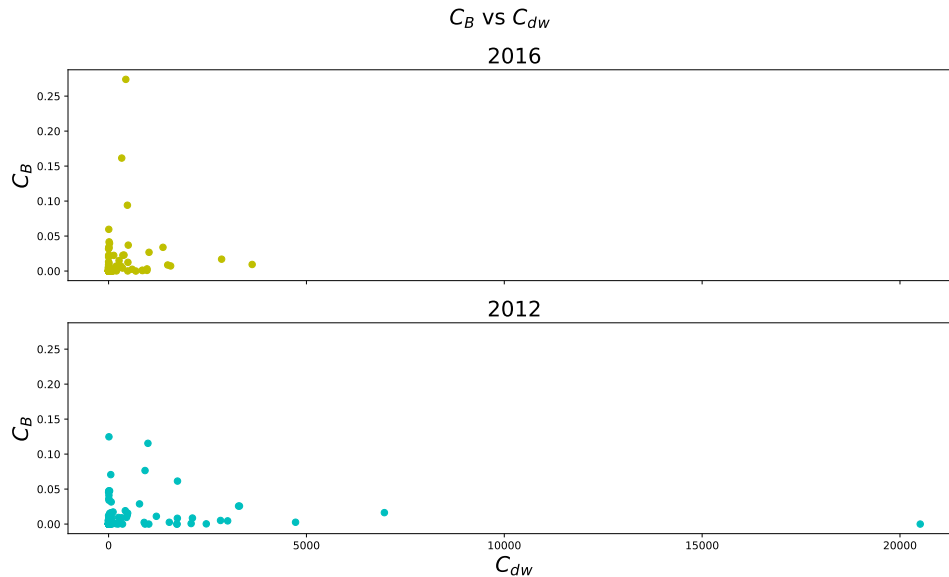


Figure 22: Gráfica de la centralidad de intermediación vs Centralidad de fortaleza out, para las redes de los años 2012 y 2016.

En la figura 22, se puede observar que no existe relacion entre estas centralidades, existen países cuya intermediación es muy alta y su fortaleza es baja, y países con una fortaleza muy alta y una intermediación baja, esto ocurre en las dos redes de comercio de petroleo crudo.

3.11 Centralidad de fortaleza out vs Centralidad de grado de salida

En la figura 23, se puede ver que la fortaleza del nodo varia muy poco con el incremento de la centralidad de grado, en ambas redes. Para el 2012 destaca en la gráfica un país con una fortaleza muy alta respecto a los demás pero con un grado no muy alto.

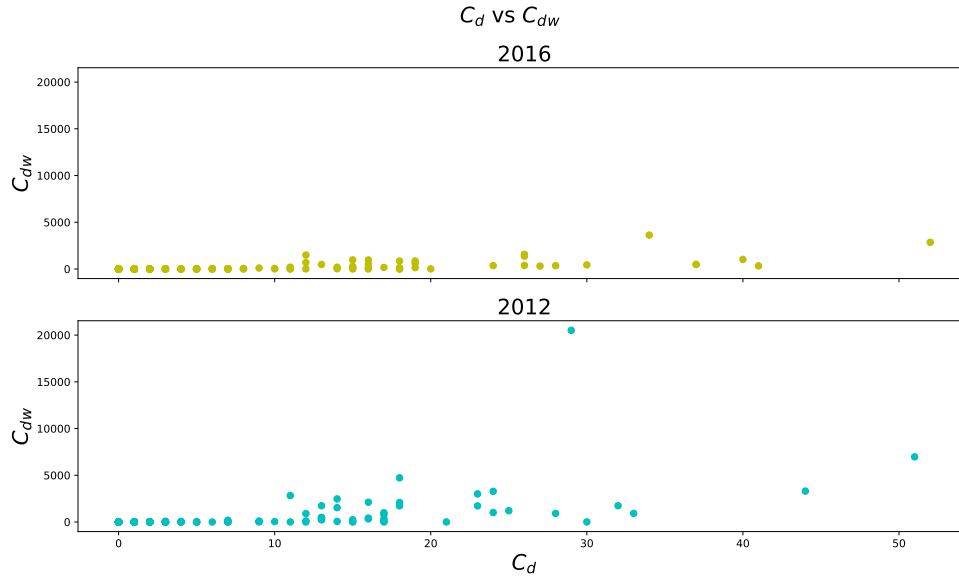


Figure 23: Gráfica de la Centralidad de fortaleza out vs Centralidad de grado de salida, para las redes del 2012 y 2016.

3.12 Centralidad de grado de entrada vs Centralidad de grado de salida

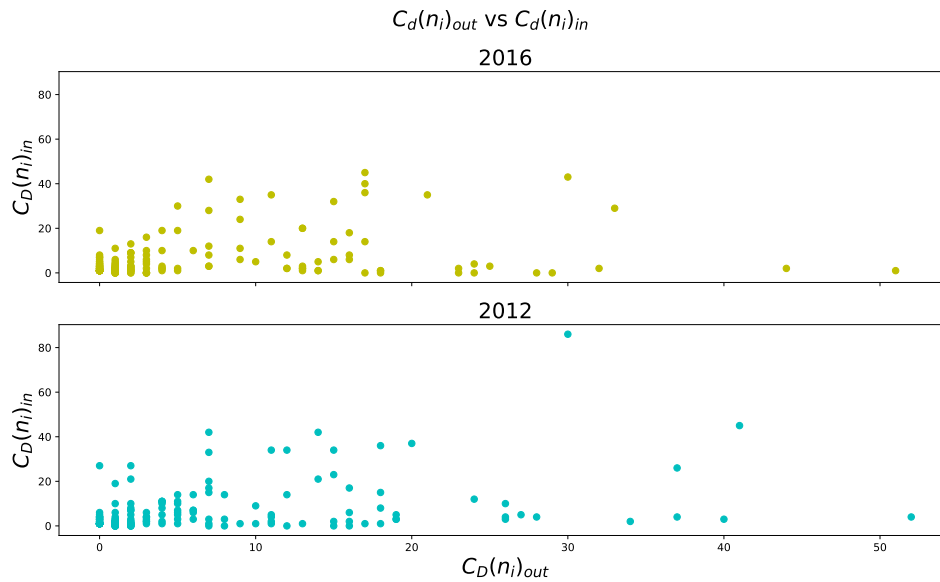


Figure 24: Gráfica de la Centralidad de grado de entrada vs Centralidad de grado de salida, para las redes del 2012 y 2016.

En la figura 24 se puede observar que la centralidad de grado de entrada y la centralidad de grado de salida no se encuentran relacionadas.

4 Conclusiones

El Comercio internacional de petroleo a cambiado significativamente del periodo 2012 al 2016, con aumento considerable de las relaciones comerciales internacionales, una tendencia marcada de los países con mayor conectividad a establecer relaciones comerciales principalmente con países con baja conectividad, y un aumento de la intermediación muy significativa para el 2016. También se observa un mercado con nuevas relaciones comerciales que hacen que se disminuyan la tendencia de los países a tener interacciones cohesivas con poco numero de países, esto refleja junto con el coeficiente de asortatividad que para el 2012 la red era mucho menos desordenada en comparación a la que se observa en el 2016.

Según el Work Bank los Estados unidos son parte importante en la explicación de la caída de los precios del petroleo crudo, dado el surgimiento del fracking. Estudiando el mercado internacional como una red de comercio, se pudo observar que en general Estados Unidos fue el países mas influyente en el mercado del petroleo crudo en los año 2012 y 2016, de las 9 medidas que fueron tomadas sobre la red, Los Estados Unidos aparece de forma destaca en 8 de ellas. En el 2016 Estados Unidos tuvo un aumento significativo de sus vínculos comerciales de exportación en comparación al 2012, siendo el segundo país con mayor numero de vínculos comerciales de exportación en el 2016, Esto junto al hecho del aumento astronómicamente de sus exportación de barriles y un aumento mas bien modesto de sus importaciones respecto al 2012, nos sugiere que la disminución de la demanda de importación de petroleo requerida por estados unidos, dado al aumento de su producción interna, y teniendo en cuenta influencia que este tiene en el mercado, es el factor mas influyente en la crisis. Otra razón de peso que valida esta hipótesis, es la disminución de las exportaciones de barriles de Arabia Saudita en el 2016, que no tuvo consecuencia alguna en el precio del barril. Recordemos que Arabia Saudita es el mayor productor y exportador de petroleo crudo del mundo y es miembro de la OPEP, la influencia en el precio del petroleo mundial en gran medida estaba regulada por sus exportaciones.

En los resultados de este estudio se puede observar que en el 2016 los países mas perjudicados, de acuerdo a la perdida de importancia en en el comercio internacional de petroleo crudo en comparación al 2012, fueron los países pertenecientes a la OPEP, comenzando con un grupo muy numeroso de sus miembros entre los que mas interacciones

comerciales de exportación perdieron para el 2016, solo 5 de sus miembros destacaron por su número de vínculos comerciales ese año a diferencia del 2012 que fueron 7, se vieron disminuidos tambien en la lista de países que mas barriles exportaron en el 2016 y en general perdieron participación en 3 . También en las medidas obtenidas sobre la red, se evidencia un cambio fuerte en la forma en que los miembros de la OPEP participan en el mercado, para el 2012 ningún país de la OPEP destaco por su intemediacion, diferente a lo que se evidencia en el 2016, en el cual 3 miembros destacan, esto refleja un cambio en sus dinámicas comerciales dirigido hacia la diversificación de sus vínculos comerciales, como se puede corroborar con lo obtenido en la tabla 11, en el cual hay un aumento de vínculos comerciales pesados entre países miembros de la OPEP y principalmente con china e india, a diferencia del año 2012 donde fueron principalmente con Estados Unidos. Estos resultados pueden sugerir que efectivamente la OPEP a perdido parte importante del control del mercado.

5 Referencias

- (1) PARA, INFORME ESTRATÉGICO DE LA FUNDACIÓN; LA SOSTENIBILIDAD, ENERGÉTICA Y AMBIENTAL. EL DESPLOME 2014-2015 DE LOS PRECIOS DEL CRUDO: CAUSAS Y PREVISIONES A CORTO PLAZO. 2015.
- (2) Matias "EL PETROLEO" in 2015: URL:www . textoscien-tificos.com.
- (3) WASSERMAN, Stanley; FAUST, Katherine. Análisis de redes sociales. Métodos y aplicaciones. CIS-Centro de Investigaciones Sociológicas, 2013.
- (4) Beatriz Sevilla. "Precio medio del crudo jado por la OPEP 1960-2019". In: 2019. url: <https://es.statista.com/estadisticas/635114/precio-medio-del-crudofijado-por-la-opec/>.
- (5) OPSAHL, Tore; AGNEESSENS, Filip; SKVORETZ, John. Node centrality in weighted networks: Generalizing degree and shortest paths. Social networks, 2010, vol. 32, no 3, p. 245-251.
- (6) AN, Qier, et al. Dependency network of international oil trade before and after oil price drop. Energy, 2018, vol. 165, p. 1021-1033.
- (7) ZHONG, Weiqiong, et al. The evolution of communities in the international oil trade network. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 2014, vol. 413, p. 42-52.

- (8) ZHONG, Weiqiong; AN, Haizhong. The role of China in the international crude oil trade network. *Energy Procedia*, 2014, vol. 61, p. 2493-2496.
- (9) JI, Qiang; ZHANG, Hai-Ying; FAN, Ying. Identification of global oil trade patterns: An empirical research based on complex network theory. *Energy Conversion and Management*, 2014, vol. 85, p. 856-865.

6 Anexos

Table 14

Ref	Pais	Ref	Pais	Ref	Pais	Ref	Pais
AGO	Angola	SYC	Seychelles	NPL	Nepal	ITA	Italy
BDI	Burundi	TCO	Chad	OMN	Oman	KSV	Kosovo
BEN	Benin	TGO	Togo	PAK	Pakistan	LIE	Liechtenstein
BFA	Burkina Faso	TUN	Tunisia	PHL	Philippines	LTU	Lithuania
BWA	Botswana	TZA	Tanzania	PRK	North Korea	LUX	Luxembourg
CAF	Central African Republic	UGA	Uganda	PSE	Palestine	LVA	Latvia
CIV	Cote d'Ivoire	ZAF	South Africa	QAT	Qatar	MCO	Monaco
CMR	Cameroon	ZMB	Zambia	SAU	Saudi Arabia	MDA	Moldova
COD	Democratic Republic of the Congo	ZWE	Zimbabwe	SGP	Singapore	MKD	Macedonia
COG	Republic of the Congo	ATA	Antarctica	SYR	Syria	MLT	Malta
COM	Comoros	ATF	French Antarctic Territory	THA	Thailand	MNE	Montenegro
CPV	Cape Verde	BVT	Bouvet Island	TJK	Tajikistan	NLD	Netherlands
DJI	Djibouti	HMD	Heard Island and McDonald Islands	TKM	Turkmenistan	NOR	Norway
DZA	Algeria	SGS	South Georgia and South Sandwich Islands	TLS	Timor-Leste	POL	Poland
EGY	Egypt	AFG	Afghanistan	TUR	Turkey	PRT	Portugal
ERI	Eritrea	ARE	United Arab Emirates	TWN	Taiwan	ROU	Romania
ESH	Western Sahara	ARM	Armenia	UZB	Uzbekistan	RUS	Russia
ETH	Ethiopia	AZE	Azerbaijan	VNM	Vietnam	SCG	Serbia and Montenegro
GAB	Gabon	BGD	Bangladesh	YAR	Yemen Arab Republic	SJM	Svalbard
GHA	Ghana	BHR	Bahrain	YEM	Yemen	SMR	San Marino
GIN	Guinea	BRN	Brunei	YMD	Democratic Yemen	SRB	Serbia
GMB	Gambia	BTN	Bhutan	ALB	Albania	SUN	USSR
GNB	Guinea-Bissau	CCK	Cocos (Keeling) Islands	AND	Andorra	SVK	Slovakia
GNQ	Equatorial Guinea	CHN	China	AUT	Austria	SVN	Slovenia
KEN	Kenya	CXR	Christmas Island	BEL	Belgium	SWE	Sweden
LBR	Liberia	CYP	Cyprus	BGR	Bulgaria	UKR	Ukraine
LBY	Libya	GEO	Georgia	BIH	Bosnia and Herzegovina	VAT	Holy See (Vatican City)
LSO	Lesotho	HKG	Hong Kong	BLR	Belarus	YUG	Yugoslavia
MAR	Morocco	IDN	Indonesia	BLX	Belgium-Luxembourg	ABW	Aruba
MDG	Madagascar	IND	India	CHE	Switzerland	AIA	Anguilla
MDI	Mali	IOT	British Indian Ocean Territory	CHI	Channel Islands	ANT	Netherlands Antilles
MOZ	Mozambique	IRN	Iran	CSK	Czechoslovakia	ATG	Antigua and Barbuda
MRT	Mauritania	IRQ	Iraq	CZE	Czech Republic	BES	Bonaire
MUS	Mauritius	ISR	Israel	DDR	Democratic Republic of Germany	BHS	Bahamas
MWI	Malawi	JOR	Jordan	DEU	Germany	BLM	Saint Barthélemy
MYT	Mayotte	JPN	Japan	DNK	Denmark	BLZ	Belize
NAM	Namibia	KAZ	Kazakhstan	ESP	Spain	BMU	Bermuda
NER	Niger	KGZ	Kyrgyzstan	EST	Estonia	BRB	Barbados
NGA	Nigeria	KHM	Cambodia	FDR	Federal Republic of Germany	CAN	Canada
REU	Reunion	KOR	South Korea	FIN	Finland	CRI	Costa Rica
RWA	Rwanda	KWT	Kuwait	FRA	France	CUB	Cuba
SDN	Sudan	LAO	Laos	FRO	Faroe Islands	CUW	Curaçao
SEN	Senegal	LBN	Lebanon	GBR	United Kingdom	CYM	Cayman Islands
SHN	Saint Helena	LKA	Sri Lanka	GIB	Gibraltar	DMA	Dominica
SLE	Sierra Leone	MAC	Macau	GRC	Greece	DOM	Dominican Republic
SOM	Somalia	MDV	Maldives	HRV	Croatia	GRD	Grenada
SSD	South Sudan	MID	Midway	HUN	Hungary	GRL	Greenland
STP	Sao Tome and Principe	MMR	Burma	IMN	Isle of Man	GTM	Guatemala
SWZ	Swaziland	MNG	Mongolia	IRL	Ireland	HND	Honduras
SYC	Seychelles	MYS	Malaysia	ISL	Iceland		