

Grafos de competitividad: detección de comunidades mediante el algoritmo de Girvan-Newman y aplicación al estudio del IBEX 35

Trabajo fin de grado

Grado en Matemáticas

Autor: *Daniel Recuero Cordobés*

Tutor: *Regino Criado Herrero*



Universidad
Rey Juan Carlos

Escuela Técnica Superior
Ingeniería Informática

Contenido



1 Objetivos

2 Conceptos

- Teoría de grafos: Grafos de competitividad
- Detección de comunidades: Algoritmo de Girvan-Newman

3 Desarrollo

4 Resultados y conclusiones

5 Mejoras y trabajos futuros

Objetivos del TFG

El objetivo general de este trabajo es revisar conceptos y resultados de la teoría de grafos y encontrar conclusiones de valor que puedan aportar algún conocimiento sobre una posible inversión en alguna empresa del IBEX 35.

- Objetivos específicos
 - Exploración de conceptos básicos sobre la teoría de grafos.
 - Ampliación del conocimiento sobre la teoría de grafos mediante el análisis y la aplicación del algoritmo de Girvan-Newman a grafos de competitividad.
 - Extrapolación de conclusiones del estudio a situaciones reales.
 - Aplicación de los conceptos teóricos a un caso práctico real.
 - Análisis de objetos de la realidad desde una perspectiva matemática.

Primeras definiciones

Definición 1 Un **grafo simple** G es un par $(V(G), E(G))$ donde $V(G)$ es un conjunto finito no vacío de elementos llamados **nodos** y $E(G)$ es un conjunto finito de pares no ordenados no repetidos de elementos de $V(G)$ llamados **aristas**.

Definición 2 Un **camino** en un grafo $G=(V(G), E(G))$ es una secuencia de aristas tal que el final de una es el inicio de la siguiente. Para denotarlo, se puede escribir entre paréntesis la secuencia de nodos o la secuencia de aristas y se puede referir a él con letras griegas.

Definición 3 Se define la **longitud de un camino** en un grafo como el número de aristas que posee. Así pues, un camino β tendrá una longitud $l(\beta)$.

Grafos de competitividad I

Definición 4 Sea un conjunto de n elementos o competidores (que serán los nodos del grafo) $A = \{x, y, \dots, n\}$. Se define la **puntuación** como una función $p : \{x, y, \dots, n\} \rightarrow \mathbb{R}$ donde a cada elemento del conjunto A se le asocia un número que tendrá distinta connotación según el contexto.

Definición 5 Dado un conjunto de n elementos o competidores $A = \{x, y, \dots, n\}$, un **ranking** r es una función $r : \{1, 2, \dots, n\} \rightarrow A$.

Observación 1 Dado un ranking r y un par de elementos $u_i, u_j \in V(G_R)$, con $i \neq j$, $i, j \leq n$, se denota por $r(u_i) > r(u_j)$ la situación en la que el elemento u_i está situado por encima del elemento u_j en el ranking r .

También se escribe $r(u_i) \geq r(u_j)$ si $r(u_i) > r(u_j)$ o $i = j$.

$$r(i) \geq r(j) \Leftrightarrow p(i) \geq p(j)$$

Grafos de competitividad II

Definición 6 Sea una familia de $m \in \mathbb{N}$ rankings $R = \{r_1, r_2, \dots, r_m\}$, con todos ellos ordenando los mismos elementos de un conjunto $V(G_R)$. Dado un par de individuos $u_i, u_j \in V(G_R)$ con $i \neq j$, $i, j \leq n$, se dice que ambos **compiten** si han intercambiado sus posiciones relativas en dos rankings consecutivos. Es decir, si existe $k < m$ tal que $r_k(u_i) > r_k(u_j)$ y $r_{k+1}(u_j) > r_{k+1}(u_i)$, o viceversa.

Definición 7 Sea $R = \{r_1, r_2, \dots, r_m\}$ una familia de rankings, con elementos del conjunto $V(G_R)$, se dice que dos nodos han **competido h-veces** si han intercambiado su posición relativa a lo largo de los m rankings en h ocasiones.

Grafos de competitividad III



Definición 8 Sea $R = \{r_1, r_2, \dots, r_m\}$ una familia de rankings, con elementos del conjunto $V(G_R)$, se define el **grafo de competitividad** como el grafo simple pesado $G=(V(G_R),E(G_R))$ donde los nodos son los elementos competidores que aparecen en los rankings y cada arista tiene como peso el número de veces que han competido entre sí los correspondientes nodos adyacentes a la arista.

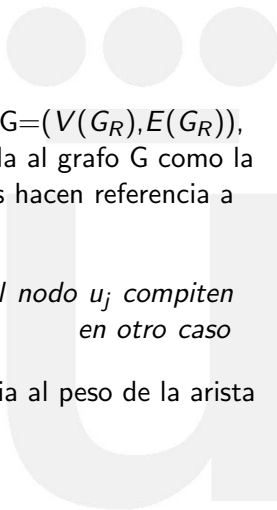
Formalmente, dados $u_i, u_j \in V(G_R)$ nodos del grafo, la arista tendrá un peso $w_{i,j}$ que vendrá dado por el número de veces que los nodos u_i, u_j compiten a lo largo de la familia de rankings R .

Matriz de adyacencia del grafo de competitividad

Definición 9 Sea un grafo de competitividad $G=(V(G_R),E(G_R))$, se define la **matriz de adyacencia M** asociada al grafo G como la matriz cuadrada donde las filas y las columnas hacen referencia a los nodos del grafo de forma que:

$$M_{ij} = \begin{cases} w_{i,j} & \text{si el nodo } u_i \text{ y el nodo } u_j \text{ compiten} \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

donde hay que recordar que $w_{i,j}$ hace referencia al peso de la arista asociada a los nodos u_i, u_j .



Coefficiente de correlación de Kendall

Definición 10 Sea $V(G_R)$ el conjunto de nodos con $|V(G_R)| = n$, ordenados en dos rankings r_1 y r_2 . Se define el **coeficiente de correlación de Kendall** como el cociente de la diferencia de los pares de nodos que compiten y no compiten en esos dos ranking entre el número de posibles pares que compitan en esos dos mismos rankings. Matemáticamente, resulta la siguiente expresión:

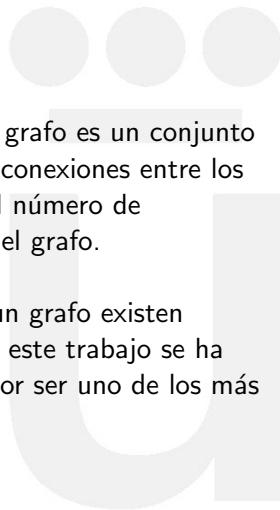
$$\tau(r_1, r_2) = \frac{\bar{K}(r_1, r_2) - K(r_1, r_2)}{\binom{n}{2}}$$

donde $\bar{K}(r_1, r_2)$ es el número de pares de nodos que no compiten con respecto de $\{r_1, r_2\}$ y $K(r_1, r_2)$ es el número de pares de nodos que sí compiten respecto de ambos rankings.

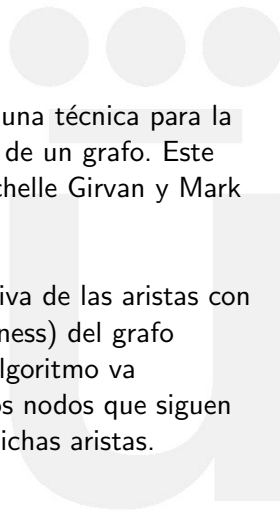
Detección de comunidades

Definición 11 Una **comunidad** dentro de un grafo es un conjunto de nodos caracterizados porque el número de conexiones entre los elementos de la comunidad es muy superior al número de conexiones que tienen con el resto de nodos del grafo.

Para la detección de comunidades dentro de un grafo existen muchos métodos. Para el análisis realizado en este trabajo se ha escogido el **algoritmo de Girvan-Newman** por ser uno de los más utilizados.



Algoritmo de Girvan-Newman I: Origen



El **algoritmo de Girvan-Newman** (2002) es una técnica para la detección y el análisis de comunidades dentro de un grafo. Este algoritmo fue resultado de los estudios de Michelle Girvan y Mark Newman.

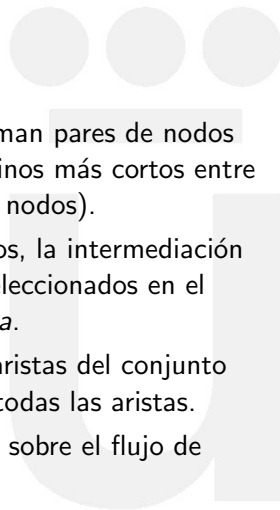
El algoritmo se basa en la eliminación progresiva de las aristas con mayor coeficiente de intermediación (betweenness) del grafo original. Así, en las iteraciones siguientes, el algoritmo va generando las comunidades, que serán aquellos nodos que siguen conectados tras la eliminación progresiva de dichas aristas.

Algoritmo de Girvan-Newman II: Elementos

La intermediación de aristas, que se basa en:

- i) Sea $a \in E(G)$ una arista del grafo, se toman pares de nodos del conjunto $V(G)$ y se calculan los caminos más cortos entre ellos (problema del camino mínimo entre nodos).
- ii) Con todos los caminos mínimos calculados, la intermediación de la arista a es el número de caminos seleccionados en el paso anterior que pasan por dicha arista a .
- iii) Repetir los pasos i) y ii) con el resto de aristas del conjunto $E(G)$ para obtener la intermediación de todas las aristas.

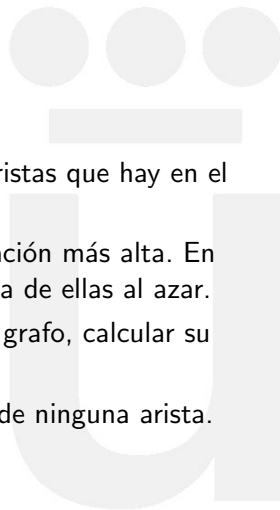
La idea es calcular la influencia de cada arista sobre el flujo de información del grafo.



Algoritmo de Girvan-Newman III: Definición

Los pasos del algoritmo son los siguientes:

- ➊ Calcular la intermediación de todas las aristas que hay en el grafo.
- ➋ Eliminar la arista que tenga la intermediación más alta. En caso de empate entre aristas, se toma una de ellas al azar.
- ➌ Para el resto de aristas que queden en el grafo, calcular su intermediación.
- ➍ Repetir los pasos 2 y 3 hasta que no quede ninguna arista.



Algoritmo de Girvan-Newman IV: Pseudocódigo



Algoritmo 1 Algoritmo de Girvan-Newman

```
repeat
   $n = \text{Total number of edges in graph } G$ 
  for  $i = 0$  to  $n - 1$  do
     $\text{Betweenness}[i] = \text{Betweenness of edge } i$ 
    if  $\text{Betweenness}[i] > \text{Max\_Betweenness}$  then
       $\text{Max\_Betweenness} = \text{Betweenness}[i]$ 
       $\text{Max\_Betweenness\_Edge} = i$ 
    end if
  end for
  remove edge  $\text{Max\_Betweenness\_Edge}$  from graph  $G$ 
until  $n = 0$ 
```



Algoritmo de Girvan-Newman V: Ejemplo

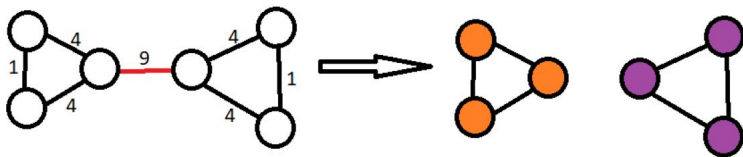


Figura: Ejemplo de iteración del algoritmo de Girvan-Newman

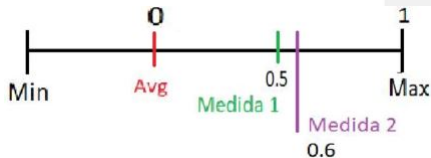
Criterios

Para abordar el análisis se han definido 3 criterios o perspectivas de cara a construir tres familias de rankings distintas.

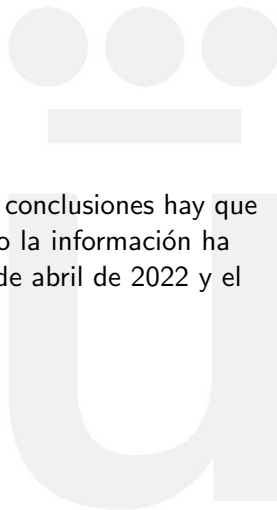
- Perspectiva 1: Bajo una inversión inicial de 1000 € en cada empresa, se ha obtenido el valor de la inversión realizada al final de cada sesión y con el precio de cierre de cada sesión se ha ido construyendo un ranking según el valor que iba tomando cada una de dichas inversiones.
- Perspectiva 2: Emplea la variación (ganancia o pérdida) de la inversión para cada valor para construir la familia de rankings, es decir, se toma la diferencia entre valores consecutivos y no el valor en sí.
- Perspectiva 3: Evalúa el porcentaje de ganancia o pérdida entre cada par de sesiones contiguas, tomando como valor de referencia el precio de cierre de la sesión anterior.

Subvariantes

Debido a que los grafos obtenidos con las perspectivas tenían un volumen muy elevado de aristas, se han establecido tres valores umbrales para los pesos de las aristas, de forma que solo se consideren aquellas que superen dichos límites. Aparecen así 3 subvariantes para cada perspectiva.

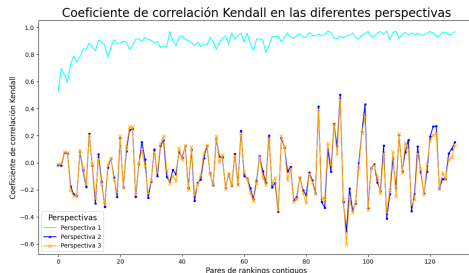


Período temporal del estudio



Previamente a la presentación de resultados y conclusiones hay que señalar que el período en el que se ha recogido la información ha sido el comprendido entre las sesiones del 22 de abril de 2022 y el 21 de octubre de 2022.

Coefficiente de correlación de Kendall

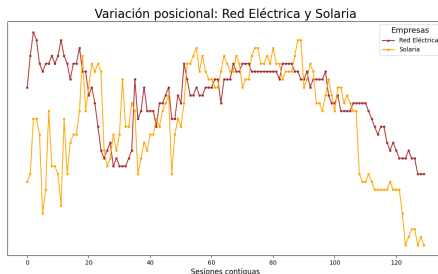


- La perspectiva 1 presenta valores cercanos a 1, lo que indica una alta correlación entre los rankings así como una baja competitividad entre los nodos.
- Las perspectivas 2 y 3 muestran variaciones muy similares para este coeficiente aunque no siempre idénticos. (Están bastante correladas)

Aplicación del algoritmo de Girvan-Newman I

- Para las empresas Acciona y Rovi se ha observado que cuando alguna de ellas presenta una posición extrema en los rankings relativos al estudio de la volatilidad, la otra empresa suele localizarse en una posición contraria en el ranking. Es decir, cuando una ocupa posiciones muy altas o muy bajas en el ranking, la otra suele estar en posiciones bajas o altas, respectivamente. Esto es derivado de las perspectivas 2 y 3. [27] [28] [29] [30] [31] [32] [33] [34] [35]
- Esta misma conclusión anterior se ha obtenido para los pares de empresas Inditex y Repsol, y Mapfre y Meliá Hotels.
- Análogamente, con Acerinox, Acs y Arcelormittal ocurre la misma situación, reforzada cuando dos empresas ocupan posiciones extremas y la tercera ocupa una posición contraria en el ranking.

Aplicación del algoritmo de Girvan-Newman II



Del primer enfoque se ha extraído que Solaria y Red Eléctrica compartían comunidad debido a su alta competitividad.

Como conclusión, se ha observado que Red Eléctrica suele estar en posiciones superiores a Solaria en cuanto al valor de la inversión y que, cuando esta segunda empresa adelanta a la primera, solo unas sesiones después Red Eléctrica vuelve a ponerse por delante.

Aplicación del algoritmo de Girvan-Newman III

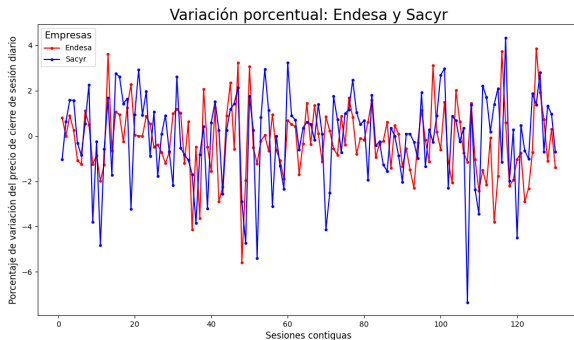
Se han estudiado las comunidades que se han formado a lo largo de las aplicaciones del algoritmo en todos los grafos generados para las tres empresas con mayor rentabilidad en el período:

Siemens Gamesa, Caixabank y Bankinter. [36]

Solo cabe destacar la agrupación formada por Caixabank, Inditex y Repsol que ha generado en este período una rentabilidad conjunta del 7,718 %.

Agrupaciones	Rentabilidad
Siemens Gamesa + Fluidra	-17.5269
Caixabank + Inditex + Repsol	7.7177
Caixabank + Inditex + Repsol + Solaria	-2.1341
Bankinter + Indra + Iberdrola	-0.9281

Aplicación del algoritmo de Girvan-Newman IV



Relativo a las empresas Endesa y Sacyr se ha observado que un movimiento ascendente o descendente en el valor de una implica, en numerosas ocasiones, un movimiento en el mismo sentido en la otra empresa. Este suceso se ha dado en el 57,6 % de las sesiones.

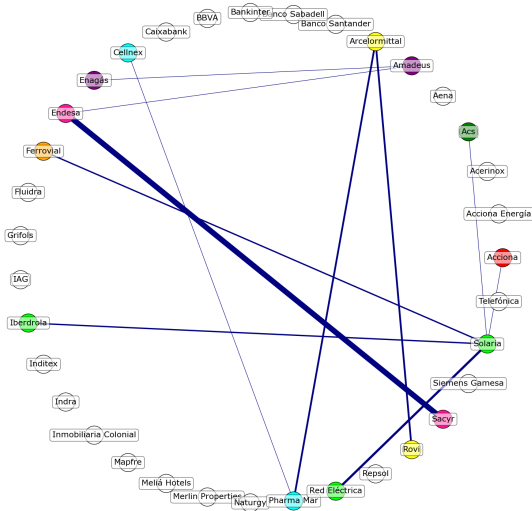
[25] [26]

Mejoras y trabajos futuros

- Realizar un análisis análogo con el precio de apertura o con otra medida en torno al precio. Esto podría llevar a la detección de nuevos patrones.
- Extracción de conclusiones de comportamiento para pares o tríos de empresas similares a los realizados anteriormente en función de la volatilidad.
- Implementación de un método que represente la evolución de las posiciones de las empresas de interés a lo largo de las familias de rankings para intentar detectar algún patrón gráficamente.
- Aplicación de algún otro algoritmo de detección de comunidades para observar en qué se diferencian los resultados de los obtenidos a través del de Girvan-Newman.
- Replicar el último análisis realizado para aquellas empresas que más han aumentado su valor con las empresas que más valor han perdido.

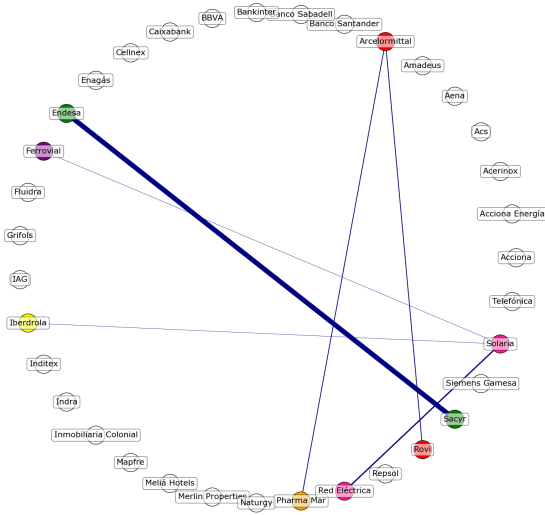
Aplicación del algoritmo de Girvan-Newman: 1.2

Application of Girvan Newman algorithm: Perspective 1.2, iteration 5



Aplicación del algoritmo de Girvan-Newman: 1.3

Application of Girvan Newman algorithm: Perspective 1.3, iteration 3



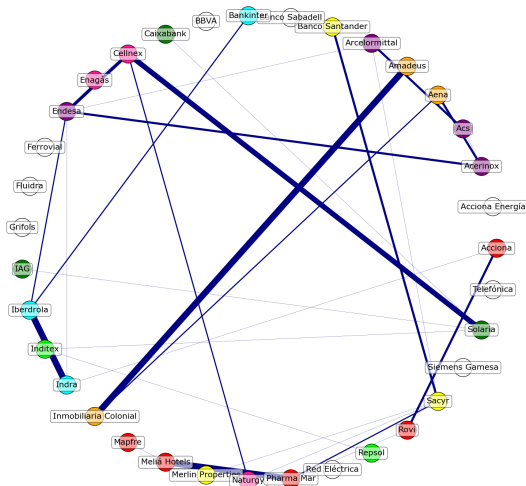
The graph displays a dense network of relationships between 40 companies. The nodes are color-coded and labeled as follows:

- Green:** BBVA, Bankinter, Banco Sabadell, Aena, Acciona Energía, Acciona, Telefónica, Solaria, Siemens Gamesa, Sacyr, Rovl, Repsol, Red Eléctrica, Naturgy, Pharma Mar, Meriin Properties, Meliá Hotels, Mapfre, Indra, Inditex, Iberdrola, JAG, Grifols, Fluidra, Ferrovial, Endesa, Enagás, Cellnex, CaixaBank.
- Yellow:** ArcelorMittal, Amadeus, ACS, Acerinox.
- Red:** JAG, Rovl, Red Eléctrica.
- Pink:** CaixaBank, Indra, Inditex, Solaria.
- Blue:** Santander.
- Grey:** Banco Sabadell, Telefónica, Siemens Gamesa, Sacyr, Rovl, Repsol, Red Eléctrica, Naturgy, Pharma Mar, Meriin Properties, Meliá Hotels, Mapfre, Indra, Inditex, Iberdrola, JAG, Grifols, Fluidra, Ferrovial, Endesa, Enagás, Cellnex, CaixaBank.

The graph features a prominent dark blue line connecting several central nodes, including Bankinter, Banco Sabadell, Santander, Amadeus, Aena, Acciona Energía, Acciona, Telefónica, Solaria, Siemens Gamesa, Sacyr, Rovl, Repsol, Red Eléctrica, Naturgy, Pharma Mar, Meriin Properties, Meliá Hotels, Mapfre, Indra, Inditex, Iberdrola, JAG, Grifols, Fluidra, Ferrovial, Endesa, Enagás, and Cellnex.

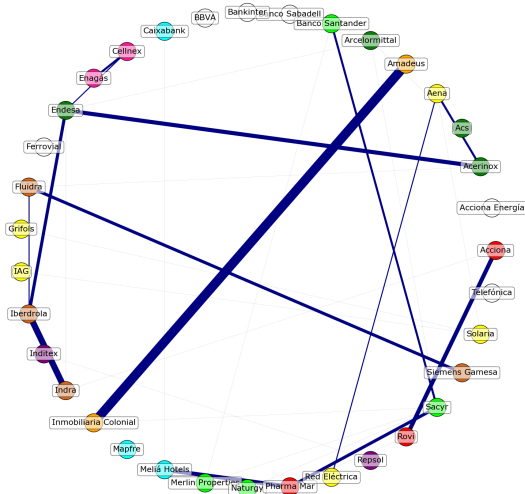
Aplicación del algoritmo de Girvan-Newman: 2.3

Application of Girvan Newman algorithm: Perspective 2.3, iteration 7



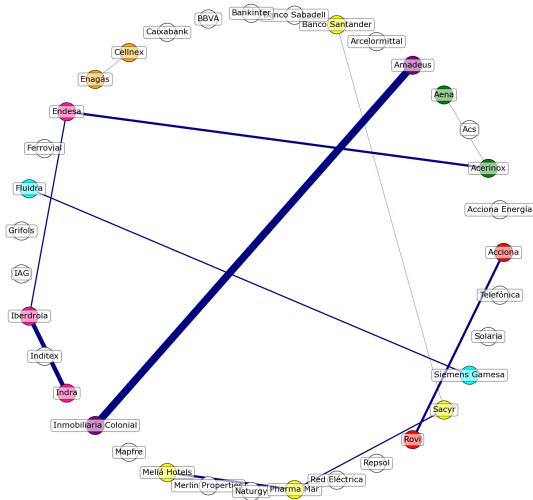
Aplicación del algoritmo de Girvan-Newman: 3.2

Application of Girvan Newman algorithm: Perspective 3.2, iteration 7



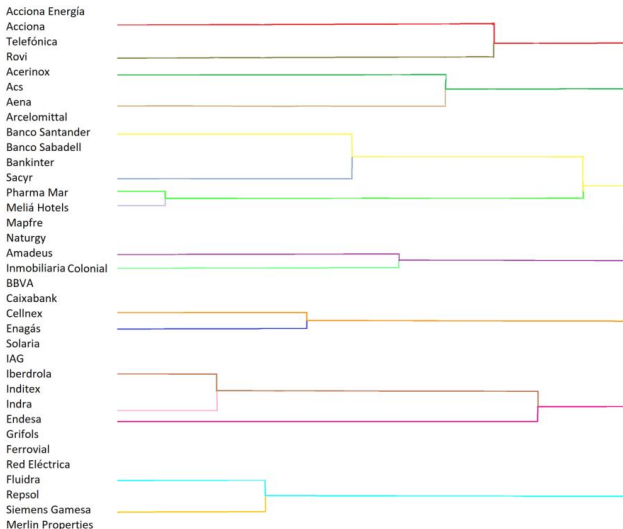
Aplicación del algoritmo de Girvan-Newman: 3.3

Application of Girvan Newman algorithm: Perspective 3.3, iteration 1



Aplicación algoritmo de Girvan-Newman: 3.3

Dendograma de la aplicación del algoritmo de Girvan - Newman a la perspectiva 3.3

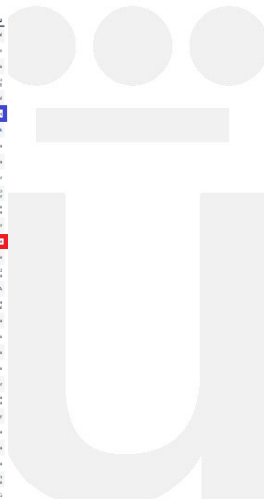


Rankings perspectiva 2 (I): Acciona y Rovi

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Grifols	Melk-Holste	Acciona	Repsol	BBVA	Melk-Holste	IAG	Sacyr	Inditex	Grifols
Melk-Holste	Ferrovial	Acciona	Melk-Holste	Inditex	Grifols	Siemens Gamesa	Solarte	Grifols	Repsol	
Siemens Gamesa	Axa	Red Eléctrica	Rovi	Repsol	Inditex	Casabank	Repsol	Inditex	Acciona	
Pharma Mar	Immobiliaria Colonial	Cellnex	Banco Santander	Melk-Holste	Aena	Acciona	Ferrovial	Rovi	Acciona Energía	
Berndt	Sacyr	Berndt	Grifols	Casabank	Pharma Mar	Grifols	Red Eléctrica	Amadeus	Melk-Holste	
Natlogy	Rovi	Enagás	IAG	Fluixa	Inditex	Banco Santander	Enagás	Repsol	Amadeus	
Acciona	Repsol	Repsol	Acciona Energía	Banco Santander	Berndt	Solarte	Natlogy	Enagás	BBVA	
Amadeus	Aena	Banco Santander	Sacyr	Siemens Gamesa	Sacyr	Acciona	Endesa	Immobiliaria Colonial	Sacyr	
Red Eléctrica	Red Eléctrica	Natlogy	Solarte	Banco Santander	Inditex	Red Eléctrica	Acciona Energía	Fluixa	Mapfre	
Endesa	Inditex	Acciona	Amadeus	Banco Santander	Endesa	Melk-Holste	Mapfre	Propiedades	Acciona	
Cellnex	Endesa	Sacyr	Enagás	Pharma Mar	Mapfre	Enagás	Inditex	Aena	Siemens Gamesa	
Banco Santander	Natlogy	Solarte	Acciona	Acciona	Enagás	Inditex	Axa	Red Eléctrica	Pharma Mar	
Acciona Energía	Acciona	Acciona Energía	Amadeus	Banco Santander	Repsol	Axa	Acciona	Pharma Mar	Axa	
Enagás	Solarte	Pharma Mar	BBVA	Acciona	Immobiliaria Colonial	Rovi	Berndt	Axa	Endesa	
Mapfre	Mapfre	Siemens Gamesa	Red Eléctrica	Acciona Energía	Banco Santander	Inditex	Inditex	Cellnex	Acciona	
Immobiliaria Colonial	Inditex	Casabank	Axa	Rovi	Axa	Natlogy	Cellnex	Ferrovial	Inditex	
Inditex	Berndt	Endesa	Ferrovial	Cellnex	Casabank	Mapfre	Mapfre	Propiedades	Acciona	Rovi
Inditex	Acciona	Banco Santander	Natlogy	Mapfre	Amadeus	Amadeus	Rovi	Mapfre	Banco Santander	
Ferrovial	Acciona	Fluixa	Endesa	IAG	IAG	Ferrovial	Siemens Gamesa	Natlogy	Inditex	
Axa	Fluixa	Rovi	Inditex	Inditex	Natlogy	Inditex	Axa	Acciona Energía	Banco Santander	
Solarte	Mapfre	BBVA	Inditex	Sacyr	Mapfre	Acciona	Immobiliaria Colonial	Inditex	Enagás	
Inditex	Enagás	Inditex	Pharma Mar	Berndt	Acciona	Cellnex	Inditex	Endesa	Berndt	
Sacyr	Amadeus	Inditex	Casabank	Axa	Cellnex	Banco Santander	Pharma Mar	Melk-Holste	Solarte	
Rovi	Inditex	Mapfre	Berndt	Solarte	Banco Santander	Endesa	Banco Santander	Banco Santander	Natlogy	
Aena	Cellnex	Axa	Fluixa	Endesa	Red Eléctrica	Berndt	Mapfre	IAG	Casabank	
IAG	Acciona Energía	Ferrovial	Siemens Gamesa	Red Eléctrica	Acciona Energía	BBVA	Grifols	Casabank	Red Eléctrica	
Mapfre	Grifols	Immobiliaria Colonial	Acciona	Mapfre	Acciona	Fluixa	Amadeus	Berndt	Immobiliaria Colonial	
Casabank	BBVA	IAG	Immobiliaria Colonial	Ferrovial	Ferrovial	Immobiliaria Colonial	BBVA	Acciona	Aena	
Banco Santander	Casabank	Amadeus	Inditex	Inditex	Banco Santander	Pharma Mar	Fluixa	Acciona	Fluixa	
Fluixa	Banco Santander	Mapfre	Immobiliaria Colonial	Immobiliaria Colonial	Sacyr	IAG	Banco Santander	Mapfre	Propiedades	
Banco Santander	IAG	Melk-Holste	Mapfre	Aena	Acciona	Aena	Banco Santander	Solarte	Banco Santander	
BBVA	Siemens Gamesa	Banco Santander	Aena	Enagás	BBVA	Repsol	Acciona	Banco Santander	Ferrovial	
Repsol	Banco Santander	Inditex	Acciona	Banco Santander	Solarte	Mapfre	Casabank	BBVA	Inditex	
Acciona	Banco Santander	Grifols	Cellnex	Rovi	Acciona Energía	Acciona	Acciona	Sacyr	Cellnex	
Acciona	Pharma Mar	Aena	Mapfre	Grifols	Fluixa	Melk-Holste	Banco Santander	Siemens Gamesa	IAG	

Ranking perspectiva 2 (II): Acciona y Rovi

120	121	122	123	124	125	126	127	128	129
Acciona	Inditex	Inditex	AG	Naturgy	AG	Axa	Inditex	Banco Sabadell	Acciona
Acciona	Inditex	Inditex	Rapax	Endesa	Martin Prospective	Inditex	Rapax	Banque	Acciona
Celso	Banque	Celso	Acciona	Red Eléctrica	Banque	Inditex	Sagor	Celso	Axa
Fluixa	Ferrovial	Ferrovial	Melilla Hotels	Enagás	Celso	Banco Sabadell	AG	Acciona	Banco Sabadell
Inditex	Axa	SDVA	Banco Sabadell	Banque	Inditex	SDVA	Banque	Rapax	Rapax
Inditex	Gelco	Siemens Gamesa	SDVA	Industria Cultural	Sagor	Acciona	Axa	Acciona	Inditex
Sagor	Pharma Mar	Inditex	Banco Sabadell	Inditex	Amadeus	Fluixa	Axa	SDVA	Celso
Banco Sabadell	Amadeus	Axa	Banque	Sagor	Celso	Banque	Mayra	Inditex	Inditex
AG	Industria Cultural	Rapax	Acciona	Banco Sabadell	SDVA	Celso	SDVA	Industria Cultural	Banque
Amadeus	Martin Prospective	Acciona	Fluixa	Banco Sabadell	Inditex	Banco Sabadell	Inditex	Pharma Mar	Inditex
Gelco	Siemens Gamesa	Banque	Pharma Mar	Mayra	Solara	Industria Cultural	Acciona	Amadeus	Banco Sabadell
SDVA	Banco Sabadell	Fluixa	Sagor	Pharma Mar	Industria Cultural	Solara	Industria Cultural	Gelco	Siemens Gamesa
Siemens Gamesa	Industria Cultural	Banco Sabadell	Inditex	Axa	Ferrovial	Ferrovial	Siemens Gamesa	Enagás	Sagor
Axa	Acciona	Axa	Mayra	Solara	Axa	Mayra	Naturgy	Martin Prospective	Acciona
Ferrovial	Inditex	Industria Cultural	Inditex	Martin Prospective	Acciona	Enagás	Inditex	Banco Sabadell	Mayra
Industria Cultural	Sagor	Sagor	Amadeus	Industria Cultural	Axa	Endesa	Acciona	Melilla Hotels	Red Eléctrica
Melilla Hotels	Celso	Mayra	Celso	SDVA	Fluixa	Naturgy	Melilla Hotels	Sagor	SDVA
Martin Prospective	Acciona	Pharma Mar	Axa	Acciona	Rapax	Pharma Mar	Ferrovial	Naturgy	Industria Cultural
Banque	Inditex	AG	Naturgy	Solara	Melilla Hotels	Gelco	Enagás	Fluixa	Endesa
Endesa	SDVA	Martin Prospective	Martin Prospective	Inditex	Acciona	Melilla Hotels	Banco Sabadell	Celso	Enagás
Inditex	Mayra	Banco Sabadell	Axa	Ferrovial	Pharma Mar	Siemens Gamesa	Celso	Axa	Amadeus
Enagás	Enagás	Banque	Industria Cultural	AG	Gelco	AG	Banque	Melilla Hotels	Red Eléctrica
Red Eléctrica	Celso	Industria Cultural	Ferrovial	Amadeus	Acciona	Martin Prospective	Endesa	Inditex	Banque
Banque	Axa	Enagás	Siemens Gamesa	Banque	Enagás	Red Eléctrica	Red Eléctrica	Acciona	Acciona
Banco Sabadell	Fluixa	Endesa	Banque	Axa	Naturgy	Amadeus	Amadeus	Inditex	Naturgy
Naturgy	Banque	Red Eléctrica	Enagás	Celso	Inditex	Celso	Acciona	Mayra	Axa
Solara	Banco Sabadell	Gelco	Inditex	Siemens Gamesa	Banque	Acciona	Inditex	Siemens Gamesa	Fluixa
Industria Cultural	Red Eléctrica	Naturgy	Industria Cultural	Endesa	Axa	Acciona	Banque	Industria Cultural	Inditex
Acciona	Inditex	Acciona	Gelco	Acciona	Mayra	Banque	Martin Prospective	Solara	Martin Prospective
Mayra	Solara	Melilla Hotels	Red Eléctrica	Inditex	Industria Cultural	Gelco	Pharma Mar	AG	Inditex
Celso	Rapax	Solara	Acciona	Acciona	Acciona	Inditex	Industria Cultural	Ferrovial	Celso
Axa	Acciona	Acciona	Endesa	Rapax	Banco Sabadell	Acciona	Celso	Axa	Solara
Rapax	Endesa	Amadeus	Celso	Celso	Sagor	Solara	Inditex	Gelco	Inditex
Pharma Mar	Naturgy	Celso	Solara	Acciona	Industria Cultural	Acciona	Pharma Mar	AG	Inditex
Acciona	Melilla Hotels	Acciona	Acciona	Fluixa	Siemens Gamesa	Rapax	Fluixa	Industria Cultural	Ferrovial



Rankings perspectiva 3 (I): Acciona y Rovi

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Grifols	Moltà Hotels	Amecostm	Repsol	BBVA	Grifols	IAG	Sacyr	Inditex	Grifols
Moltà Hotels	Ferrovial	Acronos	Moltà Hotels	Inditex	Moltà Hotels	Amecostm	Solarte	Grifols	Repsol
Siemens Gamesa	Axa	Red Eléctrica	Rovi	Repsol	Inditex	Siemens Gamesa	Repsol	Inditex	Acronos
Pharma Mar	Immobiliaria Colonial	Cellex	Berbán	Cellex	Aena	Cellex	Ferrovial	Rovi	Acciona Energía
Berbán	Sacyr	Berbán	IAG	Fluixa	Pharma Mar	Grifols	Red Eléctrica	Amecostm	Moltà Hotels
Naturgy	Rovi	Repsol	Grifols	Moltà Hotels	Inditex	Bank Sabadell	Enagás	Repsol	Amecostm
Acciona	Repsol	Enagás	Acciona Energía	Bank Sabadell	Berbán	Bank Sabadell	Naturgy	Immobiliaria Colonial	BBVA
Amecostm	Aena	Berbán	Sacyr	Siemens Gamesa	Sacyr	Solarte	Endesa	Enagás	Sacyr
Red Eléctrica	Naturgy	Solarte	Bank Sabadell	Inditex	Acronos	Acciona Energía	Fluixa	Magis	Magis
Endesa	Inditex	Sacyr	Amecostm	Berbán	Endesa	Red Eléctrica	Inditex	Marin Properties	Amecostm
Cellex	Endesa	Acciona	Enagás	Pharma Mar	Repsol	Enagás	Moltà Hotels	Aena	Siemens Gamesa
Berbán	Naturgy	Solarte	Bank Sabadell	Acronos	Inditex	Aena	Red Eléctrica	Axa	Axa
Acciona Energía	Acronos	Pharma Mar	Acronos	Amecostm	Magis	Magis	Acciona	Pharma Mar	Pharma Mar
Enagás	Solarte	Acciona Energía	BBVA	Amecostm	Immobiliaria Colonial	Axa	Berbán	Axa	Endesa
Marin Properties	Magis	Siemens Gamesa	Red Eléctrica	Acciona Energía	Berbán	Inditex	Cellex	Acciona	Inditex
Immobiliaria Colonial	Berbán	Cellex	Axa	Rovi	Axa	Rovi	Cellex	Ferrovial	Inditex
Inditex	Inditex	Endesa	Ferrovial	Cellex	Cellex	Naturgy	Rovi	Acronos	Rovi
Inditex	Amecostm	Bank Sabadell	Naturgy	Magis	Amecostm	Ferrovial	Marin Properties	Magis	Inditex
Ferrovial	Acciona	Fluixa	Endesa	IAG	Naturgy	Amecostm	Siemens Gamesa	Naturgy	Enagás
Axa	Fluixa	Rovi	Inditex	Inditex	IAG	Inditex	Axa	Acciona Energía	Berbán
Solarte	Marin Properties	BBVA	Pharma Mar	Sacyr	Marin Properties	Acciona	Inditex	Inditex	Bank Sabadell
Inditex	Enagás	Inditex	Inditex	Berbán	Acciona	Cellex	Immobiliaria Colonial	Moltà Hotels	Solarte
Sacyr	Amecostm	Inditex	Cellex	Axa	Cellex	Berbán	Pharma Mar	Endesa	Bank Sabadell
Rovi	Inditex	Magis	Berbán	Solarte	Red Eléctrica	Endesa	Grifols	Berbán	Naturgy
Aena	Cellex	Axa	Fluixa	Red Eléctrica	Acciona Energía	Fluixa	Bank Sabadell	IAG	Red Eléctrica
IAG	Acciona Energía	Ferrovial	Siemens Gamesa	Endesa	Acronos	Berbán	Magis	Cellex	Cellex
Magis	Grifols	Immobiliaria Colonial	Acciona	Ferrovial	Bank Sabadell	BBVA	Amecostm	Berbán	Immobiliaria Colonial
Cellex	BBVA	Amecostm	Inditex	Marin Properties	Ferrovial	Immobiliaria Colonial	BBVA	Amecostm	Fluixa
Bank Sabadell	Cellex	Cellex	IAG	Inditex	Inditex	Pharma Mar	IAG	Acciona	Aena
Fluixa	Berbán	Marin Properties	Amecostm	Immobiliaria Colonial	Siemens Gamesa	Sacyr	Fluixa	Inditex	Berbán
Bank Sabadell	IAG	Moltà Hotels	Marin Properties	Aena	Amecostm	Aena	Acronos	Bank Sabadell	Marin Properties
BBVA	Siemens Gamesa	Bank Sabadell	Aena	Enagás	BBVA	Repsol	Cellex	Bank Sabadell	Ferrovial
Repsol	Bank Sabadell	Inditex	Bank Sabadell	Acciona	Solarte	Marin Properties	Bank Sabadell	BBVA	Inditex
Acronos	Bank Sabadell	Grifols	Cellex	Naturgy	Rovi	Acciona Energía	Amecostm	Sacyr	Cellex
Amecostm	Pharma Mar	Aena	Magis	Grifols	Fluixa	Moltà Hotels	Berbán	Siemens Gamesa	IAG

Valor final de la inversión para cada empresa

	Nombre	Valor
0	Siemens Gamesa	1177.110818
1	Caixabank	1132.686084
2	Bankinter	1106.642729
3	Inditex	1096.948819
4	Acciona Energía	1055.232558
5	Banco Sabadell	1011.529593
6	Repsol	1001.894657
7	BBVA	998.701558
8	Acs	965.798046
9	Indra	952.432432
10	Ferrovial	932.570494
11	Iberdrola	913.080977
12	Sacyr	909.523810
13	Acciona	880.296610
14	Mapfre	855.789474
15	Acerinox	854.292624
16	Amadeus	843.200271
17	Banco Santander	839.545167

	Nombre	Valor
18	Naturgy	825.269753
19	Red Eléctrica	818.916734
20	Arcelormittal	788.663283
21	Endesa	749.244713
22	Enagás	742.675781
23	Merlin Properties	729.205176
24	IAG	728.242560
25	Aena	709.439033
26	Pharma Mar	703.800786
27	Rovi	698.240000
28	Solaria	683.105238
29	Telefónica	670.588235
30	Cellnex	638.015064
31	Meliá Hotels	629.592566
32	Inmobiliaria Colonial	597.047970
33	Grifols	501.047443
34	Fluidra	472.350230

Grafos de competitividad: detección de comunidades mediante el algoritmo de Girvan-Newman y aplicación al estudio del IBEX 35

Trabajo Fin de Grado

Grado en Matemáticas – Curso 2022-2023

Autor: *Daniel Recuero Cordobés*

Tutor: *Regino Criado Herrero*



Universidad
Rey Juan Carlos

Escuela Técnica Superior
Ingeniería Informática