Seminario de profundización
Grafos

Andrés Camilo Serna

acserna@danalyticspro.co

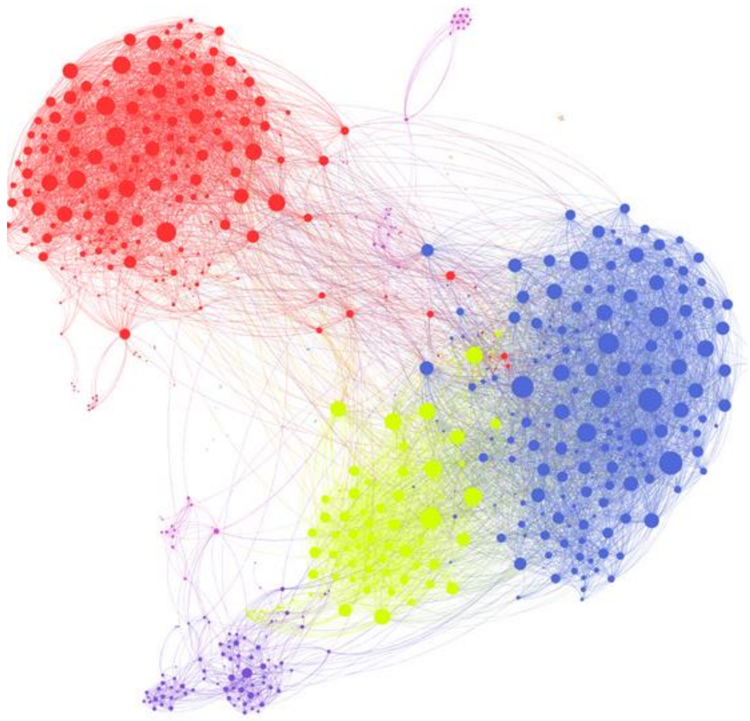
UNIVERSIDAD ICESI

Agenda

- Grafos – teoría
  - Tipos
  - Representaciones
- Grafos – aplicaciones
- Ejercicio en python

Redes
Network Analysis

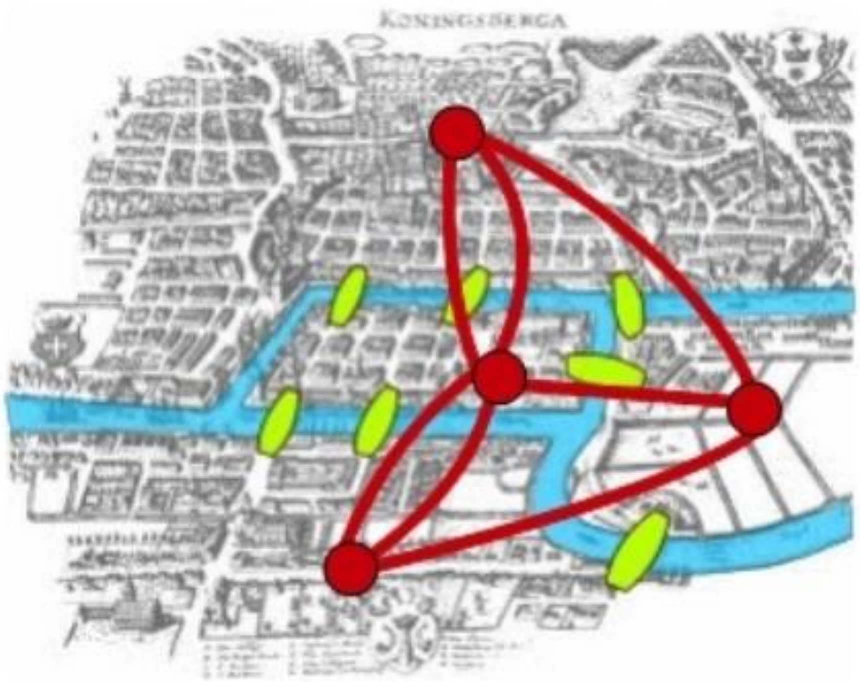
Teoría



Introducción

- Las ideas básicas fueron presentadas por el matemático suizo Leonhard Euler en el siglo **XVIII**.
- Las utilizó para resolver el famoso problema de los puentes de Könisberg.
- Los grafos se emplean para, por ejemplo:
  - Determinar si se puede o no implementar un circuito sobre una placa de una sola capa
  - Diferenciar dos compuestos químicos con la misma formula molecular, pero diferente estructura
  - Estudiar la estructura de la Red de Internet
  - Y muchas más aplicaciones

Puentes de Könisberg



- https://www.youtube.com/watch?v=m_IT0RNZRw8

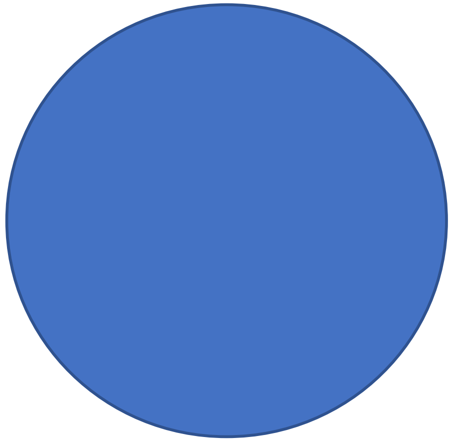
Elementos de un grafo

- Nodos (actors/nodes/vertices/points):

Los nodos siempre representan a los agentes del fenómeno que se esté analizando

Puede ser:

- Personas
- Países
- Compañias
- Libros/artículos



Elementos de un grafo

Aristas (ties/edges/arcs/lines/links):

Línea que representa la conexión entre un par de nodos

- Simboliza diferentes tipos de relaciones:
  - Amistad/enemistad
  - Contractuales
  - Alianzas

- Simbolizan el flujo de:
  - Mensajes
  - Correos
  - Dinero
  - Enfermedades
  - Productos

Datos

- Lista de nodos y sus características
- Identificador único!

	A	B	C
1	Node List		
2			
3	**Name**	**Neighbors**	**Comment**
4	Anna	3	At a corner
5	Ben	3	At a corner
6	Chris	4	At a middle corner
7	Dan	4	At a middle corner
8	Elena	2	At the head

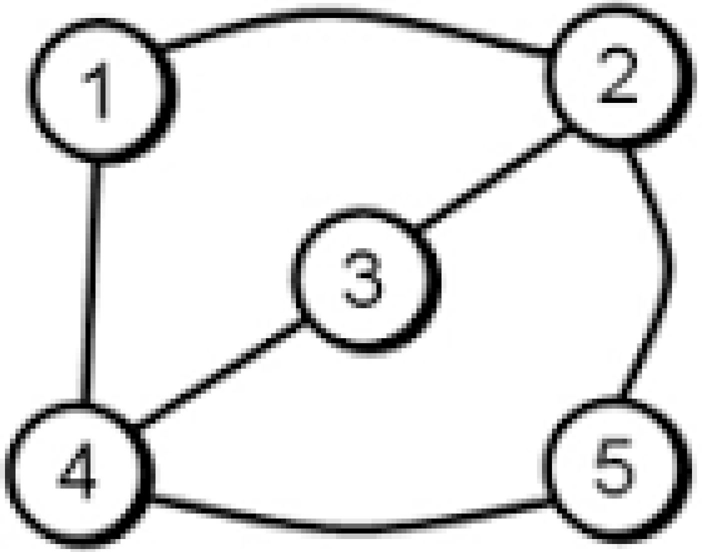
- Lista de adyancencia: define las relaciones entre los nodos

	A	B	C	D
1	Edge List			
2				
3	**Source**	**Target**	**Weight**	**Labels**
4	Anna	Ben	2.00	Work
5	Anna	Chris	3.50	Work
6	Anna	Dan	1.00	Hobby
7	Ben	Chris	1.50	Work
8	Ben	Dan	2.00	Hobby
9	Chris	Dan	5.00	Work
10	Chris	Elena	4.33	Hobby
11	Dan	Elena	2.00	Hobby

Fuente:https://yed.yworks.com/support/manual/import_excel.html

Datos

Matriz de adyancencia: define las relaciones entre los nodos



	1	2	3	4	5
1	0	1	0	1	0
2	1	0	1	0	1
3	0	1	0	1	0
4	1	0	1	0	1
5	0	1	0	1	0

Fuente:https://www.codediesel.com/algorithms/building-a-adjacency-matrix-of-a-graph/

¿Existe una única matriz de adyacencia para representar una red?

Matrices de adyacencia

- Sea G = (V,E) es un grafo simple con |V|=n. Enumeramos los vértices de G de manera arbitraria como v1,v2,…,vn. La matriz de adyacencia A (o AG) de G con respecto a este listado de los vértices es la matriz booleana nxn que tiene un 1 en la posición (i,j), si vi y vj son adyacentes, y tiene un 0 en la posición (i,j), si v y v no son adyacentes.

  También se expresa como: si la matriz de adyacencia es A = [Aij], entonces:

- $$a_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ si } \{v_i, v_j\} \text{ es una arista de G,} \\ 0 \text{ en caso contrario} \end{cases}$$

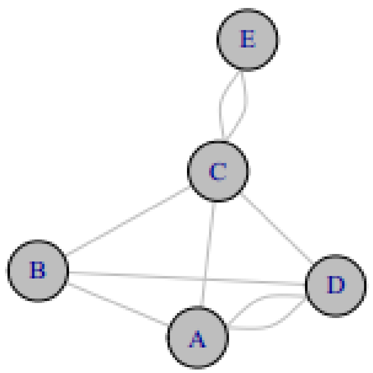
Matrices de Adyacencia

- Las matrices de adyacencia pueden usarse para representar grafos dirigidos con bucles y con aristas múltiples.
- Un bucle en el vertice ai se representa por medio de un 1 en la posición (i,i) de la matriz de adyacencia.
- Cuando hay aristas múltiples, la matriz de adyacencia deja de ser booleana, ya que el elemento en la posición (i,j) de esta matriz es igual al número de aristas asociadas con {ai,aj}

Existen distintos tipos de grafos, que se diferencian entre sí por el tipo y el número de aristas que pueden conectar cada par de vértices.

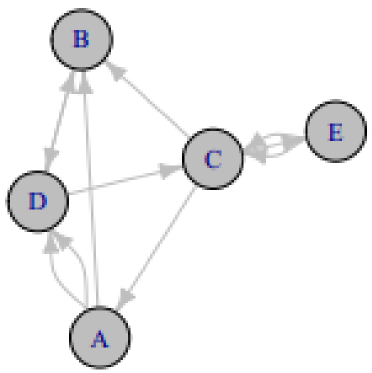
Tipos de grafos de acuerdo a la dirección de la arista

Grafo no dirigido



Ejemplos
1. Matrimonios
2. Alianzas
3. Grupos de trabajo
4. Red de carrteras que conecta ciudades

Grafo dirigido

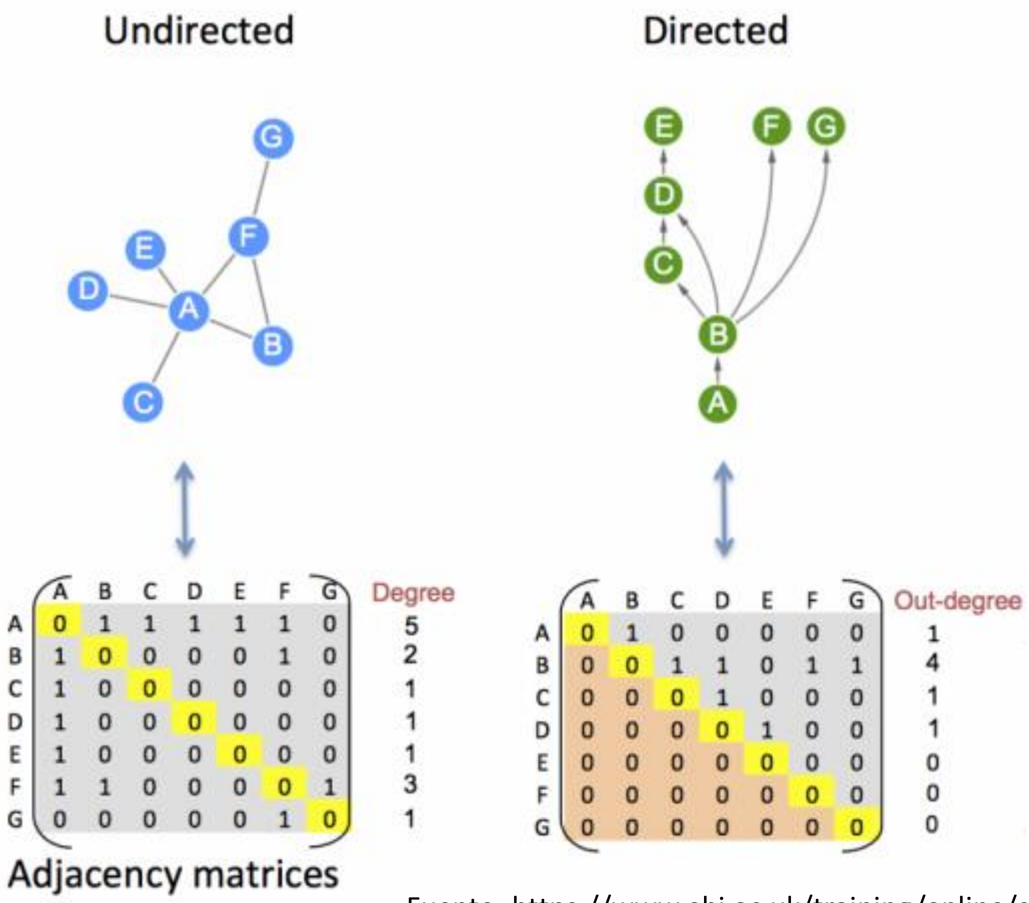


Ejemplos
1. Jefe – Empleado
2. Tutor tesis – estudiante
3. Personas – Amistad

"Relaciones asimétricas"

¿Cómo serán las matrices de adyacencia?

Tipos de grafos de acuerdo a la dirección de la arista



¿Quién es el sender y quién es el receiver?

Fuente: https://www.ebi.ac.uk/training/online/course/network-analysis-protein-interaction-data-introduction/introduction-graph-theory/graph-0

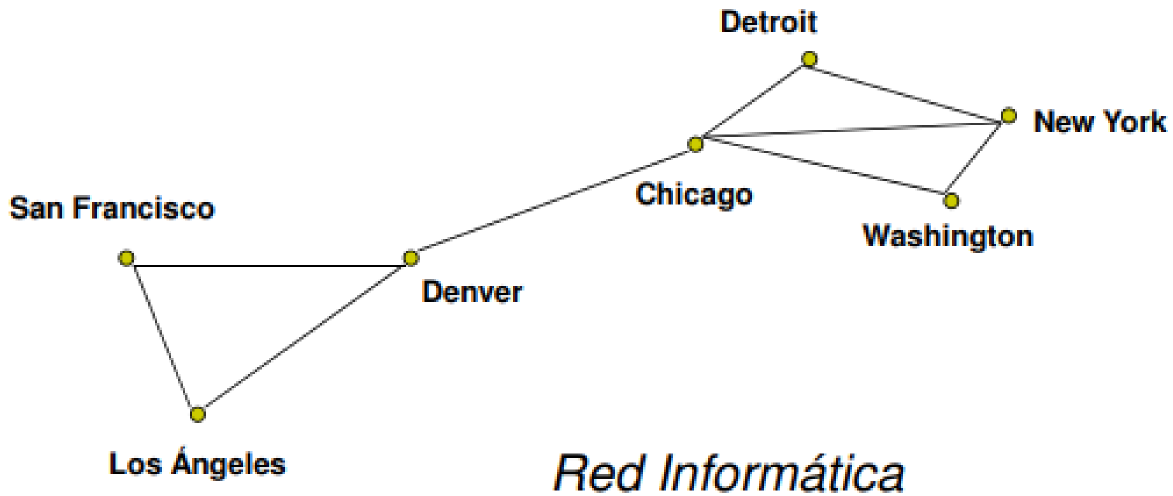
Tipos de grafos

Tipo	Aristas	¿Se admiten aristas múltiples?	¿Se admiten bucles?
Grafo simple	No dirigido	NO	NO
Multigrafo	No dirigido	SÍ	NO
Pseudografo	No dirigido	SÍ	SÍ
Grafo dirigido	Dirigida	NO	SÍ
Multigrafo dirigido	Dirigida	SÍ	SÍ

Veamos uno a uno

Grafo simple

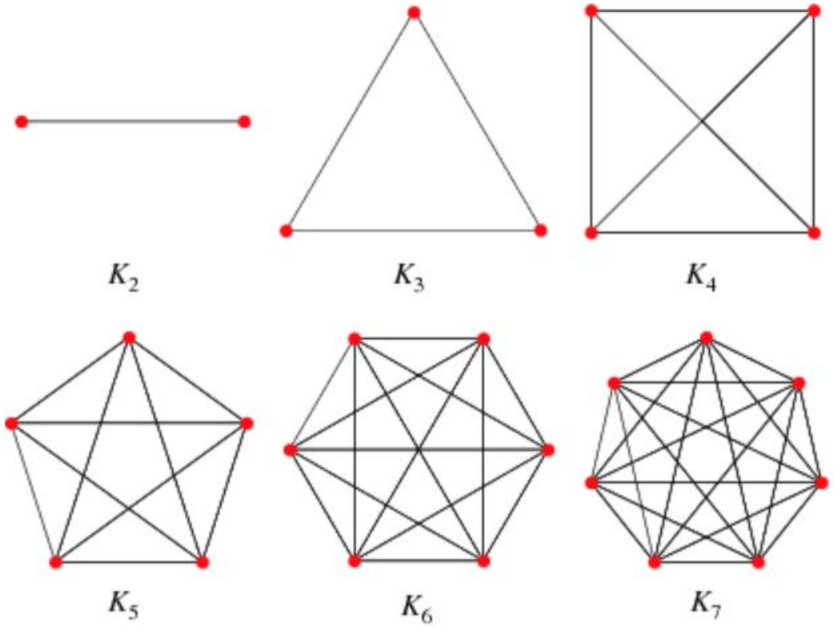
- **Un grafo simple** G = (V,E) consta de V, un conjunto no vacío de vértices, y de E, un conjunto de pares no ordenados de elementos de V. A estos pares se les llama aristas.



Red Informática

Tipos de grafos simples

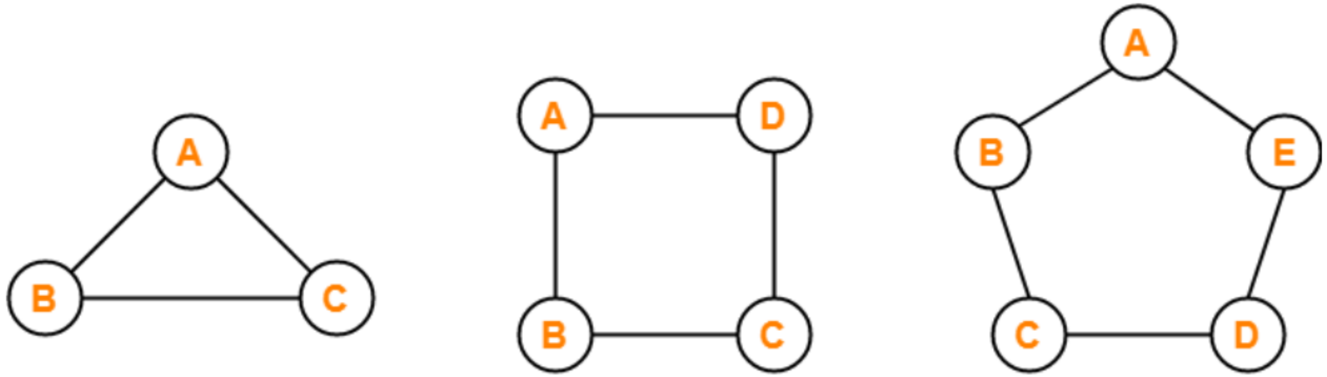
- **Grafos Completos**
  Un grafo completo de n vértices, que se denota por Kn, es el grafo simple que contiene exactamente una arista entre cada par de vértices distintos



http://mathworld.wolfram.com/CompleteGraph.html

Tipos de grafos simples

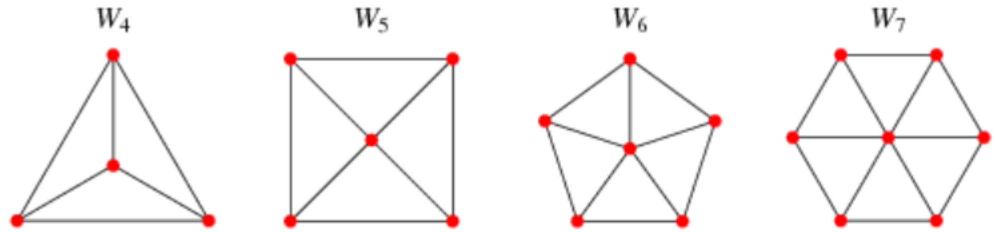
- **Ciclos**
  El ciclo Cn, n≥3, consta de n vértices v1, v2, …, vn y aristas {v1,v2}, {v2,v3}, …, {vn-1,vn} y {vn,v1}



Fuente: https://www.gatevidyalay.com/graphs-types-of-graphs/

Tipos de grafos simples

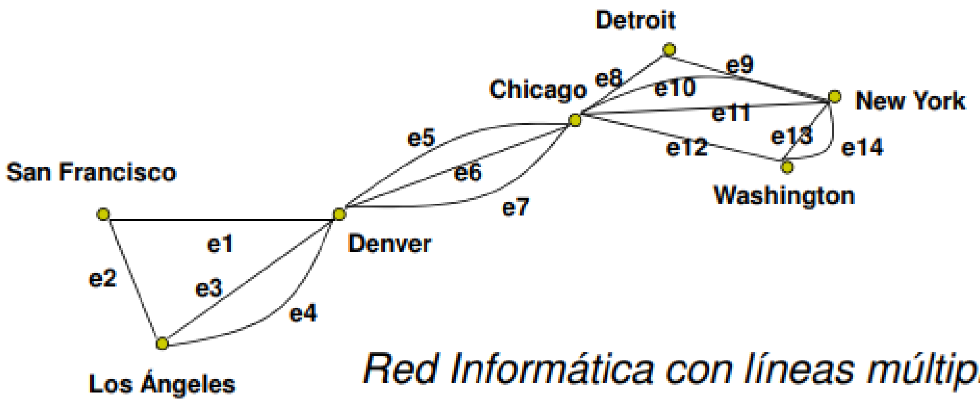
- Ruedas
- Obtenemos la rueda Wn cuando añadimos un vértice adicional al ciclo Cn, para n≥3, y conectamos este nuevo vértice con cada uno de los *n* vértices de C n mediante una nueva arista



Fuente: http://mathworld.wolfram.com

Multigrafo

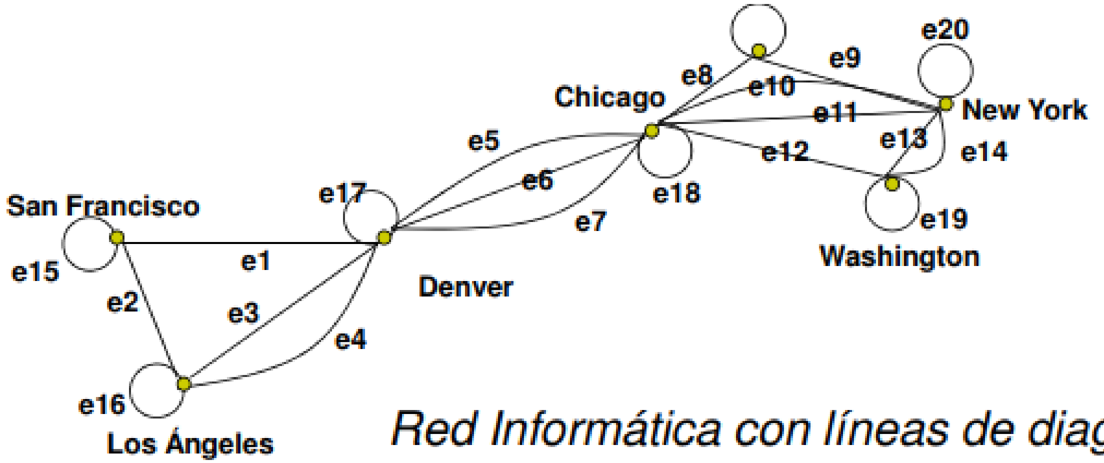
- Un **multigrafo** G = (V,E) consta de un conjunto V de vértices, un conjunto E de aristas y una función *f* de E en {{u,v} | u,v ϵ V, u ≠ v}. Se dice que las aristas e1 y e2 son aristas múltiples o paralelas si f(e1) = f(e2).



Red Informática con líneas múltiples

Pseudografo

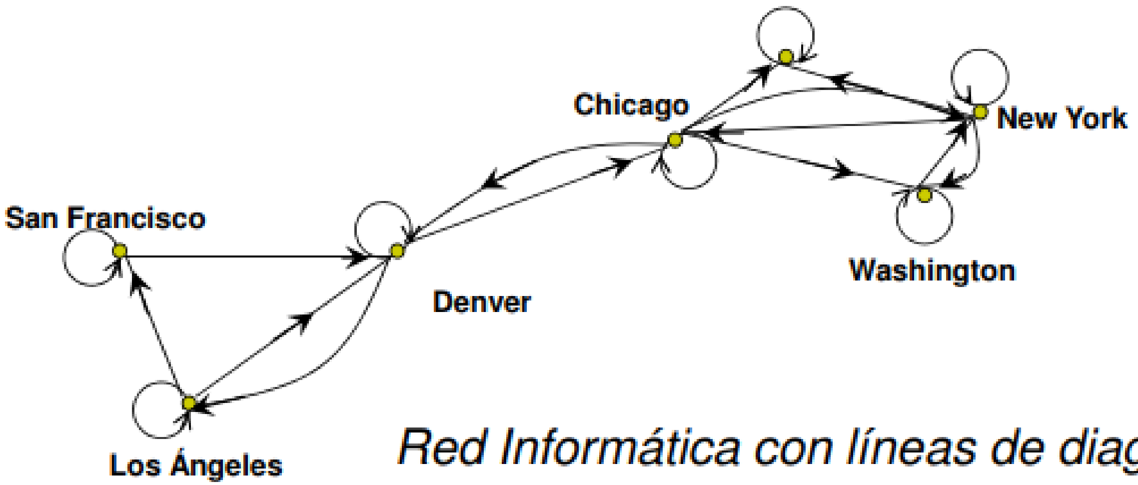
- Un **pseudografo** G = (V,E) consta de un conjunto V de vértices, un conjunto E de aristas y una función *f* de E en {{u,v} | u,v є V }. Una arista *e* es un bucle, o lazo, si f(e) = { u, u } = { u } para algún *u* є V.



Red Informática con líneas de diagnóstico

Grafo dirigido

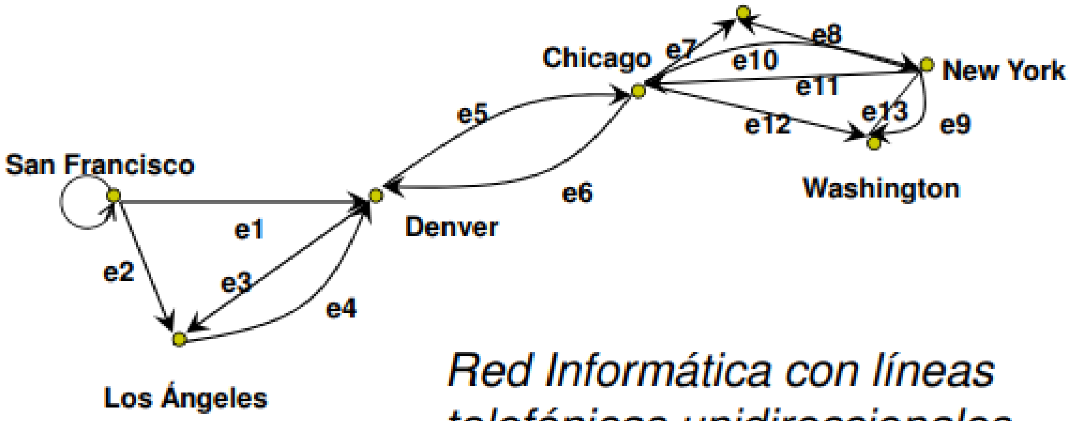
- **Un grafo dirigido** (V,E) consta de un conjunto V de vértices y de un conjunto E de aristas, que son pares ordenados de elementos de V.



Red Informática con líneas de diagnóstico

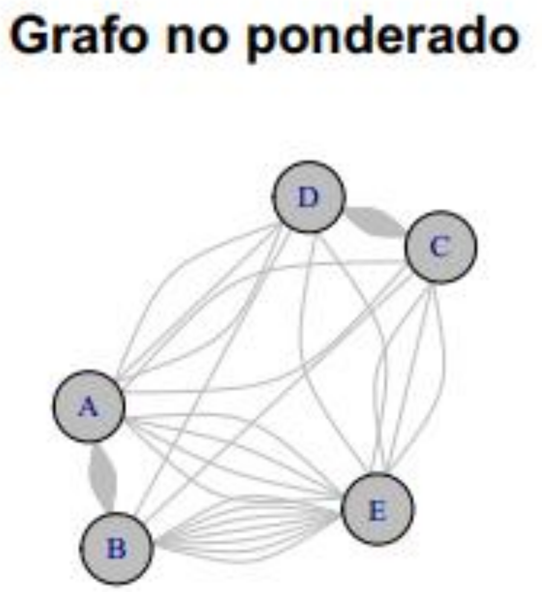
Multigrafo dirigido

- **Un multigrafo dirigido** G = (V,E) consta de un conjunto V de vértices, un conjunto E de aristas y una función *f* de E en {(u,v) | u,v ϵ V }. Se dice que las aristas e1 y e2 son aristas múltiples si f(e1) = f(e2)

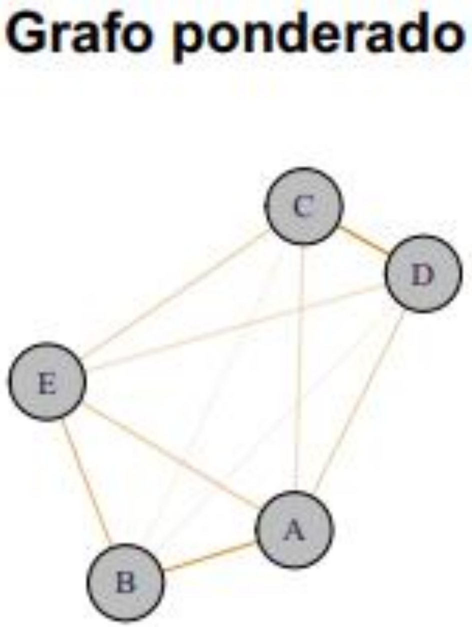


Red Informática con líneas telefónicas unidireccionales

Tipos de grafos

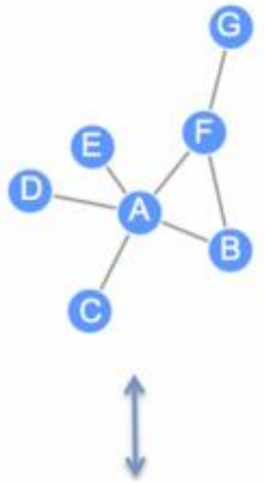


Binary network



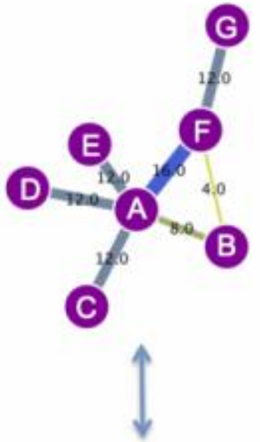
Value network or weighted network

Tipos de grafos



	A	B	C	D	E	F	G
A	0	1	1	1	1	1	0
B	1	0	0	0	0	1	0
C	1	0	0	0	0	0	0
D	1	0	0	0	0	0	0
E	1	0	0	0	0	0	0
F	1	1	0	0	0	0	1
G	0	0	0	0	0	1	0

Adjacency matrices

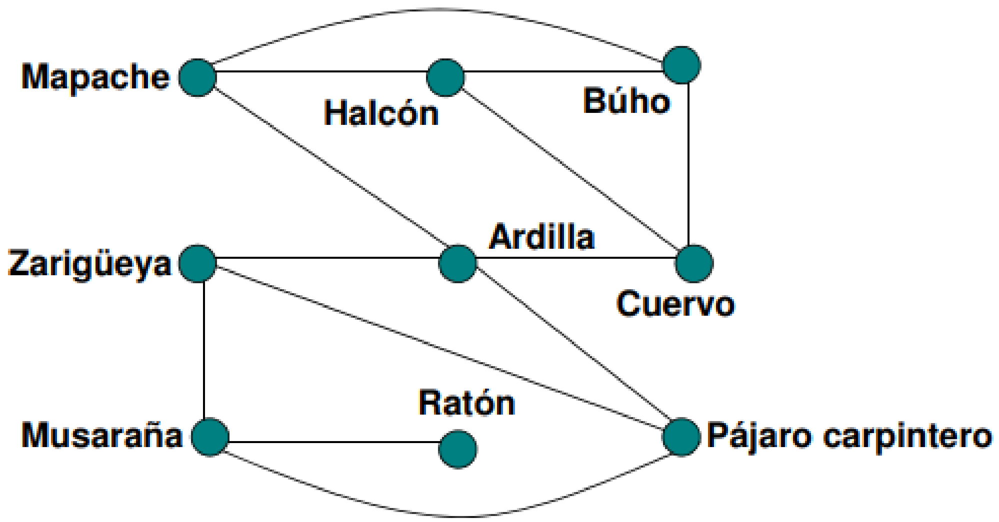


	A	B	C	D	E	F	G
A	0	8	12	12	12	16	12
B	8	0	0	0	0	4	0
C	12	0	0	0	0	0	0
D	12	0	0	0	0	0	0
E	12	0	0	0	0	0	0
F	16	4	0	0	0	0	12
G	12	0	0	0	0	12	0

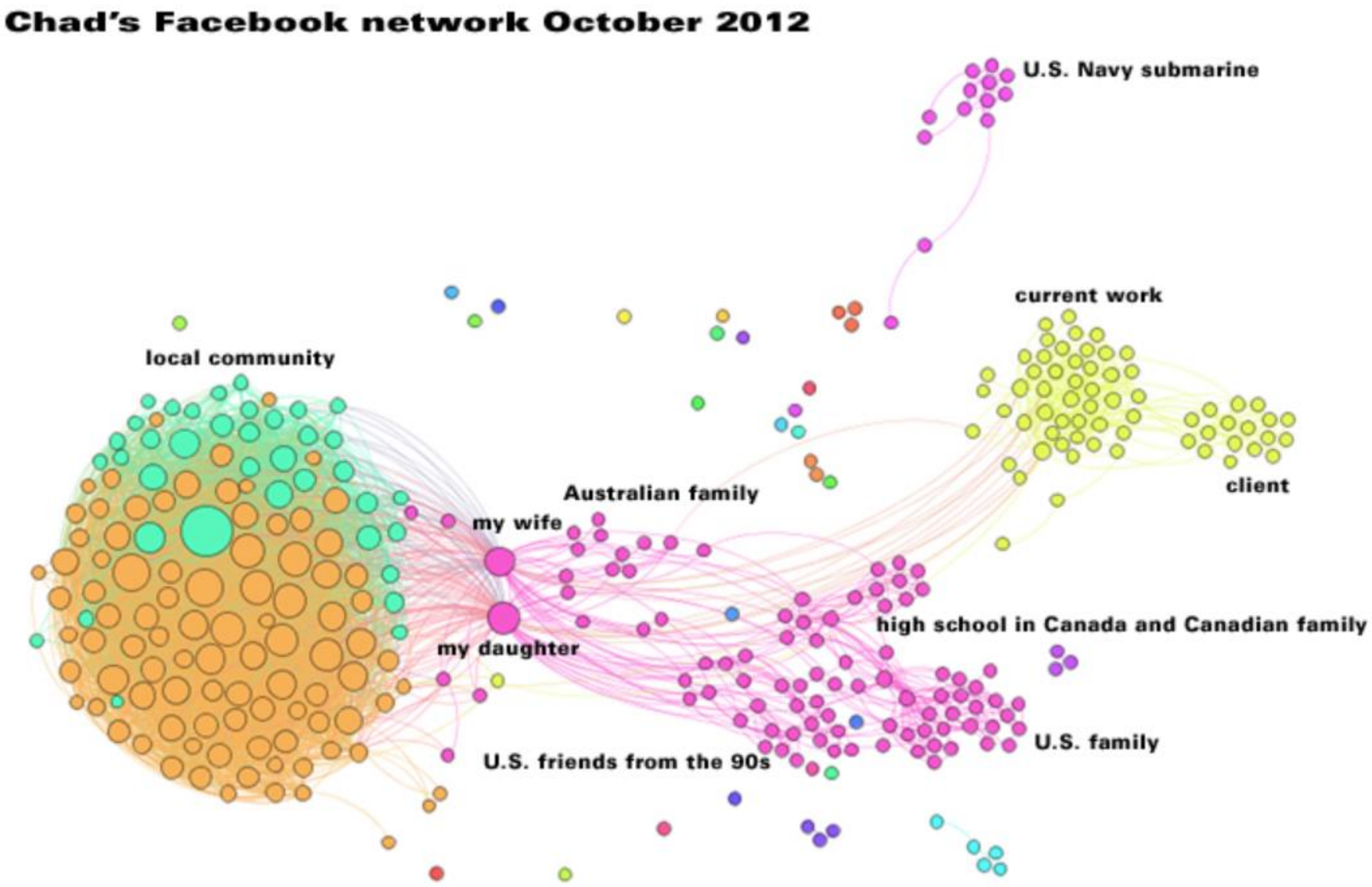
Fuente: https://www.ebi.ac.uk/training/online/course/network-analysis-protein-interaction-data-introduction/introduction-graph-theory/graph-0

Modelos con grafos

- **Grafos de solapamiento de nichos en Ecología**
  Una arista no dirigida conecta dos vértices si las dos especies representadas por esos vértices compiten entre sí .



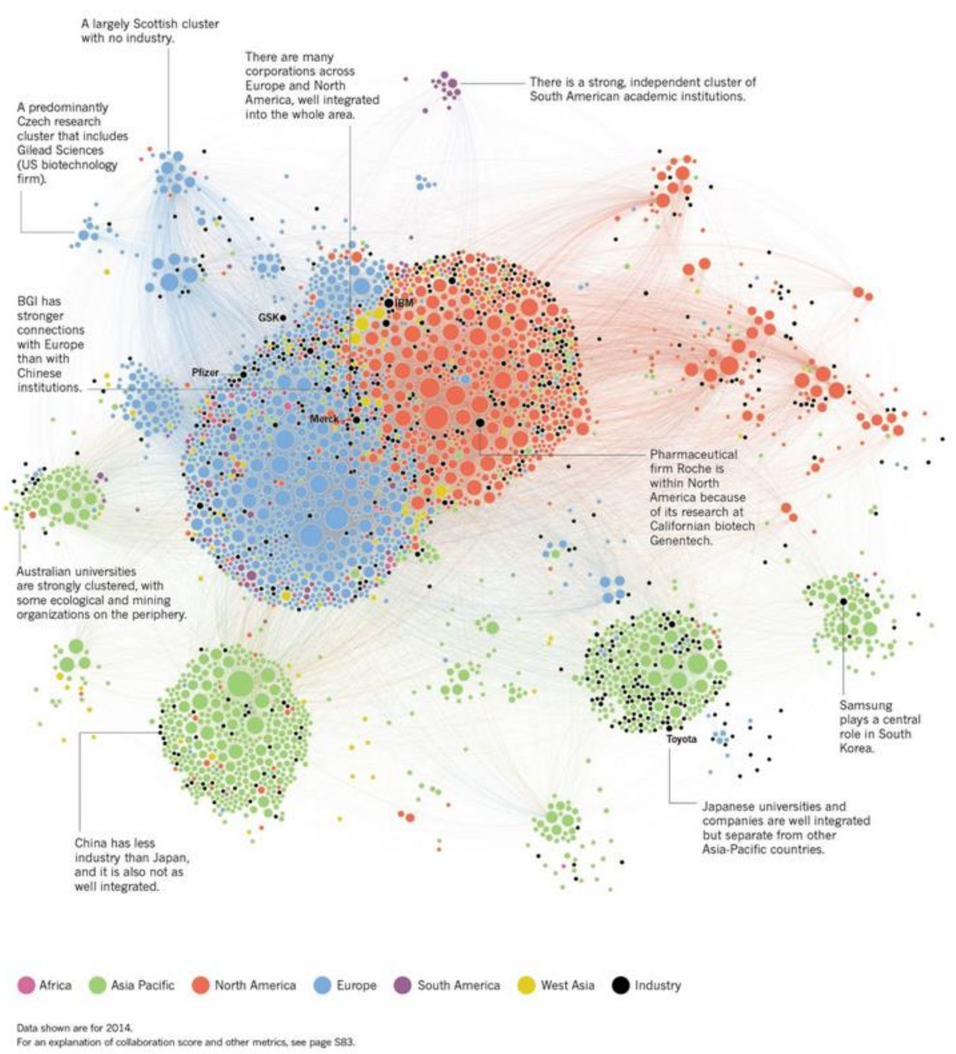
- **Grafos de conocidos**
  Se utilizan para representar relaciones entre personas.
  Cada vértice representa una persona y las aristas conectan las personas que se conocen



Fuente:https://www.sidewaysthoughts.com/blog/2012/10/facebook-social-network-analysis-with-gephi-mooc-musings-on-the-value-of-relationships/

Modelos con grafos

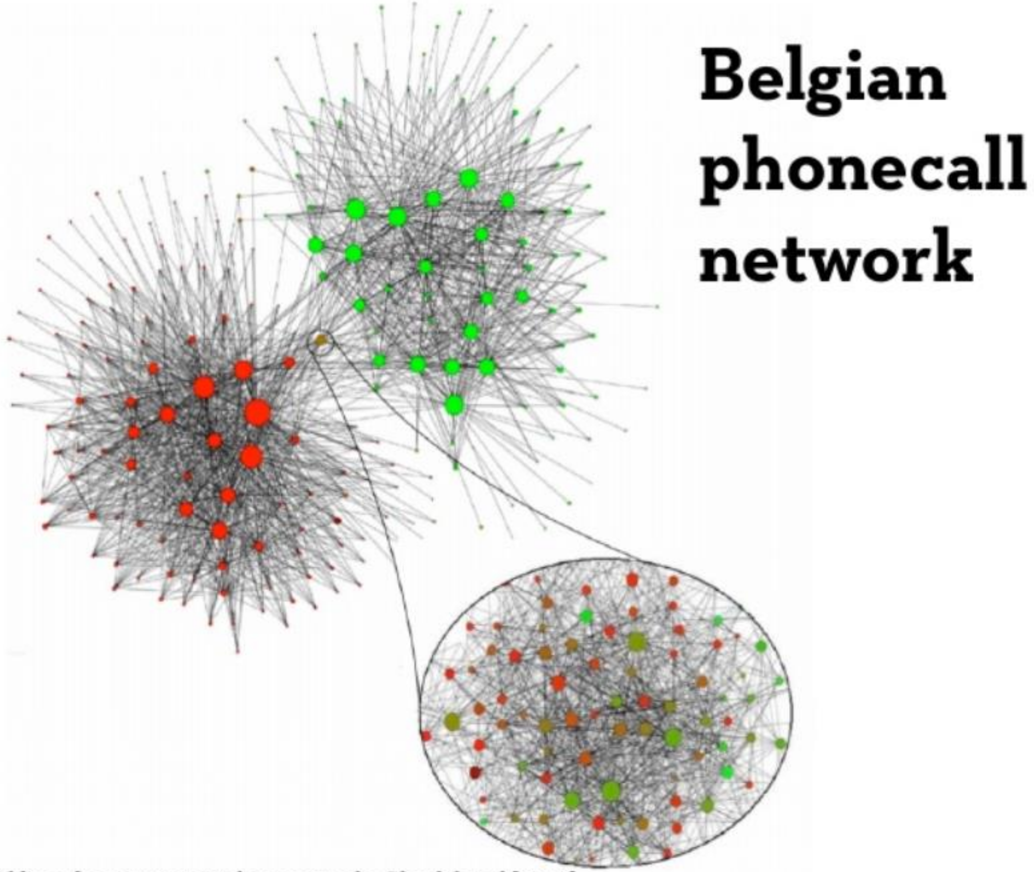
- **Grafos de influencia.** Representa influencias de unas personas sobre otras.
- **Grafo de Hollywood.** Actores y si han trabajado juntos en películas.
- **Torneos de todos contra todos.** Equipos y quien le ha ganado a quien.
- **Grafos de colaboración.** Personas y colaboración en artículos de investigación



Fuente: https://www.digital-science.com/blog/news/visualising-global-scientific-collaboration/

Modelos con grafos

- **Grafos de Llamadas.** Representan las llamadas telefónicas en una red.
- **El grafo de la Web**. La Web se puede representar como un grafo donde cada vértice es un recurso que se puede obtener a través de una url. Y existe una arista de un vértice a otro si existe un enlace de una página a la otra.
- **Grafos de precedencia y procesamiento concurrente**. Puede representar la dependencia de ejecución de sentencias con respecto a otras previas



Fast unfolding of communities in large networks, Blondel et al [2008]

They used these calls to construct a "call graph". They were able to develop a community-detection algorithm that could detect the two separate clusters of Dutch and French speakers that were mostly only calling each other. The algorithm achieved this simply by analysing the shape of the graph. It knew nothing about French, Dutch or phone calls.

Fuente: https://www.slideshare.net/mattb/place-graphs-are-the-new-social-graphs

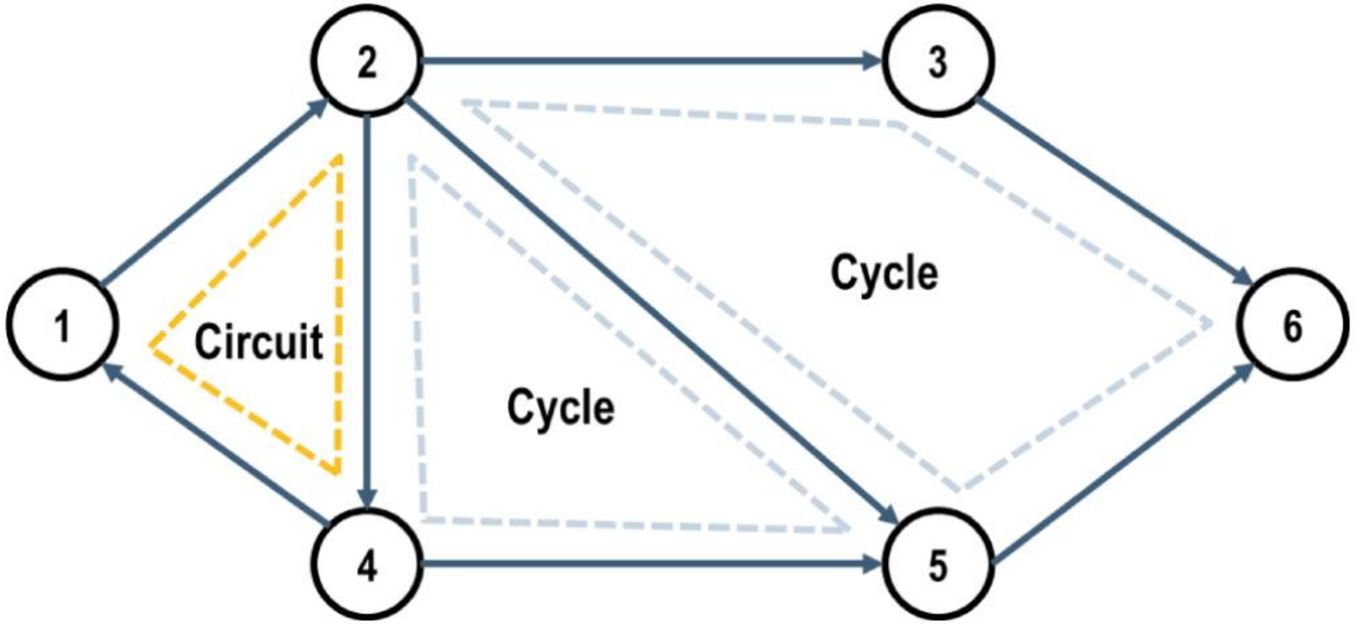
UNIVERSIDAD ICESI

Otros conceptos: Caminos

- Un camino es una secuencia de aristas que comienzan en un vértice del grafo y recorre ciertas aristas del grafo siempre conectando pares de vértices adyacentes.
- Sea n un entero no negativo y sea G un grafo no dirigido. Un camino de longitud n de *u* a *v* en G es una secuencia de n aristas a1,a2,…,an de G tal que *f*(a1)={x0,x1}, *f*(a2)={x1,x2}, …, f(an)={xn-1,xn}, donde x0=u y Xn=v.
- Si el grafo es simple, denotamos este camino por su secuencia de vértices: x0,x1,…,xn (ya que el enumerar estos vértices determina el camino de forma única)

Otros conceptos: Circuitos

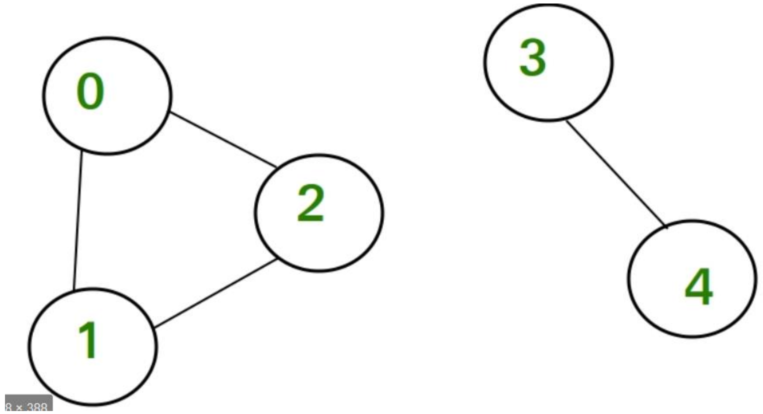
- El camino es un circuito si comienza y termina en el mismo vértice, esto es, si u=v, y tiene longitud mayor que cero.
- Se dice que el camino o circuito pasa por los vértices x1,x2,…,xn-1 o también que recorre las aristas a1,a2,…,an.
- Un camino o circuito es simple si no contiene la misma arista más de una vez.



https://transportgeography.org/?page_id=6023

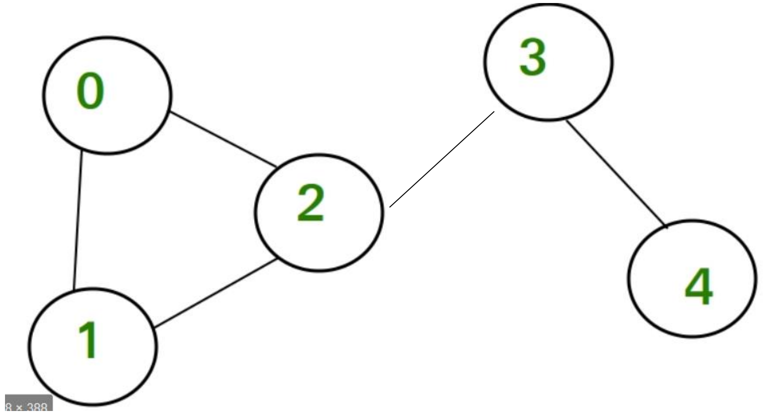
Otros conceptos: Conexión entre grafos no dirigidos

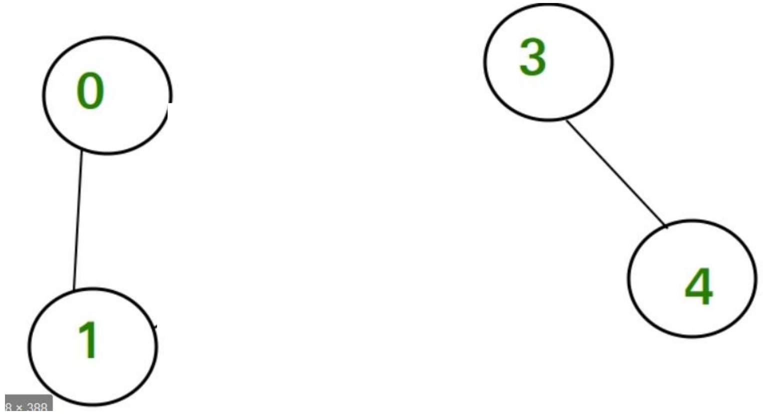
- Se dice que un grafo no dirigido es conexo si hay un camino entre cada par de vértices distintos del grafo.
- Hay un camino simple entre cada par de vértices distintos de un grafo no dirigido conexo.
- Un grafo que no es conexo, es la unión de dos o más subgrafos conexos que no tienen ningún vértice en común



Otros conceptos: corte y articulación

- Se le llama vértice de corte o punto de articulación a aquel que al ser eliminado junto a todas las aristas incidentes en él produce un subgrafo con más componentes conexas.
- Eliminar un vértice de corte de un grafo conexo produce un grafo que no es conexo.
- De manera análoga, una arista cuya eliminación produce un grafo con más componentes conexas que el grafo original se llama arista de corte o puente

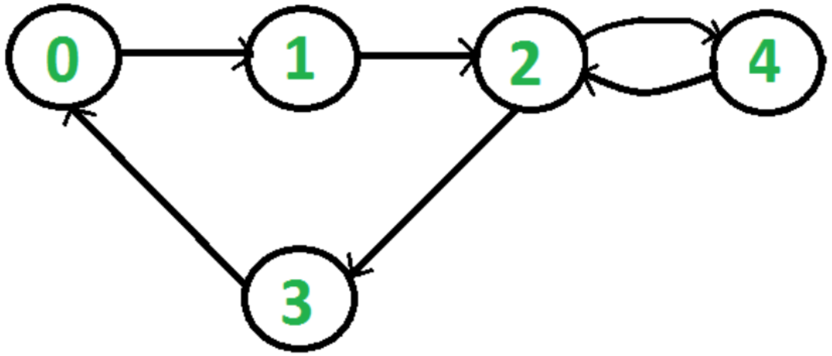


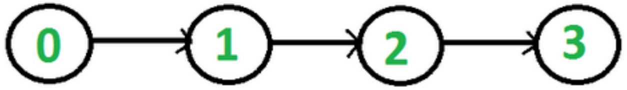


UNIVERSIDAD ICESI

Otros conceptos: Conexión en grafos dirigidos

- Dependiendo si se considera o no la dirección de las aristas, pueden ser fuerte o débilmente conexo:
- Se dice que un grafo dirigido es fuertemente conexo si hay un camino de **a** a **b** y un camino de **b** a **a** para cualquiera dos vértices **a** y **b** del grafo.
- Se dice que un grafo dirigido es débilmente conexo si hay un camino entre cada dos vértices del grafo no dirigido subyacente

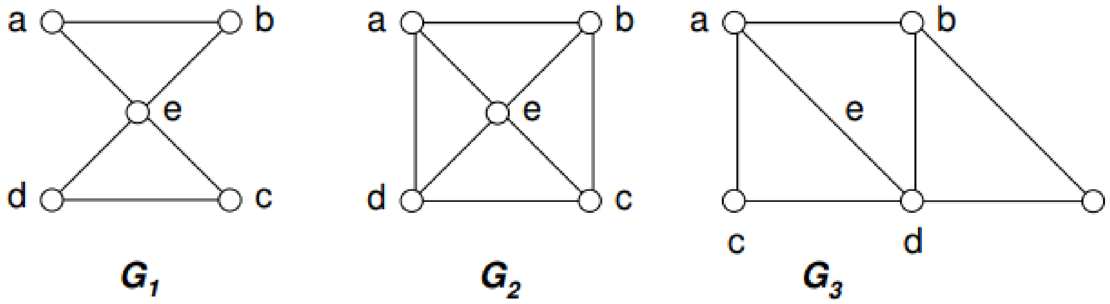




https://www.geeksforgeeks.org/connectivity-in-a-directed-graph/

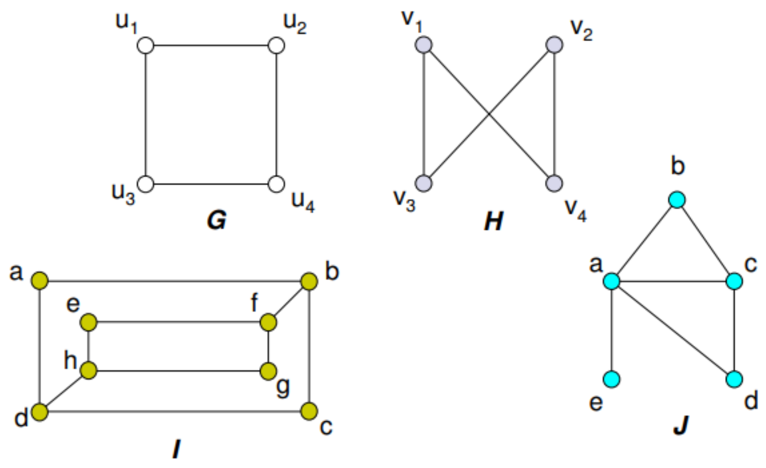
Circuitos y caminos eulerianos

- Un circuito euleriano de un grafo G es un circuito simple que contiene a todas las aristas (líneas) de G.
- Un camino euleriano es un camino simple que contiene a todas las aristas de G



Condición necesaria para un circuito euleriano

- Un multigrafo conexo contiene un circuito euleriano si, y solo si, cada uno de sus vértices tiene grado par



Algoritmos para construcción de circuitos eulerianos: algoritmo de fleury

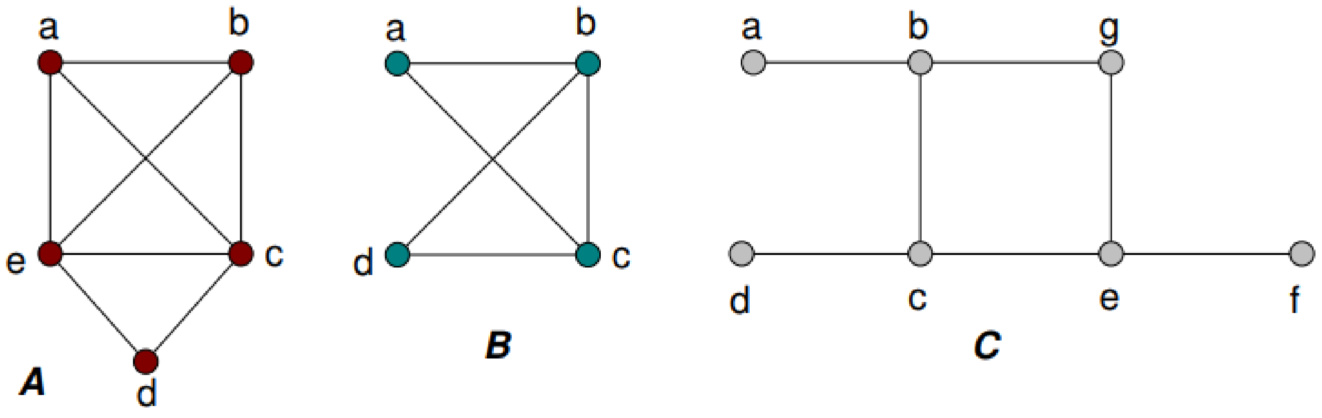
- Construye circuitos eulerianos sobre multigrafos conexos.
- Empieza en un vértice arbitrario y forma un circuito eligiendo aristas sucesivamente.
- Una vez se ha elegido una arista, ésta se elimina.
- Las aristas se eligen sucesivamente de manera que cada arista comienza donde acaba la anterior y de modo que la arista elegida no sea arista de corte salvo que no haya otra alternativa

- Ejemplo: https://www.youtube.com/watch?v=vvP4Fg4r-Ns (desde 1:15)

Caminos y circuitos hamiltonianos

- De manera análoga a los caminos eulerianos con las aristas, se presentan los caminos hamiltonianos con los vértices.
- Se dice que un camino x0,x1,…,xn-1,xn del grafo G = (V,E) es un camino hamiltoniano si V = {x0,x1,…,xn-1,xn} y xi≠xj para 0≤ i ≤ j ≤ n.
- Se dice que un circuito x0,x1,…,xn-1,xn (con n>1) del grafo G = (V,E) es un circuito hamiltoniano si x0,x1,…,xn-1,xn es un camino hamiltoniano

Caminos hamiltonianos

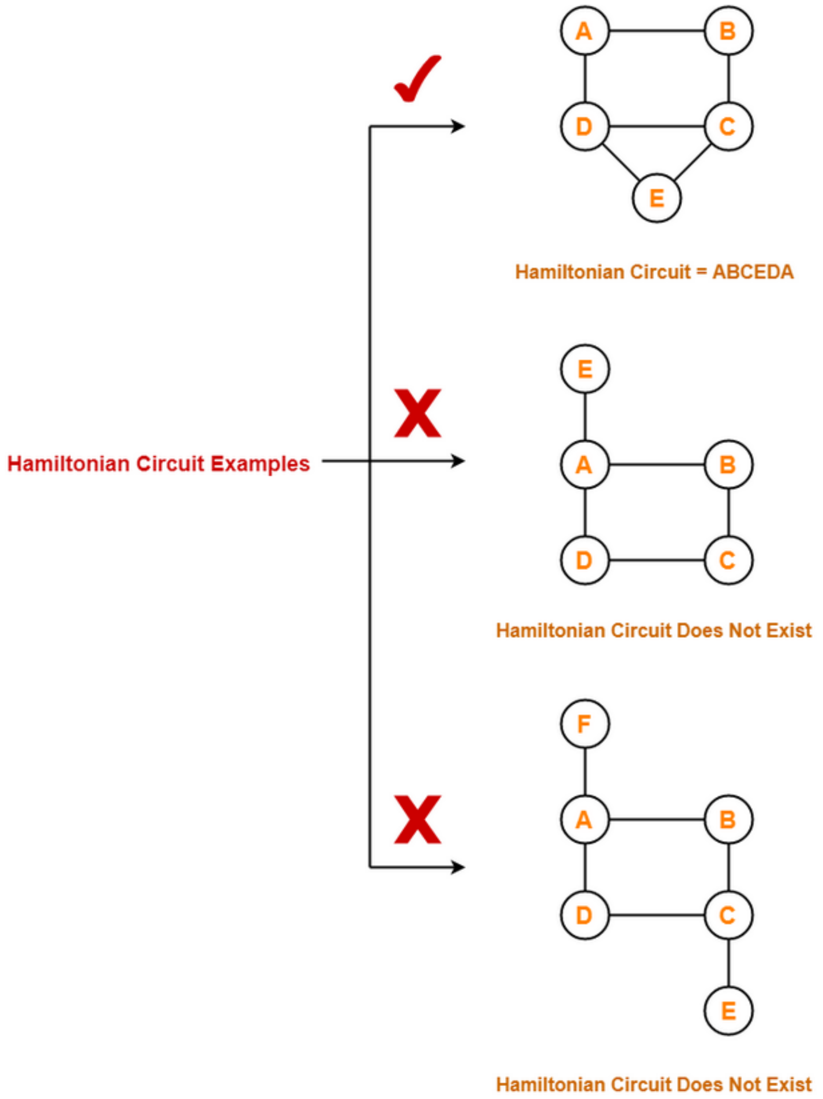


Determinar existencia de caminos hamiltonianos

- ¿Hay alguna forma de determinar si un grafo contiene o no un camino o un circuito hamiltoniano?
- No se conocen condiciones necesarias y suficientes para la existencia de circuitos hamiltonianos.
- Sin embargo, se conocen teoremas que proporcionan condiciones suficientes para la existencia de circuitos hamiltonianos

Propiedades de grafos con o sin caminos hamiltonianos

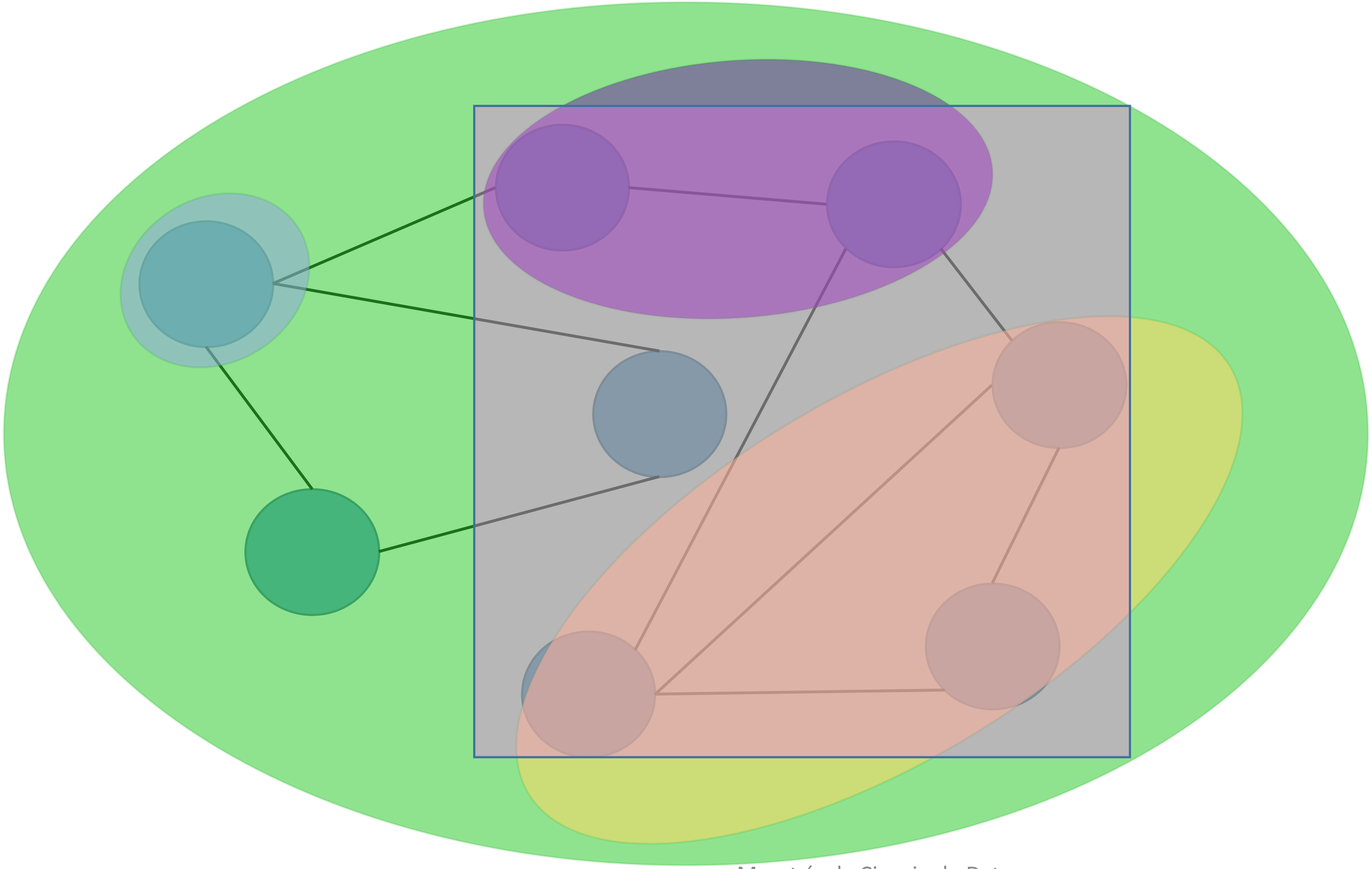
- Existen ciertas propiedades que se utilizan para demostrar que un grafo no contiene un circuito hamiltoniano.
- Si un grafo tiene un vértice de grado uno no puede tener un circuito hamiltoniano.
- Si un vértice del grafo tiene grado dos, entonces las dos aristas incidentes a ese vértice deben formar parte de un circuito hamiltoniano, si lo hay.



Propiedades de grafos con o sin caminos hamiltonianos

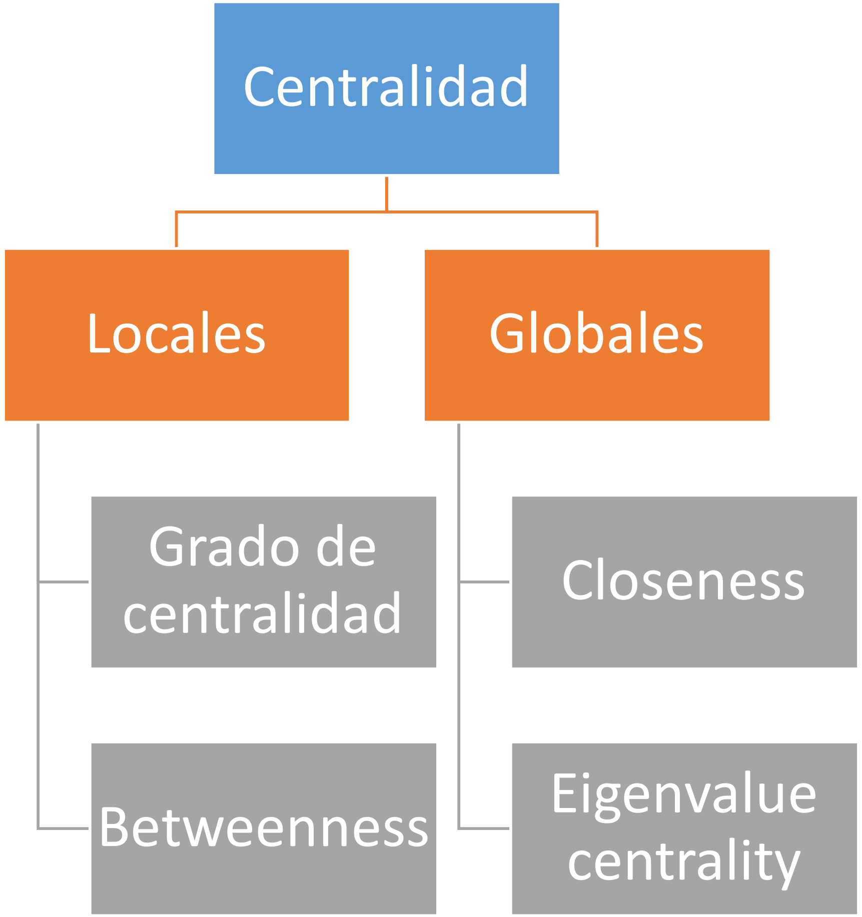
- Cuando construimos un circuito y se ha pasado por dicho vértice, se pueden descartar las aristas incidentes restantes a ese vértice.
- Un circuito hamiltoniano no puede contener a un circuito mas pequeño dentro de él.
- Cuantas más aristas tenga un grafo, es más probable que exista algún circuito hamiltoniano

Métricas para describir los grafos



Métricas para describir los grafos

Las métricas locales reflejan la influencia que tienen los nodos sobre los nodos más cercanos y resaltan a los nodos que pueden conectarse rápidamente con la red más amplia.



Las métricas globales toman en cuenta la totalidad de la red. De manera general, estas medidas identifican a aquellos agentes que están mejor ubicados para influir en toda la red lo más rápidamente posible.

Métricas centralidad locales

Grado de centralidad:
número de enlaces que tiene cada nodo
¿Quién conoce a más actores (nodos)?

- Enlace de entrada (in-degree)
- Enlaces de salida (out- degree)

	I	II	III	IV	V	VI	
I	0	1	0	0	0	0	1
II	0	0	1	0	0	0	1
III	0	1	0	1	1	0	3
IV	0	0	1	0	0	0	1
V	0	0	0	1	0	1	2
VI	0	0	0	1	0	1	2
	0	2	2	3	1	2	

Adyacencia de vértices

- Se dice que dos vértices *u* y *v* de un grafo no dirigido G son adyacentes (vecinos) en G si { u,v } es una arista de G. Si e = { u,v }, se dice que la arista *e* es *incidente* con los vertices *u* y *v*. También se dice que la arista *e* *conecta* *u* y *v*. Se dice que los vértices *u* y *v* son *extremos* de la arista *e*.
- El grado de un vértice de un grafo no dirigido es el número de aristas incidentes con él, exceptuando los bucles, cada uno de los cuales contribuye con dos unidades al grado del vértice. El grado del vértice se denota por δ(*v*).

Sobre la adyacencia

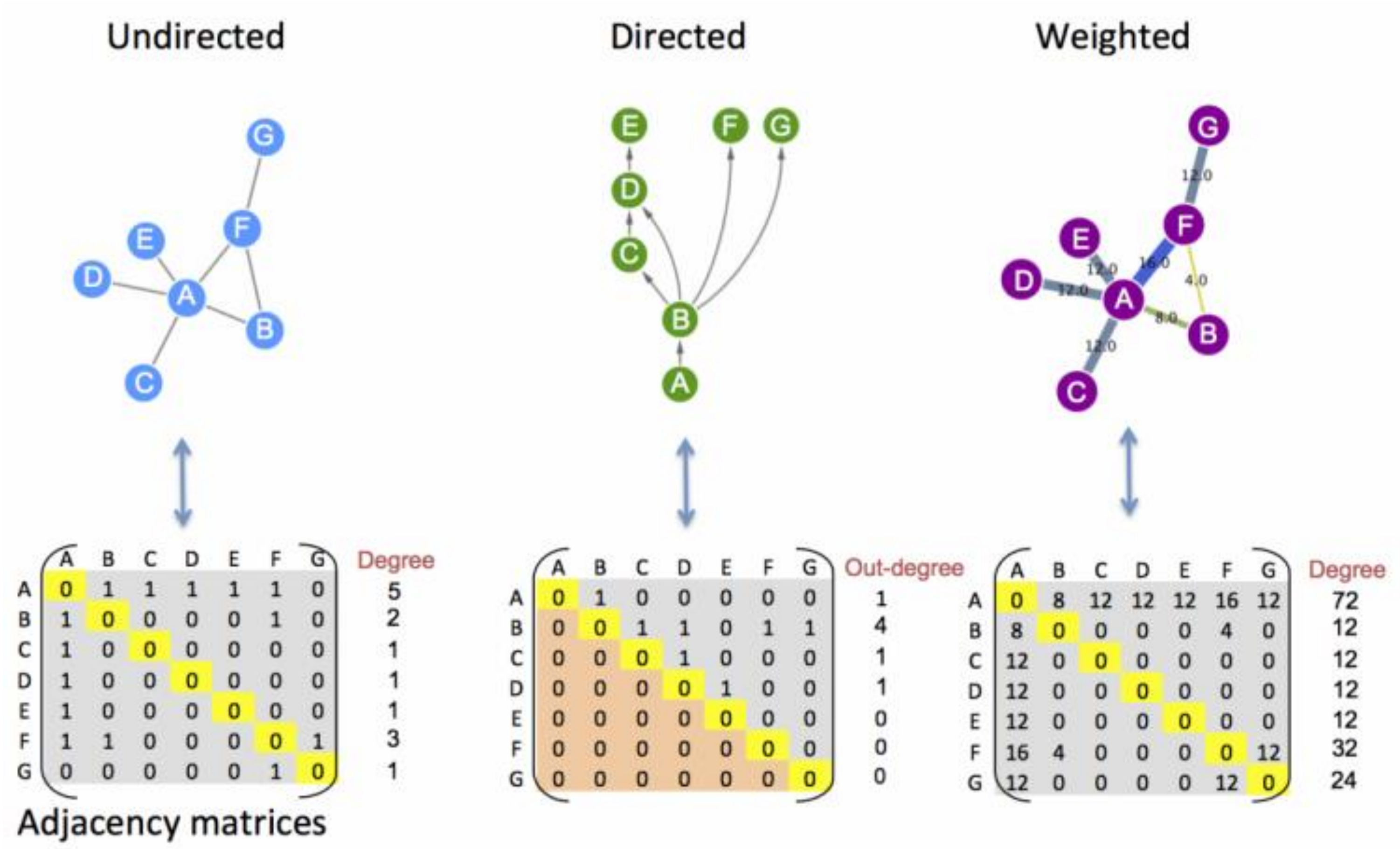
- A los vértices de grado cero se les llama aislados. Claramente, un vértice aislado no es adyacente a ningún vértice.
- Se dice que un vértice es colgante, o que es una hoja, si y sólo si, tiene grado uno.
- Si (u,v) es una arista del *grafo dirigido* G, se dice que *u es adyacente a v* y que *v es adyacente desde u*. Al vértice *u* se le llama *vértice inicial* de (u,v) y a *v* se le llama *vértice final* o terminal de (u,v). Los vértices inicial y final de un bucle coinciden.

Adyacencia en Grafos Dirigidos

- Todo grafo no dirigido tiene un número par de vértices de grado impar.
- En un grafo dirigido, el grado de entrada de un vértice v, denotado por $\delta^-(v)$, es el número de aristas que tienen a v como vértice final
- El grado de salida de un vértice v, denotado por $\delta^+(v)$, es el número de aristas que tienen a v como vértice inicial.
- Sea G = (V,E) un grafo dirigido. Entonces

$$\sum_{v \in V} \delta^-(v) = \sum_{v \in V} \delta^+(v) = |E|$$

Métricas centralidad locales

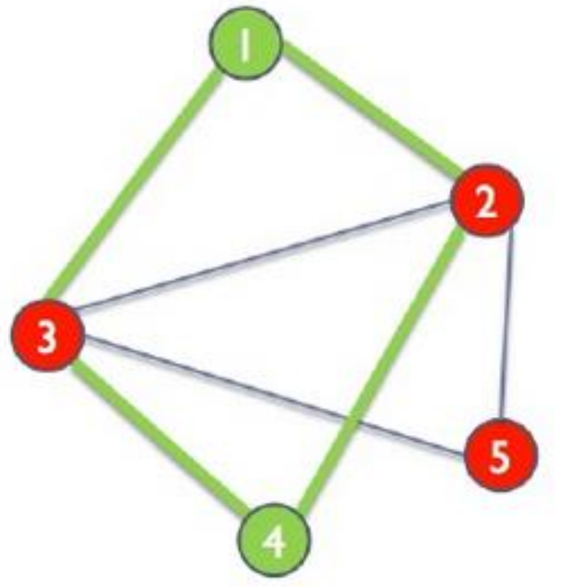


Métricas centralidad locales

Betweenness

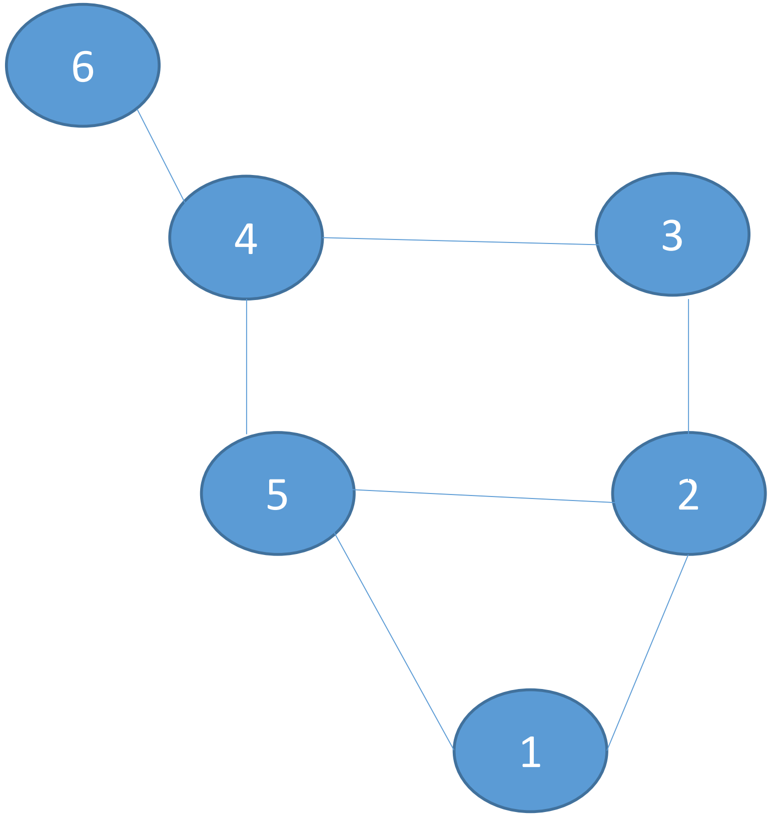
- ¿Quién controla el flujo de información?
- Esta medida cuantifica el número de veces que un nodo actúa como un puente a lo largo de la ruta geodésica (esto es, la de menor longitud) entre dos nodos
- ¿Cuantos enlaces geodésicos hay entre dos actores j y k que contienen el actor i?

- Ruta geodésica



Métricas centralidad locales

- $Betweenness(v) = \sum_{i \neq j \neq v} \frac{\sigma_{i,j}(v)}{\sigma_{i,j}}$
- *σij* como el número de rutas de mínima distancia que unen a los nodos *i* y *j*,
- *σij*(*v*) como el número de rutas de distancia mínima que unen a estos nodos y que pasan por el nodo *v*

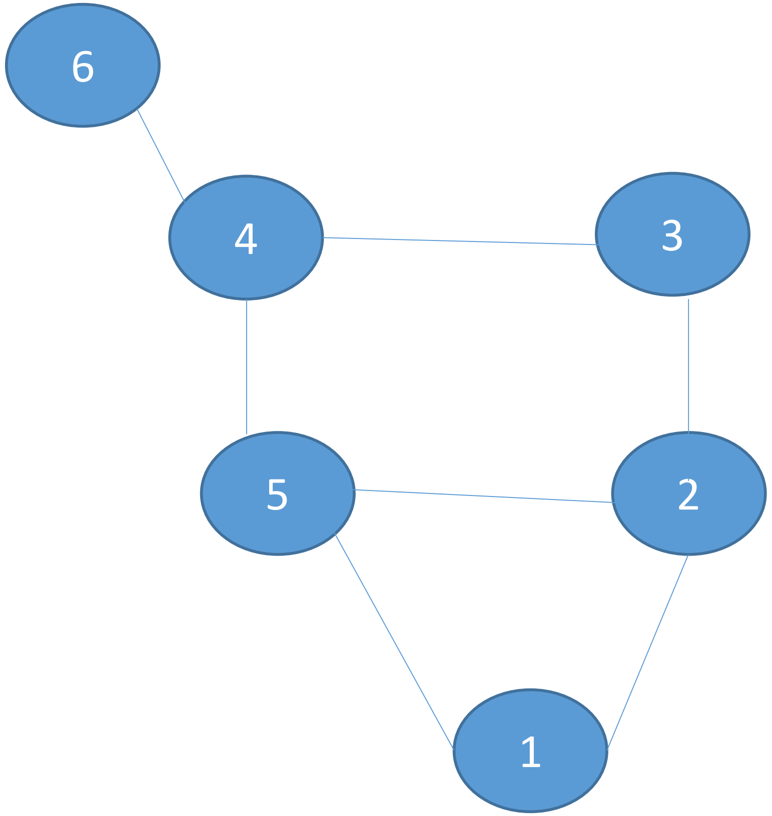


Métricas centralidad locales

Betweenness

- (i) contar el número de rutas que unen un par de nodos (*i* y *j*)
- (ii) encontrar la proporción de esas rutas que pasan por un tercer nodo (v)
- (iii) repetir el cálculo para todas las parejas de nodos posibles (con la condición de que *i* y *j* sean diferentes de *v*) hallando en cada caso la proporción de rutas que pasan por el nodo *v* y, por último, sumar todas las proporciones obtenidas.
- Para estandarizar dividir por:

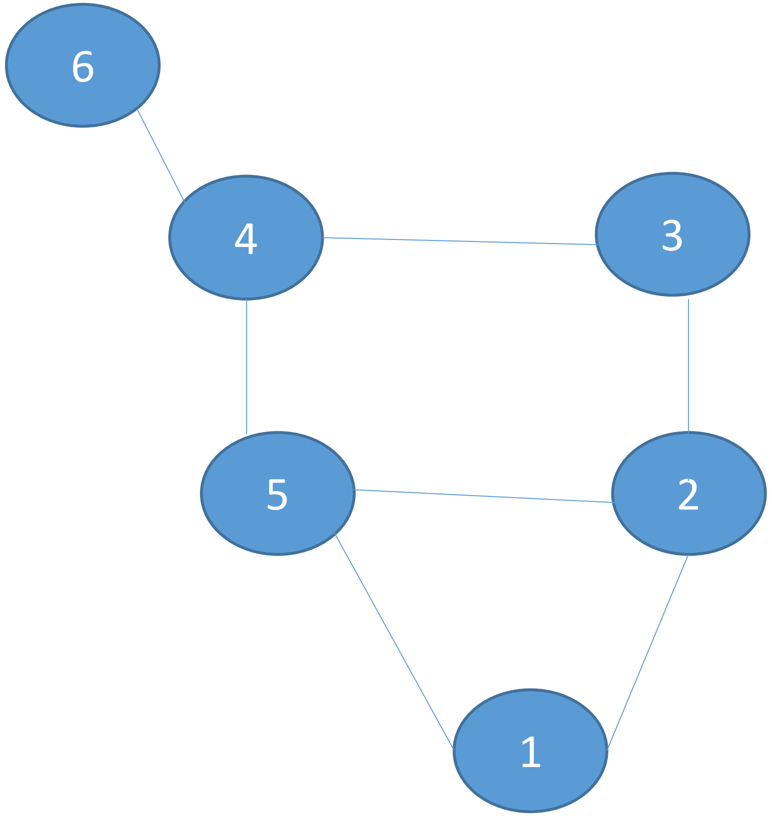
$$((n-1)(n-2))/2$$



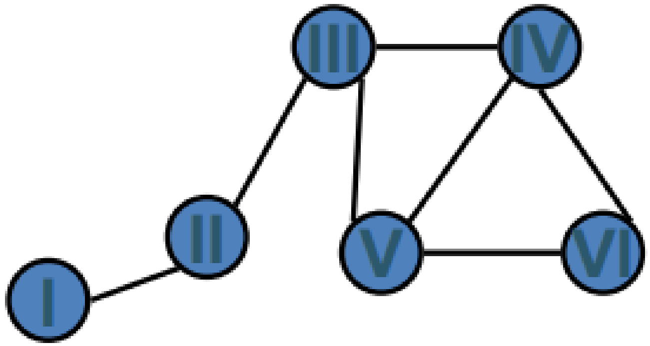
Métricas para describir grafos : centralidad locales

- **Betweenness**
- Grado de betweeness del nodo 2 es 1.5 veamos porque

- 1 a 3: 1/1
- 1 a 4: 0/1
- 1 a 5: 0/1
- 1 a 6: 0/1
- 3 a 4: 0/1
- 3 a 5: 1/2
- 3 a 6: 0/1
- 4 a 5: 0/1
- 4 a 6: 0/1
- 5 a 6: 0/1



Otras medidas: longitud



La distancia entre i y j estará dada por el camino de menor longitud que los una

	I	II	III	IV	V	VI
I	-	1	2	3	3	4
II	1	-	1	2	2	3
III	2	1	-	1	1	2
IV	3	2	1	-	1	1
V	3	2	1	1	-	1
VI	4	3	2	1	1	-

$$Longitud(i,j) = \sum_{h=1}^{k} (1) = k$$

$$dist(i,j) = min[Longitud(i,j)]$$

Paréntesis: Algoritmo para calcular caminos de longitud mínima

- Existen diversos algoritmos para hallar caminos de longitud mínima entre dos vértices de un grafo ponderado.
- Uno de éstos es el Algoritmo de Dijkstra.
- El algoritmo de Dijkstra determina el camino y la longitud más corta entre dos vértices de un grafo ponderado simple, conexo y no dirigido

Paréntesis: Algoritmo para calcular caminos de longitud mínima

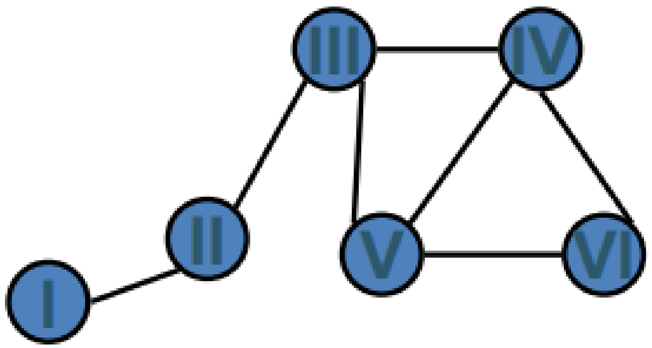
- Algoritmo de Floyd - Warsall
- Determina las distancias más cortas entre todos los pares de vértices en grafos dirigidos ponderados.
- Sea un grafo G con conjunto de vértices V, numerados de 1 a N. Sea además una función caminoMinimo(i,j,k)
  que devuelve el camino mínimo de i a j usando únicamente los vértices de 1 a k como puntos intermedios en el camino

Continuemos con las medidas de centralidad

Métricas centralidad locales

Closeness

- ¿Quién tiene la distancia más corta a los otros actores?



	I	II	III	IV	V	VI		C
I	-	1	2	3	3	4	13	1/13
II	1	-	1	2	2	3	9	1/9
III	2	1	-	--	1	2	7	1/7
IV	3	2	1	-	1	1	8	1/8
V	3	2	1	1	-	1	8	1/8
VI	4	3	2	1	1	-	11	1/11

Métricas centralidad locales

Eigenvalue centrality

Mide la importancia relativa de cada nodo.

Medida de influencia:

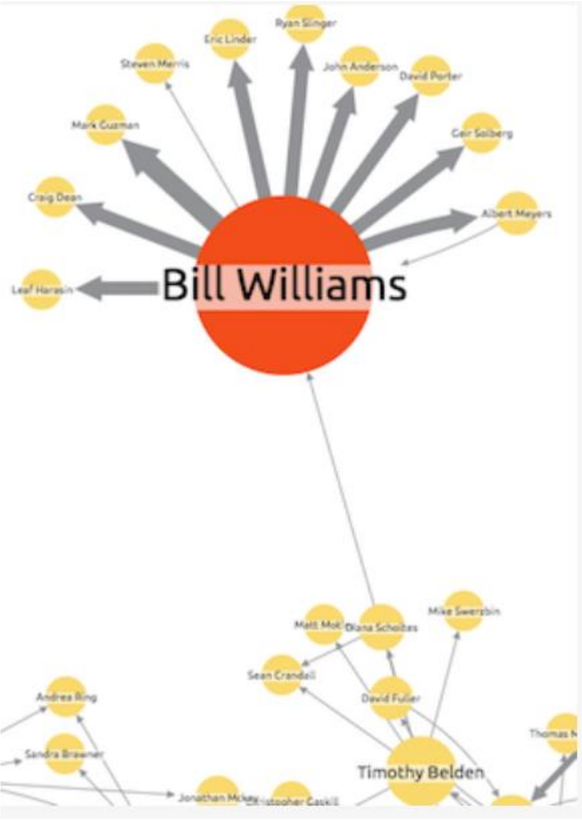
Se considera que un nodo es más importante si tiene enlaces salientes a nodos que a su vez tienen un mayor grado de salida (es decir, más enlaces salientes).

Medida de soporte:

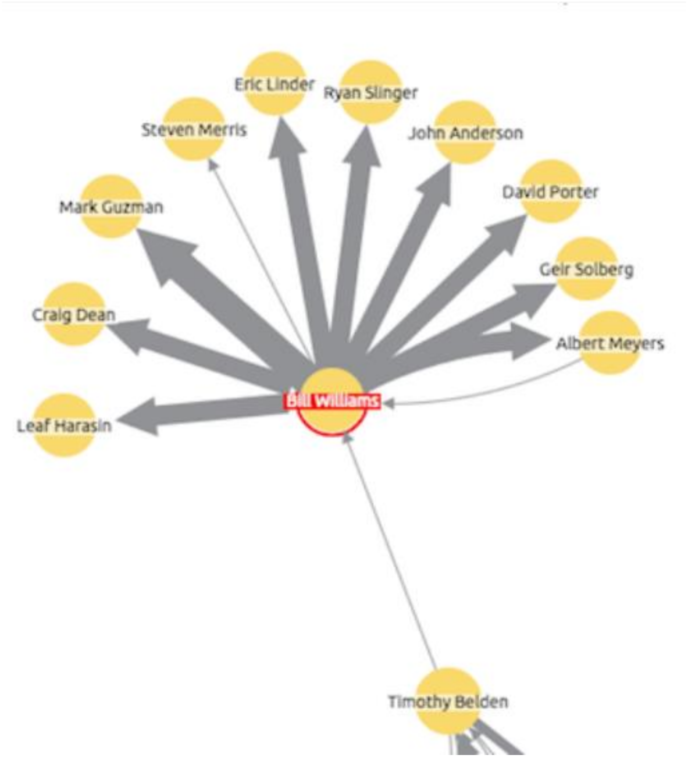
Se considera que un nodo tiene un mayor "prestigio", si tiene enlaces entrantes de nodos que a su vez tienen un mayor grado de entrada (es decir, más enlaces entrantes)

Métricas centralidad locales

- **Centralidad**



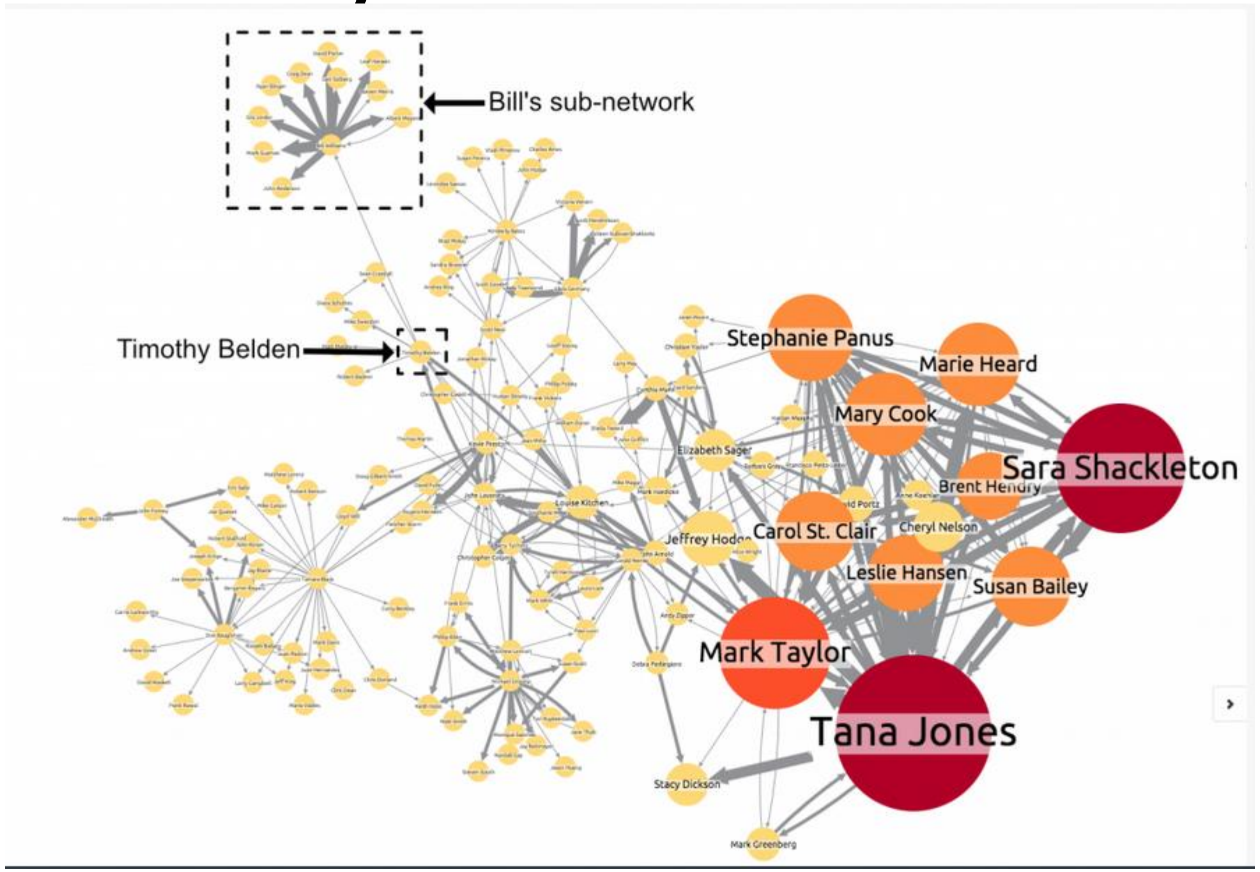
Eigenvalue centrality



Fuente: https://cambridge-intelligence.com/eigencentrality-pagerank/

Métricas centralidad locales

- **Eigenvalue centrality**



Fuente: https://cambridge-intelligence.com/eigencentrality-pagerank/

Medidas agregadas de la red

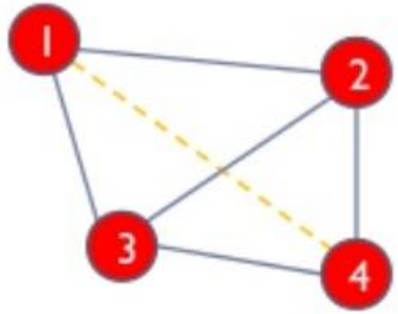
Densidad en grafos no dirigidos

Es la proporción de pares de nodos conectados en la red sobre todas los posibles conexiones.

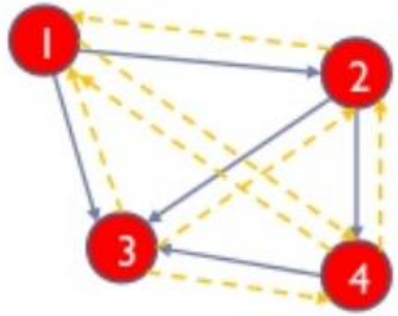
Si esta medida es 1, entonces el grafo es totalmente conexo.

$$D = \frac{E}{\frac{1}{2}n(n-1)}$$

donde $\frac{1}{2}n(n-1)$ es el número total de pares de nodos conectados que pueden existir en el grafo.



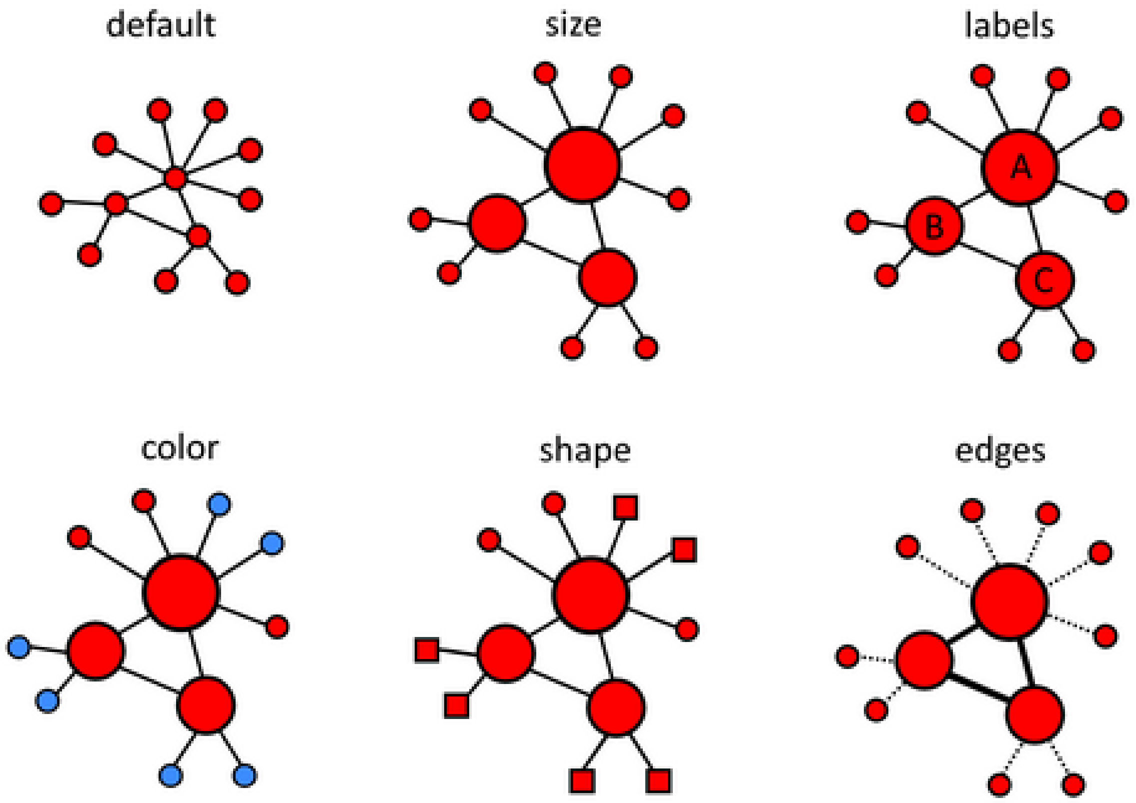
density = 5/6 = 0.83



density = 5/12 = 0.42

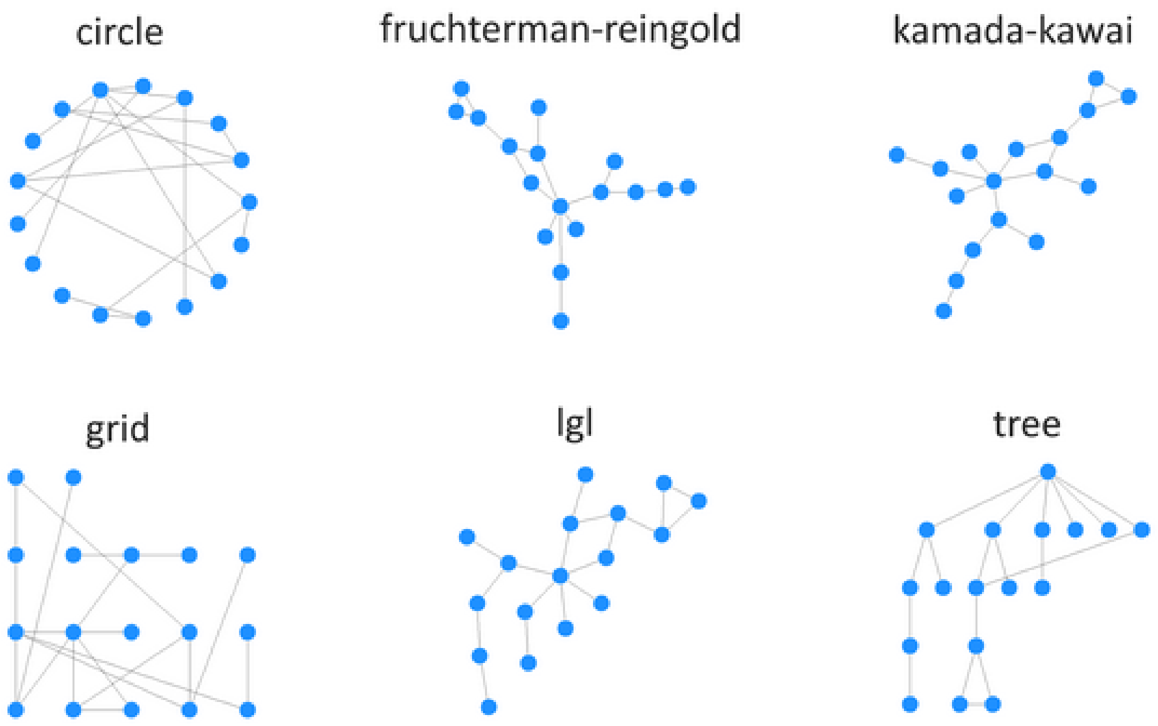
Fuente:https://www.slideshare.net/gcheliotis/social-network-analysis-3273045

Visualización de grafos

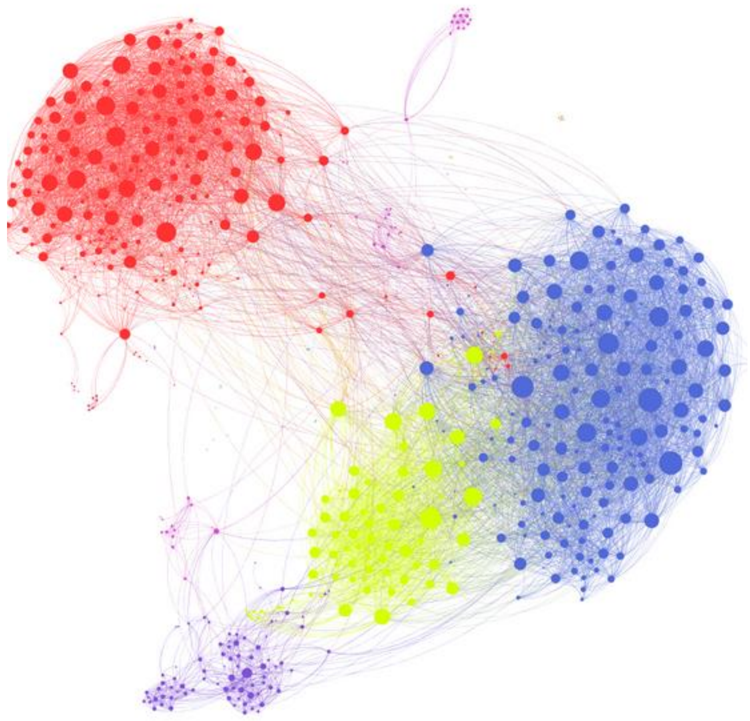


Fuente: James Curly

Visualización de grafos



Fuente: James Curly

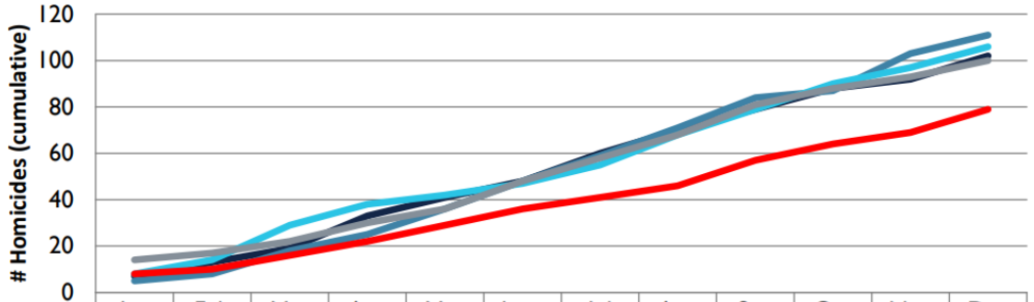


Redes

Aplicaciones

Criminalidad

- Detección de personas claves en la organización criminal
- Detección de personas en riesgo (extremos)
- Caso
  - Kansas City (top 10 de ciudades más violentas)
  - 2014
  - Detección de grupos violentos
  - Medidas de centralidad
  - Intervención



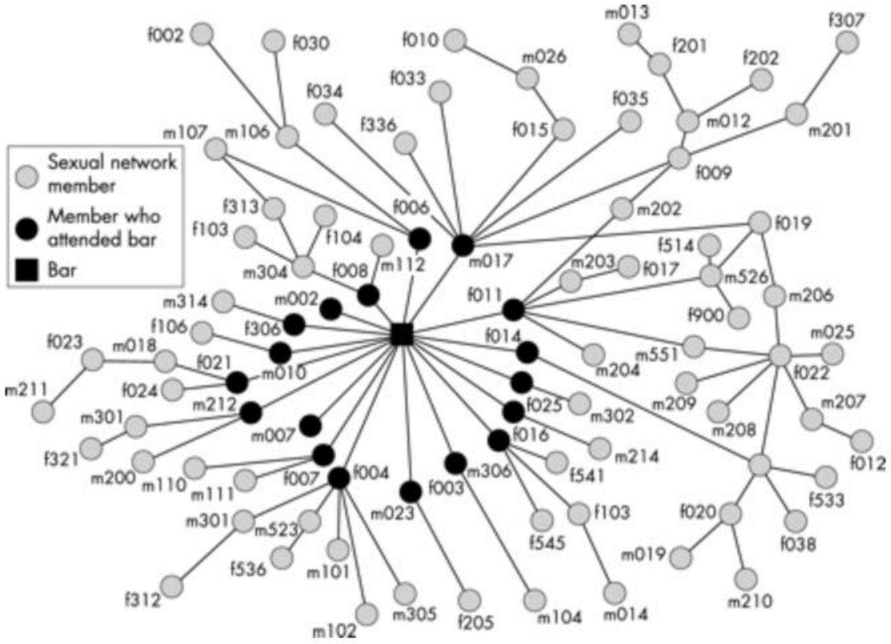
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	June	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2010	7	13	19	33	41	48	60	70	79	88	92	102
2011	5	8	18	25	36	48	59	71	84	87	103	111
2012	8	14	29	38	42	47	55	68	79	90	97	106
2013	14	17	22	30	36	48	58	68	81	88	93	100
2014	8	10	16	22	29	36	41	46	57	64	69	79

Kansas City monthly homicides (Source)

Fuente: https://hackernoon.com/fight-crime-with-social-network-analysis-7a879d4a65ea

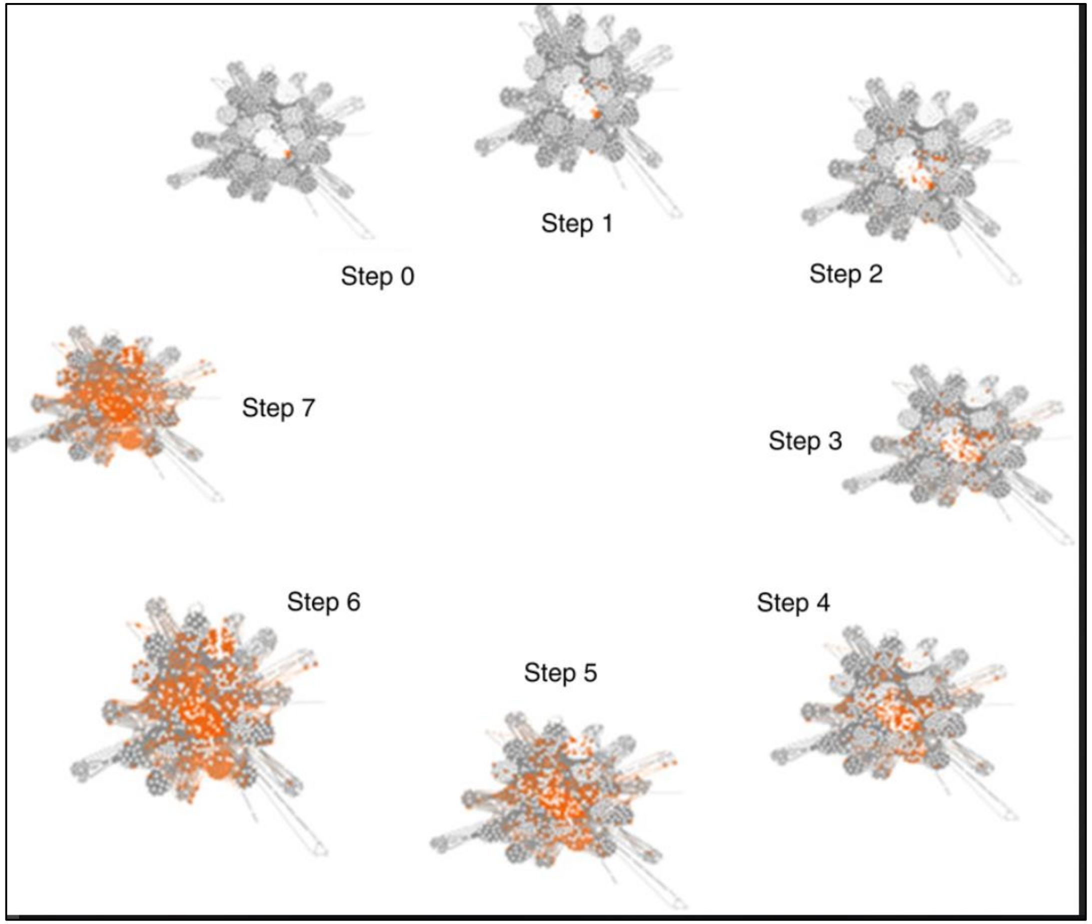
Salud

- Transmisión de enfermedades
- Evolución de la enfermedad
- Riesgo de contraer una enfermedad
- Nodos: Humano
- Edge: Contacto
- Caso
    - Alberta, Canada
    - 1991
    - Gonorrea



https://sti.bmj.com/content/80/4/280

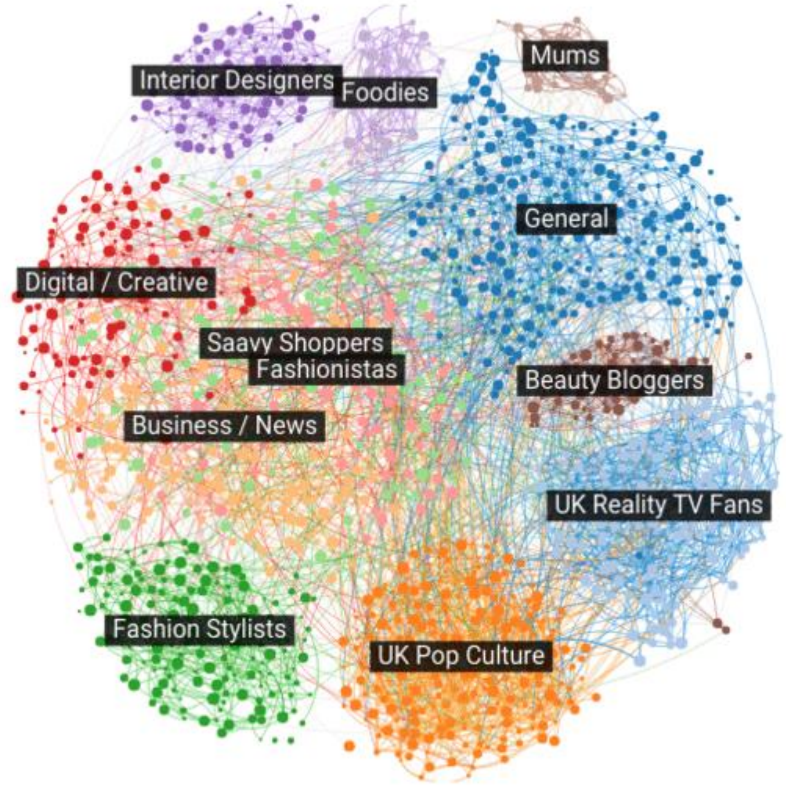
Salud



Fuente: https://www.emerald.com/ insight/content/doi/10.1108/EJMBE-10-2017-020/full/html

Mercadeo

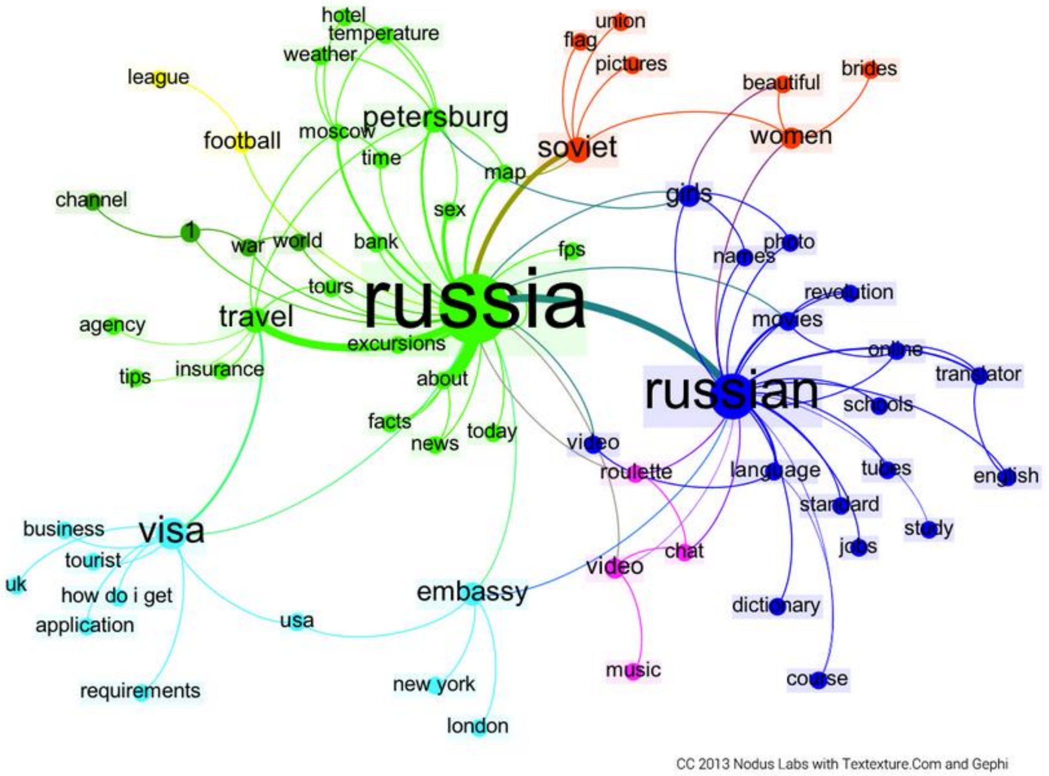
- Detectar comunidades
- Identificar los roles de los clientes en una comunidad
- Medir la fuerza de la influencia del cliente en una comunidad



Fuente: https://www.affinio.com/blog/2016/03/15/16-using-affinio-to-understand-your-social-competitors/

Mercadeo

- Análisis de las palabras que más utilizan los consumidores de un producto o marca para entender cómo se relacionan
- Sirve para:
  - Diseñar material publicitario más acertado.



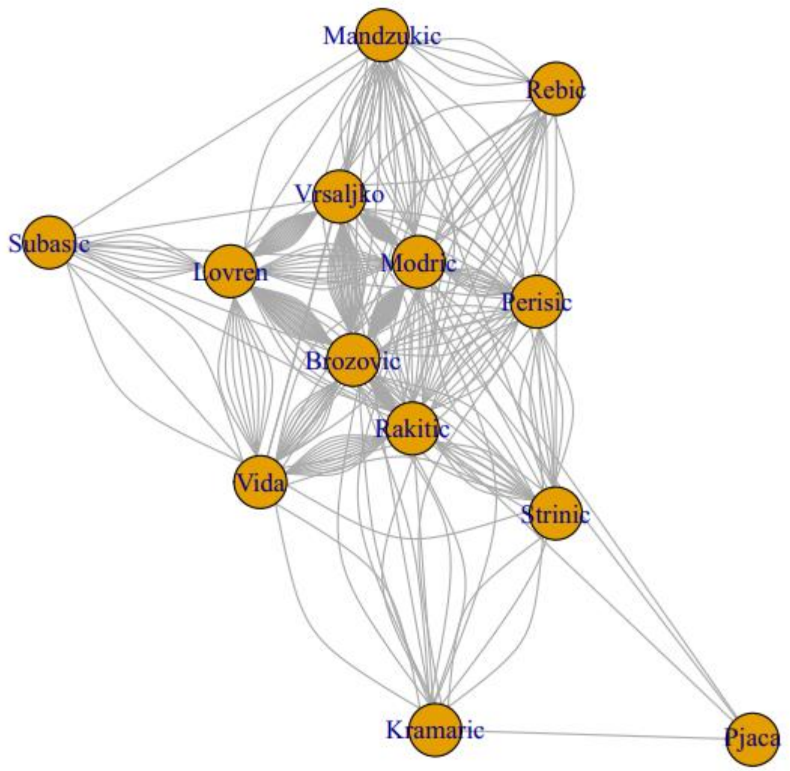
Deportes

- Estudiar las relaciones al interior de un equipo

Lusher, Robins y Kremer (2010):

- Más densa y compacta una red, mejor desempeño
- Red con pocos nodos centrales, menor desempeño

Figura 4: Grafo de los pases durante la final de Rusia 2018 del seleccionado croata



Fuente: Alonso y Carabali (2018)

Ejercicio