



Universidad de Oviedo



Universidad de Oviedo
FACULTAD DE ECONOMÍA Y EMPRESA

Grado en Economía
4^{to} Curso

Trabajo de fin de Grado

ECONOMÍA DE REDES

JORGE FERNANDO VERA AYALA

OVIEDO, ENERO 2023



**DECLARACIÓN RELATIVA AL ARTÍCULO 8.3 DEL REGLAMENTO SOBRE
LA ASIGNATURA TRABAJO FIN DE GRADO**
*(Acuerdo de 5 de marzo de 2020, del Consejo de Gobierno de la Universidad
de Oviedo)*

Yo Jorge Fernando Vera Ayala, con DNI

DECLARO

Que el TFG titulado Economía de Redes es una obra original y que he citado debidamente todas las fuentes utilizadas.

Enero del 2023



ECONOMÍA DE REDES

RESUMEN:

La pandemia y posteriormente la invasión de la Federación Rusa a Ucrania han generado un ambiente de incertidumbre, tensión y crisis económica global que ha ocasionado una oleada de cambios en el mercado internacional, especialmente en el europeo, concentrándose en las exportaciones e importaciones de gas natural líquido entre países.

Analizando el periodo de tiempo del 2019 hasta el 2022 mediante el análisis de redes, pudimos observar como el papel de Rusia como principal y prácticamente único exportador de gas a Europa se ha ido desvaneciendo y figuras de intermediación como Ucrania han quedado relegadas a un segundo plano en el panorama comercial, trayendo consigo innumerables consecuencias entre las cuales se encuentra la reestructuración logística de la red de gas natural líquido de Europa.

ECONOMIC NETWORKS

SUMMARY:

The pandemic and later the invasion of Ukraine by the Russian Federation have generated an atmosphere of uncertainty, tension and global economic crisis that has caused a wave of changes in the international market, especially in Europe, concentrating on exports and imports of liquefied natural gas between countries.

Analyzing the period from 2019 to 2022 using network theory and analysis, we were able to observe how Russia's role as the main and practically sole exporter of gas to Europe has been fading and intermediate figures such as Ukraine have been relegated to second place in the commercial panorama, bringing with it innumerable consequences, including the logistical restructuring of Europe's liquefied natural gas network.



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	5
2. METODOLOGÍA	6
2.1 Centralidad por Grado o Degree Centrality:	6
2.2 Coeficiente de agrupación o Clustering Coefficient:	6
2.3 Centralidad por Cercanía o Closeness centrality	6
2.4 Centralidad por Intermediación o Betweenness centrality	7
2.5 Vector de valores propios o Eigenvector Centrality:	7
3. DATOS	7
3.1 Flujos de gas licuado por países Importaciones y exportaciones	8
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS	9
4.1 Red Europea de gas natural licuado en 2019	9
<i>figura 4.1 Red de gas natural licuado en abril de 2019</i>	9
<i>Tabla 4.1.1. grado de centralidad con pesos</i>	10
<i>Tabla 4.1.2. centralidad por intermediación o betweenness centrality</i>	11
<i>Tabla 4.1.3. centralidad por agrupación o clustering coefficient</i>	12
<i>Tabla 4.1.4. centralidad por cercanía o closeness Centrality</i>	12
<i>Tabla 4.1.5 centralidad por vector de valores propios o Eigenvector Centrality</i>	13
4.2 Red de gas natural licuado de 2021	14
Figura 4.2. red de gas natural licuado en abril de 2021	14
<i>Tabla 4.2.1. Grado de centralidad con pesos</i>	15
<i>Tabla 4.2.2 centralidad por intermediación o betweenness centrality</i>	16
<i>Tabla 4.2.4. coeficiente de clustering o clustering coefficient</i>	16
<i>Tabla 4.2.3. Centralidad por cercanía o closeness centrality</i>	17
<i>Tabla 4.2.5 Centralidad por vector de valores propios o eigenvector centrality</i>	18
4.3 Red de gas natural licuado de 2022	19
Figura 4.3 red de gas natural licuado en abril de 2022	19
<i>Tabla 4.3.1 grado de centralidad con pesos</i>	20
<i>Tabla 4.3.2. Centralidad por intermediación o betweenness centrality</i>	20
<i>Tabla 4.3.3. Coeficiente de agrupación o clustering coefficient</i>	21
<i>Tabla 4.3.4. Centralidad por cercanía o closeness Centrality</i>	21
<i>Tabla 4.3.5 Centralidad por vector de valores propios o eigenvector Centrality</i>	22
5. CONCLUSIONES	23
6. BIBLIOGRAFÍA	24



1. INTRODUCCIÓN

El 24 de febrero del 2022 se inicia la invasión militar a gran escala de Rusia a Ucrania. Este conflicto bélico dio lugar a un período de tensión e incertidumbre mundial que hasta día de hoy no se ha podido resolver, destruyendo relaciones económicas, que cambiarían el panorama económico global tal y como se conocía hasta entonces.

Este trabajo se centra en aportar algo de claridad acerca de las relaciones comerciales de gas natural licuado de los países europeos, enfocándose en el papel de Rusia, Ucrania y Alemania. Para ello se utilizó los métodos de una rama novedosa dentro de la economía, conocida como Economía de Redes, cuyo principal objeto de estudio es el análisis y la representación de las interacciones entre individuos usando el análisis de redes y los grafos matemáticos. Esto quiere decir que, para este trabajo se ha construido y analizado la red de exportaciones e importaciones de gas licuado de Europa, dando especial énfasis al papel que ha interpretado el reciente conflicto bélico en la remodelación de esta.

Asimismo, se ha considerado el papel que ha jugado la pandemia global en este período de tiempo sobre los mercados internacionales de gas licuado. Para ello se han tomado datos sobre el flujo de exportaciones e importaciones de 43 países en tres años distintos y en el mismo mes para así eliminar las posibles perturbaciones aleatorias y capturar los cambios ocasionados por el conflicto bélico ucranio-ruso.

En cuanto al análisis de la red se echará mano a la rama de las matemáticas y ciencias de la computación conocida como Teoría de Grafos, la cual estudia y analiza las propiedades de un conjunto de vectores conformados por nodos y aristas unidos entre sí y representados en una red de puntos y líneas. El principal uso de la Teoría de Grafos se encuentra en la informática y las ciencias de la computación. Sin embargo, el uso de dicha teoría ha dado lugar lo que se conoce como el Análisis de Redes, que es un campo de estudio interdisciplinario con un fuerte impacto en las ciencias sociales, específicamente en la modelización y análisis empírico de las interacciones entre individuos. Esta será la principal herramienta que usaremos en este trabajo para poder estudiar y analizar el mercado de exportaciones e importaciones de gas licuado europeo y sus cambios en los últimos años

Cabe resaltar que esta herramienta y esta rama económica son relativamente jóvenes en comparación a otros métodos de modelización más consolidados en las ciencias económicas. Además, solo nos centraremos en los valores arrojados por el modelo hasta el 19 de abril del 2022, sin formular predicciones a futuro, ya que no es una cualidad de estos modelos ni, por tanto, constituye el fin de esta investigación.

Debemos de resaltar la importancia de utilizar otros artículos y estudios complementarios a este tema como son: el artículo Matthew O. Jackson y Alison Watts (2002) artículo el cual otorga contexto teórico a la investigación y el artículo de Mohanna y Lilia (2022), el cual otorga una mayor profundidad al contexto geoeconómico y sociopolítico de este estudio.

El resto de este trabajo se estructura como sigue. En la sección 2, se presenta de manera esquemática la metodología de redes utilizada y se explican las medidas de centralidad empleadas y el cálculo aplicado para obtener cada una de ella.



En la sección 3, se muestran los datos utilizados para la realización de este trabajo junto a aclaraciones relevantes de los mismos.

En la sección 4, se centra en el análisis de resultados dando sentido económico a los grafos y a las medidas calculadas.

Por último, se presentarán las conclusiones pertinentes, así como la bibliografía consultada.

2. METODOLOGÍA

En este trabajo se utiliza el Análisis de Redes. Para la comparación y estudio de relevancia de los distintos nodos se han empleado las siguientes medidas de centralidad.

2.1 Centralidad por Grado o Degree Centrality: es una medida que nos permite analizar cómo se encuentra conectada la red y cómo de conectado está un nodo dentro de la misma red. Esta es la medida más simple y, por ende, relativamente incompleta debido a que no tiene en cuenta el peso de las aristas en el cálculo. Solamente si están presentes.

Se calcula como:

$$DC = \frac{\text{Grado del nodo}}{n-1}$$

siendo n, el número de nodos totales en la red y el grado son conexiones del nodo.

2.2 Coeficiente de agrupación o Clustering Coeficient: este coeficiente nos indica la probabilidad que existe de que dos nodos (B y C) estén conectados entre sí y, a su vez, están conectados a otro nodo (A). Este coeficiente nos permite calcular en términos de probabilidad que países son los principales enlaces o redistribuidores de la red.

Se calcula como:

$$CL = \sum_{i=1}^n CL_i(g)/n$$

siendo CL(g) el grado de clustering de cada nodo.

2.3 Centralidad por Cercanía o Closeness centrality: esta medida nos indica la distancia relativa de un nodo (A) al resto de nodos, es decir a doble de distancia la mitad de central es el nodo. Nos indica que tan cerca se encuentra el nodo con el resto de los nodos. Si tenemos en consideración el peso, no indicaría la importancia del nodo para la red.

Se calcula como:

$$CC = \frac{n-1}{\sum_j L(i,j)}$$

siendo L (i, j) la distancia recorrida a otros nodos.



2.4 Centralidad por Intermediación o Betweenness centrality: es una medida que nos indica cuál es el nodo por el cual pasan el mayor número de geodésicas, es decir, el camino más corto para llegar a otro nodo. En términos económicos, esta medida es bastante interesante, ya que nos viene a indicar cuál es el nodo con mayor capacidad de intermediación y, por tanto, con un gran valor para la red.

Se calcula como:

$$\sum_{i,j \neq k} \frac{\left[\frac{P_k(i,j)}{P(i,j)} \right]}{\left[\frac{(n-1)(n-2)}{2} \right]}$$

Siendo $P(i, j)$ el número de geodésicos entre i y j . $P_k(i, j)$ el número de geodésicos entre i y j que pasan por el nodo k .

2.5 Vector de valores propios o Eigenvector Centrality: es la medida predilecta para poder analizar la importancia de un nodo en la red, esta medida nos indica la centralidad de cada nodo proporcional al peso de sus vecinos y el grado de centralidad de sus vecinos. Es decir, que tan importante es un nodo en la red en proporción a la importancia de sus vecinos o que tan bien conectado está un nodo en proporción a la relevancia de sus vecinos

Se calcula como:

$$C_i = a \sum_j g_{ij} C_j$$

Siendo g_{ij} una variable dicotómica que toma valor 0 o 1 si el nodo es o no es vecino (0 = no, 1= sí). Y “a” es una constante escalar que nos indica como se está escalando.

3. DATOS

Para este trabajo se han recogido los datos relativos a 43 países participantes que, nos permite definir y analizar la red de flujos internacionales de gas licuado europea y los cambios que ha sufrido en los últimos años. Todos los datos fueron proporcionados por la Agencia de Energía Internacional (IEA) en millones de metros cúbicos. Esta agencia recopila los datos mensualmente a partir de las cifras presentadas por las administraciones de los distintos países, exceptuando Países Bajos, que son extraídos de la página web del servicio de transportes del país y los del gaseoducto Nord Stream que son facilitados de la página web del Opal Nels.



3.1 Flujos de gas licuado por países Importaciones y exportaciones.

	abr-19		abr-21		abr-22	
	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada
Albania	0	0	509	484	895	854
Alemania	5746	13745	6159	14560	5657	16721
Argelia	1470	0	558	0	804	0
Austria	3576	4714	2962	3497	1816	2913
Bélgica	2325	2632	1402	2845	5761	4731
Bielorrusia	3002	0	3782	0	1386	0
Bulgaria	649	885	720	1000	725	932
Croacia	4	182	3	220	103	227
Dinamarca	77	21	129	198	115	213
Eslovaquia	4612	5402	3238	3653	1961	2418
Eslovenia	49	151	5	104	44	116
España	50	2754	67	2709	898	2953
Estonia	0	34	83	123	35	67
Finlandia	9	213	3	219	2	76
Francia	1082	5845	654	4564	1084	5836
Georgia	725	0	771	0	734	0
Grecia	0	351	538	1036	896	1180
Hungría	794	1922	50	241	103	896
Irán	6441	0	867	0	837	0
Irlanda	0	252	0	317	0	336
Isla Man	0	7	0	0	0	0
Italia	28	6475	41	7030	302	6189
Latvia	9	5	110	137	77	123
Libia	497	0	242	0	254	0
Lituania	189	354	225	438	336	480
Luxemburgo	0	63	0	68	0	54
Macedonia del Norte	0	7	0	12	0	7
Marruecos	290	0	627	0	0	0
Moldavia	0	149	0	6	0	0
Noruega	6525	0	6673	0	7438	0
Países Bajos	1432	974	3963	537	2009	250
Polonia	2148	3499	2272	4420	8	2407
Portugal	24	434	25	464	46	466
Reino Unido	873	4402	317	2493	1898	2080
República Checa	2285	3197	3702	4473	2451	3646
Resto del Mundo	9962	557	7708	98	9281	2
Rumania	885	1012	49	203	7	111
Rusia	14293	186	5731	222	6779	213
Serbia	0	117	0	192	311	551
Suecia	0	63	0	61	0	45
Suiza	1306	1560	477	784	726	985
Tunisia	726	978	1871	0	1899	0
Turquía	83	3547	1568	4725	1830	4067
Ucrania	8011	8965	2648	0	2033	3
Totales	80177	75654	60748	62133	61541	62148
Medias	1822,2007	1719,3989	1380,6475	1412,1158	1398,6624	1412,4450
Desviaciones típicas	3080,7698	2838,5921	2034,2631	2675,0284	2195,4518	2875,1182

Fuente: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/gas-trade-flows>

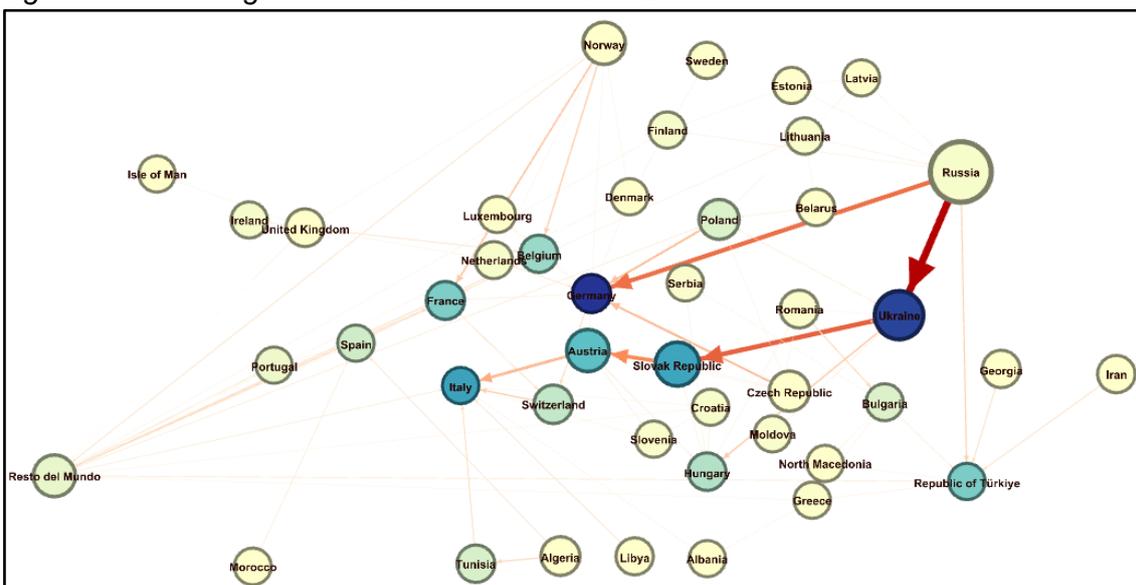
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En esta sección se presenta el grueso de la investigación que constituye este TFG y se muestran los valores estimados de las medidas anteriormente mencionadas para cada uno de los tres años. Asimismo, para complementar el análisis de las medidas de centralidad se realiza previamente un análisis visual del grafo centrado en las siguientes 3 características comunes entre los tres grafos:

1. La primera característica es el tamaño de los nodos. El tamaño de los nodos está organizado de mayor a menor con respecto a cuál es el país con mayor grado de salida, es decir, cuál es el país que exporta más cantidad de gas natural licuado de toda la red.
2. La segunda característica es el color de los nodos. El color de los nodos se encuentra también organizado en un espectro de colores, desde el amarillo más crema al azul más oscuro, en el cual se indica con el color azul el país con el mayor grado de entrada de toda la red, es decir, los países con el color más oscuro son aquellos que importan la mayor cantidad de gas natural licuado de la red.
5. La tercera característica es el tamaño y color de las aristas. El tamaño de las aristas está ordenado de mayor a menor tamaño en cuanto a la cantidad exportada en dicha interacción, es decir, la arista de mayor tamaño indica la mayor exportación de la red. A su vez, el color de estas indica lo mismo dentro de una escala monocromática de rojo, es decir, cuanto mayor sea la arista y más intenso su color rojo, más grande es el volumen exportado con el resto de las aristas.

4.1 Red Europea de gas natural licuado en 2019

figura 4.1 Red de gas natural licuado en abril de 2019



Fuente: elaboración propia.



A simple vista cabe resaltar el tamaño de Rusia, significativamente mayor al resto de nodos. Asimismo, Noruega, Eslovaquia, Austria, Ucrania y Alemania, su importancia es significativamente mayor que la de sus vecinos. Esto ya nos aporta ciertos indicios de cómo está estructurada la red, con Rusia siendo el principal exportador seguido de Ucrania, Eslovaquia y Austria.

Continuando con la descripción visual, observamos que los países del este como Eslovaquia y Ucrania y los del centro de Europa como Alemania, Francia, Italia y Austria, presentan un grado de entrada de gas natural líquido muy elevado lo que nos indicaría que son los principales importadores de toda la red y por ende de Europa, este combinado con el tamaño de los nodos nos permitiría conjeturar que Austria, Eslovaquia, Alemania y especialmente Ucrania son países con una función de intermediación, mientras que países como Rusia, Noruega, Irán, Argelia y Marruecos su función principal es la de exportación, especialmente los primeros dos países nombrados, ya que el mayor volumen de gas exportado proviene de estos.

Por último, podemos observar a simple vista dos aristas o caminos relevantes cuyo destino presuntamente final es Alemania y Austria y por el cual se mueve la mayor cantidad de gas licuado de la red. Estos dos caminos provienen de la misma fuente o del mismo exportador que es Rusia y son:

- La relación directa entre Rusia y Alemania es el camino por el cual se exporta una cantidad de 4.864 millones de metros cúbicos, siendo este el volumen de exportación con mayor peso de toda la red.
- El segundo camino con destino final Austria es aquel que empieza en Rusia y pasa por Ucrania y Eslovaquia, es el camino más largo y por el que pasa la mayor cantidad de gas natural licuado de toda la red, empezando por el volumen exportado a Ucrania de 8.100 millones de metros cúbicos y acabando con un volumen exportado de Eslovaquia a Austria de 4.101 millones de metros cúbicos.

Con esta información podemos empezar a hipotetizar que los países con extrema relevancia para el funcionamiento de esta red son Rusia, Alemania, Eslovaquia, Ucrania y Austria y cuyos valores de las medidas previamente explicadas deben de ser acordes con estas simples observaciones.

Empezando por el grado de centralidad con pesos de la red y dividiendo el volumen total de gas licuado que pasa por cada nodo entre el grado del nodo obtenemos la siguiente tabla:

Tabla 4.1.1. grado de centralidad con pesos

Label	Grado con pesos	Grado
Ukraine	16081.0	9
Russia	14479.0	8
Germany	10698.0	17
Slovak Republic	9869.0	8
Austria	7594.0	11
Italy	5563.0	12
France	4277.0	9
Resto del Mundo	3804.0	18
Norway	3489.0	9
Republic of Türkiye	3412.0	9
Belgium	3193.0	11

Fuente: Importado de Gephi



Observando la tabla de los 10 países con el mayor grado de centralidad con peso de las aristas, observamos que nuestra hipótesis se cumple con los 5 primeros países de la tabla; Ucrania, Rusia, Alemania, Eslovaquia y Austria. Coinciden con lo hipotetizado anteriormente, además de observar que Alemania, Austria, Italia y Bélgica, son los países con el mayor número de conexiones dentro de la red. Omitiendo claramente al nodo que representa “el resto del mundo”.

A su vez podemos empezar a hipotetizar que la red de gas licuado de Europa depende en una medida importante del gas exportado por Rusia, ya que el peso del segundo exportador de la red, que es Noruega y "el resto del mundo", es mucho menor que el de Rusia.

Continuando con el análisis de las medidas, pasemos a examinar y comparar en conjunto las medidas de centralidad por intermediación, centralidad por cercanía y centralidad por agrupación:

Tabla 4.1.2. centralidad por intermediación o betweenness centrality

Label	Grado	Betweenness Centrality
Resto del Mundo	18	409.524026
Germany	17	313.858442
Italy	12	210.075397
Austria	11	197.945743
Belgium	11	169.570274
Republic of Türkiye	9	167.605195
Hungary	12	163.153319
France	9	162.845238
United Kingdom	10	153.419913
Poland	9	136.481025

Fuente: importado de Gephi.

Examinando las tres tablas en su conjunto, podemos observar que existen ciertas peculiaridades y que casi los mismos países se repiten en las tres tablas. Empezando por la tabla 4.1.2 que contiene la medida de centralidad por intermediación, podemos ver que Alemania, Italia, Austria y Bélgica son los países más importantes en el sentido de interconexión con el resto de la red, es decir, son los países por los que pasan el mayor número de geodésicas de toda la red, o en términos económicos, son los países con mayor propensión a la intermediación con el resto de países debido al elevado número de conexiones que tienen y por los que pasan el mayor número de caminos eficientes de todos los caminos posibles de la red.

Cabe destacar qué gran parte de esta importancia se debe al posicionamiento geográfico más que del tamaño de las economías del país.



Tabla 4.1.3. centralidad por agrupación o clustering coefficient

Label	Grado	Clustering Coefficient
Belarus	2	1.0
Luxembourg	2	1.0
North Macedonia	2	1.0
Portugal	3	0.5
Estonia	5	0.5
Netherlands	10	0.5
Czech Republic	6	0.5
Norway	9	0.5
Slovenia	5	0.5
Moldova	2	0.5
Slovak Republic	8	0.416667
Denmark	5	0.416667
Switzerland	6	0.416667
Belgium	11	0.404762
Latvia	6	0.333333
Greece	5	0.333333
France	9	0.266667
United Kingdom	10	0.266667
Austria	11	0.261905
Romania	6	0.25
Croatia	7	0.25

Fuente: Importado de Gephi

La tabla 4.1.3, correspondiente al coeficiente de agrupación, resulta quizás algo extraña debido a los países situados en la parte superior de la tabla con un valor de agrupación elevado. Esto se debe a que muchos de estos países con un grado menor o igual a 5 son países con una alta probabilidad de que sus vecinos estén conectados entre sí, es decir, con grados pequeños, la probabilidad de interconexión entre nodos o la formulación de triángulos es alta. Sin embargo, hay países con un alto nivel de agrupación y un grado bastante alto, como Países Bajos, Noruega, Eslovaquia, Bélgica, Francia, Reino Unido y Austria, lo que apunta a la posibilidad de que estos países sean una especie de sub-núcleos dentro de la red europea por los que circula el gas natural licuado de forma semicerrada. De esta forma podríamos suponer que no existe una dependencia absoluta de los elevados volúmenes de gas natural licuado exportados por Rusia y que la propia red puede ser autosuficiente, prescindiendo en cierta medida del papel de la Federación Rusa como suministrador, pero de momento no podemos confirmar ni desmentir esta hipótesis hasta que analicemos los dos grafos siguientes, especialmente el grafo para 2022.

Tabla 4.1.4. centralidad por cercanía o closeness Centrality

Label	Grado	Closeness Centrality
Resto del Mundo	18	0.537313
Russia	8	0.45
Norway	9	0.444444
Croatia	7	0.423529
Germany	17	0.413793
United Kingdom	10	0.413793
Republic of Türkiye	9	0.395604
Hungary	12	0.382979
Austria	11	0.378947
Poland	9	0.378947
Belgium	11	0.371134

Fuente: Importado de Gephi.

La siguiente tabla 4.1.4 nos indica el coeficiente de centralidad por cercanía o closeness centrality, esta tabla nos indica cuáles son los nodos más cercanos o mejor conectados con el resto de nodos de la red, por ende podríamos determinar que país es aquel con las mejores conexiones teniendo en cuenta su grado, este combinado con los pesos nos facilitaría la tarea de indicar cuál es el país más importante o con mayor relevancia



de esta red. De esta manera podríamos decir que los países Rusia, Ucrania, Noruega, Croacia y Alemania son los países mejor conectados de toda la red, económicamente la centralidad por cercanía se podría interpretar como el porcentaje de países de la red que ese país puede alcanzar, es decir, si tomamos el valor 0.45 de Rusia como ejemplo podríamos decir que Rusia puede alcanzar al 45% del resto de países o mejor dicho que el 45% de gas natural licuado de toda la red europea muy posiblemente pase o provenga de Rusia.

La última medida aplicada para el análisis de este grafo es el vector de valores propios o eigenvector centrality, el cual es quizás una de las medidas más relevantes a la hora de explicar un grafo, ya que nos indicará el nodo más prestigioso dentro de la red, es decir, el más céntrico en proporción al valor que obtiene de sus vecinos, el nodo con la mayor influencia.

Tabla 4.1.5 centralidad por vector de valores propios o Eigenvector Centrality

Label	Grado	Eigenvector Centrality
Germany	17	1.0
Belgium	11	0.946577
France	9	0.899963
Netherlands	10	0.83493
Switzerland	6	0.789453
Austria	11	0.761406
Italy	12	0.719407
Hungary	12	0.632335
Poland	9	0.610528
United Kingdom	10	0.588332
Slovak Republic	8	0.522463
Ukraine	9	0.459175

Fuente: Importado de Gephi

Los datos de la tabla pueden ser desconcertantes a primera vista debido a la falta de Rusia dentro de los primeros 10 países, incluso dentro de los primeros 20, ya que el valor que toma el vector de valores propios ruso es 0.125621. Sin embargo, el resultado es completamente compatible con la hipótesis inicial, además de guardar una estricta relación con el resto de medidas, esto se debe a que estamos analizando exclusivamente la red de gas natural licuado europea y con esta medida observamos el nivel de centralidad de un nodo dentro de la red, es decir el nodo más influyente dentro de Europa. Si mirásemos la red mundial de exportaciones e importaciones de gas natural licuado del mundo, veríamos que Alemania tomaría un valor menor y Rusia sin lugar a duda tendría una relevancia mucho mayor como principal exportador mundial de este bien.

Ahora bien, en el caso que nos concierne cabe destacar los países más centrales en el modelo, Alemania, Bélgica, Francia, Países Bajos, Suiza y Austria. No es ninguna casualidad que los países más centrales dentro de la red sean a su vez los países más influyentes de Europa en su conjunto, al igual que no es casualidad que Alemania y Austria se encuentren en esta posición, ya que si recordamos el primer análisis visual de este grafo lográbamos ver que estos eran el destino final de los dos caminos principales de mayor movimiento de gas natural licuado de toda Europa, a su vez de que Francia, Bélgica, Países bajos y Suiza son los vecinos directos de estos dos países.

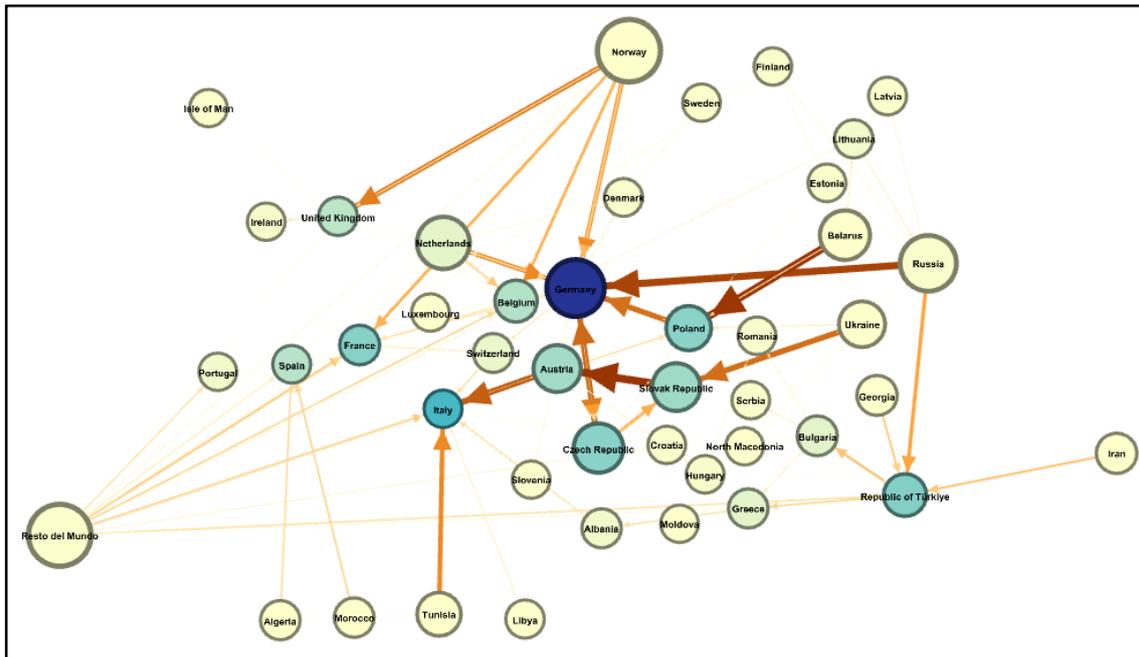
Lo curioso de esta tabla yace al final con Ucrania, que su valor de vector propio es muy superior al ruso, en principio un intermediario con Europa, es decir para que la hipótesis de esta investigación se mantenga debemos recurrir a los datos de los dos siguientes grafos.

Finalmente, hemos analizado por completo el grafo base o la red en el año de normalidad económica y cabe destacar los siguientes resultados;

- La Federación Rusa es el mayor exportador de gas licuado de toda la red y su único competidor es Noruega dentro de esta red.
- Alemania y Austria son el centro de la red, es decir, son los países con más influencia en Europa.
- Bélgica, Países bajos, Eslovaquia, Suiza, Reino Unido y Ucrania son los intermediadores predilectos que forman pequeñas redes o grupos dentro del grafo.

4.2 Red de gas natural licuado de 2021

Figura 4.2. red de gas natural licuado en abril de 2021



Fuente: Elaboración propia

En primeras instancias, lo que nos llama la atención de este grafo es el especial enfoque que observamos sobre Alemania, el cual a diferencia del grafo 2019 es el único nodo con un color azul fuerte. Esto nos permite ir observando el cambio que empezó a presentar la red con el año de la pandemia, además de ver que Ucrania comienza a tener un papel similar al de un país exportador en lugar de un país intermediario. Observamos que países como Noruega, Polonia, República Checa, Italia, Tunicia, Bielorrusia y Holanda empiezan a tener un papel más relevante en el volumen de gas natural licuado intercambiado.

En cuanto a los caminos comerciales, podemos observar una serie de cambios con respecto al grafo 4.1:



- El primer cambio relevante es que el volumen de exportación entre Rusia y Ucrania desaparece prácticamente de la red.
- El segundo cambio relevante es aparición de protagonistas como Bielorrusia, Polonia, Italia, República checa, Tunicia y Noruega; países que su peso relativo en la red era mucho menor en el año 2019.
- La tercera característica llamativa de este grafo es el papel de foco central que toma Alemania, ya que si observamos con detenimiento veremos que es el país por el cual se cruzan todos los caminos relevantes, a su vez de que sigue manteniendo una relación comercial de gran relevancia con Rusia.

Dentro del análisis visual, podemos empezar a observar como aquellas dos rutas que tenían su origen en Rusia y finalizaban en Austria y Alemania, ahora diluyen su protagonismo en esta red, dando mayor visibilidad a otras rutas alternativas. Ahora bien, hay que confirmar si la aparición de estas nuevas rutas es sólo producto de la reducción del gas exportado por Rusia o si se debe al aumento de la capacidad competitiva del resto de países a la hora de comercializar gas natural licuado. Conviene recordar que tanto el tamaño de los nodos como el de las aristas puede verse afectado por el volumen de exportación o importación de los países. Si el volumen es muy superior al resto, como ocurrió el año pasado con el volumen de exportaciones rusas a la red, puede eclipsar la visibilidad relativa del resto de rutas, es decir, la pérdida de importancia relativa de las exportaciones rusas permite observar con mayor claridad el resto de rutas comerciales y examinar mejor el papel de las mismas.

Con respecto a la primera medida a analizar el Grado con Peso, obtenemos la siguiente tabla:

Tabla 4.2.1. Grado de centralidad con pesos

Label	Grado	Grado de entrada con pesos	Grado de salida con pesos	Grado con pesos
Germany	53	14560.0	6159.0	20719.0
Czech Republic	15	4463.0	3702.0	8165.0
Norway	17	0.0	7847.0	7847.0
Resto del Mundo	31	98.0	7706.0	7804.0
Italy	15	7030.0	41.0	7071.0
Slovak Republic	9	3653.0	3238.0	6891.0
Poland	16	4420.0	2272.0	6692.0
Austria	16	3497.0	2962.0	6459.0
Republic of Türkiye	11	4725.0	1568.0	6293.0
Russia	10	222.0	5732.0	5954.0
Netherlands	33	965.0	4602.0	5567.0
France	16	4564.0	654.0	5218.0
Belgium	26	2845.0	1402.0	4247.0
Belarus	5	0.0	3782.0	3782.0
United Kingdom	18	2493.0	317.0	2810.0

Fuente: Importado de Gephi

En esta tabla, a diferencia de la del año anterior, he incluido los 15 primeros países de la red, además de los grados de salida y entrada para poder observar con mayor seguridad los movimientos y los papeles de cada país. Empezando por el protagonismo de Alemania, observamos que es el país con mayor grado con pesos de toda la red, es decir por el cual la mayor cantidad de gas natural licuado circula. A su vez, podemos percatarnos de que es el país con mayor grado de entrada, es decir el mayor importador y el que más conexiones tiene con un grado de 53.



Cabe destacar la aparición de Noruega, que su papel de exportador se ha visto incrementado de forma relativa en la red, igual es el caso de Bielorrusia, país el cual era insignificante en el año 2019, sin embargo, en el 2021 coge gran importancia como exportador neto de gas y se posiciona entre los países más relevantes de la red de comercio europea.

Por último, observamos que la región balcánica, con Eslovaquia y la República Checa, se asienta con una mayor relevancia, al igual que la región de Europa central con Bélgica, Países bajos, Austria e Italia.

Mirando los resultados de las siguientes medidas; Centralidad por intermediación, Coeficiente de agrupación y Centralidad por cercanía en las siguientes tablas:

Tabla 4.2.2 centralidad por intermediación obetweenness centrality

Label	Grado	Betweenness Centrality
Resto del Mundo	31	378.693162
Germany	53	361.583757
Austria	16	208.056988
Italy	15	205.731591
Republic of Türkiye	11	175.031749
Belgium	26	170.739957
France	16	163.856681
Poland	16	156.201211
Hungary	12	153.041158
United Kingdom	18	138.504543
Croatia	7	105.338291
Spain	16	101.543914
Lithuania	9	87.214144
Netherlands	33	81.701436
Russia	10	77.580524
Ukraine	10	75.540719

Fuente: Importado de Gephi

Tabla 4.2.4. coeficiente de clustering o clustering coeficient

Label	Grado	Clustering Coefficient
North Macedonia	2	1.0
Luxembourg	3	0.666667
Belarus	5	0.6
Estonia	6	0.5
Slovenia	5	0.5
Moldova	2	0.5
Netherlands	33	0.480952
Norway	17	0.434066
Denmark	5	0.416667
Czech Republic	15	0.377778
Belgium	26	0.349265
United Kingdom	18	0.335165
Portugal	5	0.333333
Slovak Republic	9	0.3
Greece	6	0.3
Switzerland	10	0.285714
Latvia	7	0.25
Croatia	7	0.25
France	16	0.227273
Austria	16	0.222222
Romania	9	0.2
Ukraine	10	0.190476
Spain	16	0.181818
Germany	53	0.167227

Fuente: Importado de Gephi



Tabla 4.2.3. Centralidad por cercanía o closeness centrality

Label	Grado	Closeness Centrality
Resto del Mundo	31	0.537313
Russia	10	0.45
Norway	17	0.444444
Croatia	7	0.423529
Germany	53	0.413793
United Kingdom	18	0.413793
Republic of Türkiye	11	0.395604
Hungary	12	0.382979
Austria	16	0.378947
Poland	16	0.378947
Belgium	26	0.371134
Finland	5	0.363636
Netherlands	33	0.363636
Czech Republic	15	0.356436
Ukraine	10	0.349515
Slovak Republic	9	0.333333

Fuente: Importado de Gephi

Comparando las tablas del 2019 con las de este año, podemos observar que en términos de posicionamiento y alcance, los países no han variado, es decir, los países relevantes en el 2019 siguen siendo relevantes en el 2021 y las medidas de intermediación y agrupación lo reflejan.

Esto indica que, a pesar de la percepción que teníamos sobre los cambios en los pesos de los volúmenes comerciales entre países. Las rutas comerciales siguen siendo las mismas. Es decir, las principales rutas comerciales no se han visto afectadas en términos relativos en 2019; sin embargo, su volumen intercambiado se ha reducido, por lo que nuevas rutas secundarias se han visto potenciadas o han adquirido mayor importancia relativa.

Es por esta razón que en la medida de centralidad por cercanía los países permanecen con el mismo coeficiente, ya que al seguir existiendo las mismas rutas el país con mayor cercanía al resto sigue siendo Rusia, es decir, incluso con el volumen de intercambio reducido, el 45% del gas natural licuado intercambiado en la red pasa o proviene de Rusia. Lo mismo ocurre con la medida de la tabla 4.2.2 centralidad por intermediación, ya que el país por el cual cruzan el mayor número de geodésicas, es decir, el mayor número de caminos cortos para alcanzar el resto de nodos, siguen siendo Alemania, Austria e Italia. En otras palabras, el valor de intermediación relativa con el año 2019 no se ha visto afectada por la pandemia ni las peculiaridades del año 2021.

Ahora, en el coeficiente de clustering o coeficiente de agrupamiento, podemos observar que se han producido cambios debido al aumento de las interconexiones entre nodos, aunque la probabilidad de interconexión de muchos de los países de la tabla, como Bélgica, Holanda, Francia, Reino Unido, etc., no ha variado en términos relativos y significativos. Si podemos observar con mayor certeza, aquellos subnúcleos que se formaron en la red anterior se hacen mucho más fuertes y permiten un suministro de gas más eficiente y menos dependiente de la Federación Rusa.



Tabla 4.2.5 Centralidad por vector de valores propios o eigenvector centrality

Label	Grado	Eigenvector Centrality \checkmark
Germany	53	1.0
Netherlands	33	0.68213
Belgium	26	0.63746
Czech Republic	15	0.421437
Poland	16	0.409561
Austria	16	0.381381
Switzerland	10	0.346998
France	16	0.309856
Luxembourg	3	0.185675
United Kingdom	18	0.179039
Norway	17	0.127871
Denmark	5	0.092384
Spain	16	0.086026
Italy	15	0.082408
Slovak Republic	9	0.076106

Fuente: Importado de Gephi

Observando la tabla 4.2.5 de los 15 países con mayor valor de vector de valores propios, podemos reafirmar la centralidad de Alemania, es decir, su rol es vital para el funcionamiento de la red de flujos de gas licuado de Europa. Comparando con el año 2019, vemos que la pérdida de volumen de intercambio y el aumento de las interacciones de los países más centrales en Europa ha provocado una reducción general de la centralidad relativa de todos los integrantes de la red. En otras palabras, con excepción de Alemania, todos los países dentro de la red han perdido importancia o poder de intercambio relativo en el mercado.

De esta manera hemos analizado las 5 medidas de centralidad para este año 2021 y podemos extraer los siguientes resultados:

- Rusia disminuyó el volumen de gas licuado exportado a la red, lo que provocó un incremento en el peso relativo de otras rutas comerciales. Esto nos puede indicar el poder de manipulación que tiene Rusia en el mercado.
- Alemania continúa siendo el país más relevante y central en la red de flujos de gas, lo que le otorga un valor inmensurable dentro del mercado.
- La pandemia no afectó a la existencia de “nuevas” rutas comerciales. Más bien, permitió observar con mayor nitidez el reajuste de la red sin el volumen extraordinario de gas licuado que provee Rusia.
- Finalmente, observamos como la relación entre Rusia y Ucrania, se deterioró en el ámbito comercial y provocó una pérdida de valor mutua en la red.



Calculando las medidas de centralidad para este año, nos encontramos con los siguientes cambios en la red:

Tabla 4.3.1 grado de centralidad con pesos.

Label	Grado	Grado con pesos ▾
Germany	29	22378.0
Belgium	12	10494.0
Resto del mundo	21	9283.0
Norway	7	8738.0
Russia	5	6993.0
France	12	6910.0
Italy	14	6481.0
Czech Republic	6	6097.0
Republic of Türkiye	8	5897.0
Austria	12	4729.0
Slovak Republic	5	4379.0
United Kingdom	5	3978.0
Spain	12	3849.0
Netherlands	9	3636.0
Poland	11	2416.0

Fuente: Importado de Gephi

Respecto al grado de centralidad con pesos (tabla 4.3.1) vemos que en comparación al año 2019, el peso de Rusia disminuye y el de Ucrania desaparece. Asimismo, vemos que al igual que el año anterior, Alemania vuelve a ser el país con mayor número de grados y mayor peso de la red. Además, cabe resaltar la importancia relativa de Noruega, quien está por encima de Rusia. Y el Resto del mundo, que ha ganado una importante significancia relativa en comparación al año 2019 y 2021.

En cuanto a la interpretación económica de este cuadro, cabe conjeturar que, a pesar del conflicto armado entre Ucrania y Rusia, el papel exportador de Rusia sigue siendo muy significativo para la red, además de provocar una pérdida relativa de importancia de Ucrania como país intermediario que se extiende hasta Austria. También se observa un aumento relativo de la importancia de Noruega y Bélgica, así como una reducción bruta significativa del volumen de gas licuado intercambiado en la red similar a las ya existentes durante el año de la pandemia.

Calculando las medidas de centralidad; Centralidad por intermediación, Coeficiente de agrupación y Centralidad por cercanía. Obtenemos las siguientes tablas:

Tabla 4.3.2. Centralidad por intermediación o betweenness centrality

Label	Grado	Betweenness Centrality ▾
Germany	29	335.017143
Austria	12	235.039365
Italy	14	202.15
Hungary	10	145.894286
Belgium	12	109.404762
France	12	84.452381
Resto del mundo	21	80.818571
Republic of Türkiye	8	73.707143
Poland	11	61.13381
Albania	3	56.571429
Finland	3	55.818571
Russia	5	54.754286
Greece	5	53.707143
Ukraine	4	48.378571
Bulgaria	7	47.642857

Fuente: Importado de Gephi



Tabla 4.3.3. Coeficiente de agrupación o clustering coefficient

Label	Grado	Clustering Coefficient
Slovenia	3	0.5
Portugal	4	0.333333
Denmark	3	0.333333
Czech Republic	6	0.3
Switzerland	8	0.285714
Slovak Republic	5	0.25
Netherlands	9	0.238095
Spain	12	0.218182
Norway	7	0.214286
France	12	0.172727
Belgium	12	0.166667
Ukraine	4	0.166667
Croatia	5	0.166667
Greece	5	0.166667
United Kingdom	5	0.15
Austria	12	0.111111
Hungary	10	0.1
Resto del mundo	21	0.097619
Germany	29	0.095
Poland	11	0.088889

Fuente: Importado de Gephi

Tabla 4.3.4. Centralidad por cercanía o closeness Centrality

Label	Grado	Closeness Centrality
Austria	12	0.527778
Germany	29	0.513514
Resto del mundo	21	0.492063
Czech Republic	6	0.404255
Norway	7	0.4
Belgium	12	0.387755
Slovak Republic	5	0.387755
Italy	14	0.387755
Russia	5	0.378049
Netherlands	9	0.372549
Ukraine	4	0.372549
Poland	11	0.345455
Finland	3	0.340659
Hungary	10	0.333333
Croatia	5	0.333333

Fuente: Importado de Gephi

Con respecto a la centralidad por intermediación observamos que no hay cambios muy significativos con los años anteriores. Alemania, Italia, Austria y Bélgica, continúan siendo los países por los cuales pasa el mayor número de geodésicas de la red, es decir, los países conectados por los caminos más cortos hacia el resto de nodos. Esto nos indica que incluso con la guerra los intercambios comerciales de esta red de países continúan prácticamente sin sufrir cambios.

Observando el coeficiente de agrupación podemos conjeturar que la pérdida de volumen de la red afectó principalmente a la existencia de pequeños sub-núcleos de intermediación que se presentaba en el año 2019. Es decir, la red de flujos de gas licuado de Europa se encuentra peor conectada entre sí en comparación con el año 2019. Basándonos en esto podríamos conjeturar que el flujo de gas intercambiado en el 2019 facilitaba la existencia de rutas comerciales alternas, creando pequeños sub-centros de circulación semicerrada de gas licuado que aprovechaban las economías de escala que otorgaban estos volúmenes de intercambio.

Respecto a la centralidad por cercanía, la tabla 4.3.4 nos da un resultado muy diferente al de años anteriores; podemos ver como el alcance de Rusia se ha reducido significativamente, dando mayor importancia relativa a otros nodos como Austria y Alemania. Asimismo, podríamos deducir que gran parte del comercio ruso estaba impulsado por su relación con Ucrania, y con el inicio del conflicto, su capacidad de influencia en la red se ha visto reducida.



En la siguiente tabla de la centralidad por el vector de valores propios:

Tabla 4.3.5 Centralidad por vector de valores propios o eigenvector Centrality

Label	Grado	Eigenvector Centrality
Switzerland	8	1.0
Austria	12	0.983581
Poland	11	0.955316
Germany	29	0.935916
Czech Republic	6	0.603074
Italy	14	0.495554
Hungary	10	0.377682
Slovak Republic	5	0.349325
France	12	0.341567
Slovenia	3	0.313175
Netherlands	9	0.285626
Denmark	3	0.201025
Belgium	12	0.159747
Croatia	5	0.149851
Albania	3	0.120397

Fuente: Importado de Gephi

Podemos observar una pérdida en el poder de centralidad de Alemania, posiblemente debido a las conexiones directas perdidas a causa del menor nivel de volumen de gas que pasa por el país, además de la pérdida de relevancia de Rusia en la red en cuanto a conexiones y capacidad de influencia. De esta manera observamos como, países como Polonia, Suiza y Austria ganan relevancia a medida que sus vecinos directos tiene un peso relativo mayor dentro del flujo de gas licuado de Europa.

Hay que señalar, sin embargo, que el valor de Alemania se ha reducido debido a la pérdida de importancia de Rusia en la red. Su papel en el mercado es esencial, ya que durante los tres años analizados ha sido el nodo con mayor número de conexiones y con mayor peso en las mismas.

Finalmente, con las 5 medidas analizadas podemos concretar los siguientes cambios relevantes;

- Pérdida de importancia relativa de Alemania como centro de la red de flujos de gas europea debido al conflicto entre Rusia y Ucrania y la pérdida relativa del valor de Rusia.
- La pérdida de valor rusa dentro de la red de gas licuado de Europa es relativamente mayor que la pérdida de valor ucraniana con respecto al año 2019.
- El volumen de gas circulando en la red permite la existencia de diversas fuentes o rutas alternas que fortalecen a la red, sin embargo, gran parte de este volumen depende del suministro ruso a los países europeos.

Estos resultados se ven reforzados por las similitudes en las observaciones del estudio realizado por el catedrático Mariano Marzo Caprio (2022) y el artículo de investigación de Cinzia Bianco (2022)



5. CONCLUSIONES

Las consecuencias del conflicto militar entre Rusia y Ucrania en la red europea de gas natural licuado han sido, en términos relativos de volumen, similares a las pérdidas por la pandemia. Con pérdidas del 24% y 23% en volumen de exportación respecto a 2019 y pérdidas en volumen de importación del 18% para ambos años. Asimismo, respondiendo a la pregunta ¿Qué relevancia tiene el papel de Rusia en la red europea de gas natural licuado? podemos concluir que sin duda es el mayor exportador de la red y su control sobre la misma es bastante significativo en comparación con sus competidores. Sin embargo, esto no permite tener en cuenta que en los dos últimos años la dependencia europea del gas licuado ruso ha ido disminuyendo y la búsqueda de nuevos proveedores de gas se ha centrado en Noruega, países africanos como Túnez y otros países proveedores de gas de todo el mundo.

Además de esto podemos observar como la principal entrada de gas licuado a la red europea ha empezado a cambiar. Alemania, Austria y Ucrania, países que son muy dependientes de Rusia como principal proveedor, han visto su centralidad en esta red perjudicada por el conflicto, y países como Países bajos, Bélgica e Italia, han ido cobrando una mayor relevancia como núcleos centrales de esta red de intercambio y cuyas dependencias de abastecimiento provienen de distintas fuentes lo que provee a la red de una mayor seguridad frente a situaciones extraordinarias como esta.

No podemos predecir cómo cambiará la red el año que viene, pero podemos concluir que, en términos de mercado, la red europea de gas licuado está en proceso de buscar otros proveedores, reduciendo su dependencia de Rusia. Y Alemania es actualmente el distribuidor central de la red de gas licuado en Europa, pero gran parte de este peso depende de la relación directa con Rusia, y a medida que Rusia se resiente, aumenta la relevancia de otros países centrales como Bélgica.

Por último, debemos recordar la necesidad de otros estudios complementarios que aporten más contexto a esta investigación, sin embargo, en base a estos datos y según la literatura económica podemos hipotetizar que debido a la reducción del nivel de suministro de gas natural licuado en el mercado europeo, se ha producido una situación de desabastecimiento que se está reflejando en un aumento de los precios de los bienes finales dependientes de los derivados del gas natural licuado, como la gasolina, los fertilizantes y otros productos químicos. Afectando así a gran parte de los bienes de consumo primario y dando lugar a la creciente inflación actual en Europa. Conviene recordar que éste no es el único componente que puede provocar el aumento de la inflación en Europa, por lo que se recomienda encarecidamente recurrir a estudios específicos sobre el tema para reforzar las conclusiones de esta investigación. De estas observaciones nos advertía ya Mia Milosevich-Juaristi (2019) en su artículo.



6. BIBLIOGRAFÍA

Referencias Bibliográficas:

- **Mohanna, Lilia A. (2022):** “Las consecuencias energéticas de la Guerra de Ucrania”. Anuario en relaciones internacionales del IRI. Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/146045> (consultado el 9 de enero del 2023).
- **Matthew. O Jackson, Alison Watts (2002):** “The evolution of Social and Economic Networks”. Journal of economic theory, pp 265-295.
- **Mariano Marzo Caprio (2022):** “¿Qué alternativas tiene Europa al gas importado de Rusia?”. The Conversation. Disponible en: <http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/190436/1/%C2%BFQu%C3%A9%20alternativas%20tiene%20Europa%20al%20gas%20importado%20de%20Rusia%20.pdf>
- **Cinzia Bianco (2022):** “La guerra de Ucrania podría reactivar las relaciones entre Europa y el golfo”. Afkar Ideas. Disponible en: https://www.iemed.org/wp-content/uploads/2022/07/17_Guerra_Ucrania_relaciones_Europa_Golfo_Cinzia-Bianco_afkar66.pdf
- **Mia Milosevich-Juaristi (2019):** “Los Aliados de Rusia: su ejército, su armada y su gas”. Real Instituto El Cano. Disponible en: <https://media.realinstitutoelcano.org/wp-content/uploads/2021/11/ari47-2019-milosevichjuaristi-aliados-de-rusia-su-ejercito-su-armada-y-su-gas.pdf>

Curso Realizado:

- **Standford University:** “Social and Economic Networks: Models and Analysis.” Disponible en: <https://www.coursera.org/learn/social-economic-networks>

Paginas web consultadas:

- **International Energy Agency:** <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/gas-trade-flows> (consultada el 20 de noviembre del 2022)