

PARTIMOS EN BREVE

MUCHAS GRACIAS

Redes y Sistemas Complejos



Cristian Candia, Ph.D.

Universidad del Desarrollo (UDD), Chile

Director at the Computational Research in Social Sciences Lab

Associate Professor, Data Science Institute, School of Engineering

Northwestern University, United States.

External Faculty, Northwestern Institute on Complex Systems (NICO)

Kellogg School of Management.

Capybara Spa (AI & Network Science for Preventive, Traceable School Coexistence Compliance)

Founder & Chief Scientific and Technological Officer (CSTO)

¿Qué deberían poder hacer hoy?

Agenda:

- Por qué redes
- Cómo representar un sistema como red
- Qué puede salir mal
- Práctica en Notebook 1

¿Por qué redes?

muchos sistemas relevantes no se
entienden mirando unidades
aisladas; importan las relaciones.

complejo, ja

Del lat. *complexus*, part. pas. de *complecti* 'enlazar'.

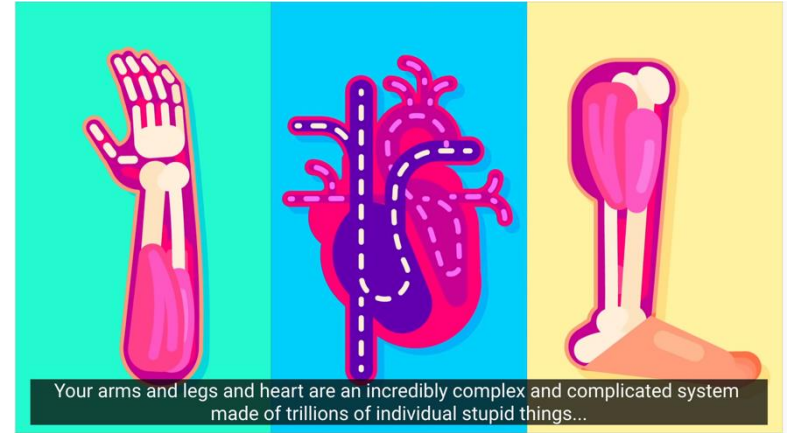
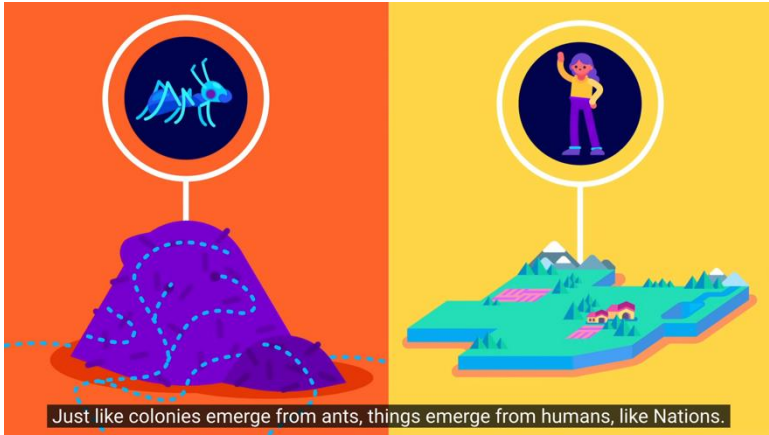
1. **adj.** Que se compone de elementos diversos.
2. **adj.** [complicado](#) (ll enmarañado, difícil).
3. **m.** Conjunto o unión de dos o más cosas que constituyen una unidad. *Complejo vitamínico.*
4. **m.** Conjunto de establecimientos industriales generalmente próximos unos a otros.
5. **m.** Conjunto de edificios o instalaciones agrupados para una actividad común.

Fuente: <http://dle.rae.es>

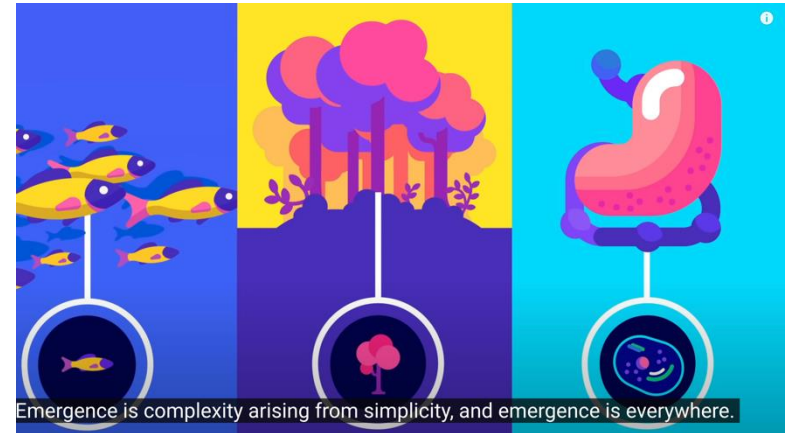
Complejidad, una **teoría científica** que afirma que algunos sistemas muestran fenómenos de comportamiento que son completamente inexplicables por cualquier análisis convencional de las partes constituyentes de los sistemas. Estos fenómenos, comúnmente conocidos como comportamiento emergente, parecen ocurrir en muchos sistemas complejos que involucran tanto organismos vivos, como un mercado de valores o el cerebro humano.

Fuente: [John L. Casti](#), *Encyclopædia Britannica*

Complexity



La emergencia es una relación no trivial entre las propiedades de un sistema a escalas microscópicas y macroscópicas. Las propiedades macroscópicas se denominan emergentes cuando es difícil explicarlas simplemente a partir de las propiedades microscópicas.



Explican por qué las aves vuelan en V

Victoria Gill
BBC

16 enero 2014

El misterio de por qué tantos pájaros vuelan en formaciones en V está muy cerca de resolverse.

Científicos de la escuela de veterinaria de Universidad de Londres, en Reino Unido, colocaron dispositivos para recolectar datos a las aves de una bandada entrenada para migrar siguiendo a un avión ultraligero.

Gracias a esto, pudieron observar que los pájaros volaban en la posición óptima: ganando impulso del ave que va delante al mantenerse cerca de la punta de su ala.

El estudio, publicado en la revista *Nature*, demostró además que las aves sincronizan sus aleteos.

Un experimento previo realizado con pelícanos ofreció el primer indicio real de que las formaciones en V sirven para preservar energía, al mostrar que el ritmo cardíaco de las aves disminuía cuando estaban volando juntas en V.



La autoorganización es un proceso dinámico mediante el cual un sistema forma espontáneamente estructuras macroscópicas y / o comportamientos no triviales a lo largo del tiempo.



PROPIEDADES DE UN SISTEMA COMPLEJO

- Componentes o agentes simples (relativo al sistema en su totalidad)
- Interacciones no lineales entre los components (PA)
- Ausencia de control centralizado (distribuído)
- **Comportamientos emergentes y autorganización:**
 - Organización jerárquica
 - Dinámica y evolución
 - Adaptación y aprendizaje

CURSO DE REDES: COMPORTAMIENTO EMERGENTE Y ESTRUCTURA

EL COMPORTAMIENTO AGREGADO EMERGE DE INTERACCIONES LOCALES

MICRO: INTERACCIONES LOCALES



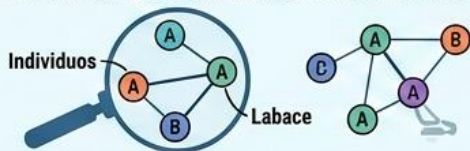
MACRO: PATRÓN AGREGADO EMERGENTE



MICRO, MESO Y MACRO NO SON LO MISMO: DISTINTOS NIVELES DE ANÁLISIS

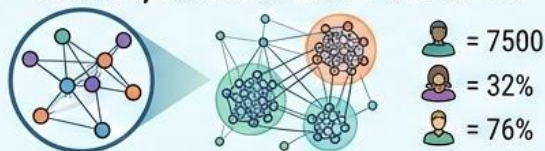
MICRO

INDIVIDUOS Y ENLACES SINGULARES



MESO

GRUPOS, COMUNIDADES Y CLÚSTERS



MACRO

RED COMPLETA: TOPOLOGÍA GLOBAL



LA ESTRUCTURA RELACIONAL CONDICIONA DIFUSIÓN, COORDINACIÓN Y DESIGUALDAD

DIFUSIÓN (EJ: VIRALIDAD)



COORDINACIÓN (EJ: NORMAS)



DESIGUALDAD (EJ: RIQUEZA/PODER)



Redes en el Corazón de los Sistemas Complejos

Por qué estudiar redes?

Muchas de las relaciones económicas, políticas, y sociales — entre otros sistemas— son formadas a partir de la estructura local de las relaciones

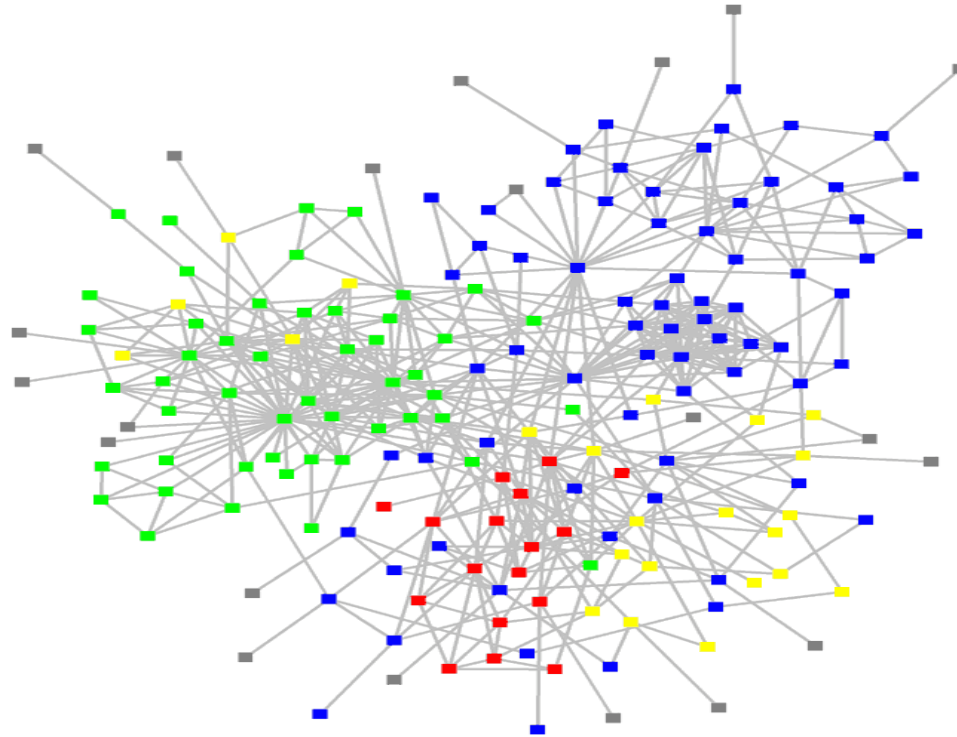
Las estructuras de las redes a nivel global influyen el comportamiento individual




Entendimiento general de las conexiones entre unidades del mismo tipo

El “grafo social” detrás de Facebook


**La suma de todos los lazos
profesionales, de amistad y
familiares es el tejido de la sociedad.**

ESTRUCTURA DE UNA ORGANIZACIÓN



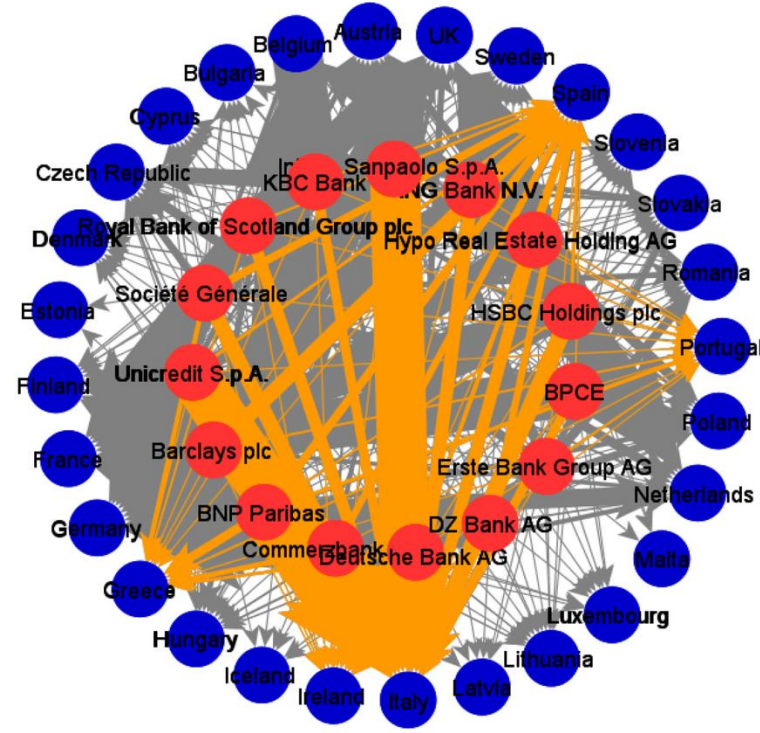
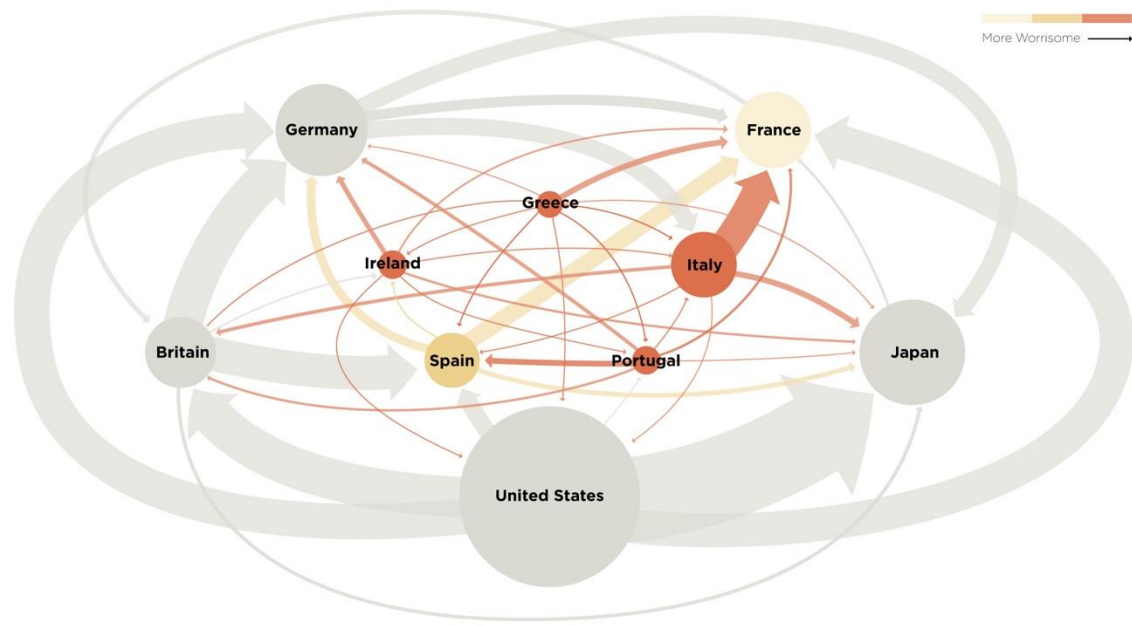
   : departments

 : consultants

 : external experts

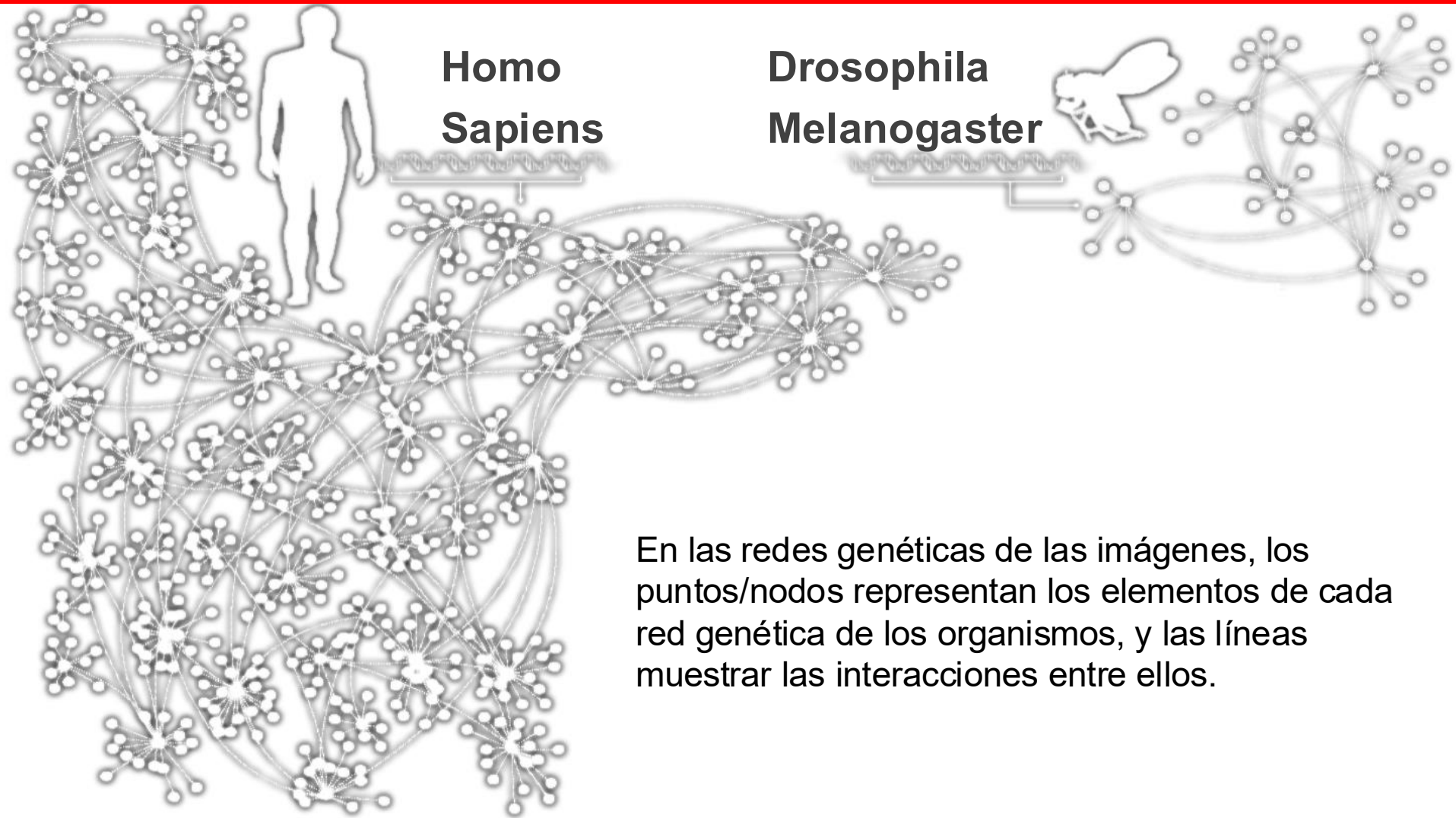
www.orgnet.com

Red financiera: La interdependencia del sector financiero en 2011



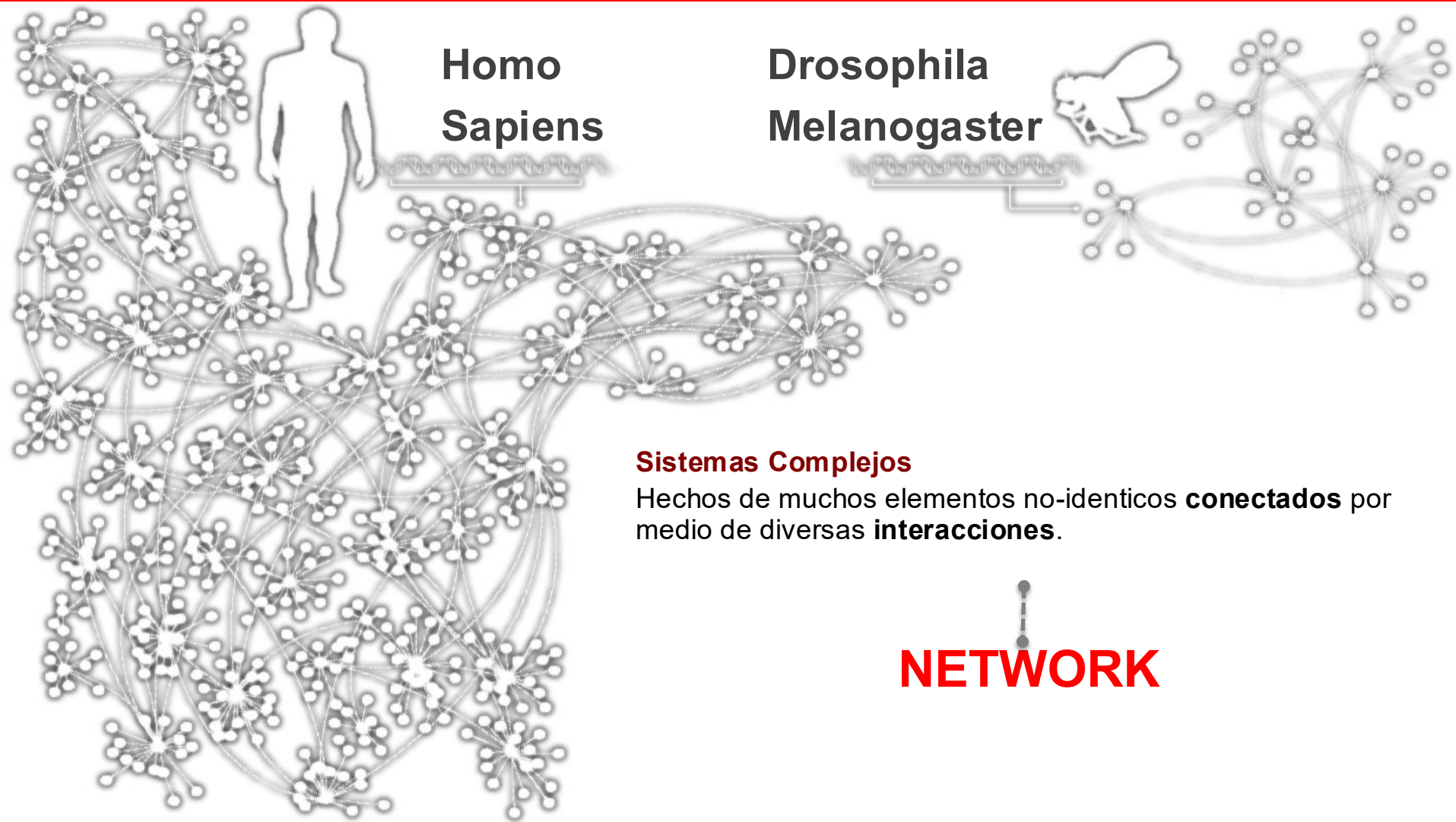
Nodos: Instituciones financieras
Enlaces: Relaciones entre ellas

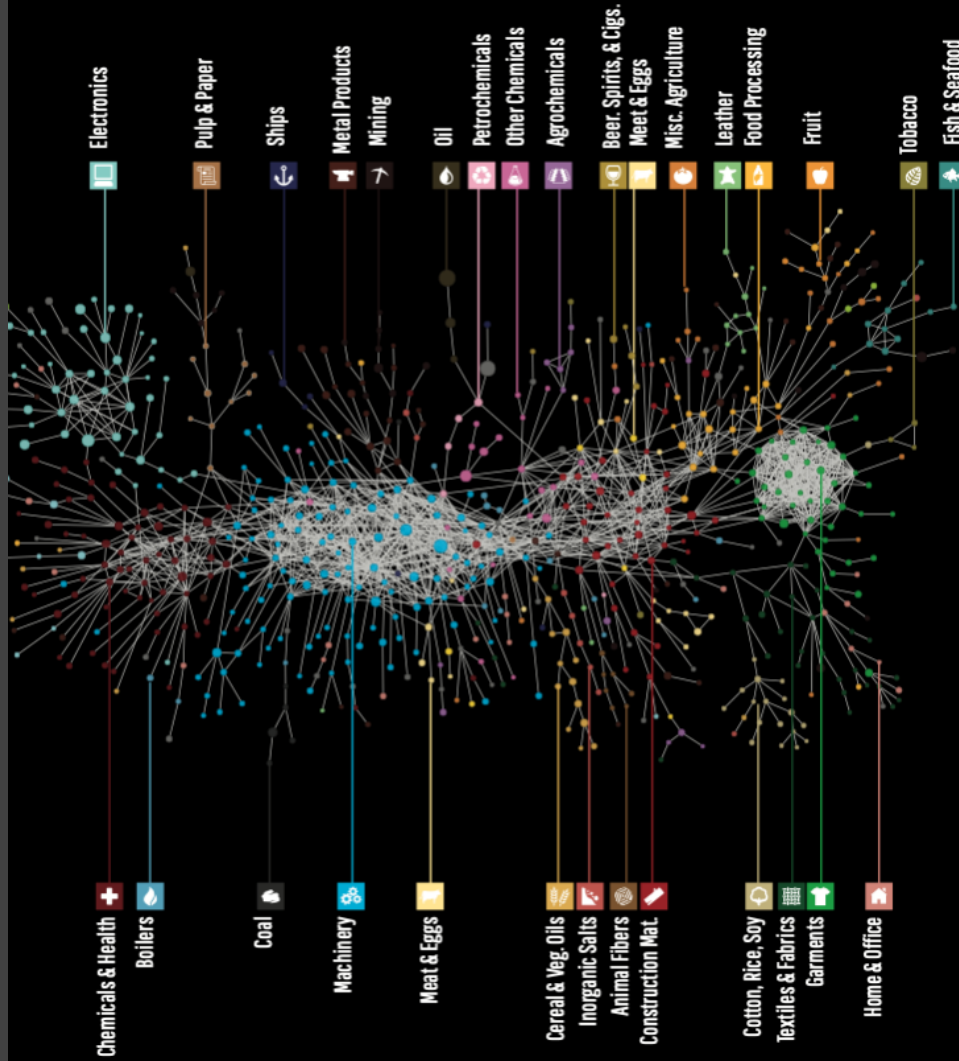
GENES HUMANOS



En las redes genéticas de las imágenes, los puntos/nodos representan los elementos de cada red genética de los organismos, y las líneas muestran las interacciones entre ellos.

GENES HUMANOS





Product Space

Relates products
that countries export

Hidalgo, César A., et al.

"The product space conditions the development of nations."
Science 317.5837 (2007): 482-487.

The effect of travel restrictions on the spread of the 2019 novel coronavirus (COVID-19) outbreak

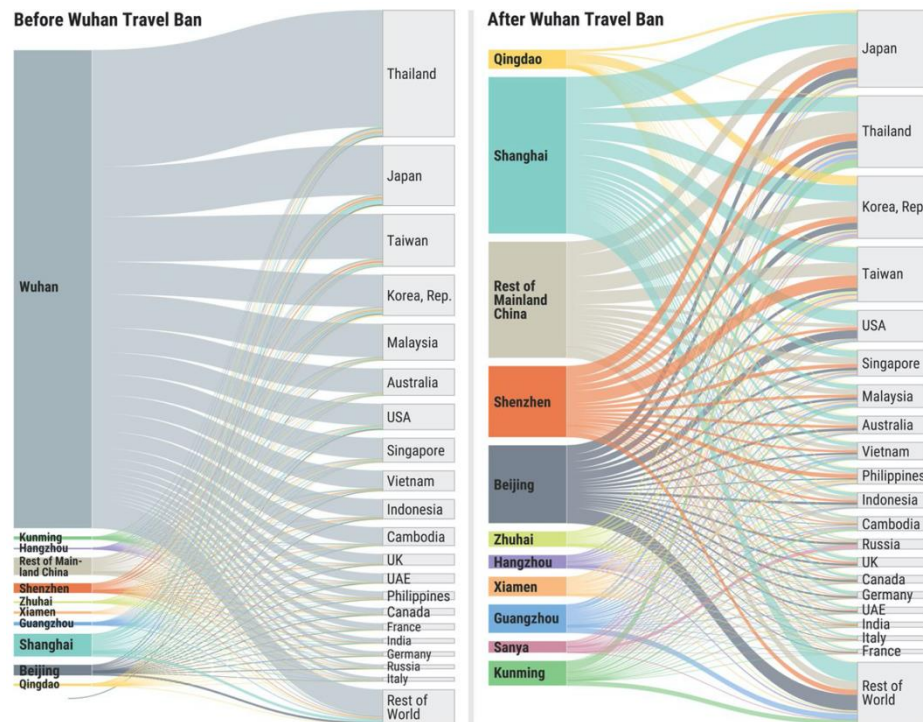
MATTEO CHINAZZI ^{ID}, JESSICA T. DAVIS, MARCO AJELLI, CORRADO GIOANNINI, MARIA LITVINOVA ^{ID}, STEFANO MERLER, ANA PASTORE Y PIONTTI, KUNPENG MU,

LUCA ROSSI, [...], AND ALESSANDRO VESPIGNANI ^{ID} [+6 authors](#) [Authors Info & Affiliations](#)

infections projected



change in relative risk by country after travel ban



Detrás de cada sistema complejo hay una **red**, que define las interacciones entre los componentes.

Nunca entenderemos un sistema complejo a menos que entendamos las redes detrás de ellos.

Sistemas complejos en pocas palabras

Los sistemas complejos son redes formadas por una serie de componentes que interactúan entre sí, normalmente de forma no lineal.

Los sistemas complejos pueden surgir y evolucionar a través de la autoorganización, de modo que no sean completamente regulares ni completamente aleatorios, lo que permite el desarrollo de un comportamiento emergente a escalas macroscópicas.

Si tuvieras que entender la propagación de enfermedades, ¿puedes hacerlo sin redes?

Si tuviera que entender la estructura de WWW, la capacidad de búsqueda, etc., sería inútil sin recurrir la topología de la Web.

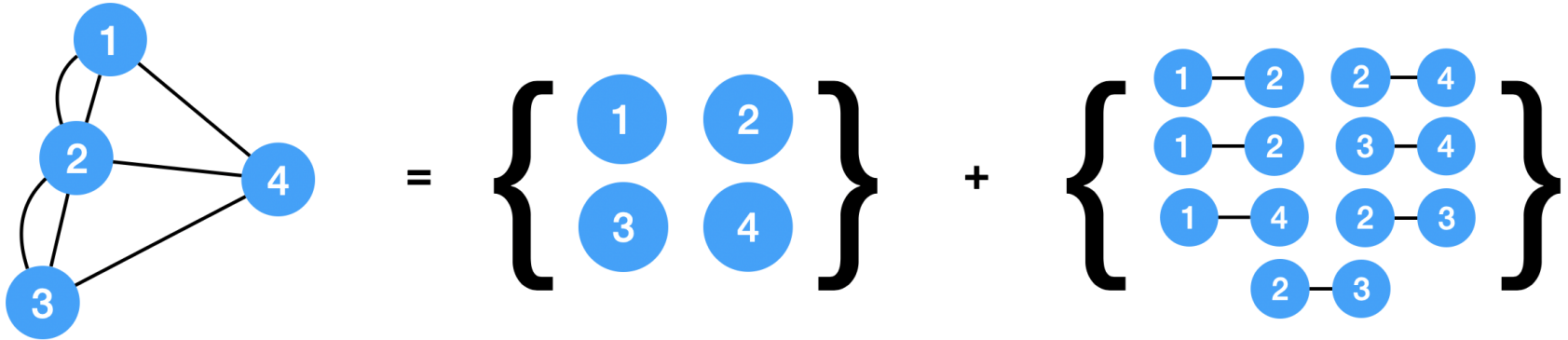
Si desea comprender las enfermedades humanas, es inútil sin considerar el diagrama de cableado de la célula.

¿Cómo representar un sistema como red?

Representación de una red

- **Nodos, vertices, agentes, actores:** unidad de la red.
- **Aristas, enlaces, lazos:** conexiones entre nodos.
 - Los enlaces pueden tener **dirección**: la relación o interés va de un nodo a otro
 - Una persona recibe instrucciones o mentoría de otra persona con más experiencia
 - Seguidores en redes sociales
 - Los enlaces pueden tener **intensidad** (peso):
 - El numero de colaboraciones entre dos autores
 - Cuanto PIB es invertido de un país a otro

Se ha desarrollado en distintas áreas del conocimiento



Complex Network
(Physics, Economics, Biology)

Nodes

Links

Graph
(Mathematics, Computer Science)

Vertices

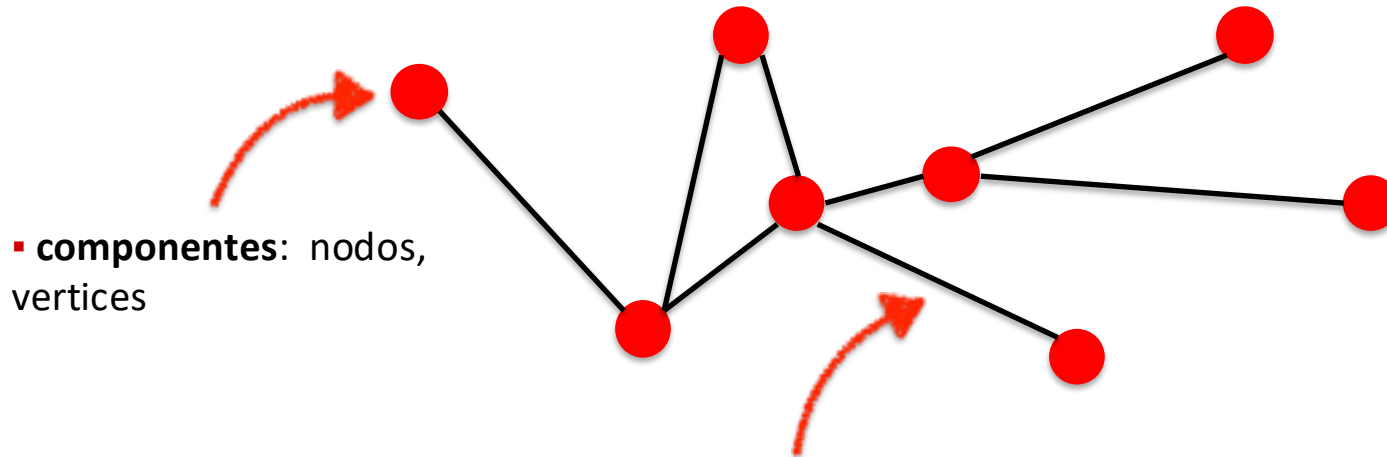
Edges

Social Network
(Sociology, Political Sciences)

Actors

Relationships

COMPONENTES DE UN SISTEMA COMPLEJO



▪ **componentes:** nodos, vertices

▪ **interacciones:** enlaces, arista o bordes

▪ **sistema:** red, grafo

Notación básica de una red

- **Conjunto de nodos:** Representados como V , donde V es un conjunto de nodos, vertices, agentes, actores, etc. en la red.

Por ejemplo: $V = \{A, B, C, D\}$

- **Conjunto de enlaces:** Representados como E , donde E es un conjunto ordenado de pares de nodos (u, v) , denotando una conexión o relación entre ellos.

Por ejemplo: $E = \{(A, B), (A, C), (B, D), (C, D)\}$

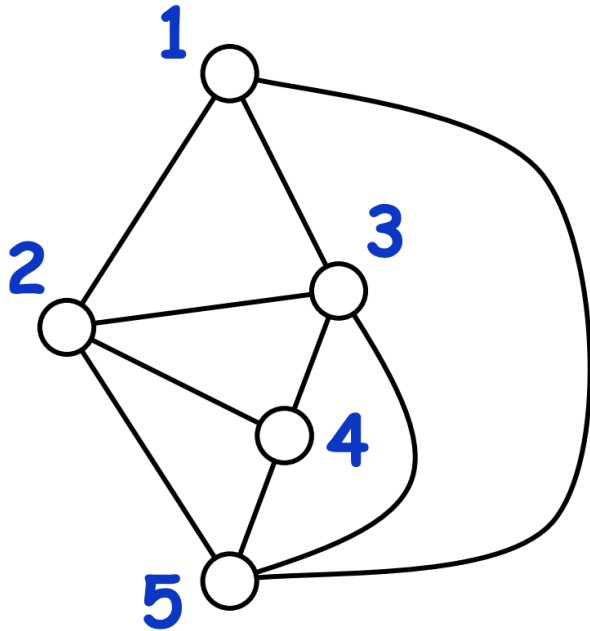
Cada par ordenado (u,v) en E representa un enlace entre nodo u y nodo v .

- **Red o grafo:** La red típicamente se representa como $G(V,E)$, donde G es la red o grado, V es el set de nodos o vertices, y E es el conjunto de enlaces.

Por ejemplo: $G(V, E) = (\{A, B, C, D\}, \{(A, B), (A, C), (B, D), (C, D)\})$

Ejemplo

- **Conjunto de nodos:** $V = \{1, 2, 3, 4, 5\}$
- **Conjunto de enlaces:** $E = \{(u,v)\}$
- **Red o grafo:** $G(V, E)$



Nodos

1, 2, 3, 4, 5

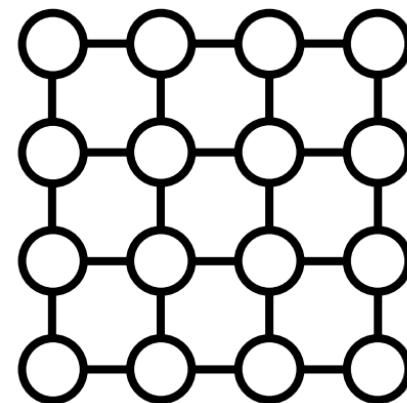
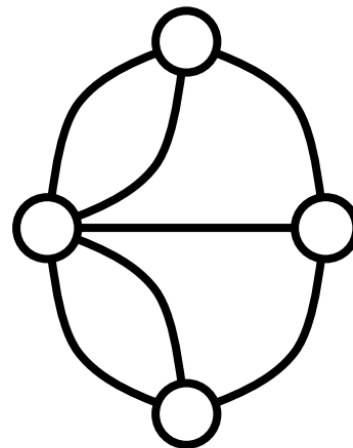
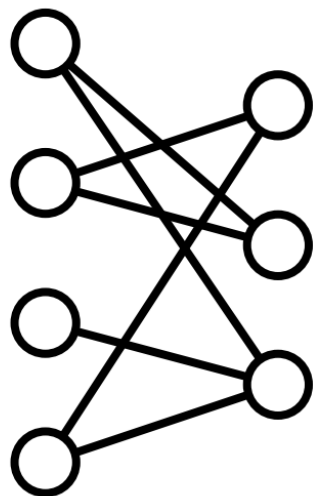
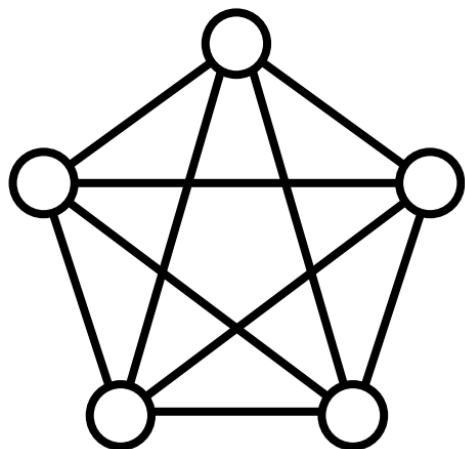
Enlaces

1 \leftrightarrow 2, 1 \leftrightarrow 3, 1 \leftrightarrow 5,
2 \leftrightarrow 3, 2 \leftrightarrow 4, 2 \leftrightarrow 5,
3 \leftrightarrow 4, 3 \leftrightarrow 5, 4 \leftrightarrow 5

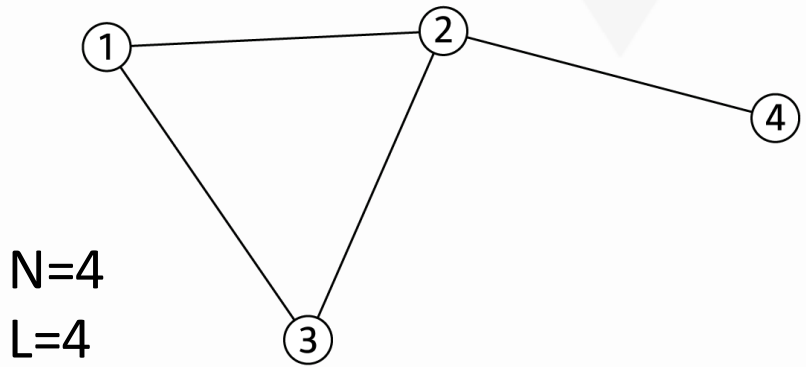
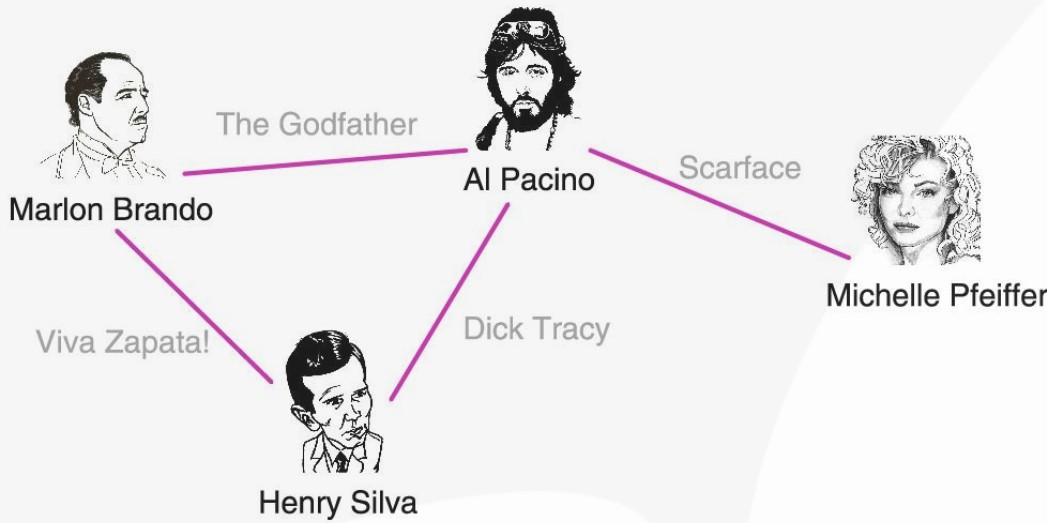
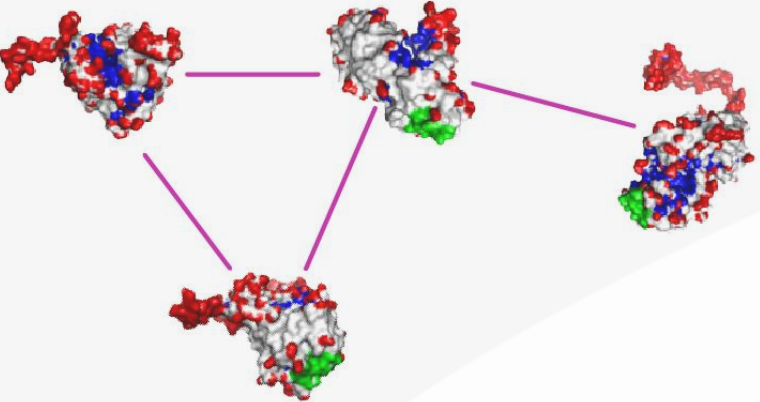
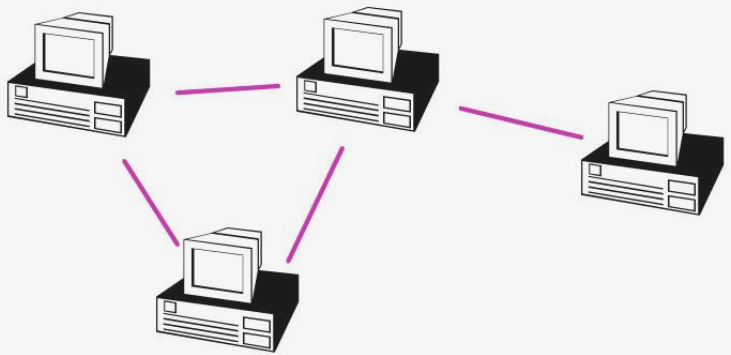
Los nodos pueden tener estados; los enlaces pueden tener direcciones y pesos

¿Qué es un grafo?

Estructura matemática que consta de "nodos" (o vértices) y "enlaces" (aristas o borde) que conectan a los nodos.



UN LENGUAJE COMÚN



N=4
L=4

REDES O GRAFOS?

red a menudo se refiere a sistemas reales

- www,
- social network (red social)
- metabolic network. (red metabólica)

Lenguaje: (Red (Network), nodo (node), enlace (link))

grafo: representación matemática de una red

- web graph,
- social graph (a Facebook term)

Lenguaje: (Grafo (graph), vertice (vertex), enlace (edge))

Trataremos de hacer esta distinción siempre que sea apropiado, pero en la mayoría de los casos usaremos los dos términos indistintamente.

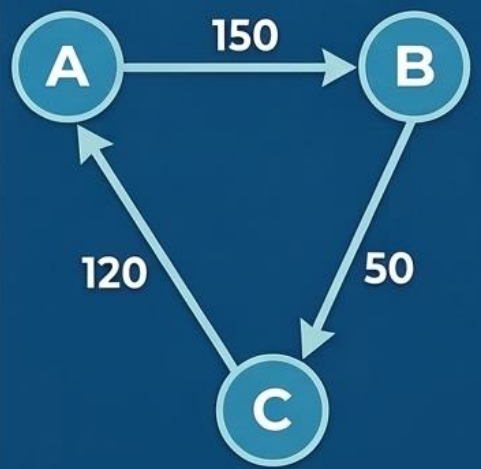
DE SISTEMA REAL A GRAFO

CURSO DE REDES



-  → **NODO (Vertex):**
Ubicación
-  → **ARISTA (Edge):**
Conexión
-  → **PESO (Weight):**
Valor asociado
-  → **DIRECCIÓN (Direction):**
Sentido del flujo

GRAFO (MODELO MATEMÁTICO)



La red como un objeto epistemológico

Una red no es solo un dibujo: Es una representación analítica de entidades y relaciones

La elección de la representación de red adecuada determina nuestra capacidad para utilizar la teoría de redes con éxito.

En algunos casos hay una representación única e inequívoca.
En otros casos, la representación no es de ninguna manera única.

Por ejemplo, la forma en que asignamos los vínculos entre un grupo de individuos determinará la naturaleza de la pregunta que podemos estudiar.

ELIGIENDO UNA REPRESENTACIÓN ADECUADA

They Rule

Josh On (2004)

<http://www.theyrule.net>

Si conectas personas
que trabajan entre sí,
explorarás
La red profesional.



The structure of adolescent romantic and sexual networks



Si conectas a aquellos que tienen una relación romántica y sexual, estarás explorando las **redes sexuales**.

Bearman PS, Moody J, Stovel K.

Institute for Social and Economic Research and Policy - Columbia University

<http://researchnews.osu.edu/archive/chainspix.htm>

ELIGIENDO UNA REPRESENTACIÓN ADECUADA

Si conectas a personas en función de su primer nombre (todos los Juanes se conectan entre sí), ¿qué explorarás?

Sin embargo, es una red.

Tipos de redes que usaremos

Enlaces/Bordes



No-dirigida

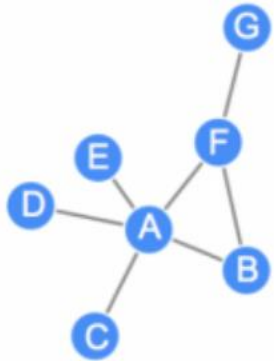


Dirigida



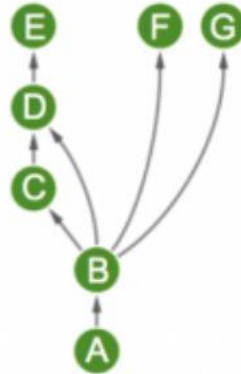
Con pesos

Tipos de Redes



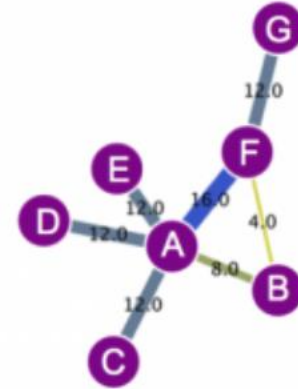
Friendships, Influence

No-dirigida



**Parenthood,
Dependences**

Dirigida



Similarity, Financial Ties

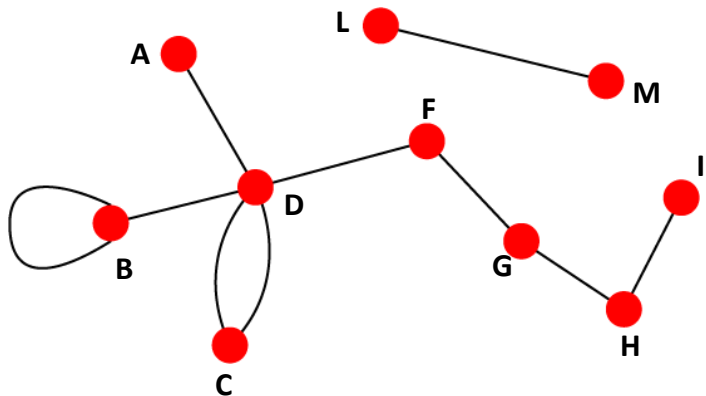
Con pesos

REDES DIRIGIDAS VS REDES NO-DIRIGIDAS

No-dirigidas

Links: no-dirigidos (*simétricos*)

Grafo:



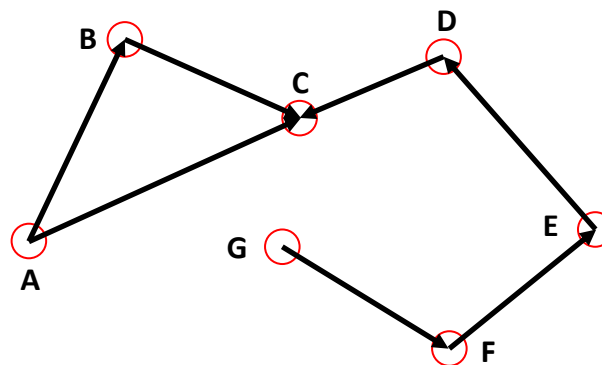
Links no-dirigidos:

- Links de co-autores
- Red de actores
- Interacción de proteínas

Dirigidas

Links: dirigidos (*arcos*).

Digrafo = grafo dirigido:



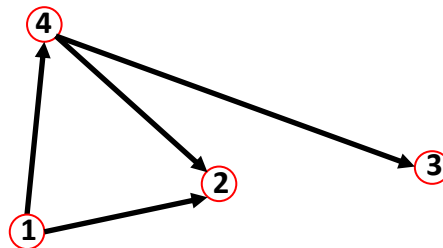
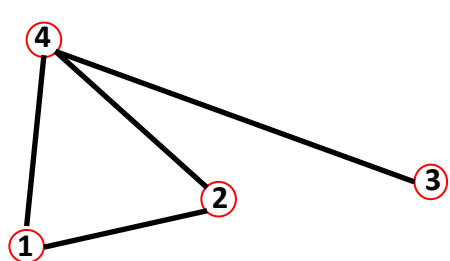
Un enlace no dirigido es la superposición de dos enlaces dirigidos opuestos.

Links dirigidos:

- URLs in el WWW
- Llamadas de teléfono
- Reacciones metabólicas

Matriz de adyacencia

MATRIZ DE ADYACENCIA



$A_{ij}=1$ si hay un link entre el nodo i y j

$A_{ij}=0$ si los nodos i y j no están conectados entre si

$$A_{ij} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad A_{ij} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

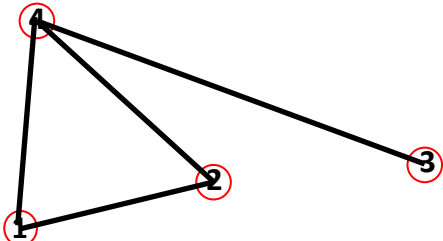
Tenga en cuenta que para un grafo dirigido (derecha) la matriz no es simétrica.

$A_{ij} = 1$ Si hay un link apuntando desde el nodo j al i

$A_{ij} = 0$ Si hay un link apuntando desde el nodo i al j

MATRIZ DE ADYACENCIA

No-dirigido



$$A_{ij} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

$$A_{ij} = A_{ji}$$

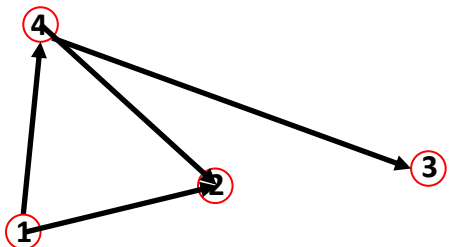
$$A_{ii} = 0$$

$$k_i = \sum_{j=1}^N A_{ij}$$

$$k_j = \sum_{i=1}^N A_{ij}$$

$$L = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N k_i = \frac{1}{2} \sum_{ij} A_{ij}$$

Dirigido



$$A_{ij} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$A_{ij} \neq A_{ji}$$

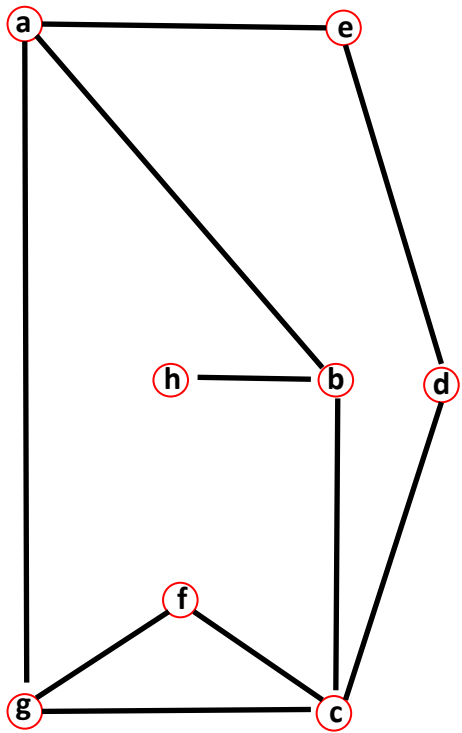
$$A_{ii} = 0$$

$$k_i^{in} = \sum_{j=1}^N A_{ij}$$

$$k_j^{out} = \sum_{i=1}^N A_{ij}$$

$$L = \sum_{i=1}^N k_i^{in} = \sum_{j=1}^N k_j^{out} = \sum_{i,j} A_{ij}$$

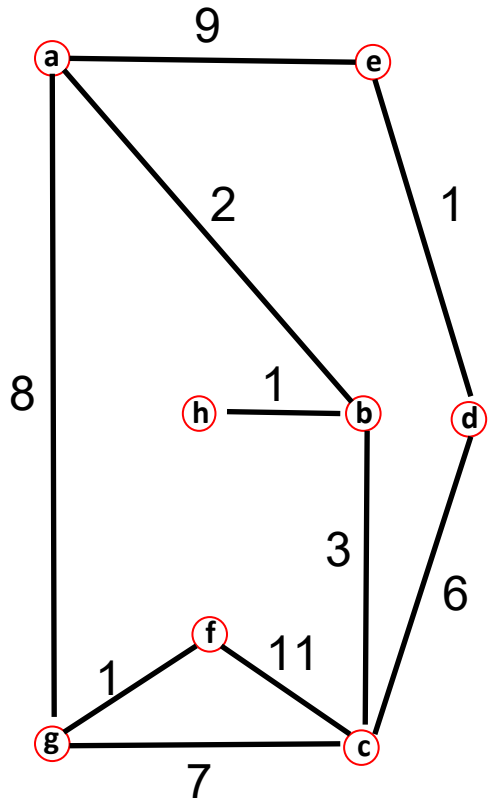
MATRIZ DE ADYACENCIA



| | a | b | c | d | e | f | g | h |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| a | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| b | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| c | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| d | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| e | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| f | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| g | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| h | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

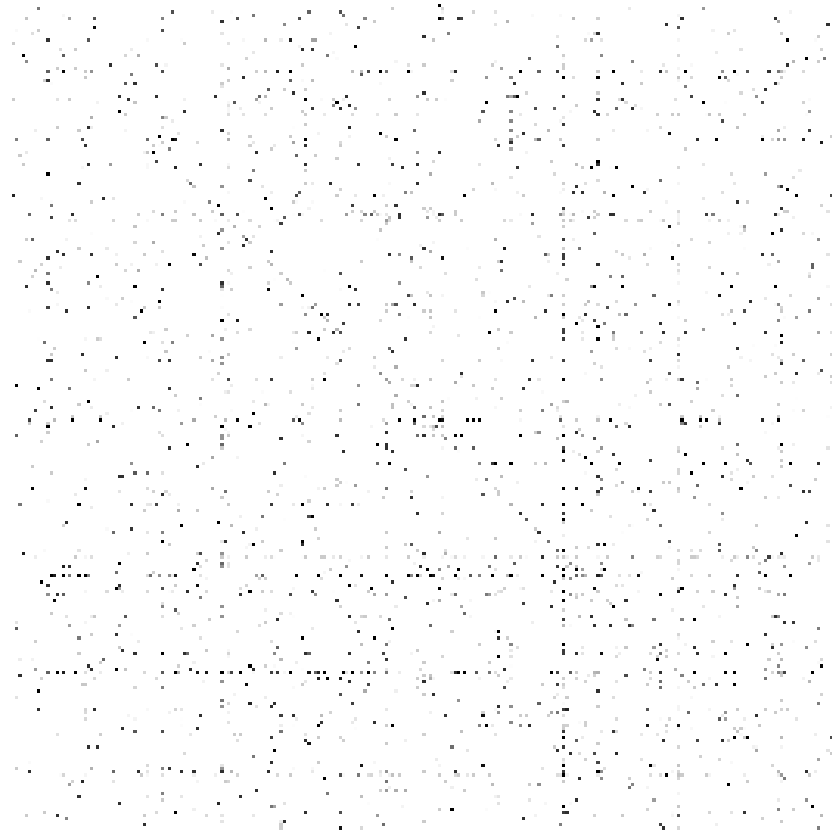
MATRIZ DE ADYACENCIA CON PESOS

$$A_{ij} = w_{ij}$$



| | a | b | c | d | e | f | g | h |
|---|---|---|----|---|---|----|---|---|
| a | 0 | 2 | 0 | 0 | 9 | 0 | 8 | 0 |
| b | 2 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| c | 0 | 3 | 0 | 6 | 0 | 11 | 7 | 0 |
| d | 0 | 0 | 6 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| e | 9 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| f | 0 | 0 | 11 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| g | 8 | 0 | 7 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| h | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

LAS MARICES DE ADYACENCIA SON "SPARSE"



Edgelist

LISTA DE ARISTAS (Edgelist)

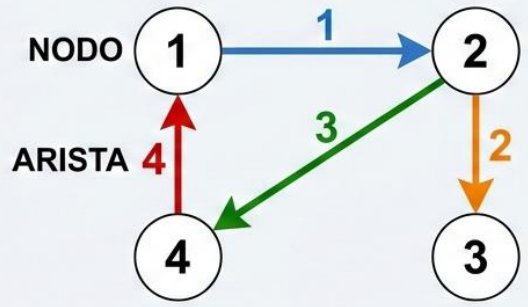
| | U | V |
|---|---|---|
| 1 | 1 | 2 |
| 2 | 2 | 3 |
| 3 | 2 | 4 |
| 4 | 4 | 1 |

EQUIVALENCIA

MATRIZ DE ADYACENCIA (A)

| | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 3 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 1 | 0 | 0 | 0 |

GRAFO CORRESPONDIENTE (G)



GRAFO CORRESPONDIENTE (G)

REPRESENTACIÓN

Grafo dirigido

Errores típicos al construir una red desde datos

IDs inconsistentes: una misma entidad aparece con nombres o códigos distintos.

Definición ambigua de arista: no está claro qué cuenta como relación.

Granularidad incorrecta: se mezclan niveles distintos de análisis **en la misma red** (persona, mascota, institución).

Dirección mal especificada: la red se trata como no dirigida cuando la relación sí tiene sentido de origen y destino.

Pesos mal contruidos: se agregan frecuencias, montos o intensidades de forma incorrecta.

Ventana temporal mal definida: se mezclan interacciones de periodos que no deberían agregarse juntos.

Nodos o aristas que no deberían existir: duplicados, self-loops no esperados o enlaces espurios.

Muchos problemas en análisis de redes no vienen de la métrica, sino de cómo se construyó la red (y otras veces de la data!!!)

Por qué estos errores importan

ID inconsistente: se fragmenta artificialmente la red

Arista mal definida: cambia el significado sustantivo del vínculo

Dirección incorrecta: cambian grado, in-degree y out-degree

Peso mal agregado: se distorsiona la intensidad de las relaciones

Mezcla temporal: se pierde comparabilidad e interpretación

Self-loops o duplicados: se inflan métricas o aparecen patrones falsos

Una red mal especificada puede producir métricas correctas sobre un objeto incorrecto.

Chequeos básicos antes de analizar una red

- **Número de nodos:** verificar cuántas entidades quedaron representadas.
- **Número de aristas:** verificar cuántas relaciones se construyeron.
- **Self-loops:** detectar nodos conectados consigo mismos, si eso no era esperable.
- **Duplicados:** revisar si una misma arista aparece repetida por error.
- **Nodos aislados:** identificar entidades sin conexiones.
- **Componentes conectados:** revisar si la red quedó fragmentada en partes desconectadas.
- **Distribución básica de grado:** inspeccionar si hay nodos con demasiadas o muy pocas conexiones.
- **Consistencia entre representaciones:** comprobar que edgelist, matriz de adyacencia y objeto grafo codifican la misma estructura, si aplica.

Qué revela este control de calidad

Número de nodos y aristas

- pérdidas de datos, filtros mal aplicados o agregación inesperada

Self-loops

- error de construcción, o bien una relación autorreferente que debe justificarse

Duplicados

- problemas en limpieza, agregación o merge de tablas

Nodos aislados

- entidades sin actividad, datos faltantes o definición restrictiva de arista

Componentes conectados

- fragmentación real del sistema o errores de matching entre IDs

Distribución de grado

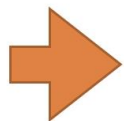
- nodos anómalos, cuentas genéricas, hubs artificiales o sesgos en captura de datos

Consistencia entre matriz y edgelist

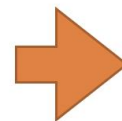
- errores de transformación entre formatos o pérdida de información

Network Science

**Data
Collection**

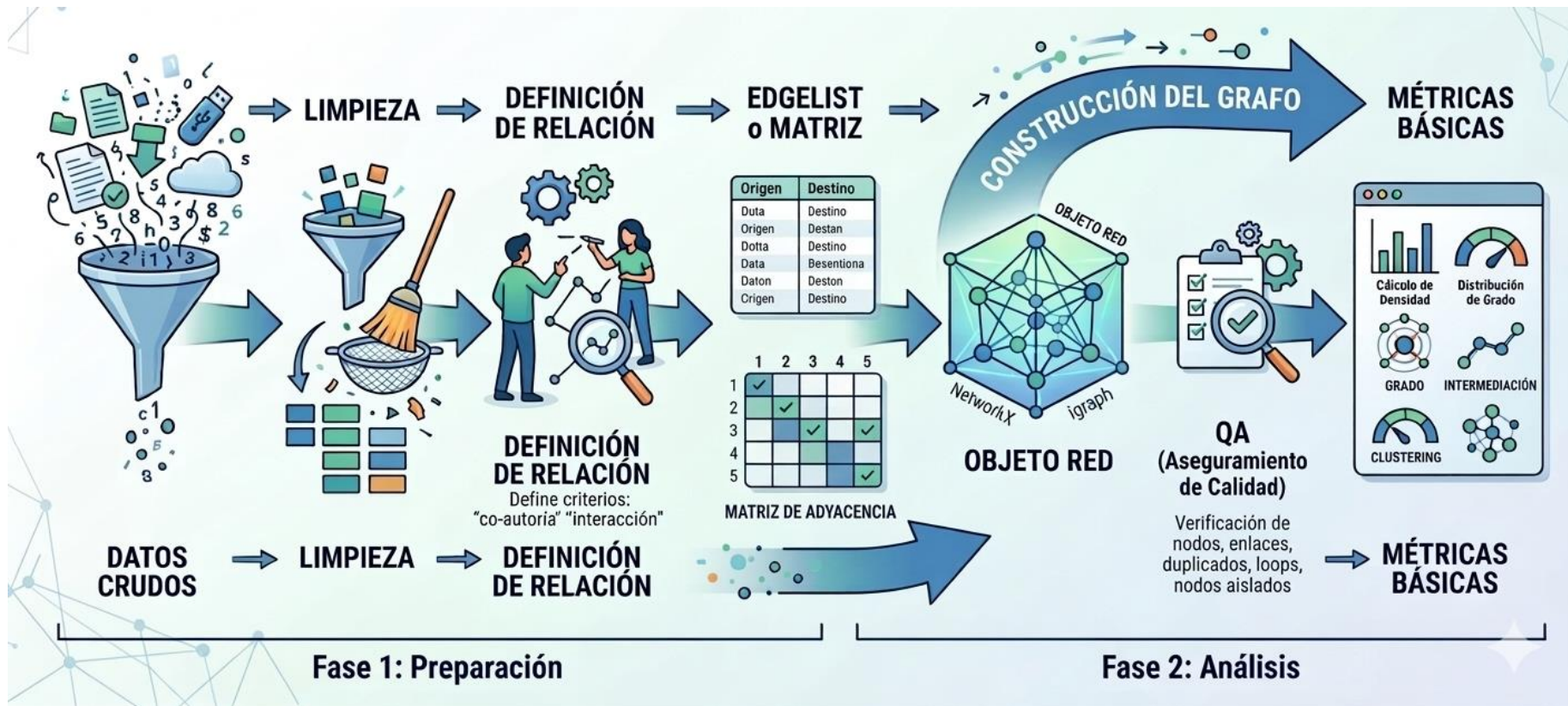


**Network
Inference**

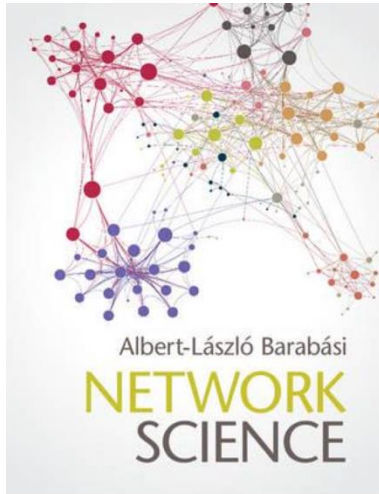


**Network
Analysis**

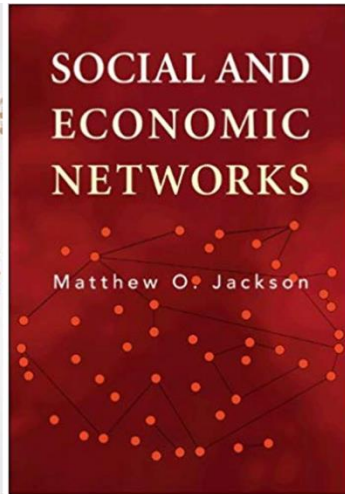
De datos crudos a grafo a métricas



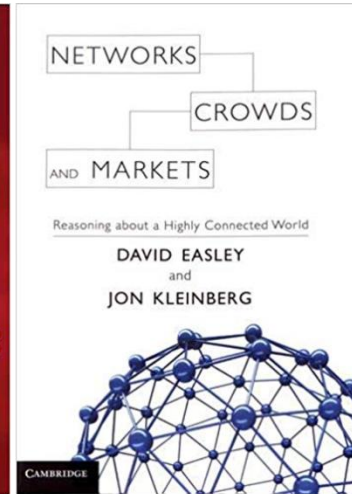
Bibliografía



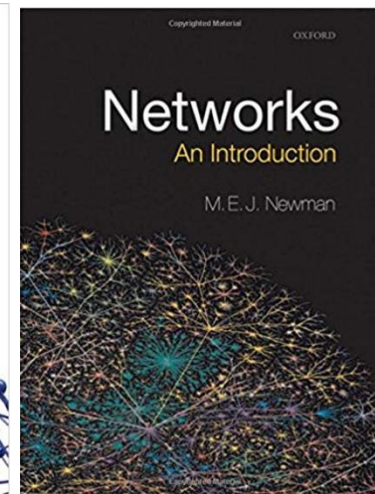
Obligatorio



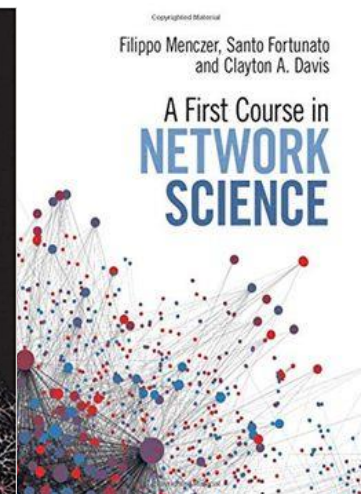
Sugerido



Sugerido



Sugerido



Sugerido

How Everything Is Connected to
Everything Else and What It Means for
Business, Science, and Everyday Life

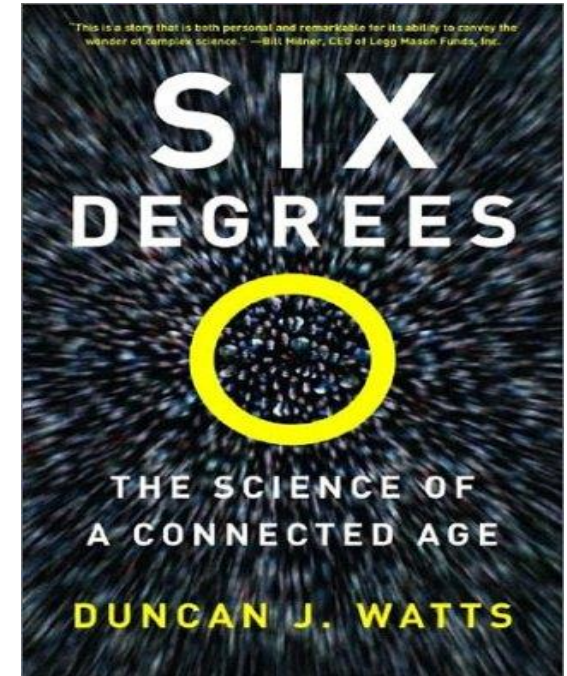
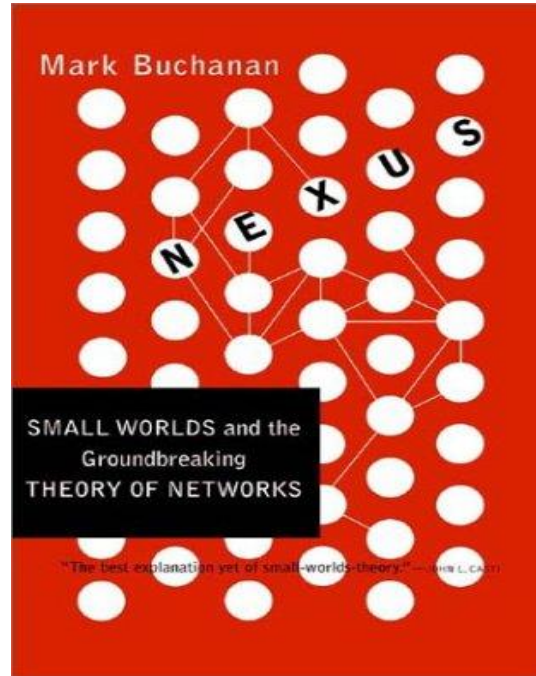
Linked



"*Linked* could alter the way we think about all of the
networks that affect our lives." —*The New York Times*

Albert-László Barabási

With a New Afterword



Beginner



Advanced



+

Pandas



+



NetworkX

CONTENIDOS TEMÁTICOS

- 1) Modelamiento y construcción de redes desde datos (Semanas 1–2)
- 2) Métricas y feature engineering para análisis aplicado (Semanas 2–3)
- 3) Baselines, modelos generativos y mesoestructura (Semanas 4–5)
- 4) Procesos en redes: difusión e intervención (Semana 6)
- 5) Inferencia, evaluación y ética (Semana 7)
- 6) Cápsula: Redes en industria + ML sobre grafos (Semana 8, no evaluable)

Evaluaciones

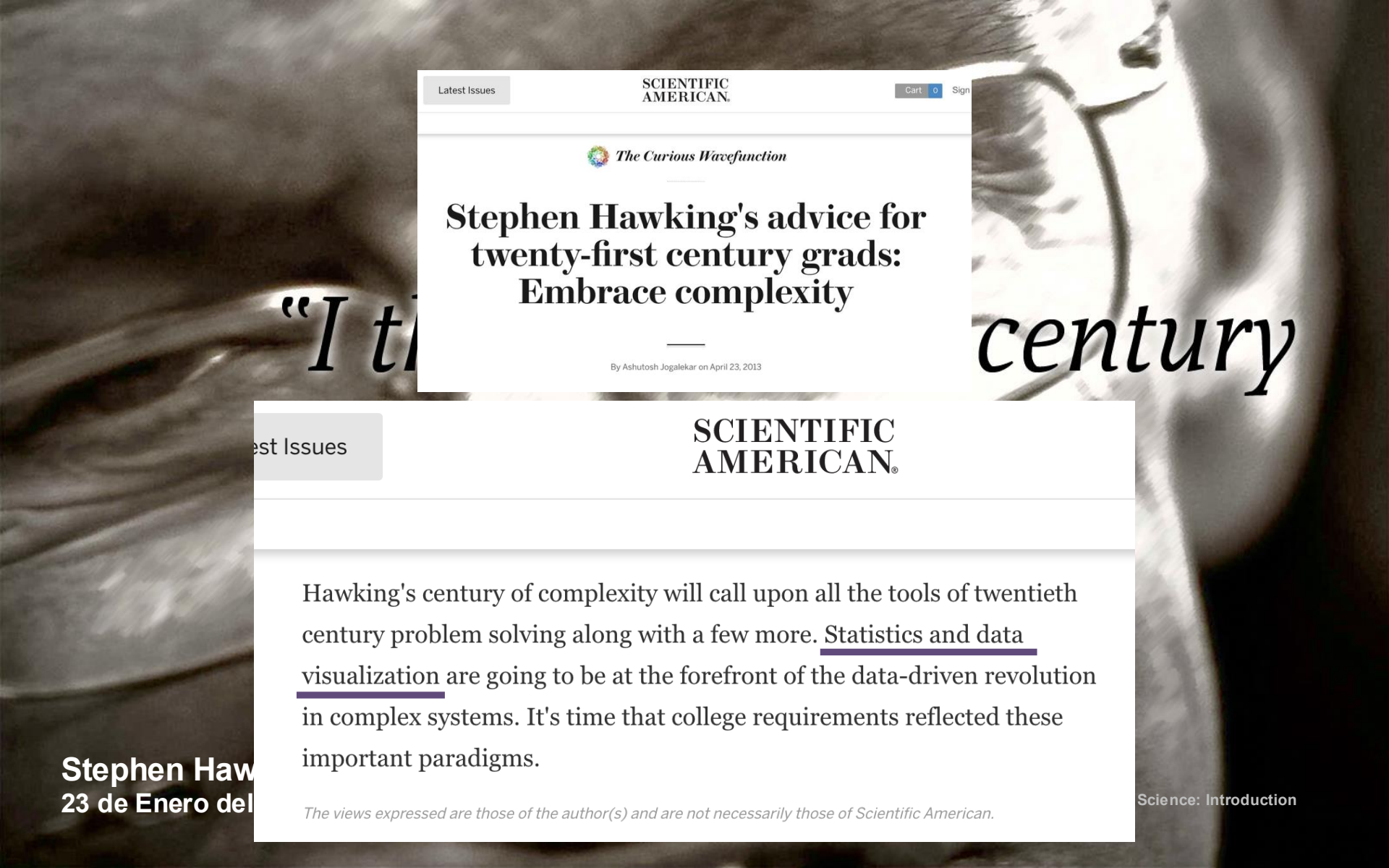
| Actividad | Ponderación | Nivel de Bloom | Foco / Descripción |
|--------------------------------------|---------------|------------------------------|--|
| Quizzes de entrada (6) | 15% | Recordar / Comprender | Quizzes breves (8–10 min, autocorregibles) para asegurar lectura mínima y dominio de conceptos |
| Laboratorios prácticos aplicados (2) | 40% (20% c/u) | Aplicar / Analizar / Evaluar | Dos entregas incrementales en notebooks sobre un dataset común (compras públicas). |
| Presentación de paper/tema (1) | 15% | Comprender / Evaluar / Crear | Presentación breve (video de 6–8 min) de un paper/tema canónico asignado, conectándolo explícitamente al problema/dataset del curso. |
| Proyecto final (entrega) | 30% | Crear / Evaluar | Paquete de auditoría y comunicación profesional: brief ejecutivo + anexo de validación + checklist ética/privacidad. El notebook final se entrega “congelado” (reproducibile). |

Apéndice

A close-up, black and white photograph of Stephen Hawking's face, focusing on his eyes and glasses. The image has a slightly blurred, artistic quality. The text is overlaid on the right side of his face.

*“I think the next century
will be the century
of complexity.”*

Stephen Hawking
23 de Enero del 2000



"I th

century

Latest Issues

SCIENTIFIC AMERICAN.

Cart 0 Sign

 *The Curious Wavefunction*

Stephen Hawking's advice for twenty-first century grads: Embrace complexity

By Ashutosh Jogalekar on April 23, 2013

Latest Issues

SCIENTIFIC AMERICAN.

Hawking's century of complexity will call upon all the tools of twentieth century problem solving along with a few more. Statistics and data visualization are going to be at the forefront of the data-driven revolution in complex systems. It's time that college requirements reflected these important paradigms.

The views expressed are those of the author(s) and are not necessarily those of Scientific American.

Science: Introduction

Stephen Hawking
23 de Enero del 2013

"for groundbreaking contributions to our understanding of complex systems"

This year's Nobel Prize in Physics is awarded with one half jointly to [Syukuro Manabe](#), [Klaus Hasselmann](#) and the other half to [Giorgio Parisi](#). They have laid the foundation of our knowledge of the Earth's climate and how humanity influences it, as well as revolutionized the theory of disordered materials and random processes.

The 2021 Nobel Prize laureates in Physics

This year's Nobel Prize in Physics is awarded with one half jointly to [Syukuro Manabe](#), [Klaus Hasselmann](#) "for the physical modelling of Earth's climate, quantifying variability and reliably predicting global warming" and the other half to [Giorgio Parisi](#) "for the discovery of the interplay of disorder and fluctuations in physical systems from atomic to planetary scales".



Ill. Niklas Elmehed © Nobel Prize Outreach.

Complex system

From Wikipedia, the free encyclopedia

"Complex systems" redirects here. For the journal, see [Complex Systems \(journal\)](#).

A **complex system** is a [system](#) composed of many components which may [interact](#) with each other. Examples of complex systems are Earth's global [climate](#), [organisms](#), the [human brain](#), infrastructure such as power grid, transportation or communication systems, social and economic organizations (like [cities](#)), an [ecosystem](#), a living [cell](#), and ultimately the entire [universe](#).

Complex systems are [systems](#) whose behavior is intrinsically difficult to model due to the dependencies, competitions, relationships, or other types of interactions between their parts or between a given system and its environment. Systems that are "complex" have distinct properties that arise from these relationships, such as [nonlinearity](#), [emergence](#), [spontaneous order](#), [adaptation](#), and [feedback loops](#), among others. Because such systems appear in a wide variety of fields, the commonalities among them have become the topic of their independent area of research. In many cases, it is useful to represent such a system as a network where the nodes represent the components and links to their interactions.

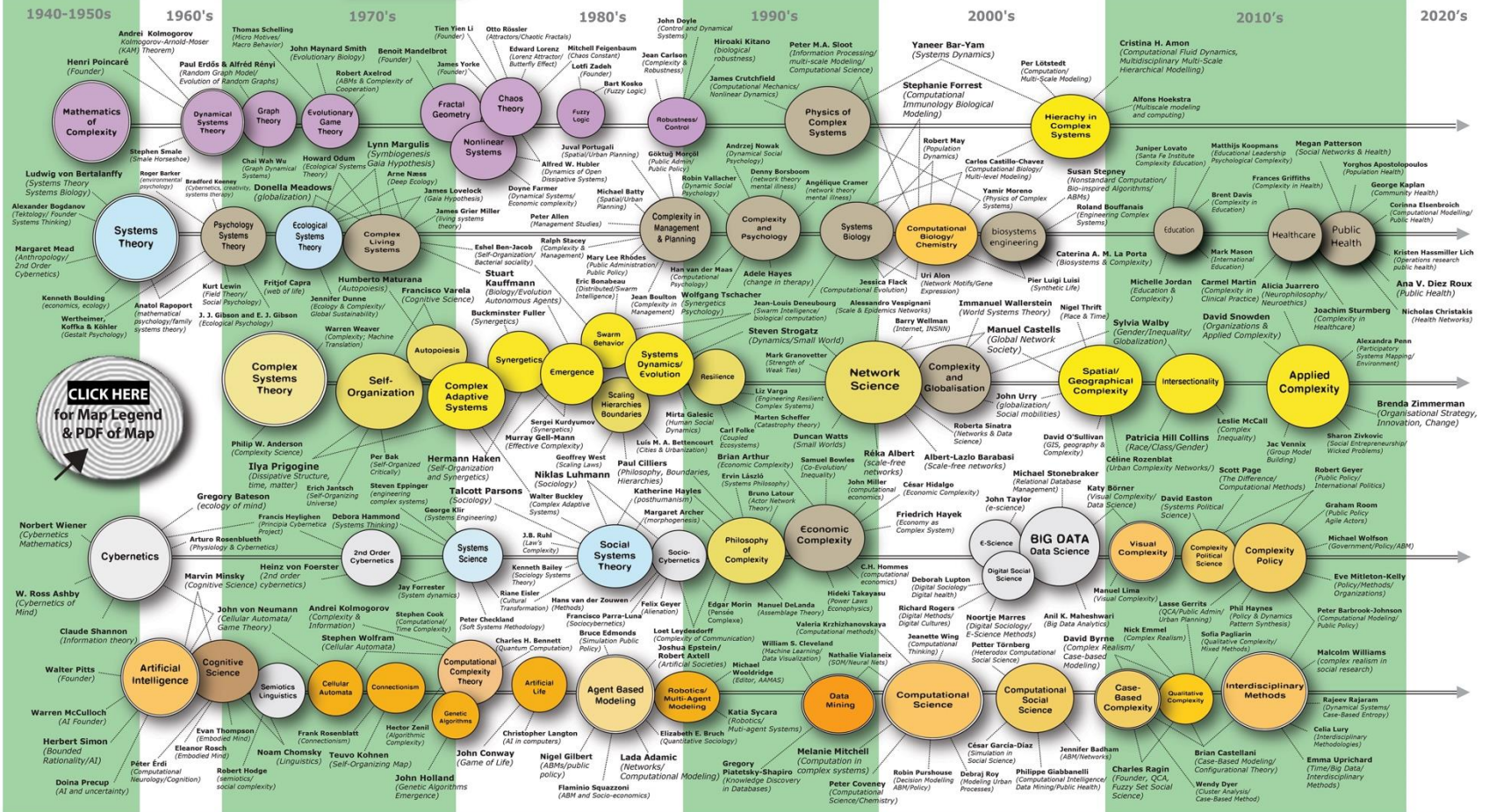
The term *complex systems* often refers to the study of complex systems, which is an approach to science that investigates how relationships between a system's parts give rise to its collective behaviors and how the system interacts and forms relationships with its environment.^[1] The study of complex systems regards collective, or system-wide, behaviors as the fundamental object of study; for this reason, complex systems can be understood as an alternative paradigm to [reductionism](#), which attempts to explain systems in terms of their constituent parts and the individual interactions between them.

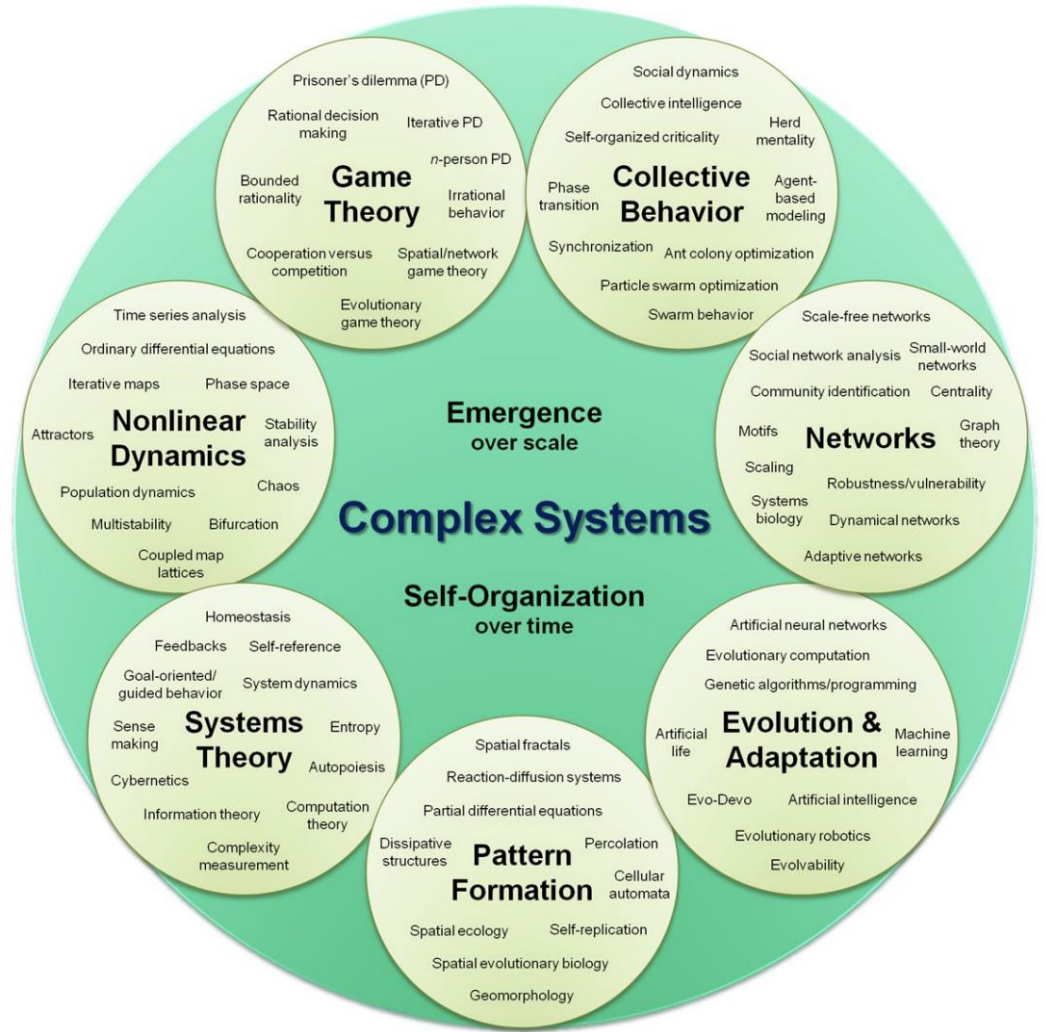
As an interdisciplinary domain, complex systems draws contributions from many different fields, such as the study of [self-organization](#) and critical phenomena from physics, that of [spontaneous order](#) from the social sciences, [chaos](#) from mathematics, [adaptation](#) from biology, and many others. *Complex systems* is therefore often used as a broad term encompassing a research approach to problems in many diverse disciplines, including [statistical physics](#), [information theory](#), [nonlinear dynamics](#), [anthropology](#), [computer science](#), [meteorology](#), [sociology](#), [economics](#), [psychology](#), and [biology](#).



@NOWTHISNEWS









INTERACCIONES

LOS SISTEMAS COMPLEJOS CONSISTEN DE MÚLTIPLES COMPONENTES INTERACTUANDO ENTRE SÍ Y CON SU ENTORNO DE MUCHAS MANERAS.

"Cualquier objeto estudiado por la biología es un sistema de sistemas."
- Francois Jacob



AUTO-ORGANIZACIÓN

LOS SISTEMAS COMPLEJOS SE PUEDEN AUTO-ORGANIZAR PARA PRODUCIR PATRONES NO TRIVIALES DE MANERA ESPONTÁNEA SIN UN PLAN.

"Se sugiere que un sistema de sustancias químicas, llamados morfógenos, reaccionando entre sí y en difusión a través de un tejido, es adecuado para describir los fenómenos principales de la morfogénesis"
- Alan Turing



EMERGENCIA

LAS PROPIEDADES DE LOS SISTEMAS COMPLEJOS EN SU CONJUNTO SON MUY DIFERENTES, Y A MENUDO MÁS INESPERADAS, QUE LAS PROPIEDADES DE SUS COMPONENTES INDIVIDUALES.

"No necesitas algo más para obtener algo más. Eso es lo que significa emergencia."
- Murray Gell-Mann



DINÁMICA

LOS SISTEMAS COMPLEJOS TIENDEN A CAMBIAR DINÁMICAMENTE SUS ESTADOS, A MENUDO EXHIBIENDO ALGÚN TIPO DE COMPORTAMIENTO IMPREDECIBLE A LARGO PLAZO.

"Caos: Cuando el presente determina el futuro, pero un presente aproximado no determina aproximadamente el futuro."
- Edward Lorenz



ADAPTACIÓN

LOS SISTEMAS COMPLEJOS PUEDEN ADAPTARSE Y EVOLUCIONAR.

"En biología nada tiene sentido, excepto cuando es visto bajo la luz de la evolución"
- Theodosius Dobzhansky



INTERDISCIPLINARIEDAD

LAS CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD PUEDEN UTILIZARSE PARA ENTENDER Y TRATAR UNA GRAN VARIEDAD DE SISTEMAS EN MUCHOS ÁMBITOS.

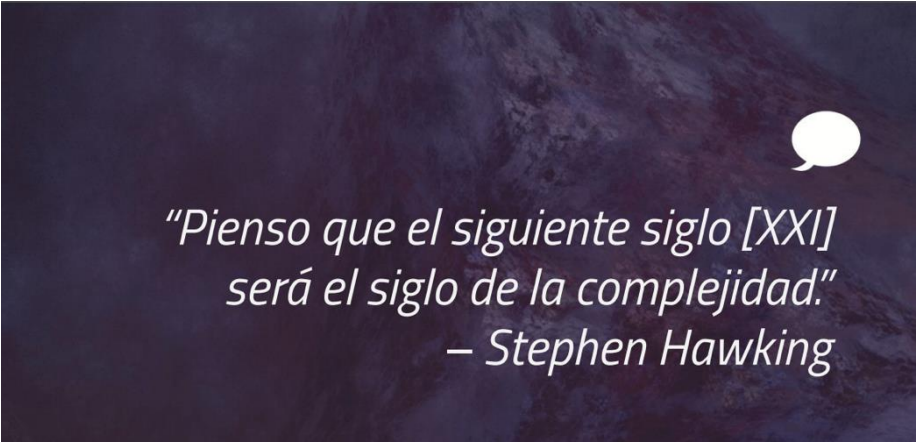
"Puede que la búsqueda de propiedades en común entre diversos tipos de sistemas complejos no sea totalmente en vano... Las ideas de retroalimentación e información proveen un marco de referencia para considerar un amplio rango de situaciones."



MÉTODOS

LOS MÉTODOS MATEMÁTICOS Y COMPUTACIONALES SON HERRAMIENTAS PODEROSAS PARA EL ESTUDIO DE LOS SISTEMAS COMPLEJOS.

"Todos los modelos están mal, pero algunos son útiles."
- George Box



"Pienso que el siguiente siglo [XXI] será el siglo de la complejidad."
– Stephen Hawking

- <https://complexityexplained.github.io/>

- [https://complexityexplained.github.io/ComplexityExplained\[Spanish\].pdf](https://complexityexplained.github.io/ComplexityExplained[Spanish].pdf)

COMPLEJIDAD EXPLICADA

#ComplejidadExplicada
#ComplexityExplained

**El cerebro humano
tiene entre 10 y 100
billones de
neuronas.**

**Nuestros pensamientos,
razonamientos y comprensión del
mundo están ocultos en las
conexiones entre miles de
millones de neuronas en nuestro
cerebro.**

Las (sutiles) redes financieras.



Emitida en Emiratos Arabes
Por el banco HSBC (Londres)
Protocolos de VISA (USA)
Regla transacciones Islámicas
También para países no-musulmanes

La no-muy-sutil red financiera: 2011

It uses transaction relationships to map the financial sector

PERSPECTIVE

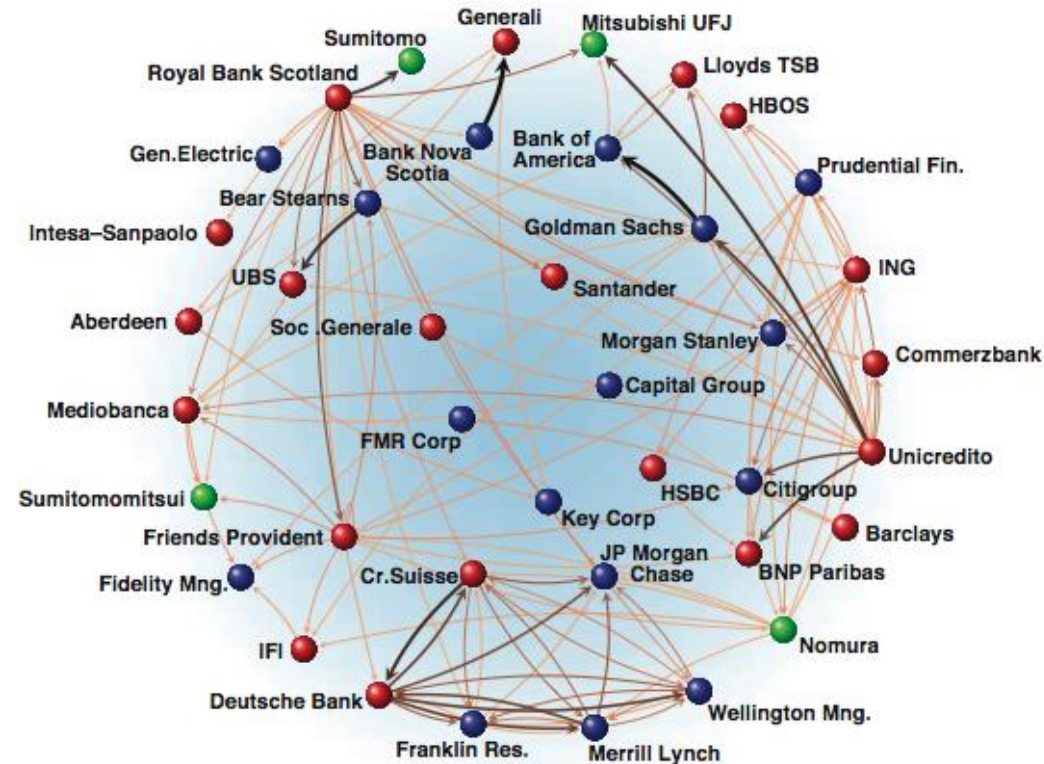
Economic Networks: The New Challenges

Frank Schweitzer,^{1*} Giorgio Fagiolo,² Didier Sornette,^{1,3} Fernando Vega-Redondo,^{4,5}
Alessandro Vespignani,^{6,7} Douglas R. White⁸

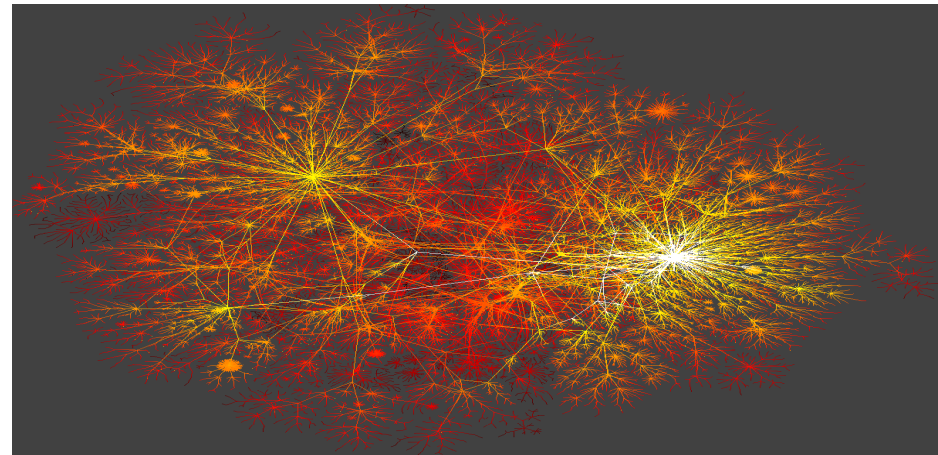
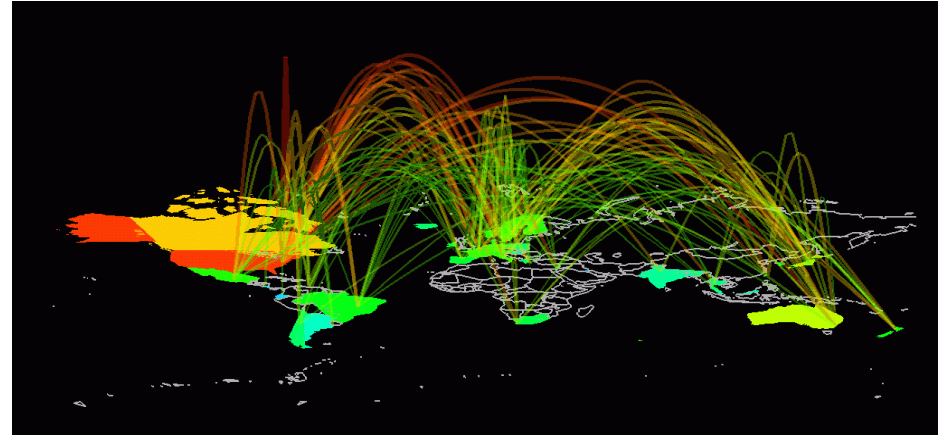
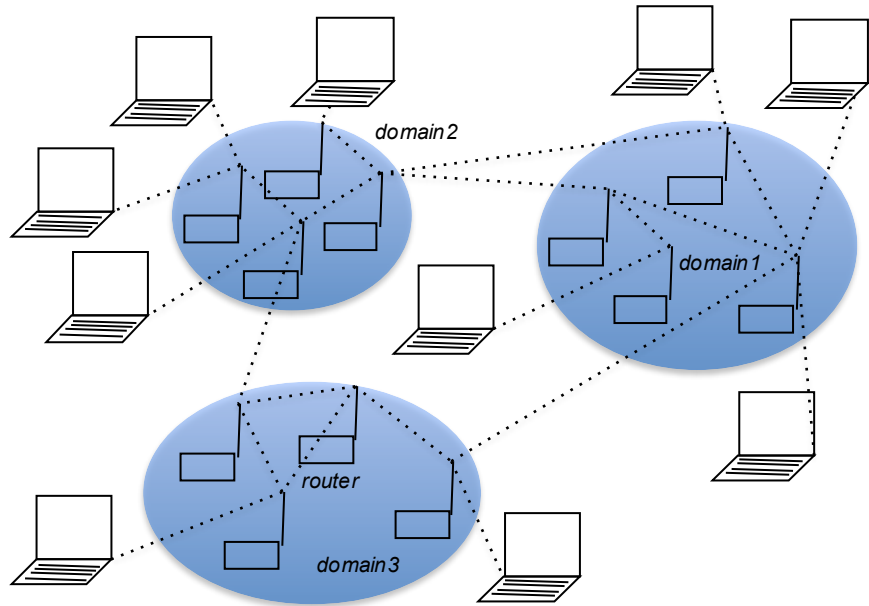
The current economic crisis illustrates a critical need for new and fundamental understanding of the structure and dynamics of economic networks. Economic systems are increasingly built on interdependencies, implemented through trans-national credit and investment networks, trade relations, or supply chains that have proven difficult to predict and control. We need, therefore, an approach that stresses the systemic complexity of economic networks and that can be used to revise and extend established paradigms in economic theory. This will facilitate the design of policies that reduce conflicts between individual interests and global efficiency, as well as reduce the risk of global failure by making economic networks more robust.

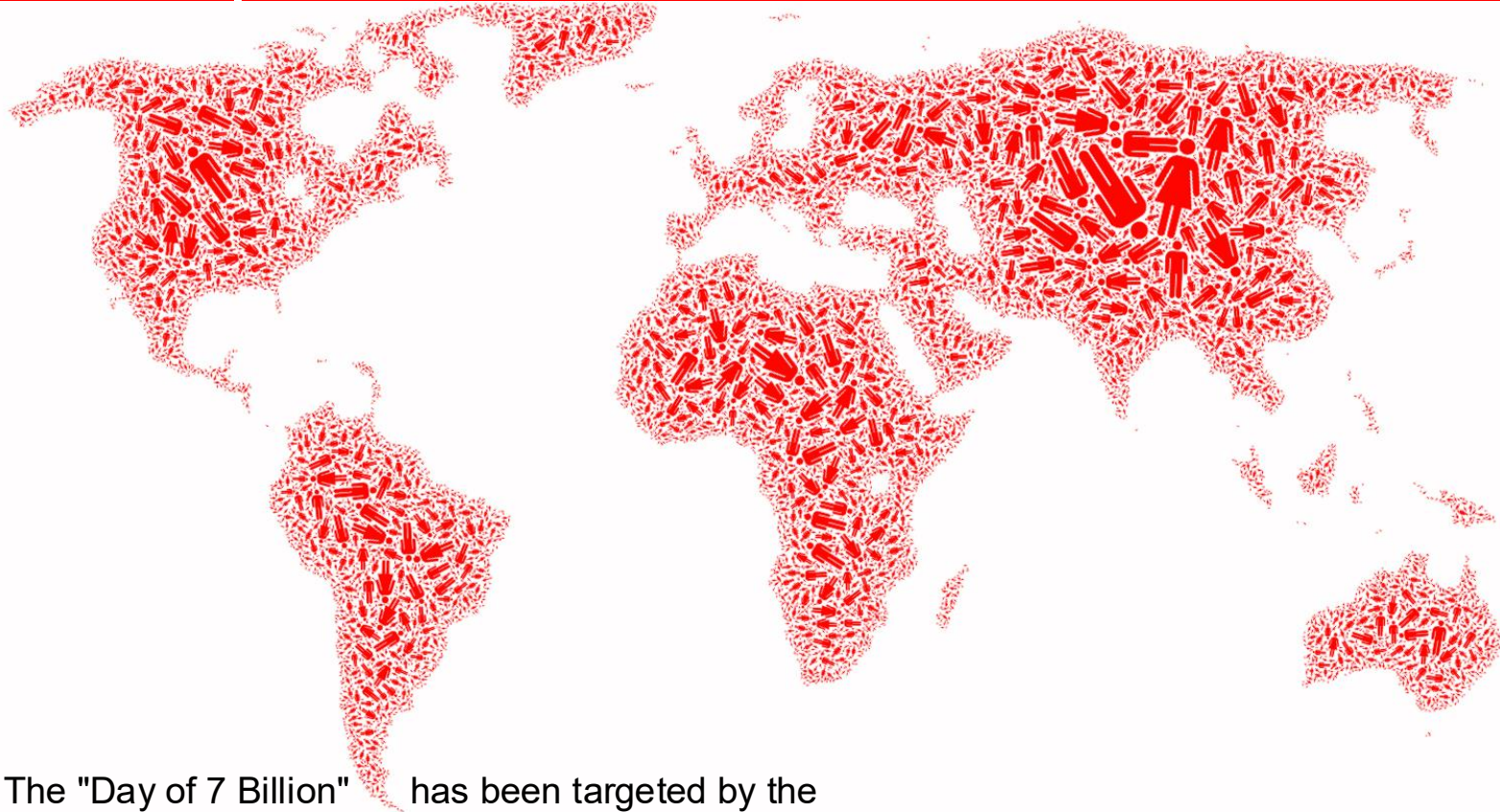
24 JULY 2009, VOL 325, SCIENCE

https://www.science.org/doi/pdf/10.1126/science.1173644?casa_token=jF_xlwUc1BYAAAAA:e-lqIZOnI_kp8uO30lsx11CSH4zIij61nu-Opp1CkTnpHQ_ieObs3Tj_U0NJGpXIRfB6XbFJg31kLlri



INTERNET





The "Day of 7 Billion" has been targeted by the United States Census Bureau to be in July 2012.

http://en.wikipedia.org/wiki/World_population



Day of Eight Billion

On 15 November 2022
the world's population is projected to reach

8 Billion People

UNITED NATIONS

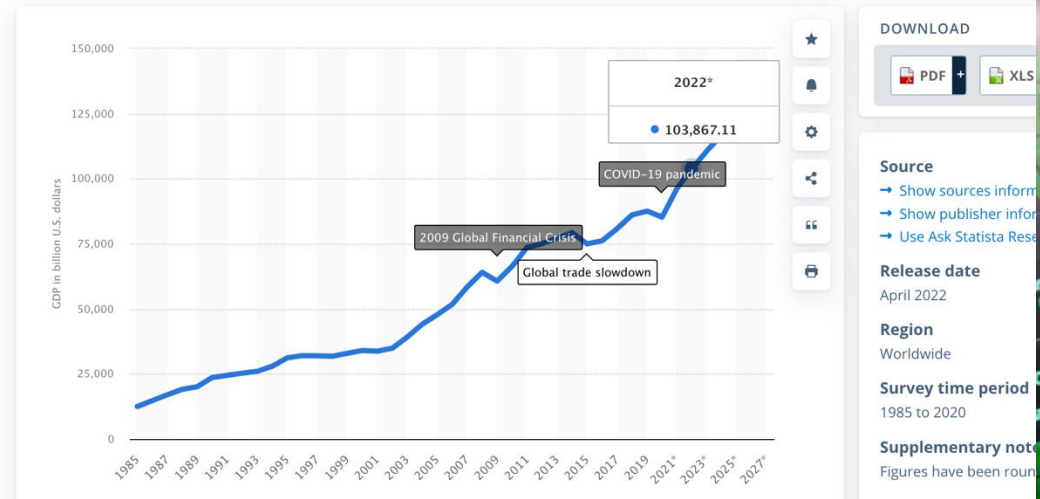
ECONOMY

Factoid: Cuánto produce la economía mundial?

The world economy produced goods and services worth almost \$47 trillion in 2005 and \$96 trillion in 2021.

(<https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD>)

Global gross domestic product (GDP) at current prices from 1985 to 2027
(in billion U.S. dollars)

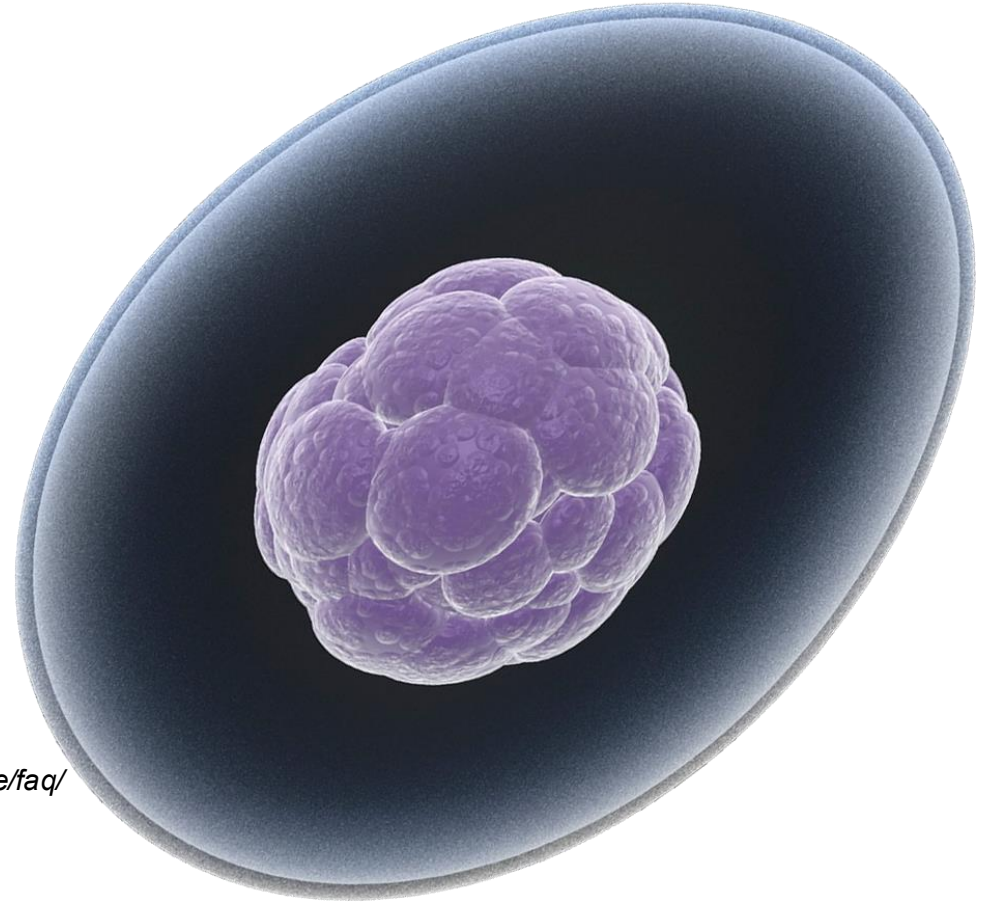


How Many Genes are in
the Human Genome?

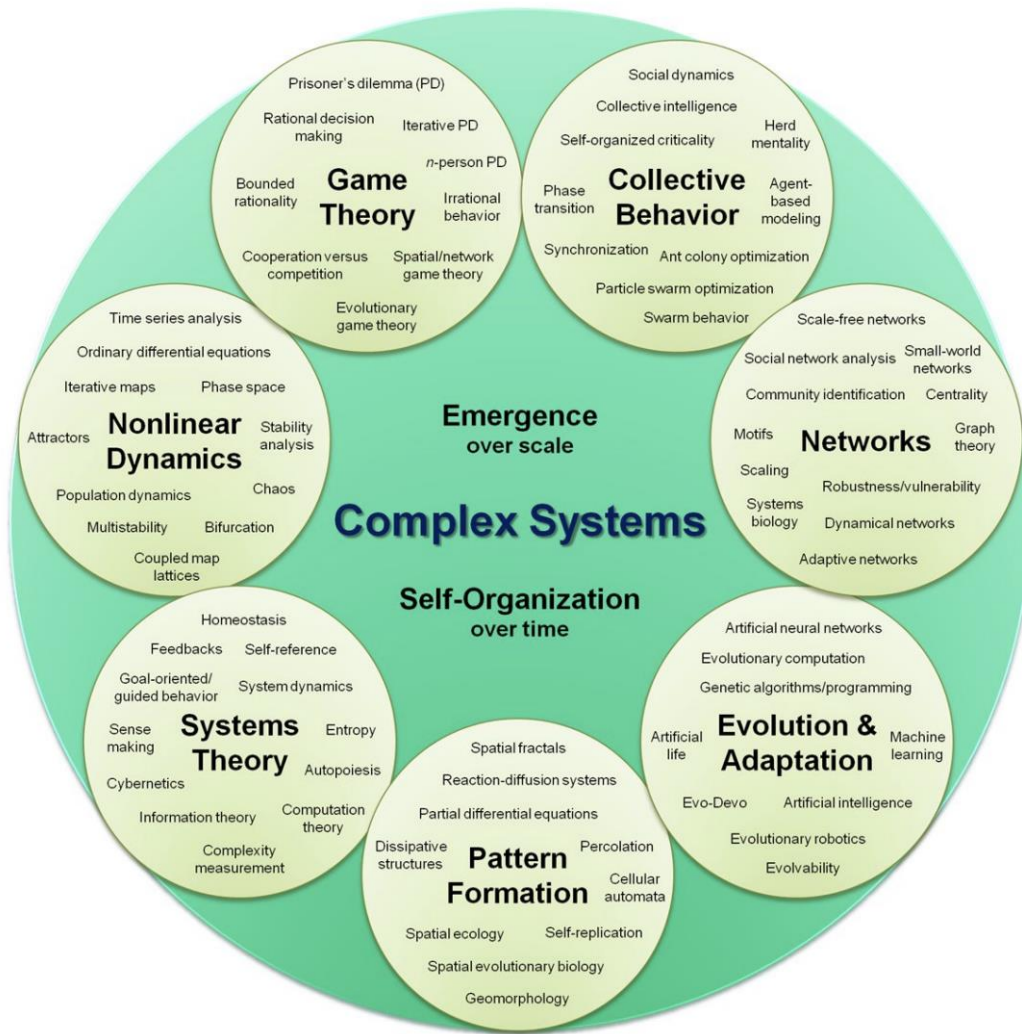
23,299

between 20,000 and 25,000 genes

http://www.ornl.gov/sci/techresources/Human_Genome/faq/genenumber.shtml



**LAS REDES ESTÁN EN TODAS
PARTES!!!**



NETWORK SCIENCE



LAS CARACTERÍSTICAS DE LA CIENCIA DE REDES

Interdisciplinaria

Empírica

Cuantitativa y Matemática

Computacional

Interdisciplinaria

Empírica, data-driven

Cuantitativa y Matemática

Computacional

Interdisciplinaria

Empírica

Cuantitativa y Matemática

Computacional

Interdisciplinaria

Empírica

Cuantitativa y Matemática

Computacional



EL IMPACTO DE LA CIENCIA DE REDES

IMPACTO ECONÓMICO



Google
 Market Cap (Jan 1, 2010):
 \$189 billion

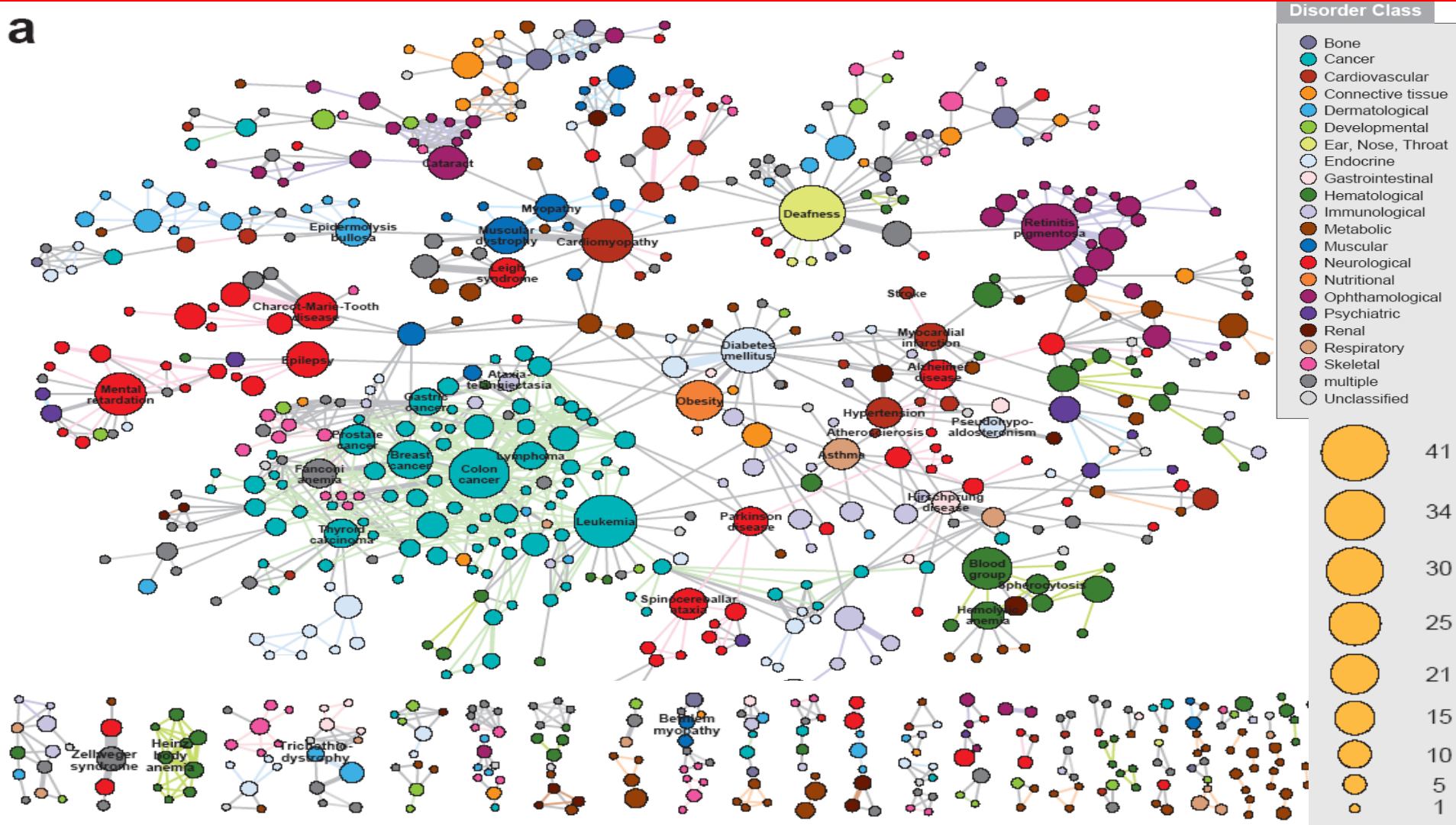
Cisco Systems
 networking gear Market
 cap (Jan 1, 2010):
 \$112 billion

Facebook
 market cap:
 \$50 billion

www.bizjournals.com/austin/news/2010/1/15/facebook... - Cached

RED DE ENFERMEDADES HUMANAS

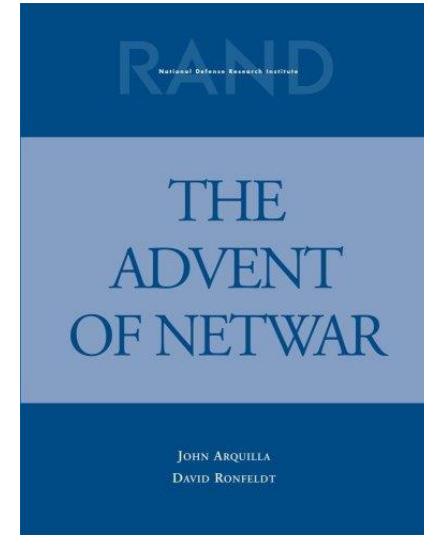
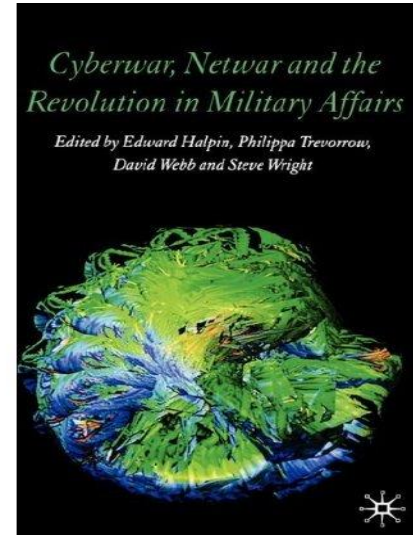
a



LUCHA CONTRA EL TERRORISMO.



<http://www.slate.com/id/2245232>



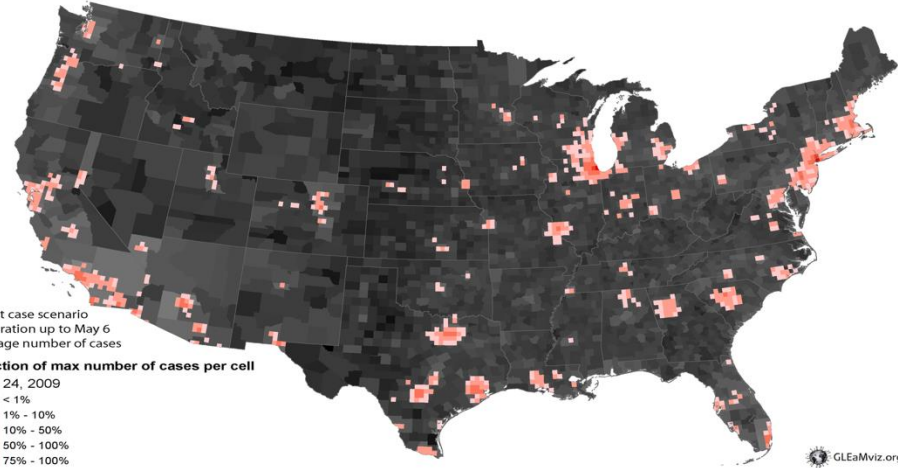
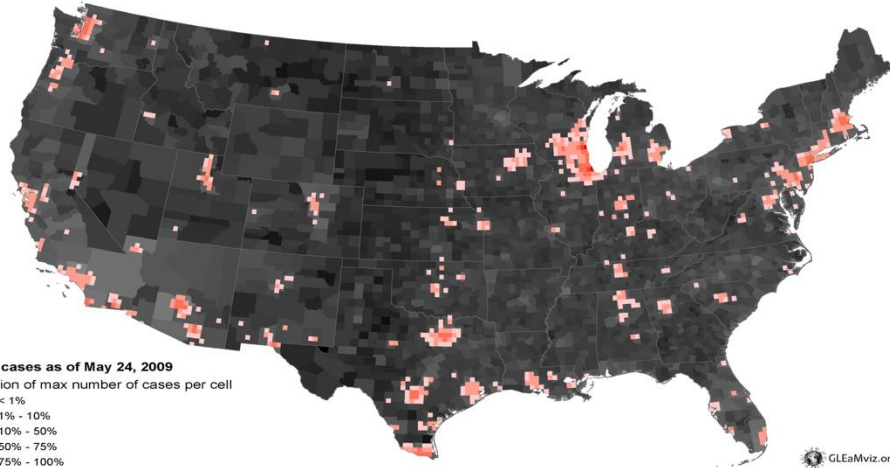
Network Science Center
West Point 



<http://www.ns-cta.org/ns-cta-blog/>

Real

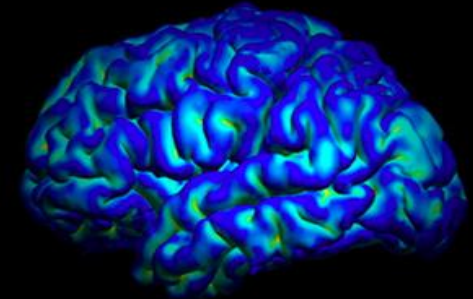
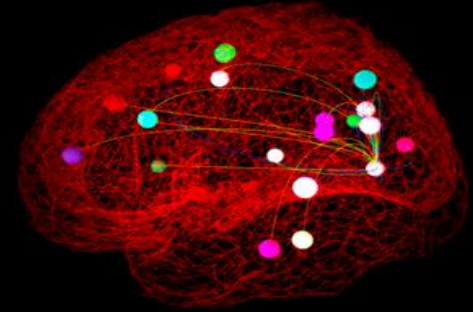
Projected



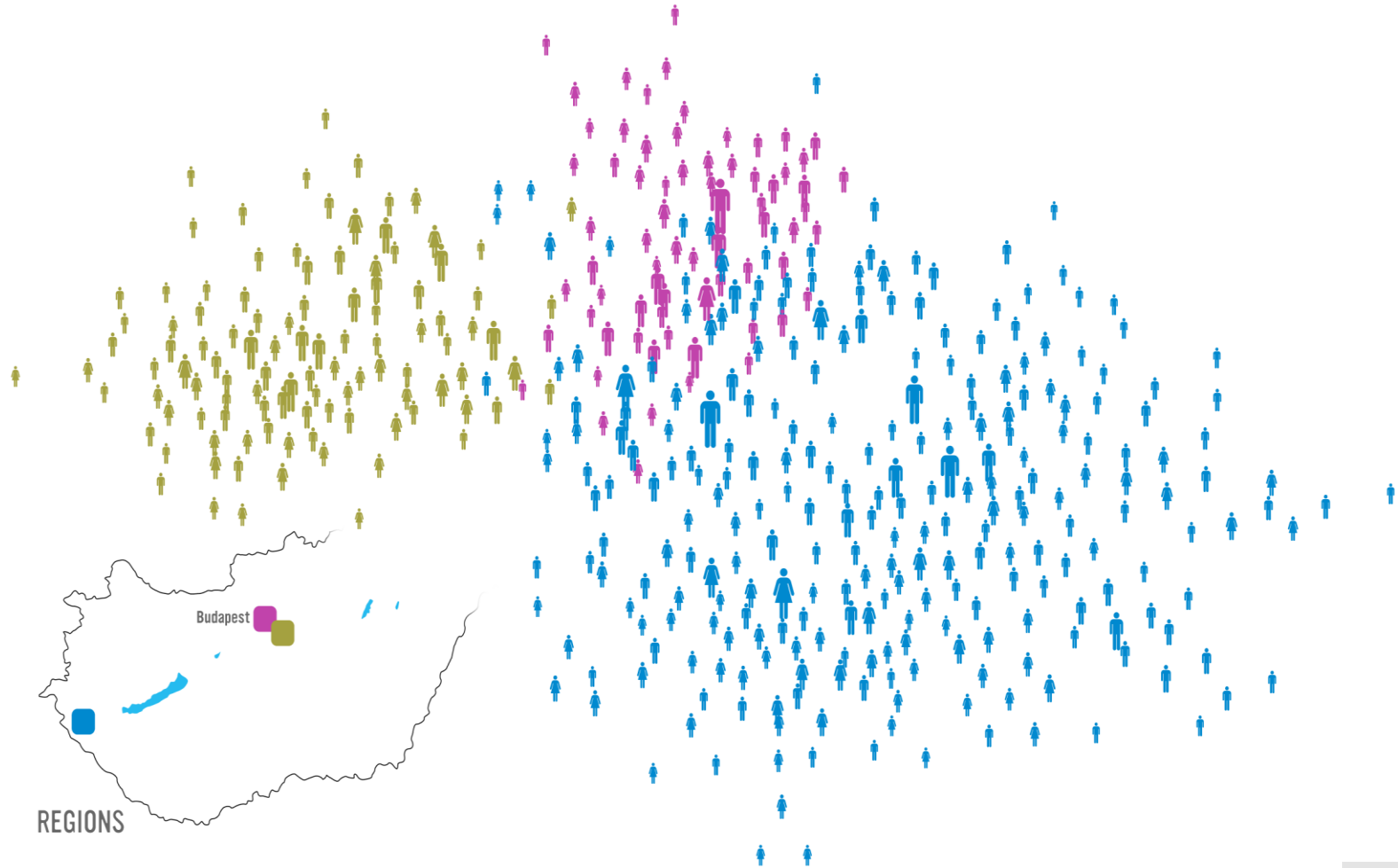
INVESTIGACIÓN CEREBRAL (NEUROCIENCIA)

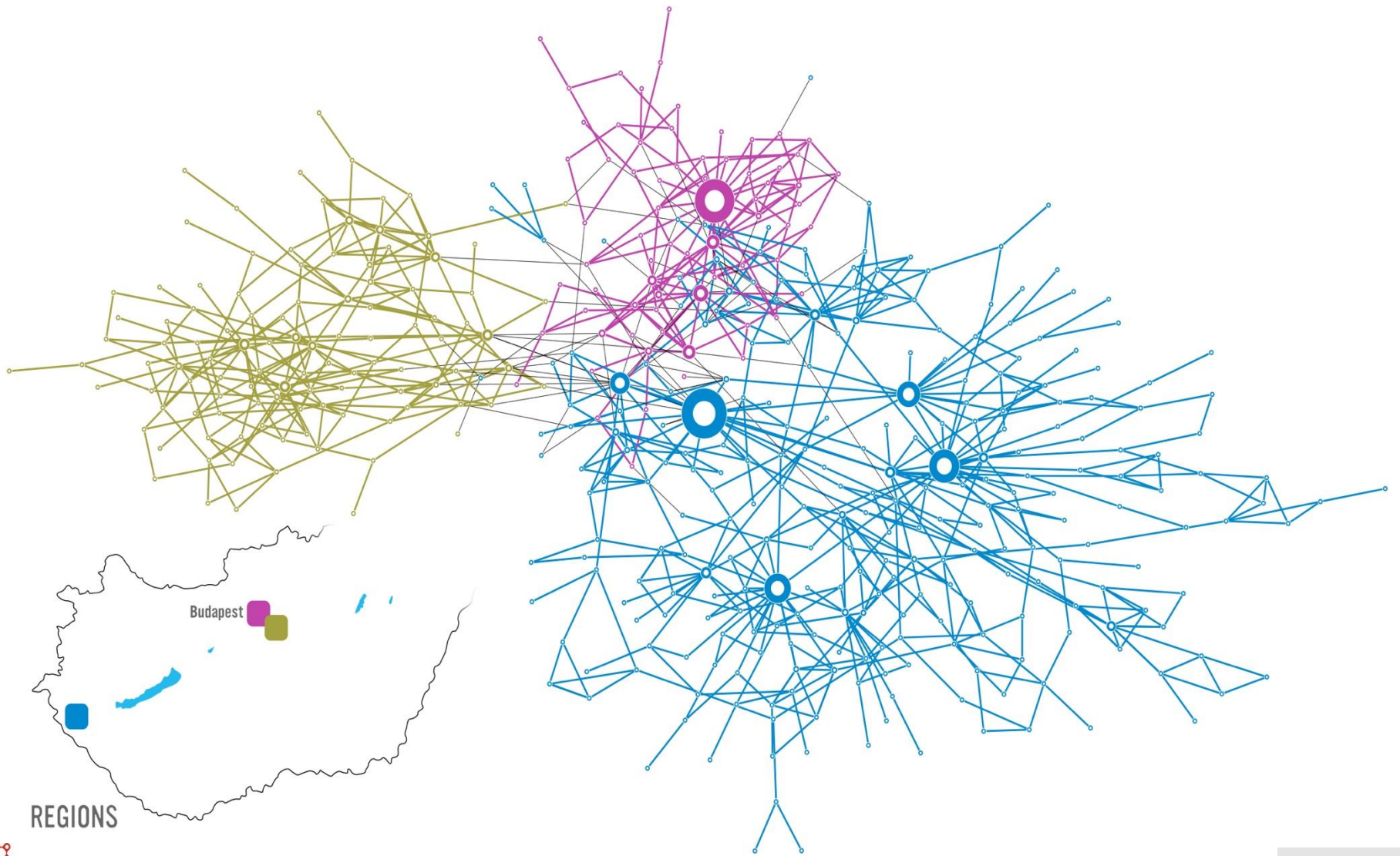
En septiembre de 2010, los Institutos Nacionales de Salud otorgaron \$ 40 millones a investigadores de Harvard, la Universidad de Washington en St. Louis, la Universidad de Minnesota y UCLA, para desarrollar las tecnologías que podrían mapear sistemáticamente los circuitos cerebrales.

The Human Connectome Project (HCP) con el ambicioso objetivo de construir un mapa de las conexiones neuronales funcionales y estructurales completas in vivo dentro y entre los individuos.

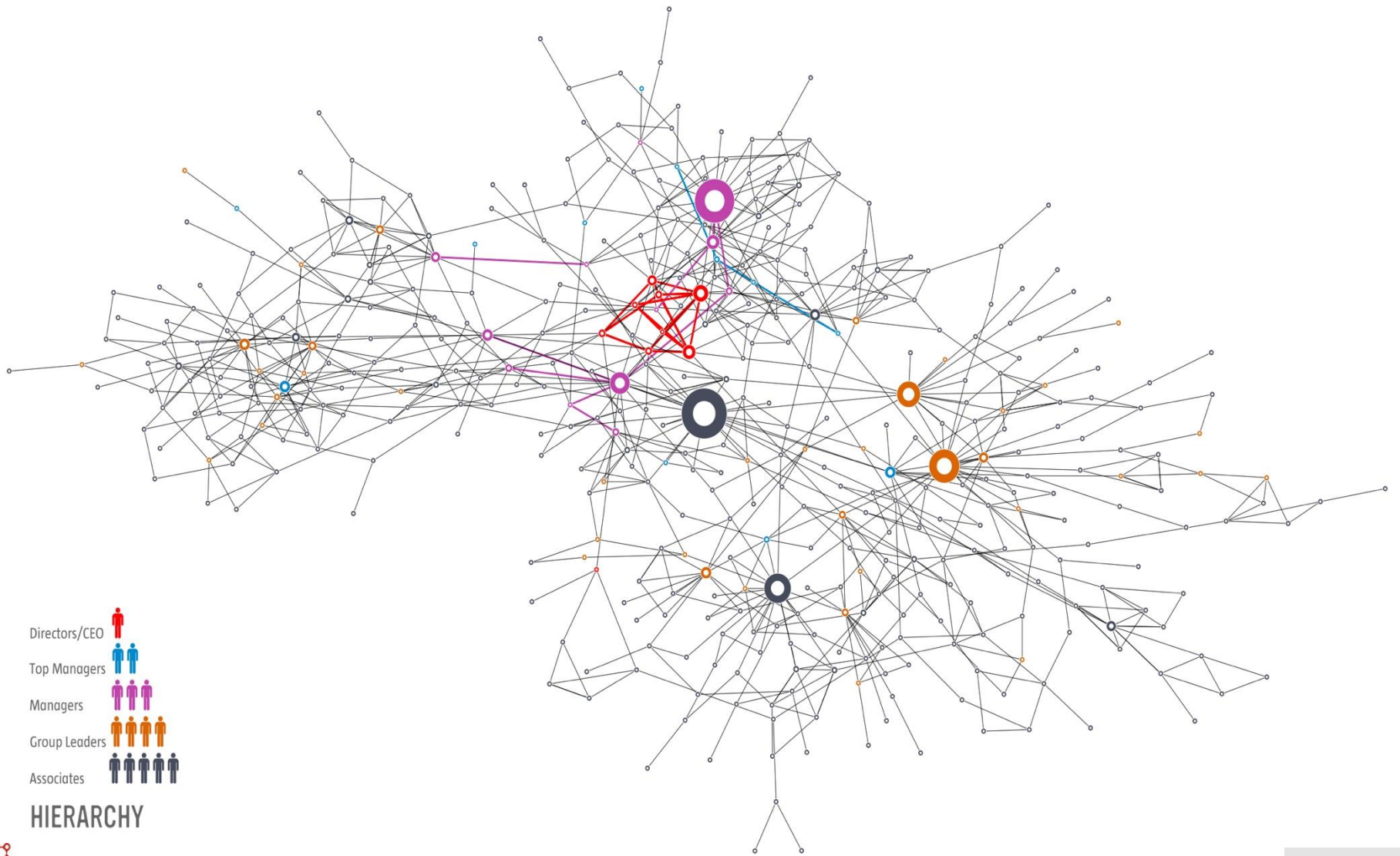


Management





REGIONS



- Directors/CEO 
- Top Managers 
- Managers 
- Group Leaders 
- Associates 

HIERARCHY



- 1
- 2

22 LINKS

Modified and Non-Anonymous Prisoner's Dilemma for Mapping Cooperative Networks in Elementary Education

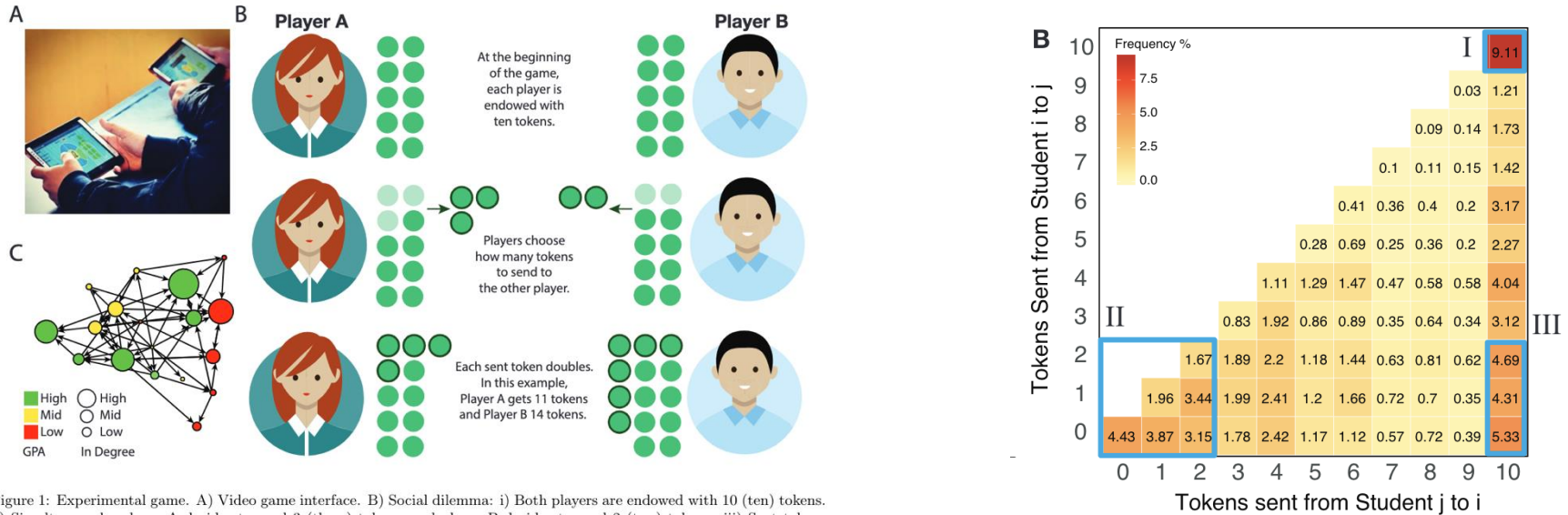
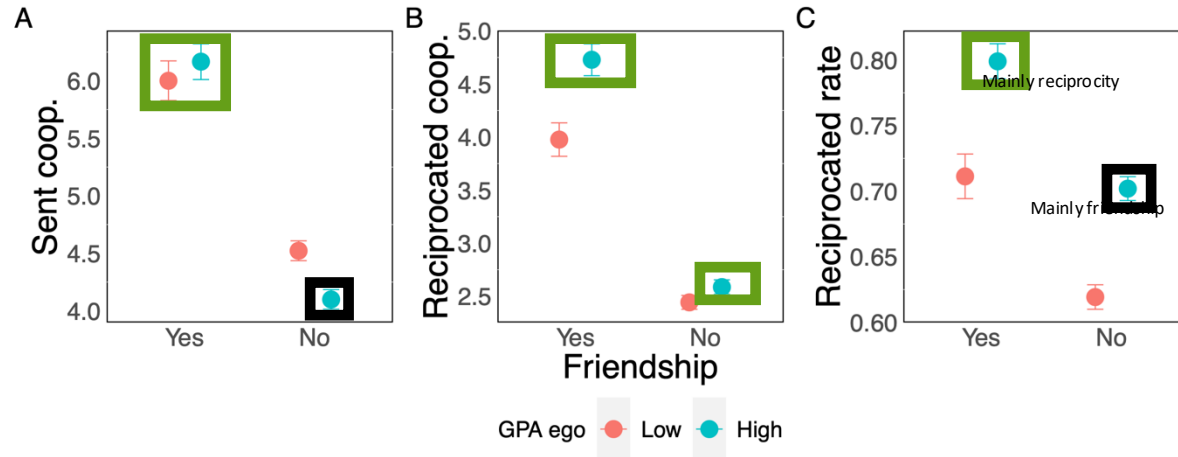
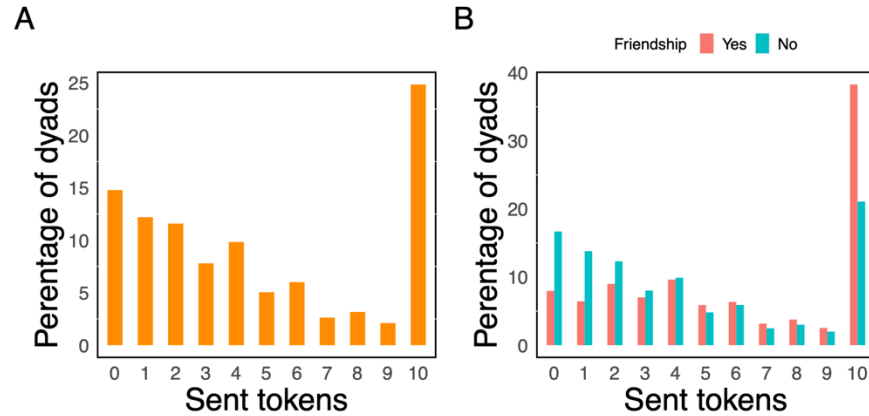


Figure 1: Experimental game. A) Video game interface. B) Social dilemma: i) Both players are endowed with 10 (ten) tokens. ii) Simultaneously, player A decides to send 3 (three) tokens, and player B decides to send 2 (two) tokens. iii) Sent tokens are doubled. iv) Player A receives 4 (four) tokens and player B receives 6 (six) tokens. C) Students' network, edges represent fully cooperative interactions.

+1400 children between 8 and 10 years old

High GPA children tend to be less cooperative with their non-friends.



Agencia
Nacional de
Investigación
y Desarrollo

FONDEF
Fondo de Fomento al Desarrollo
Científico y Tecnológico



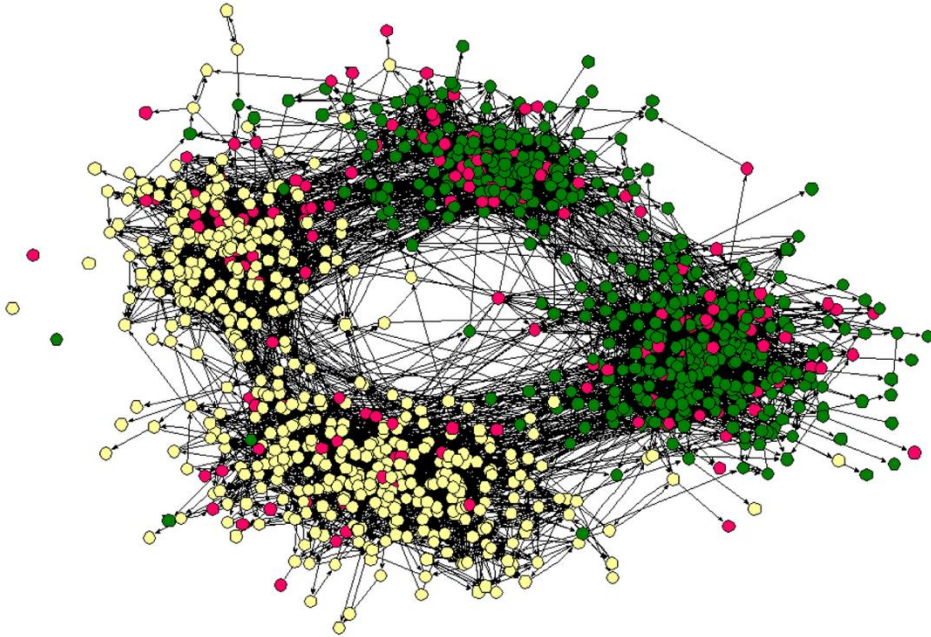
CAPYBARA

cooperación, convivencia y aprendizaje

Commercial agreement



A scientific and technological transfer center that brings together capabilities and networks to transform projects into solutions that achieve a positive impact on the economy and society



Red social

Las relaciones identifican la amistad entre los estudiantes de una escuela secundaria

Los colores identifican a los estudiantes por raza

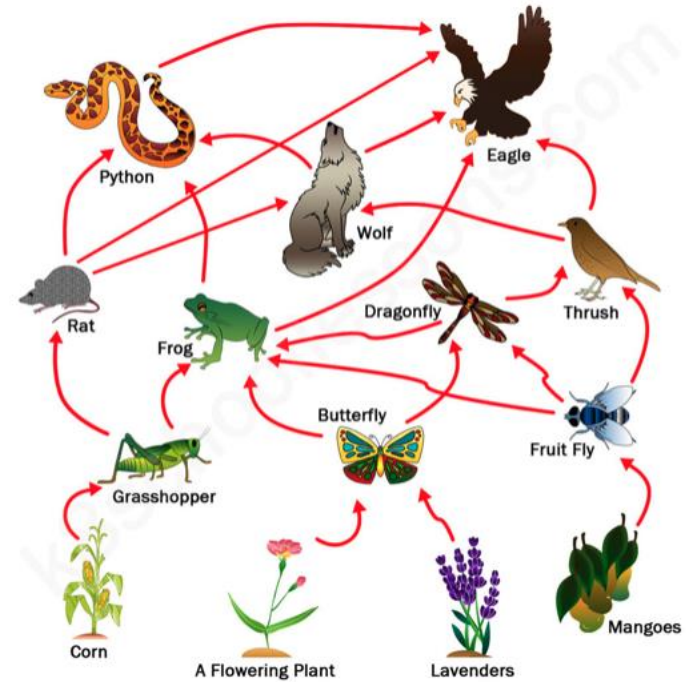
Moody, James. "Race, school integration, and friendship segregation in America." *American journal of Sociology* 107.3 (2001): 679-716.

Ecological Networks

Food Web:
Who eats Whom?

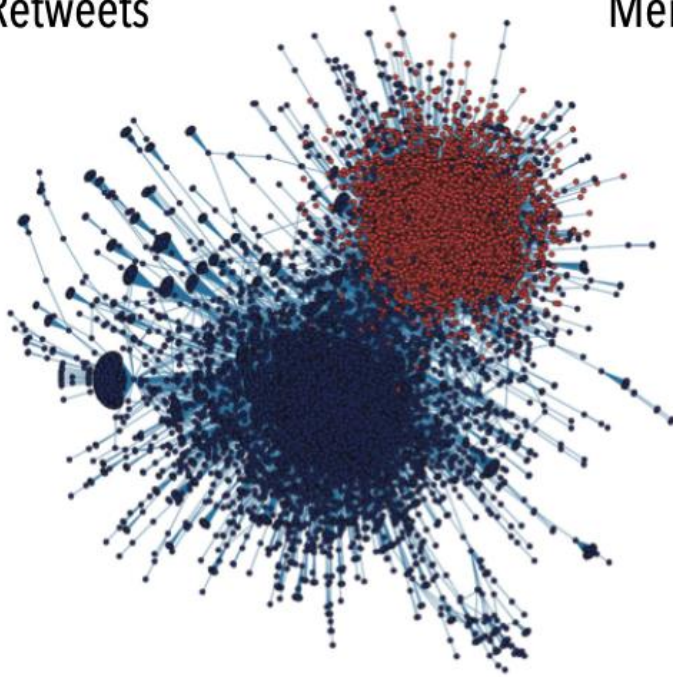


Allesina and Pascual 2009

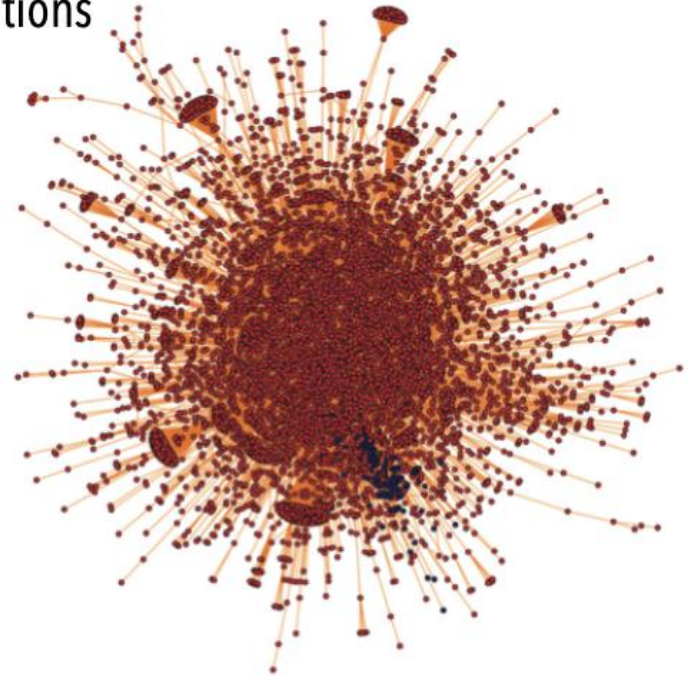


Social Networks - Twitter

Retweets



Mentions



● Republicans ● Democrats

Clinton and Trump supporters live in their own Twitter worlds

- Follow only Trump
- Follow only Clinton
- Follow both
- Follow neither

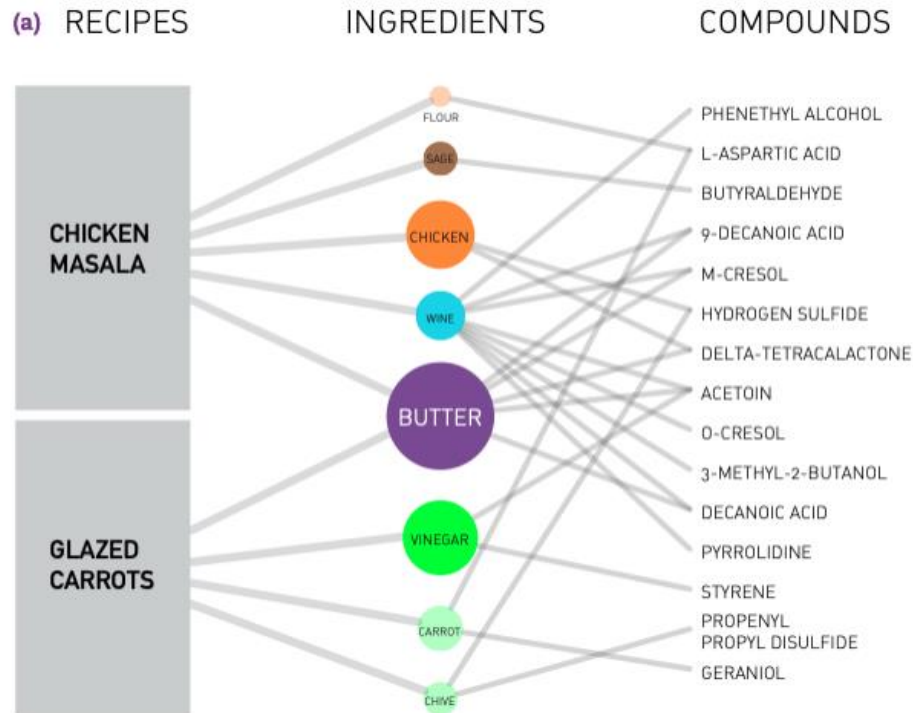
Clinton Supporters

Hillary Clinton supporters in this user group are not as cohesive as Trump supporters and they interact more frequently with users who follow both or neither candidate. They have few mutual follower networks in common with the far-right conservative cluster.

This large cluster of Trump supporters on Twitter have little mutual follower overlap with other users and are a remarkably cohesive group. They exist in their own information bubble.

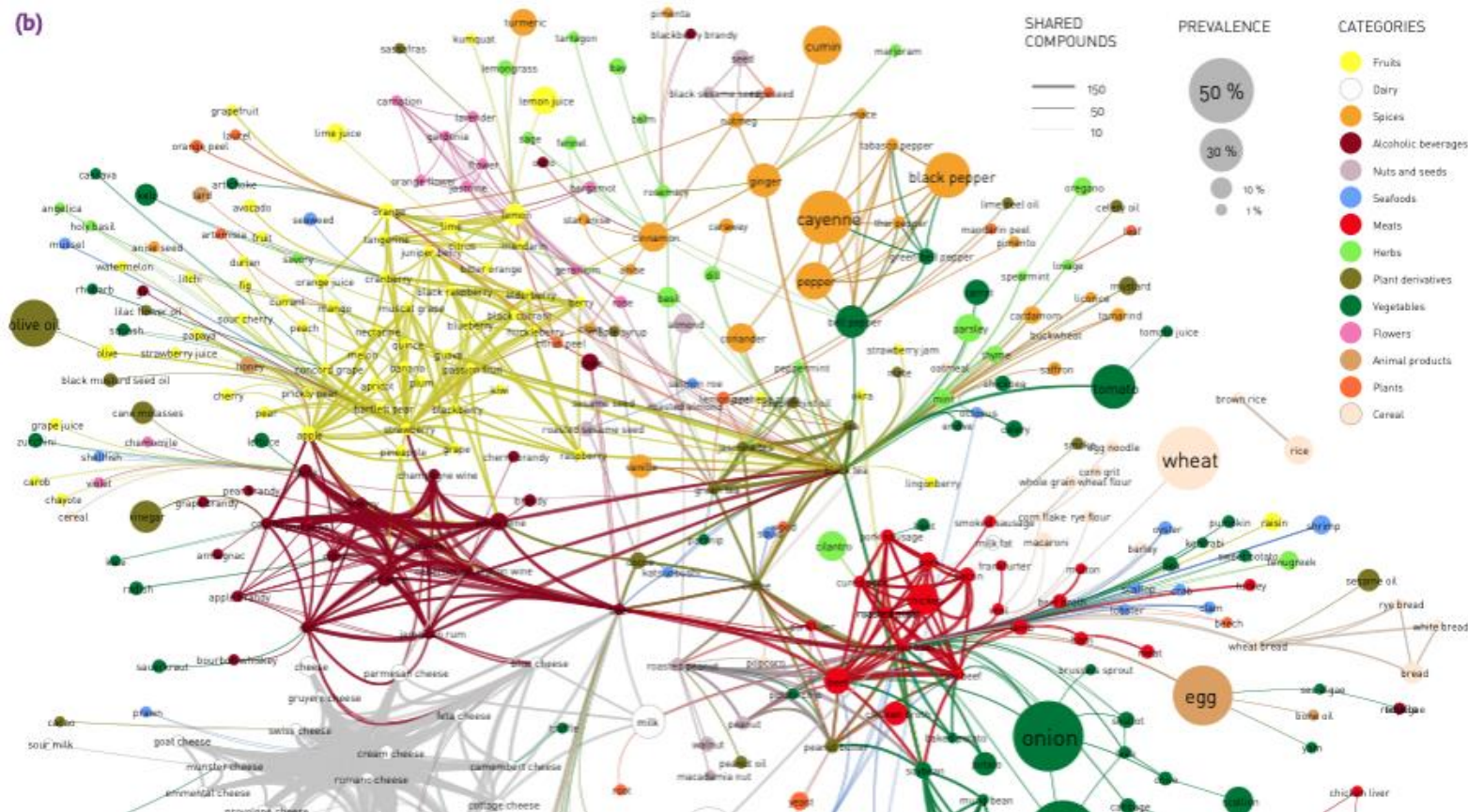
Trump Supporters

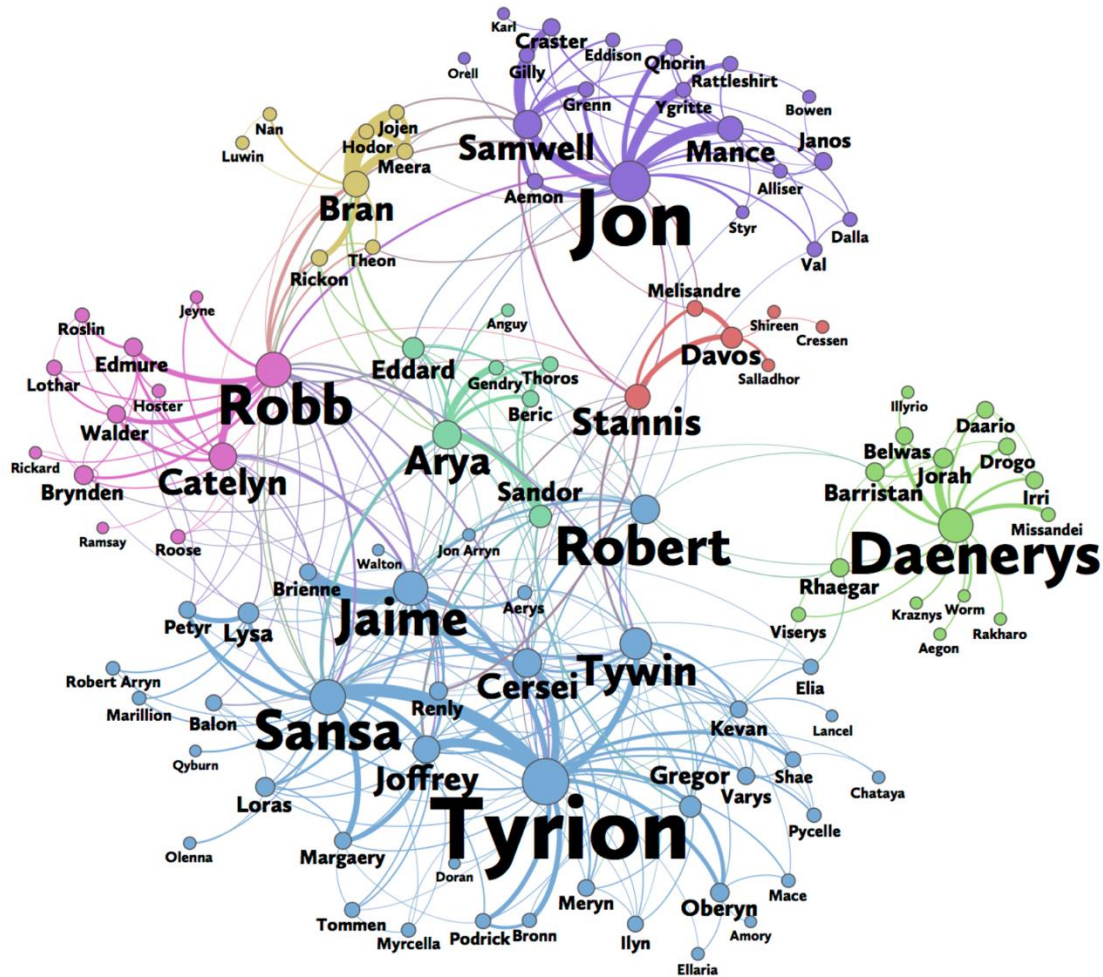
Bipartite Networks



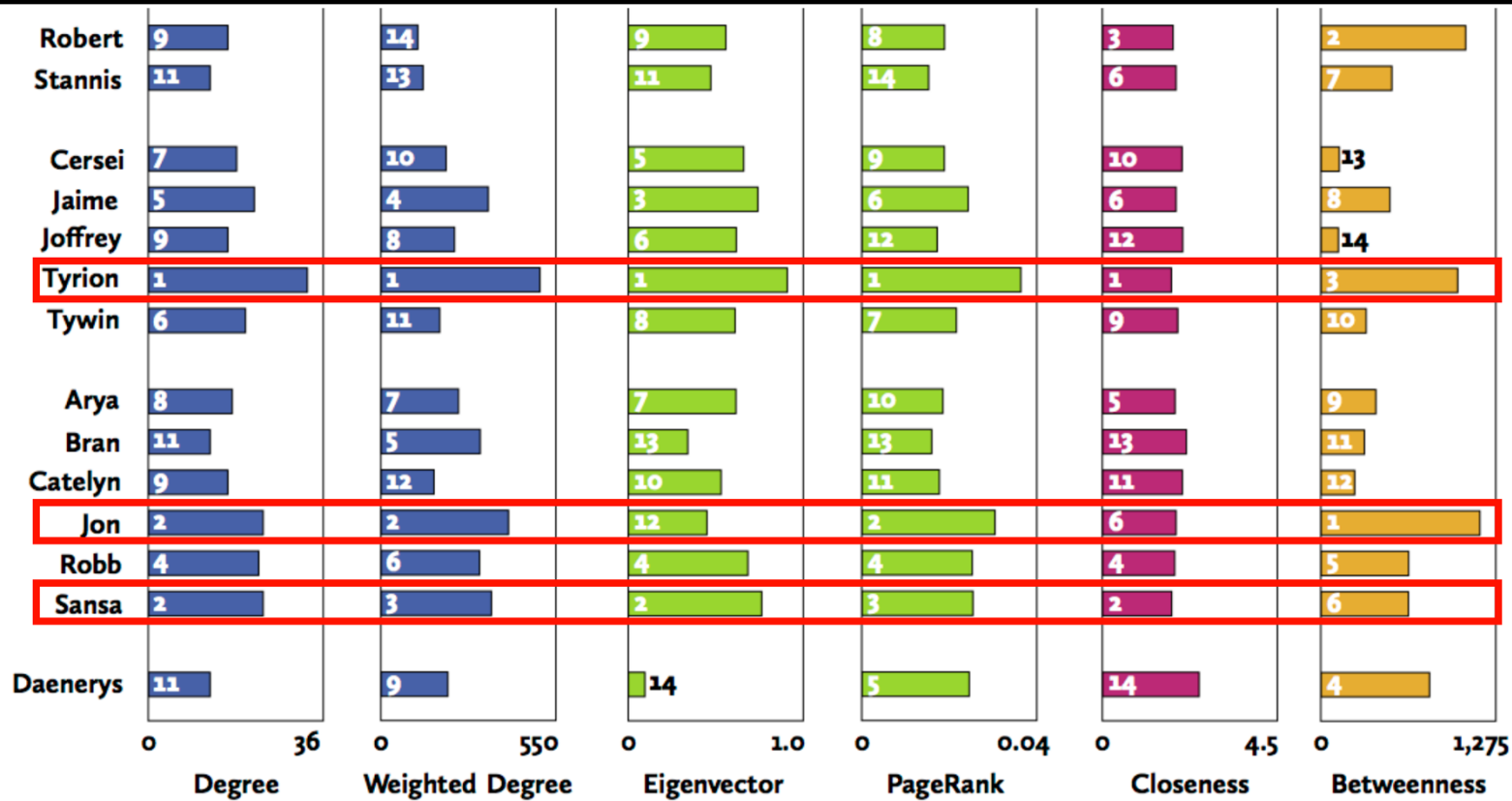
Bipartite Networks

(b)

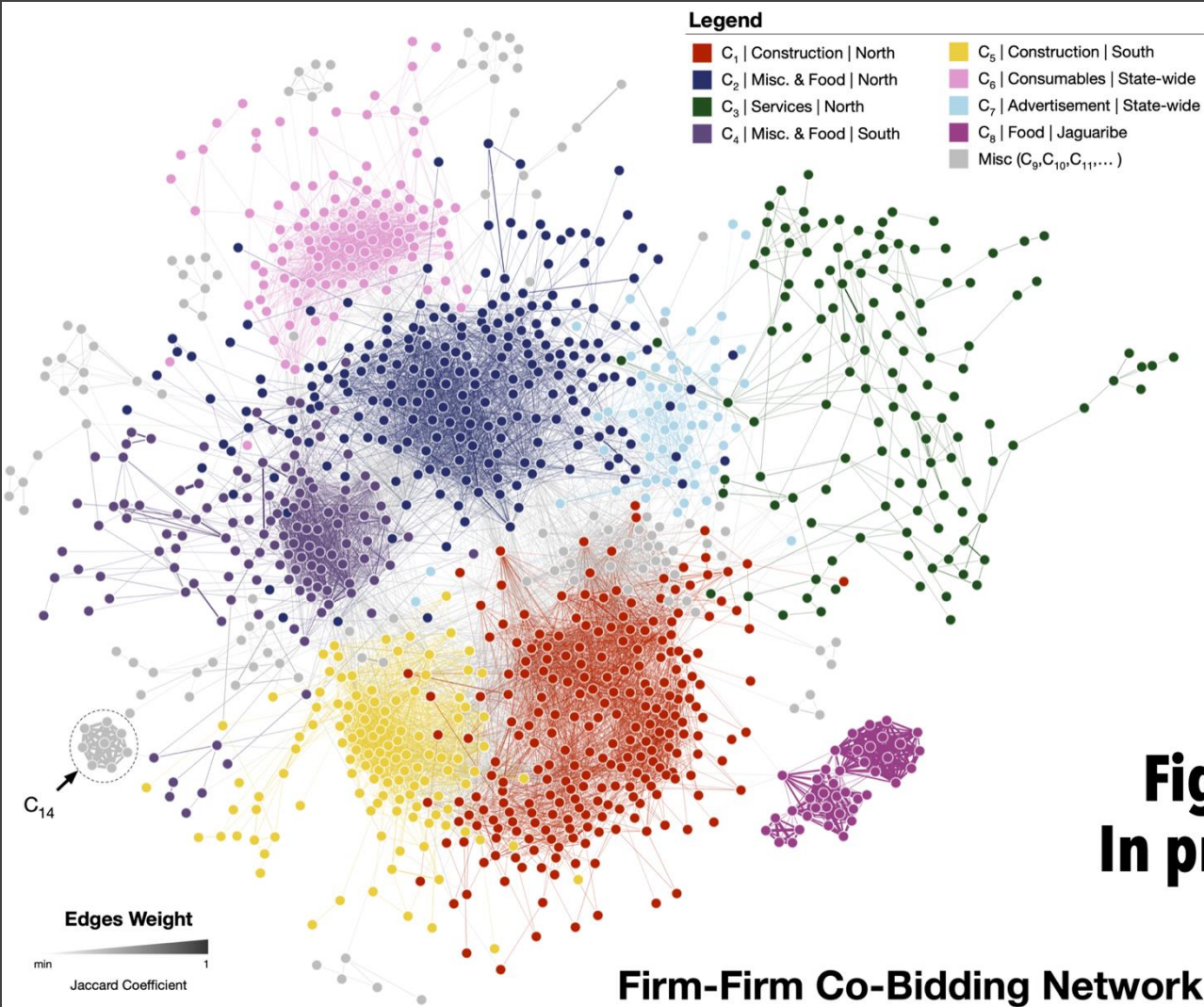




Colours highlight the identified Network Communities



¿Quién es el personaje más importante?



Fighting Corruption In procurement activity

Firm-Firm Co-Bidding Network

The Higher Education Space

Lista de Preferencias

1. Medicina
2. Odontología
3. Tecnología Médica
4. Odontología
5. Cs. Físicas y Astronómicas



Pares de Carreras

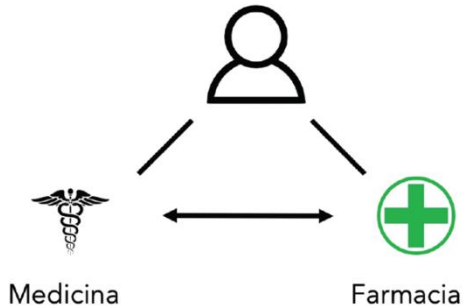
| | | | |
|-------------|----------------------------|-------------------|----------------------------|
| Medicina | Odontología | Odontología | Odontología |
| Medicina | Tecnología Médica | Odontología | Cs. Físicas y Astronómicas |
| Medicina | Odonotología | Tecnología Médica | Odontología |
| Medicina | Cs. Físicas y Astronómicas | Tecnología Médica | Cs. Físicas y Astronómicas |
| Odontología | Tecnología Médica | Odontología | Cs. Físicas y Astronómicas |

Consideramos todas las preferencias de cada postulantes.

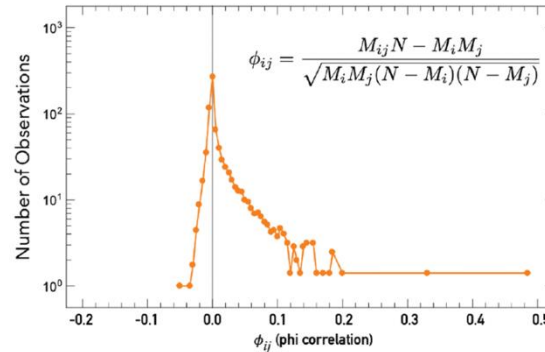
Las preferencias repetidas indican una postulación a dos instituciones de educación superior distintas.

Creamos todos los pares de carreras posibles. Luego, descartamos los que contienen la misma carrera en ambos extremos (color gris).

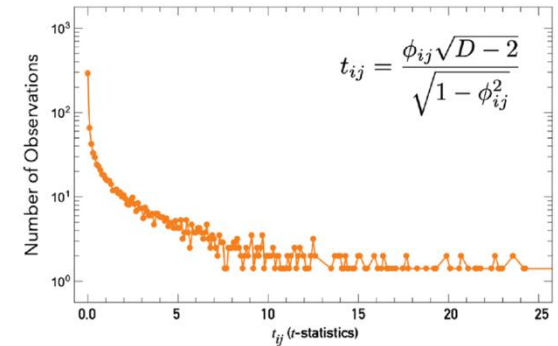
Conectamos carreras que se co-postulan



Calculamos la correlación entre carreras



Calculamos la significancia de esas correlaciones



Applicant's inconsistent preferences for degree programs reduce their first-year retention in higher education.

