

Redes Temporales

Adrian Agreda

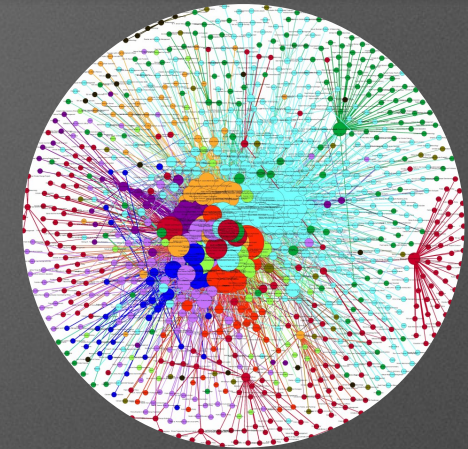
Introducción

Naturaleza
Sociedad
Tecnología

Modelados

a través de un grafo

Conjunto de nodos, unidades del sistema, conectados por enlaces y que interactúan entre sí.



Entender, predecir y optimizar el comportamiento de los sistemas dinámicos

Las relaciones entre los individuos de un sistema real
raramente persisten en el tiempo

Dimensión temporal

Redes Temporales

Redefinir o extender definiciones y conceptos de la teoría de redes

P-2-P



Estudio de la dinámica de modelos donde se intercambia información de persona a persona



Modelos de esparcimiento de persona a persona de cualquier tipo de información

1-2-M



Eventos de esparcimiento en blogs y microblogs



Modelos de diseminación de información: uno a muchos

Modelos de propagación de patógenos transmitidos por aire y de información boca a boca

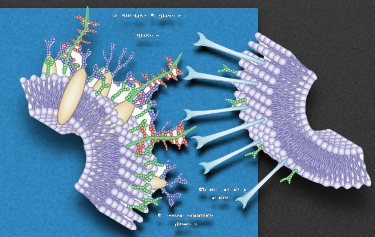


Patrones de proximidad de humanos y otras especies

Proximidad Física

Modelos celulares y de microbiología

Redes genéticas. El metabolismo (reacciones químicas)



Biología Celular

Tipos de redes temporales

Computación Distribuida

Unidades de cómputo independientes sobre alguna red que las conecta

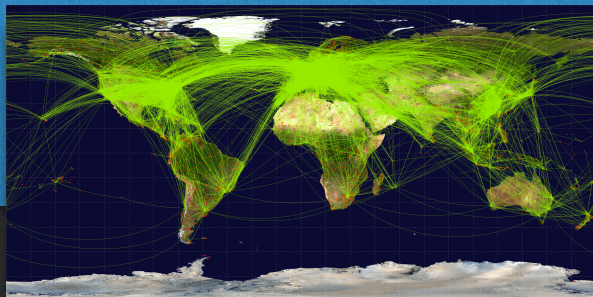
Estimación y control de la edad de la información que es accesible a cada unidad



Redes de infraestructura

Redes de transporte

Rutas aéreas o ferroviarias



Otros Sistemas

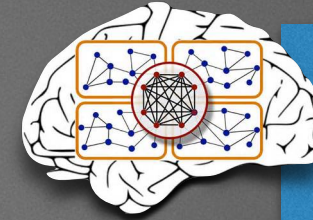
Redes de citas científicas

Redes económicas

Redes industriales



Redes Neuronales y del Cerebro

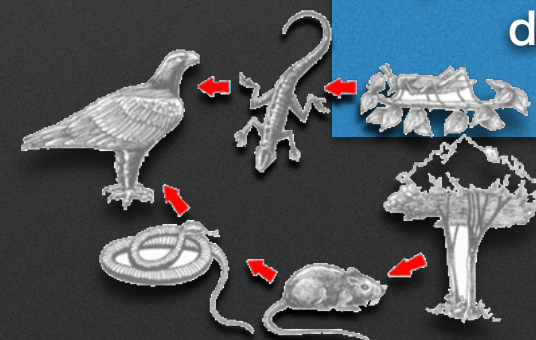


Los enlaces temporales representan la dinámica temporal de activaciones simultáneas en áreas del cerebro

Conectividad estructural y temporal desde neuronas hasta conexiones mucho más densas entre áreas del cerebro

Redes Ecológicas

Modelan el comportamiento o las interacciones entre especies u otras categorías de organismos

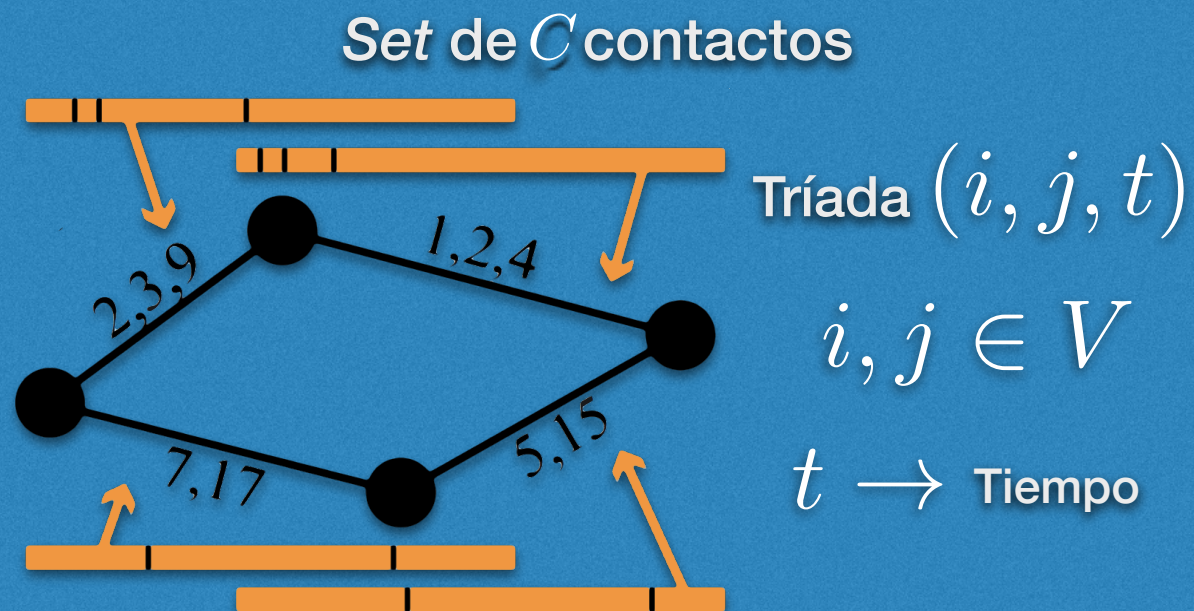


Cadena Trófica, representación de relaciones y beneficios entre especies

Representaciones de redes temporales

Secuencias de contactos

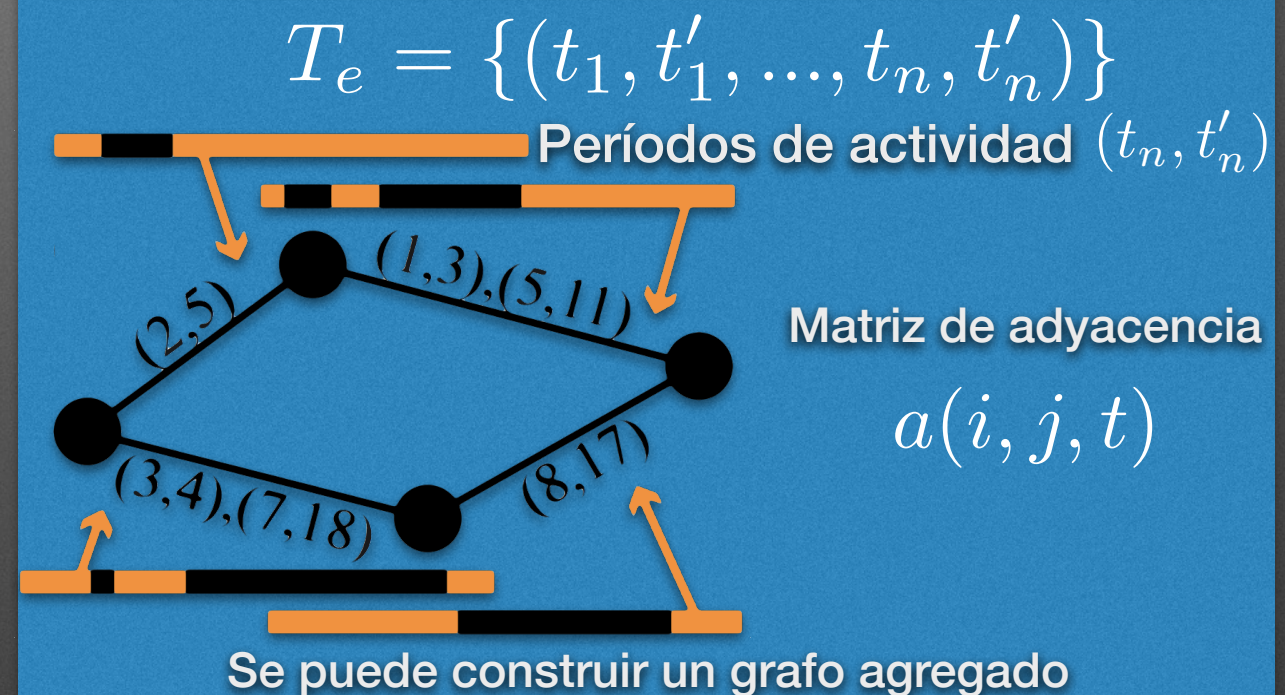
N nodos V interactuando entre ellos en un momento dado. La duración de las interacciones es despreciable



- Sistemas de data de comunicación (e-mails, SMS, llamadas, etc.).
- Sistemas de data basada en la proximidad física donde la duración del contacto no es tan importante (redes sexuales).

Grafos de intervalos

Los enlaces no están activos durante un set de tiempos sino más bien durante un set de intervalos T_e



- Redes de proximidad. Un contacto puede representar que dos individuos han estado cerca por un tiempo extenso.
- Redes alimenticias que dependen de la temporada.
- Redes de infraestructuras.

Medidas de la estructura temporal-topológica



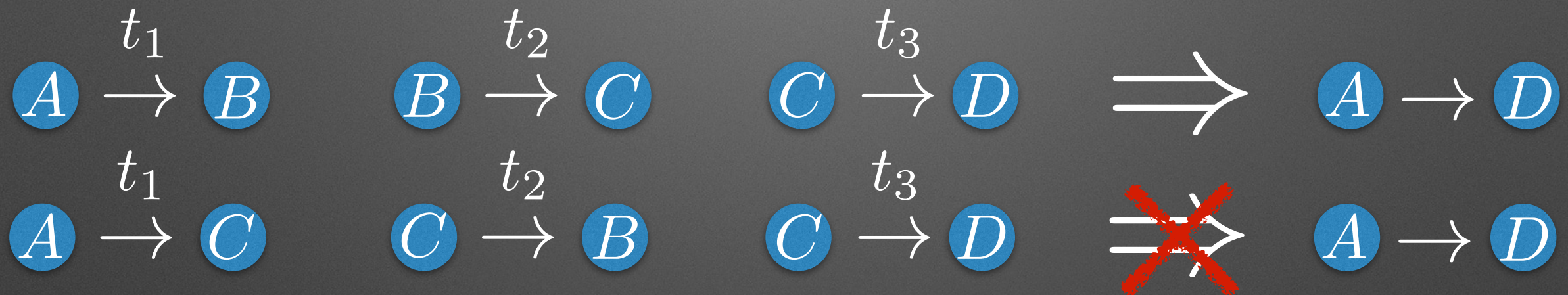
1. Distribución de grados
2. Coeficiente de clustering
3. Longitud característica
4. Diámetro de la red
5. Modularidad
6. Centralidad

-
- Diagram illustrating the mapping of static network measures to temporal network measures. A large gray arrow points from the static measures box on the left to the temporal measures box on the right. A smaller gray arrow points from the static measures box to the temporal measures box, indicating a direct mapping of the first six measures.
1. Caminos y alcance con respecto al tiempo
 2. Caminos respecto al tiempo con límites en los tiempos de espera
 3. Conectividad y componentes
 4. Distancias, latencias y caminos más rápidos
 5. Distancia temporal o latencia promedio
 6. Diámetro, eficiencia de la red
 7. Árbol de expansión mínima
 8. Medidas de centralidad
 9. Patrones persistentes
 10. Motivos
 11. Entropías y otras medidas teóricas de información

Medidas de la estructura temporal-topológica

- Caminos y alcance con respecto al tiempo

En un grafo temporal los caminos se definen como secuencias de contactos que conectan nodos o grupos de nodos



Grupo de nodos que puede alcanzar i dentro de la ventana de observación



Grupo de nodos que pueden ser alcanzados desde i

Se pueden establecer limitaciones en el tiempo mínimo o máximo para que se mantenga el camino entre nodos (tiempos de espera).

Medidas de la estructura temporal-topológica

- Conectividad y componentes

En cualquier red la conectividad impone limitaciones importantes en la dinámica.



- Dos nodos i y j están **altamente conectados** si hay un camino dirigido respecto al tiempo que conecta a i con j
- Dos nodos i y j están **débilmente conectados** si hay caminos no dirigidos respecto al tiempo de i a j y de j a i
- Una componente está **transitivamente conectada** si los caminos respecto al tiempo de i a j y de j a k implican un camino respecto al tiempo de i a k

Medidas de la estructura temporal-topológica

- Distancias, latencias y caminos más rápidos

Redes
estáticas

Distancia geodésica

Longitud característica
Número de enlaces que la
forman

Redes
temporales

Duración

Longitud del camino temporal
Diferencia de tiempo entre el
último y el primer contacto

El tiempo más corto en el que i puede alcanzar a j se llama **latencia** o **distancia temporal**

$\phi_{i,t}(j) \rightarrow$ **Vista de** i de la información de j
en un tiempo t Denota el último tiempo anterior a t en
el que la información de j llegó a i

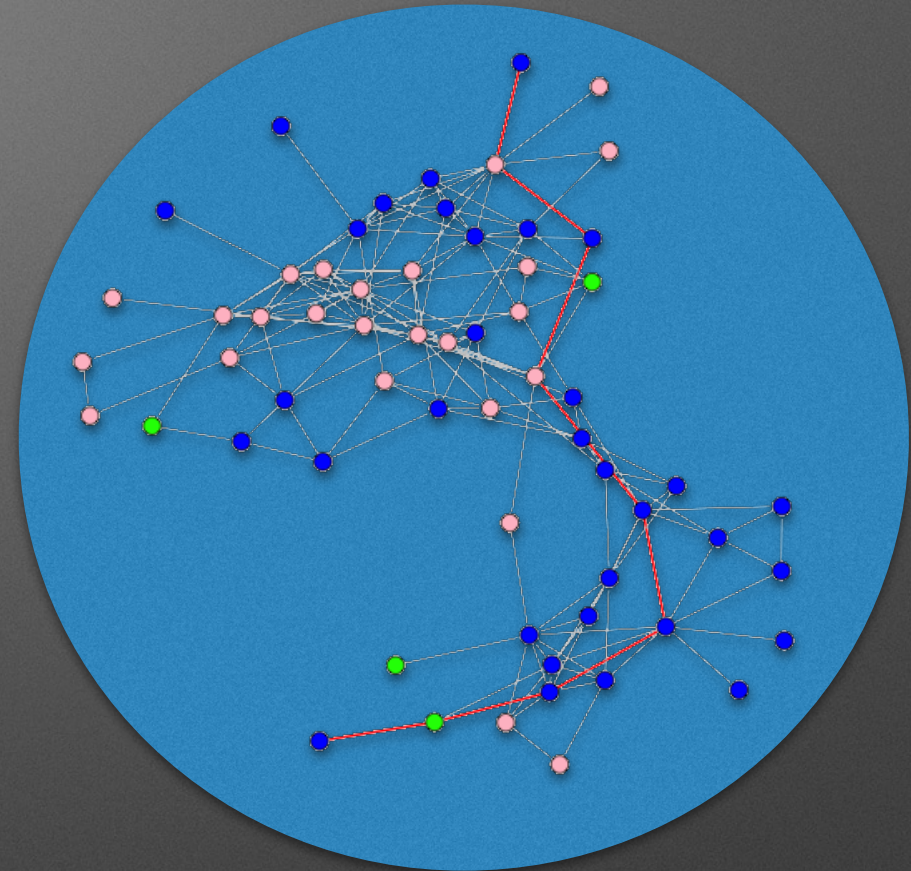
$\lambda_{i,t}(j) = t - \phi_{i,t}(j) \rightarrow$ **Latencia de información** de j con respecto a i en un tiempo t

$[\phi_{i,t}(1), \dots, \phi_{i,t}(n)] \rightarrow$ Vector reloj

Medidas de la estructura temporal-topológica

- Diámetro, eficiencia de la red

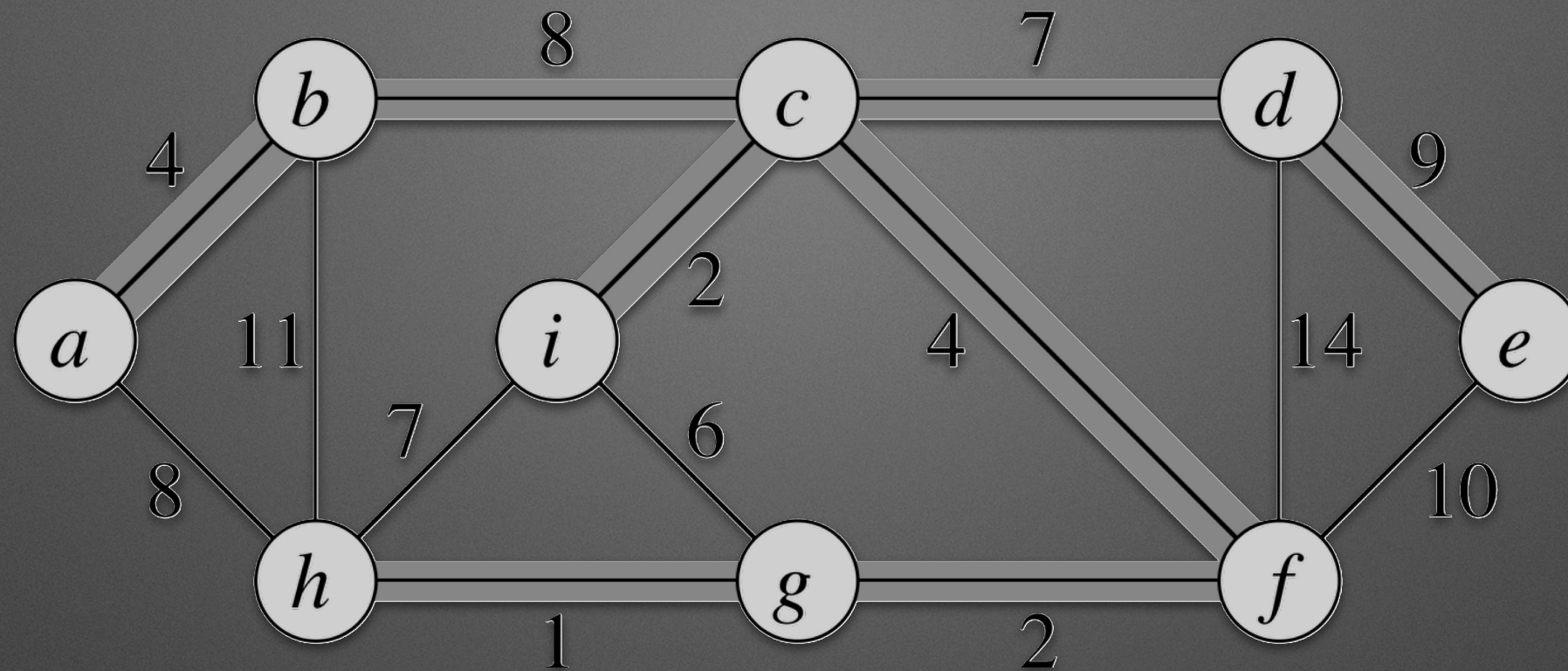
Diámetro tan pequeño como sea posible tal que casi seguramente, incrementándolo, no se encontrarán más pares de vértices conectados por un camino respecto al tiempo menor que el diámetro



La **eficiencia** de la red se puede medir calculando el promedio armónico de la latencia

Medidas de la estructura temporal-topológica

- Árbol de expansión mínima



Redes
estáticas

Árbol de expansión
mínima

Subgrafo que conecta a todos los
nodos del grafo minimizando el peso
de los enlaces

Redes
temporales

*Time-sub-interval
minimum spanning tree*

Se construye un árbol de
expansión minimizando la latencia
promedio

Medidas de la estructura temporal-topológica

- Medidas de centralidad

Centralidad
de proximidad

$$C_c(i) = \frac{N-1}{\sum_{j \neq i} d(i, j)} \Rightarrow C_c(i, t) = \frac{N-1}{\sum_{j \neq i} \lambda_{i, t}(j)}$$

$d(i, j) \rightarrow$ Distancia geodésica $\lambda(i, j) \rightarrow$ Latencia

Centralidad
de proximidad basada
en latencias recíprocas

$$C_E(i, t) = \frac{1}{N-1} \sum_{j \neq i} \frac{1}{\lambda_{i, t}(j)}$$

Centralidad
betweenness

$$C_B(i) = \frac{\sum_{i \neq j \neq k} \nu_i(j, k)}{\sum_{i \neq j \neq k} \nu(j, k)}$$

Extensión temporal

Tomando en cuenta la fracción de caminos más rápidos respecto al tiempo que pasan a través del vértice focal

$\nu_i(j, k) \rightarrow$ Número de caminos más cortos entre j y k que pasan por i

$\nu(j, k) \rightarrow$ Número total de caminos más cortos entre j y k

Medidas de la estructura temporal-topológica

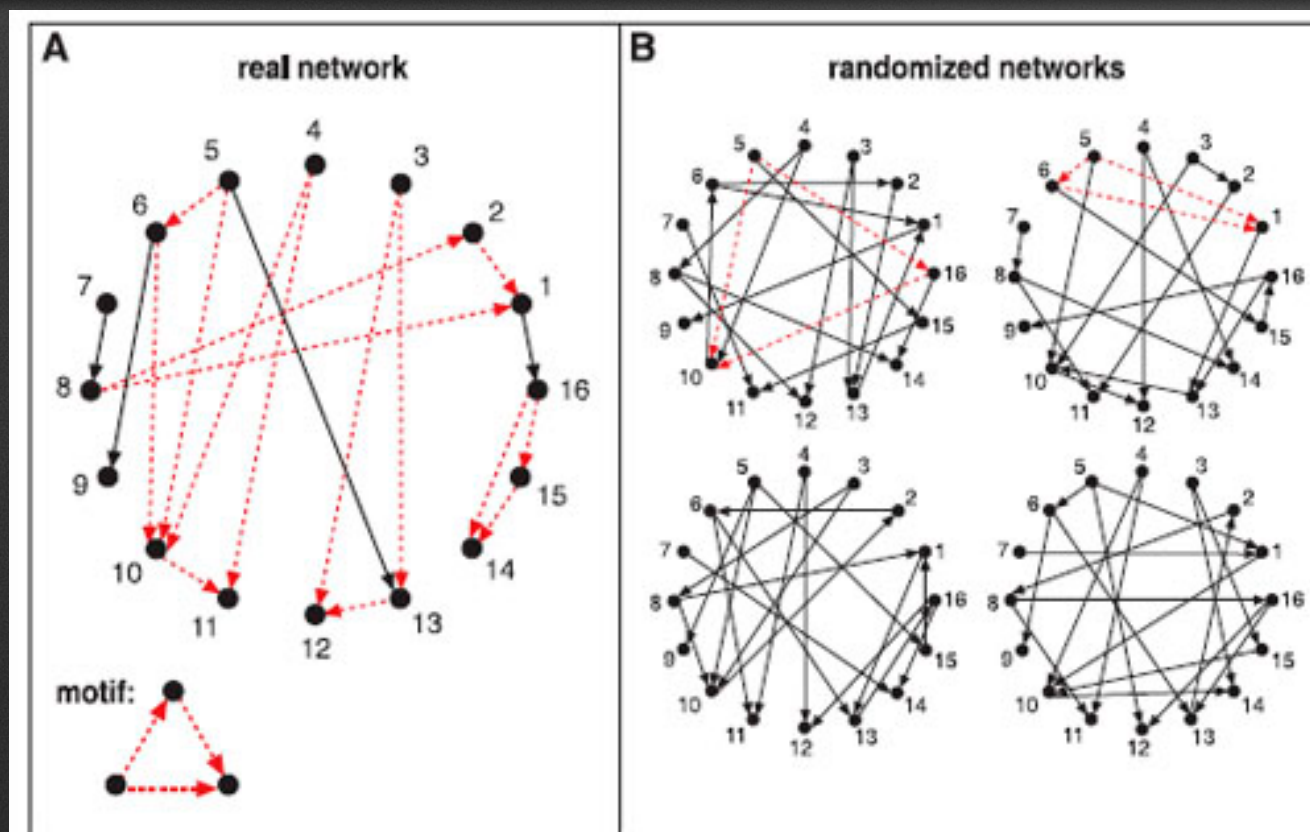
- Patrones persistentes

En redes temporales, es importante identificar subgrafos que son persistentes

Se puede definir un subgrafo frecuente o persistente que tiene un soporte más largo que cierto valor umbral

- Motifs

Subgrafos que aparecen con una frecuencia mayor que la observada en los grafos construidos de forma aleatoria



Observar fotos de la red en diferentes momentos y contar los diferentes subgrafos

Medidas de la estructura temporal-topológica

- Entropías y otras medidas teóricas de información

Teoría de la información

Explora los límites de guardar, comunicar y comprimir data

Aplicaciones en literatura de redes y clusters estáticos que pueden ser bien extendidas a redes temporales.

Timo, Blackmore y Hanlen

Método basado en la entropía para incertidumbres temporales en redes de comunicación

R. Timo, K. Blackmore, and L. Hanlen. On entropy measures for dynamic network topologies: Limits to MANET. In Proceedings of the sixth Australian Communications Theory Workshop, pages 95–101, 2005

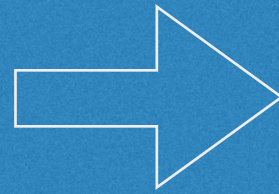
Ulanowicz

"Ascendencia" para cuantificar qué tan bien procesa un sistema su entrada ambiental. Puede ser adaptada a interacciones ecológicas cambiantes en el tiempo

R. E. Ulanowicz. Quantitative methods for ecological network analysis. Comp. Biol. Chem., 28:321–339, 2004.

Representando data temporal como una red estática

Facilidad para analizar
redes estáticas



Mucha más literatura



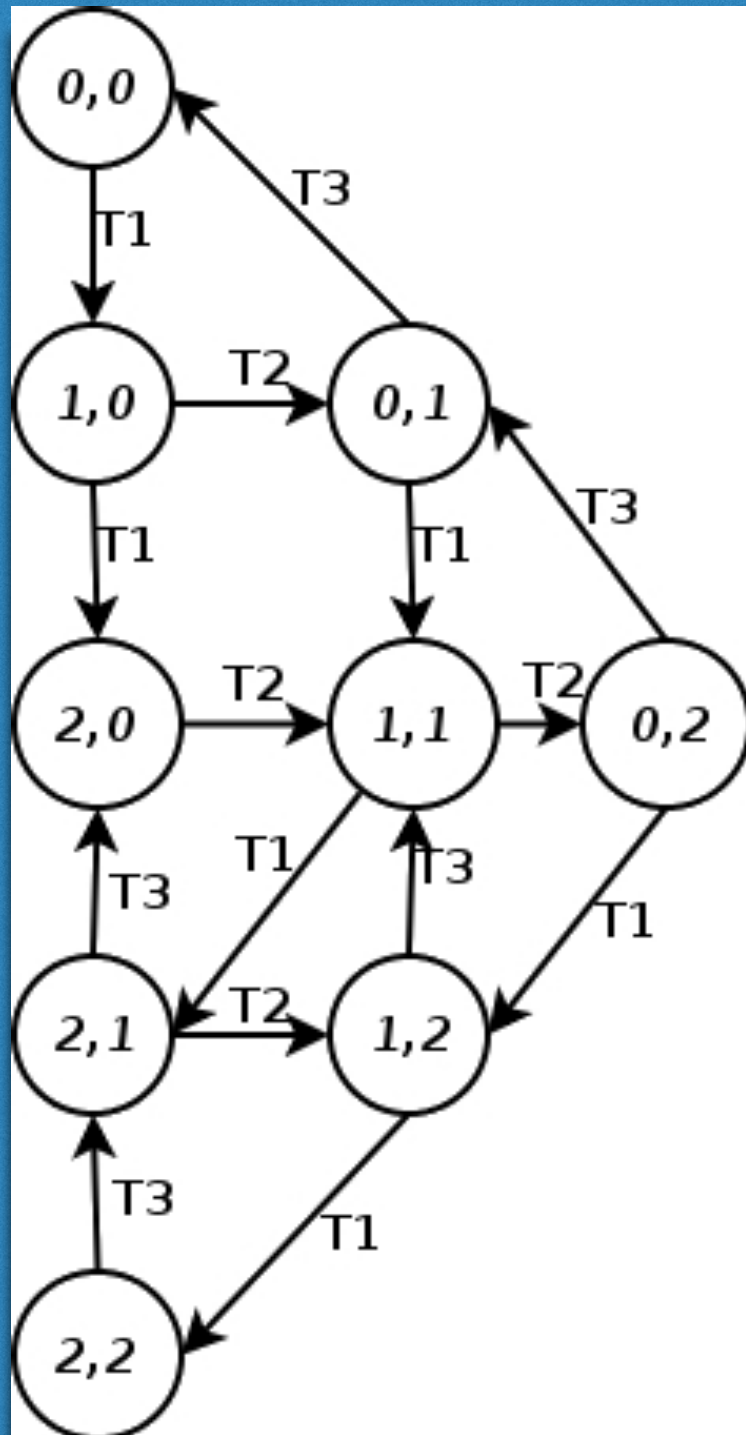
Analizar redes temporales originando redes estáticas que capturen las propiedades topológicas y temporales del sistema

Acumular los contactos a lo largo de algún tiempo para formar enlaces.

Se puede perder información al hacer este tratamiento de la dimensión temporal

Representando data temporal como una red estática

- Red de alcance



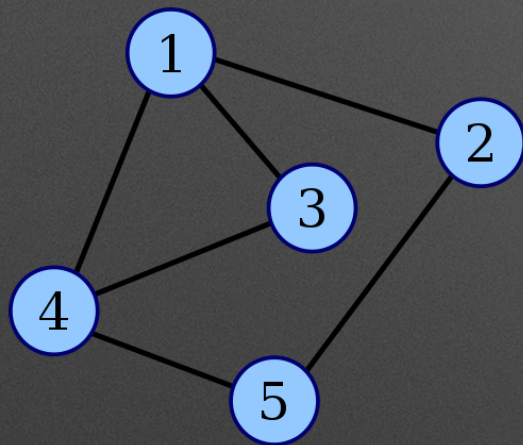
Existe un enlace dirigido entre los nodos A y B si hay un camino respecto al tiempo de A a B.

Muestra cuáles vértices pueden afectar a otros

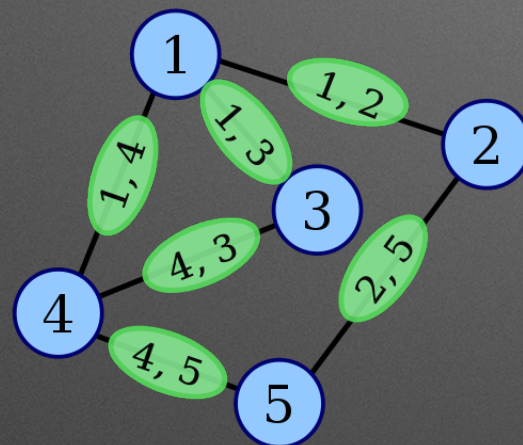
Representando data temporal como una red estática

- Grafos de linea

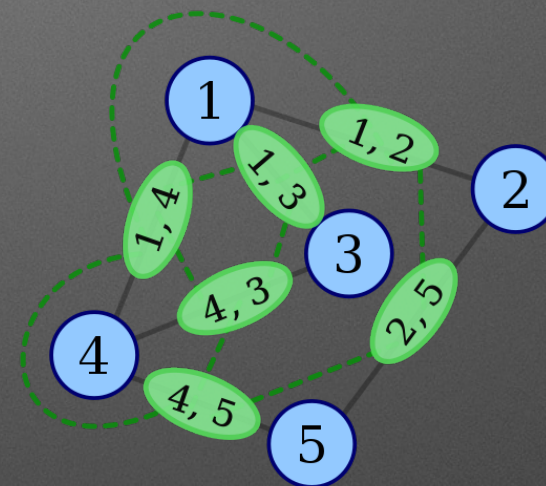
Han sido usados para estudiar el esparcimiento de enfermedades en redes temporales



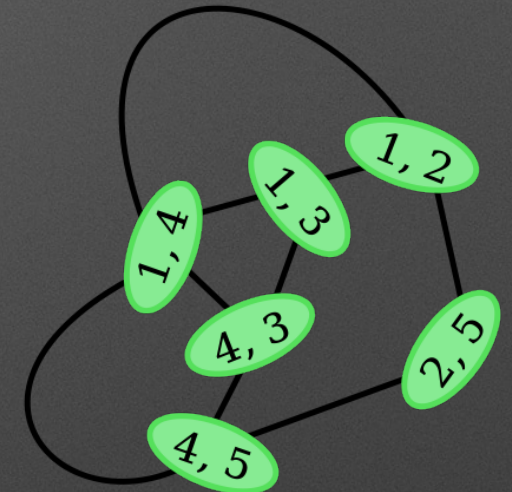
Grafo G



Nodos en $L(G)$ construidos a partir de los enlaces de G



Enlaces agregados en $L(G)$



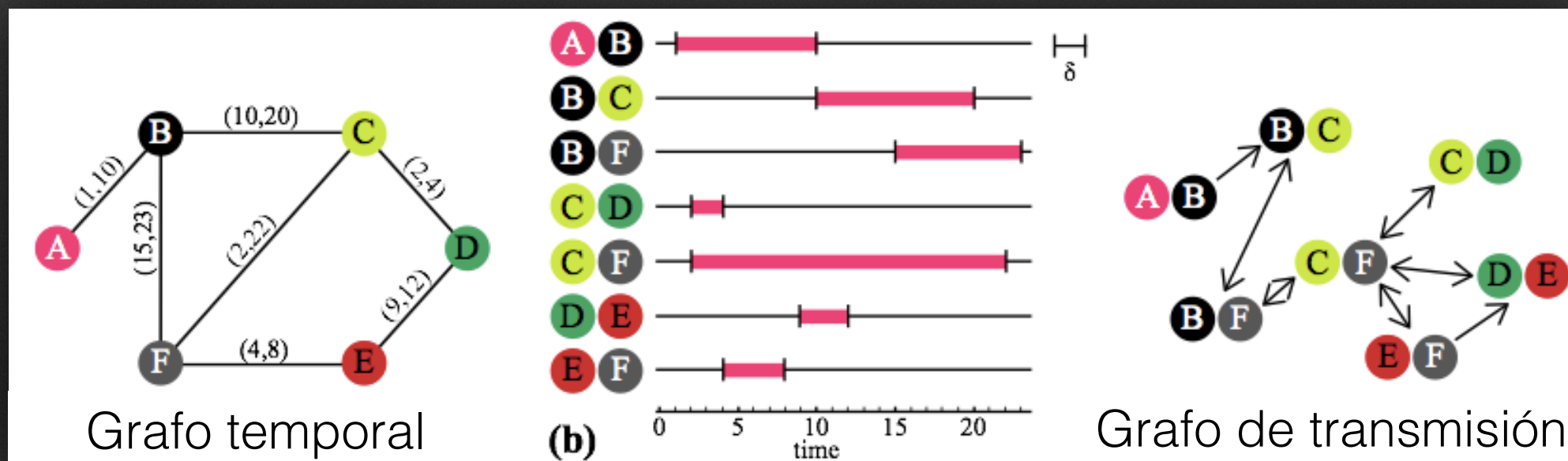
Grafo de linea

Un grafo de linea $L(G)$ de un grafo estático simple G es un grafo en el cual sus nodos son los enlaces de G que son conectados si comparten un nodo en G .

Representando data temporal como una red estática

- Grafos de transmisión

Son grafos de linea que más allá de modelar la estructura de los contactos incorporan la dinámica de las enfermedades



Perspectivas futuras

El estudio de redes temporales, sus características especiales y su dinámica es aún muy joven y hay muchas preguntas abiertas y direcciones inexploradas

1. Modelos generativos para redes temporales

Muy pocos modelos para redes temporales y su secuencia de contactos

2. Medidas para la estructura temporal de la red

Las medidas existentes son generalizaciones de medidas en redes estáticas. Existe aún mucho espacio por mejorar

3. Entender los mecanismos de acción

¿Por qué los contactos entre dos nodos en una red temporal ocurren cuando ocurren?

4. Problemas de inferencia

¿Cómo se puede construir una red temporal partiendo de información acerca de los estados de los nodos o los enlaces?

¿Cómo se puede inferir sobre cadenas de esparcimiento teniendo una red temporal incompleta?

Perspectivas futuras

El estudio de redes temporales, sus características especiales y su dinámica es aún muy joven y hay muchas preguntas abiertas y direcciones inexploradas

5. Sistemas dinámicos

Explorar la sensibilidad existente en muchos sistemas dinámicos a los efectos temporales

6. Estructura de comunidad, clusters o estructura mesoscópica

Descubrir y entender estructura mesoscópica en redes temporales

7. Visualización

Intentar capturar mediante software características y aspectos de las redes temporales de manera visual sería un gran avance