

# 3er Congreso de Tecnología de la Información

Pensar en Red

El nuevo conocimiento que surge de las  
redes

Jorge Crom

Presidente

Atlantic Consulting

UBA – UCA – U de Bologna - FLACSO

# Los puentes de Königsberg

¿Se podrán  
cruzar los 7  
puentes de  
Königsberg sin  
tener  
que pasar 2  
veces por el  
mismo?



# La visión de Euler (1736)

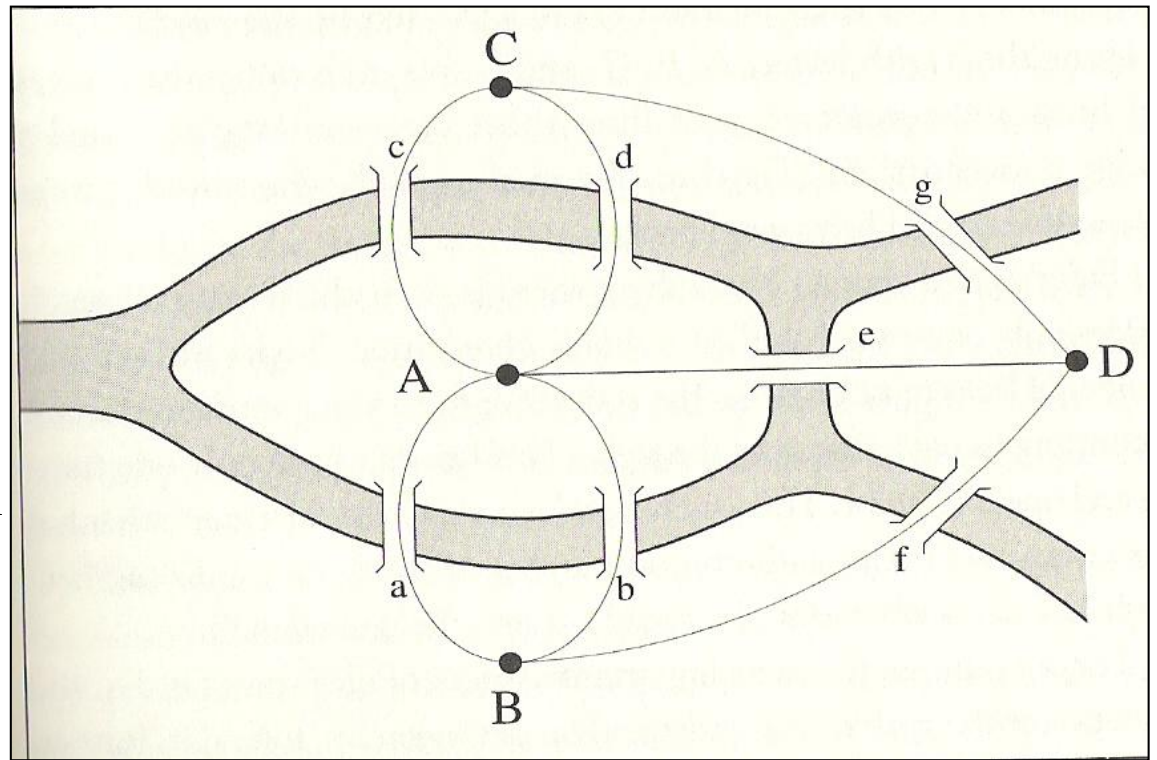
Los puentes son un “grafo”,  
una colección de nodos  
vinculados a través de enlaces

Nodos = las distintas áreas  
de la ciudad

Enlaces = puentes

“Nodos con una cantidad  
impar de enlaces pueden ser el  
inicio o el fin del recorrido.  
Pero se necesita sólo un inicio  
y un fin”

Konigsburg = 4 nodos con  
enlaces impares >>> no  
tiene solución

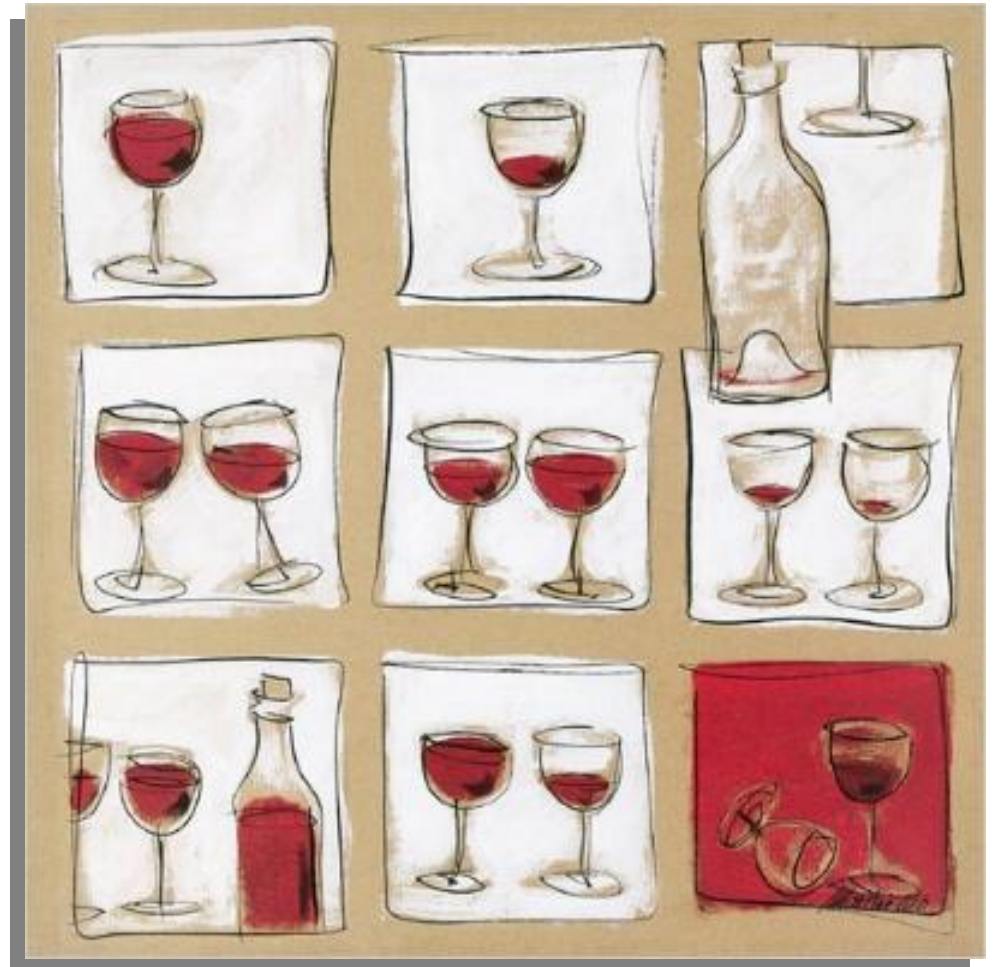


# El vernisage

100 invitados  
reunidos en grupos  
de 2-3 personas

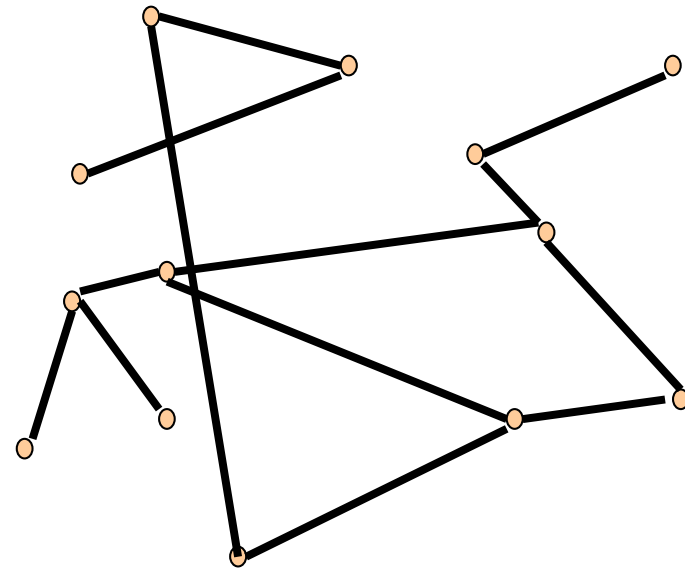
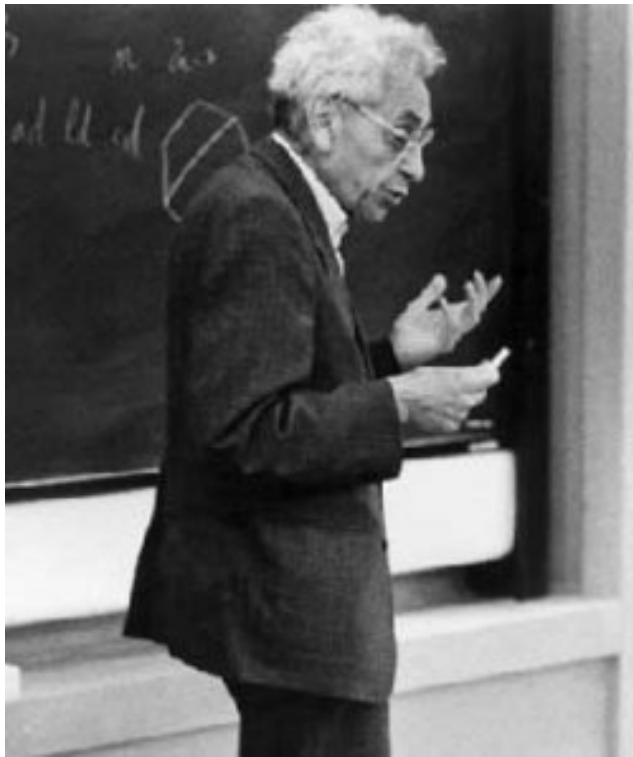
Un vino caro sin  
etiqueta

Ellos conversan...



# Erdős y las redes aleatorias (1959)

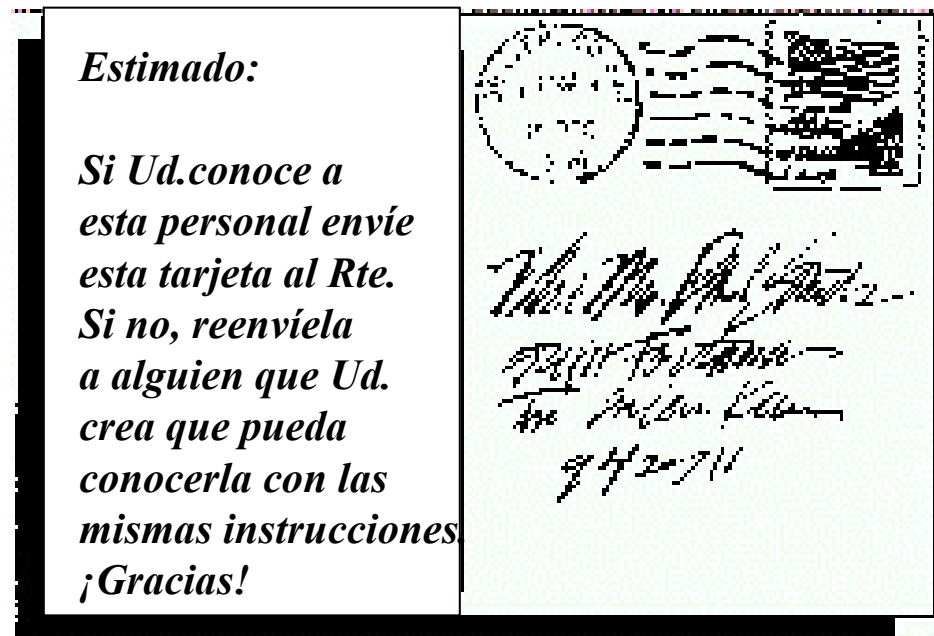
“My brain is open”



$N$  puntos, enlazados con probabilidad  $p$ :  
grafos aleatorios

# El experimento de Milgram ( 1967)

Envió 160 cartas a residentes de Omaha y Wichita elegidos al azar conteniendo una foto, el nombre, dirección y otra información de las personas “objetivo” a fin de conocer la “distancia” entre ellas

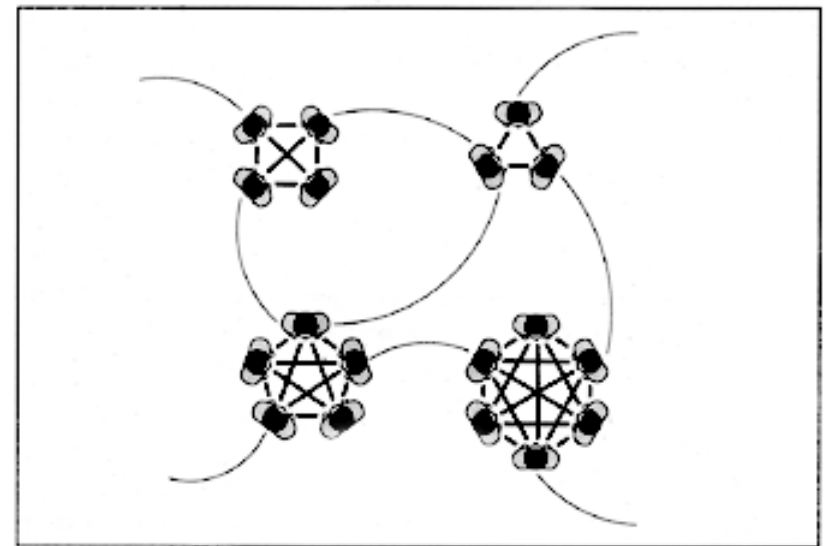


Resultado: Una carta sólo requirió dos envíos, pero en promedio a las 42 cartas recibidas en Cambridge les llevó 5,5 reenvíos para alcanzar la persona “objetivo”

# Granovetter y los enlaces fuertes y débiles (1973)

En su trabajo “La fortaleza de los enlaces débiles” mostró que los enlaces débiles juegan un papel crítico en la comunicación con el mundo exterior

La red consiste en círculos pequeños de personas altamente conectadas por enlaces fuertes las cuales a su vez pueden tener vinculaciones más débiles en otros círculos



Las organizaciones sociales son redes fragmentadas de clusters altamente conectados comunicados por enlaces débiles entre sí

# Kevin Bacon

Tres estudiantes demostraron en la TV que Kevin Bacon “es Dios” porque ellos lo podían vincular con cualquier otro actor que se les nombrara. Inventaron “El juego de Kevin Bacon”

Kevin Bacon actuó en 46 películas con más de 1.800 actores. Su separación promedio a cualquier otro actor es de 2,79

## O.J. & Kevin Bacon?



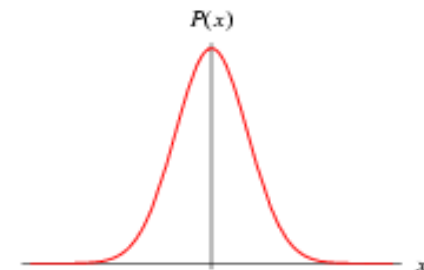


# Pareto y su principio del 80/20 (1900)

## “Existen leyes en la economía”

- 80% de la tierra en Italia está en manos del 20% de la población
- 80% de las quejas es creado por el 20% de los clientes
- 80% de las decisiones es tomada en el 20% de las reuniones
- 80% de los crímenes son cometidos por el 20% de los criminales

Todos estos sistemas son especiales dado que la mayoría de las cantidades en la naturaleza siguen una distribución normal de Gauss

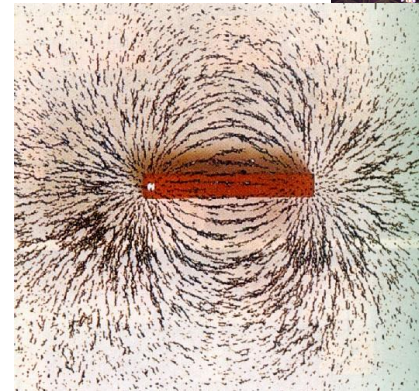


# El hielo y los imanes

A 0° C las moléculas de agua forman un cristal de hielo ordenado

En los metales ferromagnéticos a altas temperaturas los spines de los átomos apuntan de manera aleatoria en todas las direcciones. Al enfriarse a una temperatura crítica todos se orientan en la misma dirección y sentido formando un imán

Algo similar ocurre con los materiales superconductores



¿Cómo emerge el orden a partir del desorden?

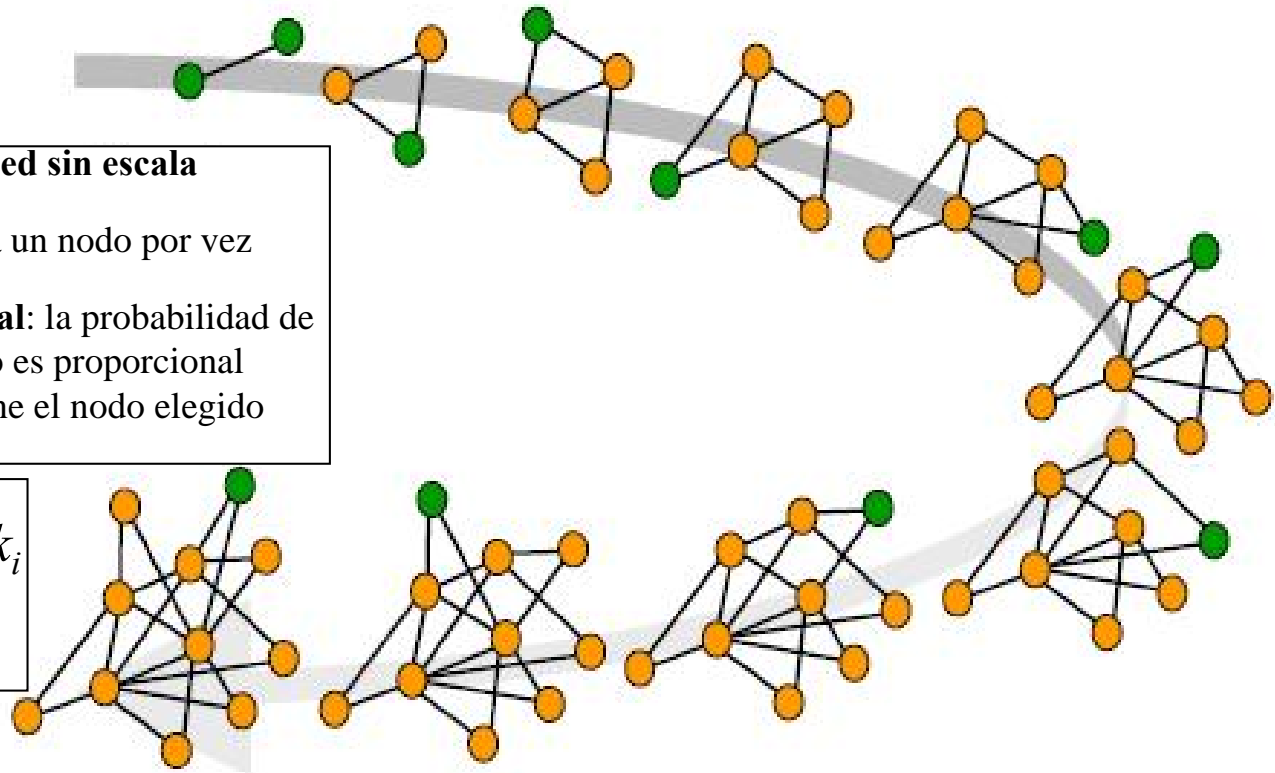
# Barabási y el modelo libre de escala (2002)

## Reglas de formación de la red sin escala

1. **Crecimiento:** se incorpora un nodo por vez
2. **Acoplamiento preferencial:** la probabilidad de que un nodo se vincule a otro es proporcional a la cantidad de links que tiene el nodo elegido

$$\text{Conectividad} = k / \sum k_i$$

$$V_{\text{conectividad}} = t^2$$

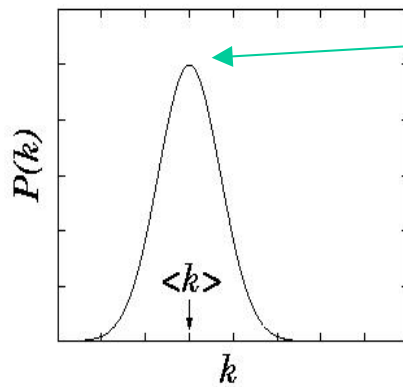


Directorio de empresas Fortune 1,000: tienen 10,100 directorios con 7,682 directores: 79% sirven en uno; 14% en dos y 2.7% en tres o más. La distancia entre dos conectados al mayor cluster (contiene 6.724 directores) es 4,6. Ej.: Vernon Jordan. El rico se vuelve más rico

# Comparémoslos

Distribución Normal o Poisson

Distribución exponencial

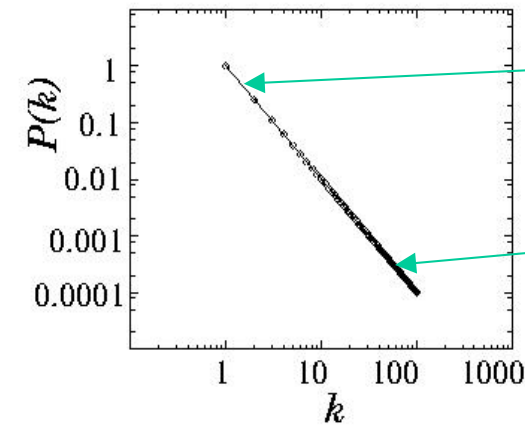


Casi todos los nodos con  $k$  enlaces

**Hay un nodo característico**



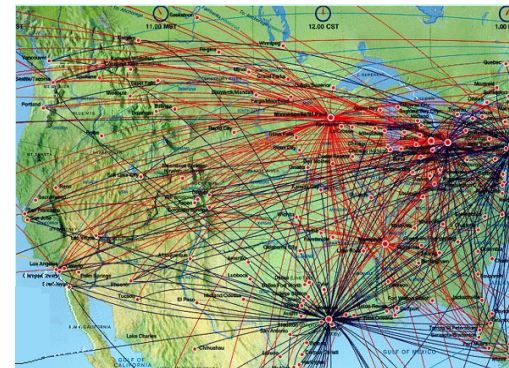
Red con escala  
en su  
conectividad



Muchos nodos  
Pocos enlaces

Pocos nodos  
Muchos enlaces

**No hay un nodo característico**



Red sin escala  
en su  
conectividad

# Hacia una Teoría de la Evolución de las Redes

- Pero la dinámica de evolución de las redes es más compleja que lo que predice el Modelo Libre de Escala
- Necesitamos un modelo que incorpore otros posibles efectos:
  - En muchas redes nuevos links aparecen espontáneamente
  - En otras, desaparecen enlaces
  - No se incluye el avejentamiento (nodos que no incorporan más enlaces). Esto no destruye la ley Exponencial pero altera la cantidad de Hubs al cambiar el exponente de grado  $g$
  - Acoplamientos preferenciales no proporcionales a la cantidad de enlaces que tiene el nodo pero que siguen alguna otra función más complicada. Esto puede destruir la ley Exponencial
- Enlazamiento interno, reconexiones, desaparición de nodos y enlaces, envejecimiento, efectos no lineales y muchos otros procesos que afectan la topología de las redes pueden ir siendo incorporados en nuevos modelos dinámicos de evolución de redes complejas

# Einstein y la condensación (1925)

- Si un gas es enfriado hasta alcanzar una temperatura crítica por poco por encima del cero absoluto ( $0^{\circ}\text{K}$ ) sus partículas forman una nueva forma de materia: el condensado de Bose-Einstein
- Pese a la dificultad de alcanzar esa temperatura tan baja en 1955, Cornell y Weiman pudieron formar un condensado (por lo que les otorgaron el Premio Nobel en 2001) confirmando la teoría
- Ginestra Bianconi sugirió una correspondencia entre el gas de Bose y las redes. Cada nodo es un nivel de energía. Los enlaces son partículas. El fitness ahora reemplaza a la energía. En términos de las leyes que gobiernan su comportamiento, las redes y el gas de Bose son idénticos
- Consecuencia: *algunas redes pueden condensarse*. El ganador se queda con todo. *El nodo más apto se queda con todos los enlaces*

# Resilencia

- Muchos de los sistemas que presentan un alto grado de ***tolerancia a las fallas*** tienen una característica en común: redes complejas de alta interconectividad
- Se pueden quitar una cantidad significativa de nodos de cualquier red libre de escala sin que ella se fragmente. Su ***resilencia*** es una propiedad inherente a su topología. ***Los hubs mantienen la red unida.*** La salida de uno de estos hubs tampoco amenaza a la red debido a la ***jerarquía continua*** o sea una ***estructura topológica despareja***. Con  $\gamma \leq 3$  es necesario que se fallen todos los hubs para que se caiga la red. Ej.: desde Internet hasta las células
- Una falla común en los sistemas complejos son las ***fallas en cascada***
- Pero el precio de esta resiliencia a las fallas es su ***fragilidad ante los ataques***. Si dejan de funcionar simultáneamente los nodos más conectados, estas redes se desintegran (en la práctica 5 a 15% de los nodos)
- Un ataque común en los sistemas complejos son los ***viruses***

# Redes complejas

- Internet
- Celular
- www
- Lingüísticas
- Sociales
- Investigación científica
- Llamadas telefónicas
- Actores de Hollywood
- Sexo
- Redes ecológicas
- Neuronales
- Energía
- Electrónicas
- Evolución viral



# Análisis de casos

Hollywood

SIDA

Internet

www

Network Centric Warfare

# Hollywood: Un mundo pequeño

- Explorando la base de datos de IMDb se encuentra que los actores tienen un promedio de 27 enlaces, pero John Carradine tiene 4.000 y Robert Mitchum 2.905

- **¿Quiénes son los 10 actores con más cantidad de películas?**

Mel Blanc (759)	Tom Byron (679)	Marc Wallace (535)
Ron Jeremy (500)	Peter North (491)	T.T. Boy (449)
Tom London (436)	Randy West (425)	Mike Horner (418)
Joey Silvera (410)		

- **Pero cuando miramos su relacionamiento en red, el tamaño no siempre importa. No están cerca del centro de Hollywood**

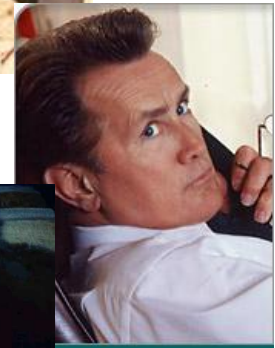
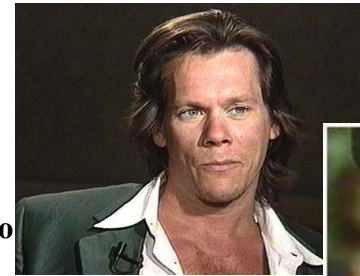
- Kevin Bacon actuó en 46 películas con más de 1.800 actores. Su separación promedio a cualquier otro actor es de 2,79 (puesto N° 876)
- Rod Steiger tiene una distancia de 2,53. Donald Pleasence 2,54. Martin Sheen, Christopher Lee, Robert Mitchum y Charlton Heston tienen 2,57

- **La posición central está reservada a aquellos nodos que son simultáneamente parte de varios clusters grandes.** Son aquellos actores que han interpretado papeles en diferentes géneros

- La distancia promedio de Hollywood es de 3. Kevin Bacon no es nada especial

- **También Hollywood crece**

- Hasta 1900 tuvo 53 actores
- Su primer boom ocurre entre 1908 y 1914 donde ya hay 2.000 actores
- Un segundo boom se produce en los '80 con más de medio millón de actores
- Sólo en 1998 aparecen 13.209 nuevos actores

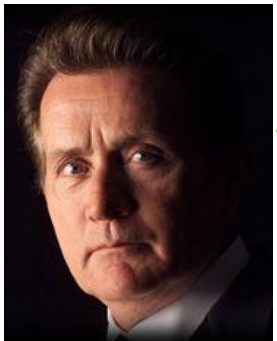




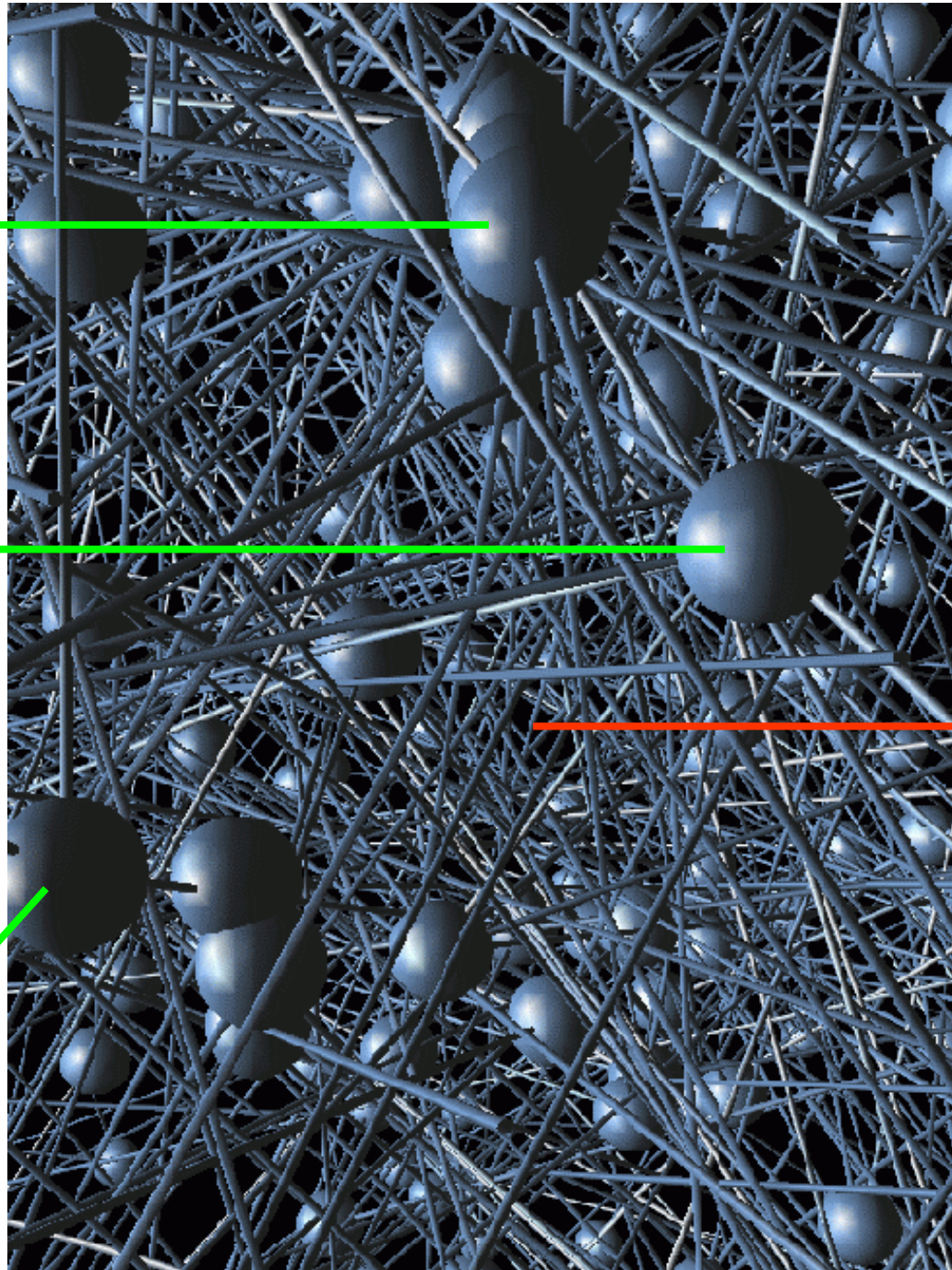
#1 Rod Steiger



#2 Donald  
Pleasence



#3 Martin Sheen



#876  
Kevin Bacon





# SIDA y el paciente Cero

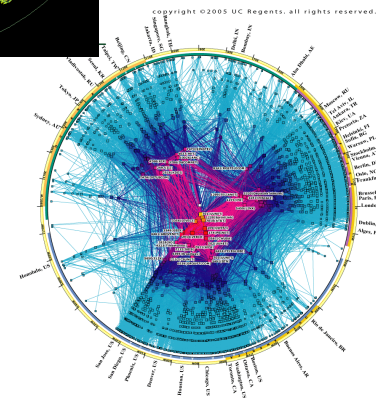
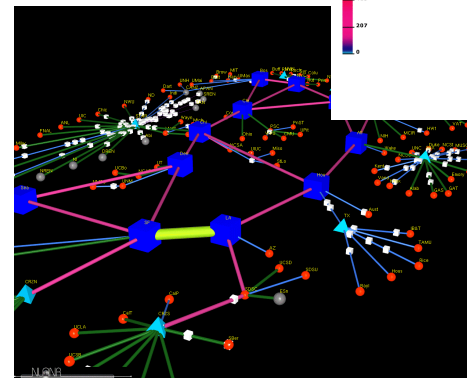
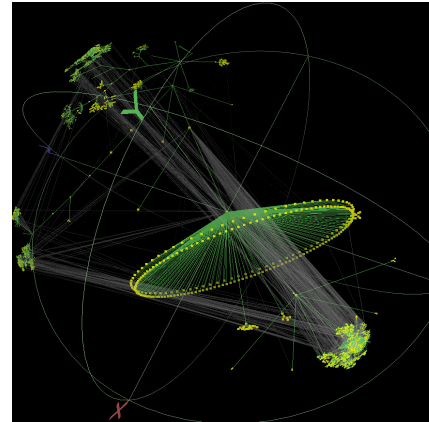
- El caso del Comandante de Abordo Canadiense, **Gaetan Dugas**, el “paciente Cero de la epidemia de SIDA”
- No fue el primero en ser diagnosticado con SIDA pero 40 de las 248 personas diagnosticadas con SIDA en Abril de 1982 tuvieron sexo con él o con alguien que lo tuvo
- Fue el centro de una **compleja emergente red sexual** entre la comunidad gay
- Habiendo sido uno de los primeros en ser diagnosticado con el sarcoma de Kaposi. En 1983 se le advirtió de lo infeccioso de su enfermedad. Pero él continuó diciendo que sólo sufría de un ‘cancer de piel’
- En diez años, relacionándose con 250 personas anualmente, estuvo en contacto con 2.500
- No está claro que Dugas haya llevado el SIDA a Norteamérica pero muchos de los primeros casos donde se detectó SIDA estaban vinculados con él



- Dugas era un activo miembro de una red sexual dentro de la comunidad gay del Este de USA muy activa y promiscua en los '80
- Es un típico caso de difusión en redes complejas: cómo los chismes, los virus y las epidemias
- La rápida difusión del SIDA en esta red se debe a su topología libre de escala. La cantidad de contactos sexuales se corresponde con la ley exponencial

# Internet

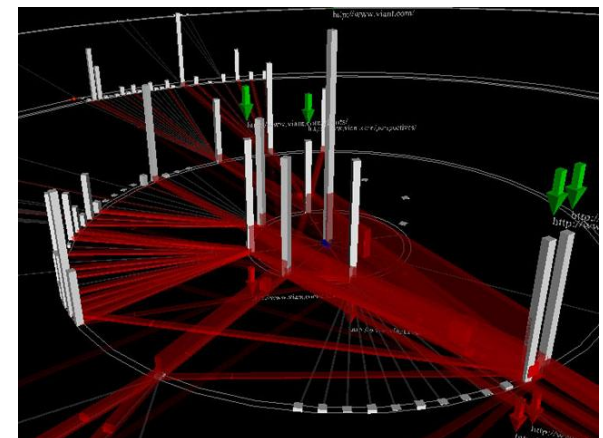
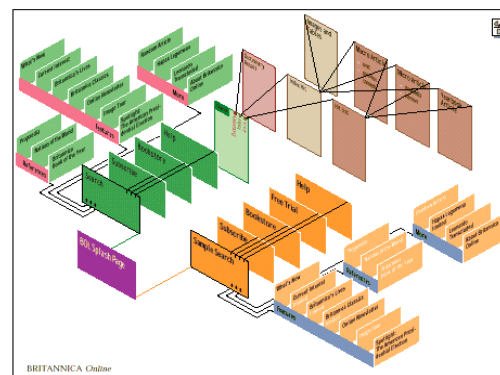
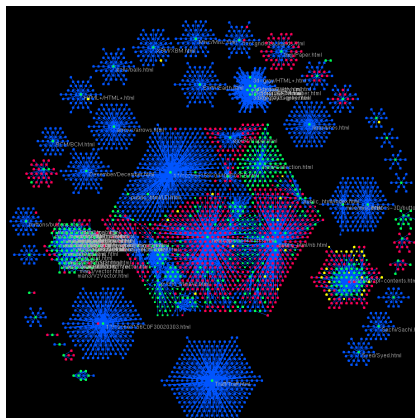
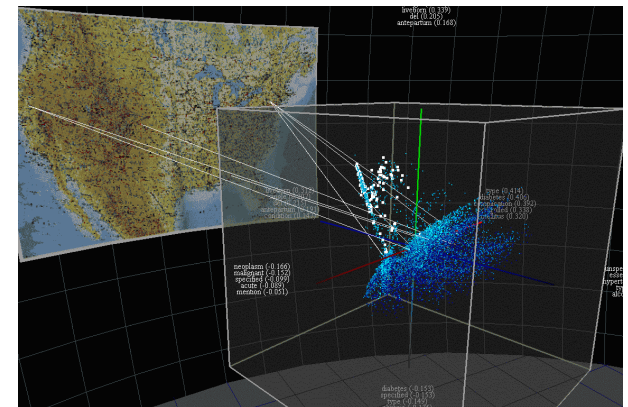
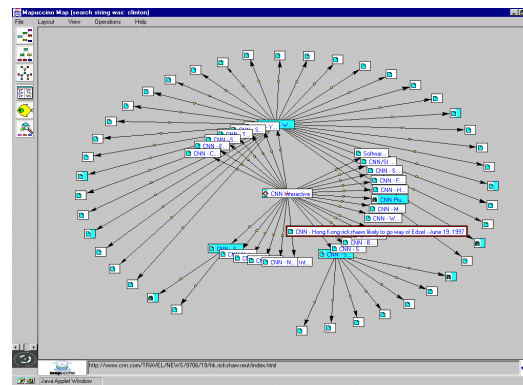
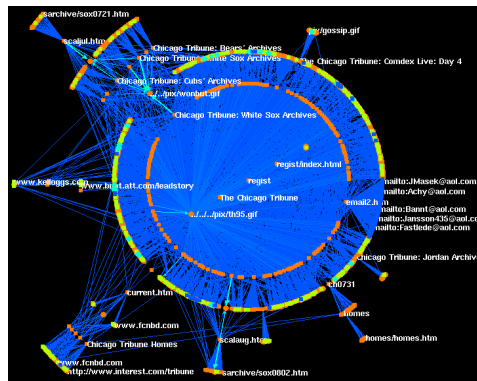
- Una red de líneas físicas (cobre, fibra óptica e inalámbricas) conectando 16.000 millones de computadoras a través de cientos de miles de routers que se comunican a través de protocolos
- Su topología fue diseñada para que sea una red de comunicación rápida y confiable
- Se constituye en un verdadero ecosistema que no sólo se entiende desde una perspectiva ingenieril o matemática
- Aunque un diseño totalmente humano, Internet tiene su propia vida, con las características de un **sistema complejo en evolución**
- Todos agregan nodos y enlaces a Internet y ninguna corporación o organización controla más que una parte insignificante de la red
- Sus routers describen una **distribución de conectividad** de acuerdo a la **ley exponencial**
- **Grado de separación = 10**
- Es una **Red Libre de Escala**
- Los nodos con **más enlaces** adquieren más enlaces
- Existe alta correlación entre densidad de población y densidad de nodos de Internet
- También es un medio propicio para la **difusión** de virus
- Emergencia de Internet como **máquina computacional** y la **computación parasitaria**



# www: Una red direccionada

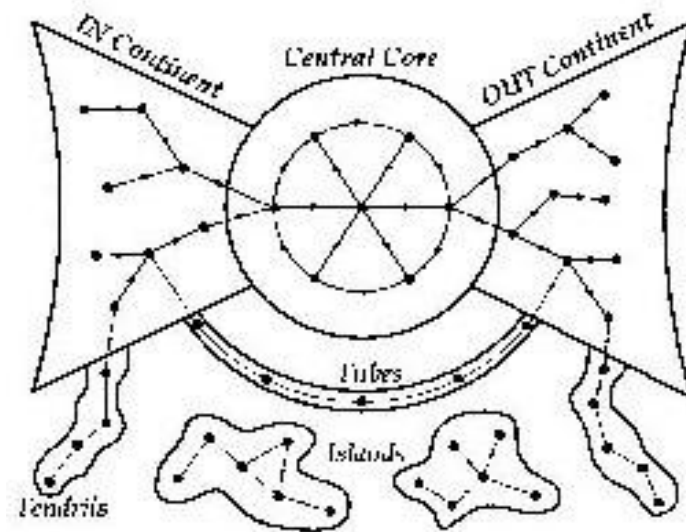
- El poder de la Web está en los enlaces a partir de los URLs (Uniform Resource Locator) que permiten navegar, ubicar y vincular información, enlazando una gigantesca colección de documentos individuales en red
- Tamaño: 800 millones de nodos (1998) y  $10^8$  documentos hoy. Se estima que para 2012 la Web albergará un exabyte ( $10^{18}$ ) de información con un Diámetro:  $d = 18,59$  clics
- Un documento en la web contiene un promedio de 7 hiperenlaces que son acoplamientos preferenciales. Esto es que se vincula con 49 con dos clics, 343 con 3 clics. En el click 19 habremos alcanzado  $10^{16}$  documentos ¡10 millones más de veces de la cantidad de documentos en la Web! ¿Porqué? Algunos de los enlaces apuntan a documentos por los que ya pasamos
- No seguimos todos los enlaces. Por el contrario usamos claves, interpretando los links. Su topología nos permite ver sólo unos pocos de los billones de documentos que alberga. Usamos robots, agentes y buscadores y aparecen las redes semánticas
- Mapeando la Web encontramos la total ausencia de democracia e igualdad
- Para ser leído, uno debe ser visible. La medida de visibilidad es la cantidad de enlaces. A mayor enlaces entrantes apuntando a su página Web, más visible será
- La arquitectura de la Web está dominada por unos pocos nodos altamente conectados (hubs): Yahoo, Amazon, MSN, etc. a donde muchas páginas apuntan pero uno de ellos destaca en particular: Google, el más adaptado

# Mapeando la www



# www: Una red direccionada

- Es una red libre de escala dominada por hubs y nodos con una gran cantidad de enlaces que coexisten con estructuras de pequeñas escala
- Pero con su distancia de casi 19 clicks desde cualquier páginas llegamos a sólo el 24% de todos los documentos porque los enlaces de la Web son *direccionados*
- Es una *red direccionada* donde en algunos casos no existen caminos de regreso. Esto determina la **navegabilidad** de la Web, hasta donde podemos llegar dependiendo de desde donde partimos y tiene consecuencias en su topología: No es una red única homogénea sino por el contrario está formada por 4 *continentes* principales como toda *red fragmentada*



- La arquitectura de la Web es el producto tanto del código (software) como de las acciones colectivas que los seres humanos hacen tomando ventaja del código. La arquitectura representa un nivel de organización de nivel superior al código



# Network Centric Warfare

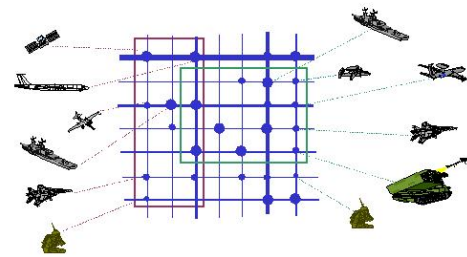
“Network Centric Warfare (NCW) está basada en la idea de que una fuerza en red interdependiente puede actuar y reaccionar con una velocidad sin precedentes en el campo de batalla... Una primera meta es aquella de ... la unidad de esfuerzos principalmente a través de un profundo entendimiento de la intención del comando y una identificación común de la situación...”

Dr. Mark Adkins & John Kruse - University of Arizona Center for the Management of Information August, 2003

- NCW hace desaparecer las líneas entre niveles tácticos, operacionales y estratégicos en la guerra
- Crea una ventaja informacional que se traslada en una ventaja de combate

Grilla de sensores

Grilla de vectores



Grilla de información



- Se caracteriza por
  - Compartir información
  - Identificación de situación común
  - Conocimiento de la intención del Comando
- Explora un cambio cultural a través de una nueva doctrina que permite:
  - Auto-sincronización
  - Velocidad de comando
  - Aumento del poder de combate

# A modo de resumen

- **Euler:** Teoría de grafos. Enlaces y Nodos. Propiedades de redes
- **Erdős:** Redes estocásticas
- **Milgram:** Grados de separación. Mundos pequeños. D
- **Granovetter:** Enlaces fuertes y débiles. Clustering. Coeficiente
- **Pareto:** Ley exponencial
- **Wilson:** Transición de fases. Teoría de renormalización. Invarianza de escala
- **Modelo A**
- **Barabási:** Modelo libre de escala. Crecimiento. Acoplamiento preferencial. Conectividad y velocidad de conectividad
- **Einstein:** Condensación. Innovación y competencia. Adaptación. Evolución. Supervivencia
- **Resiliencia.** Robustez. Fallas. Fallas en cascada. Vulnerabilidad. Ataques. Virus.

## Coeficientes y parámetros

- Distancia de separación  $d$
- Centralidad
- Coeficiente de agrupamiento (clustering)
- Distribución de Grado
- Densidad
- Cohesion
- Tasa de difusión
- Distribución de fitness
- Conectividad
- Velocidad de conectividad
- Ley Exponencial
- Multiplexidad

# Leyes, modelos y métricas estructurales de las redes

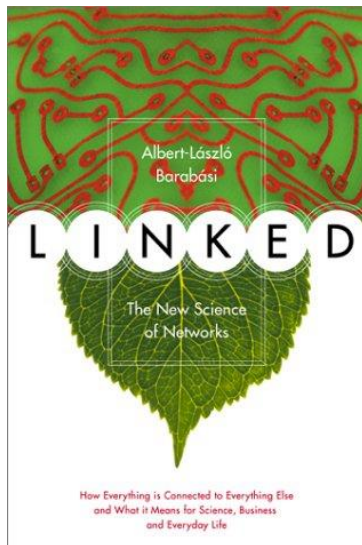
- Diámetro de la red (grados de separación)
- Clusters
  - Redes agrupadas
  - Coeficiente de agrupamiento
- HUBs
- Grado de distribución
- Estabilidad
- Comportamiento dinámico
- Autoorganización
- Gobernanca
- Redes regulares, aleatorias, pequeños mundos y libres de escala
- Enlazamiento preferencial
- Percolación
- Tolerancia
  - Robustez a las fallas
    - Fallas en cascada
    - Resiliencia
  - Vulnerabilidad a los ataques
    - Virus
    - Difusión
      - Tasa de difusión
      - Nivel crítico
- Transición (transición de fase) del desorden al orden
- Renormalización (invarianza de escala)
- Innovación
- Competitividad
- Fitness
  - Fitness x conectividad
  - Distribución de Fitness

# A modo de conclusión

Diversos sistemas complejos tiene una arquitectura subyacente gobernada por principios organizacionales compartidos que nos permiten atacar con nuevas herramientas las redes tecnológicas, sociales, económicas, biológicas, celulares, urbanísticas, comerciales, etc.

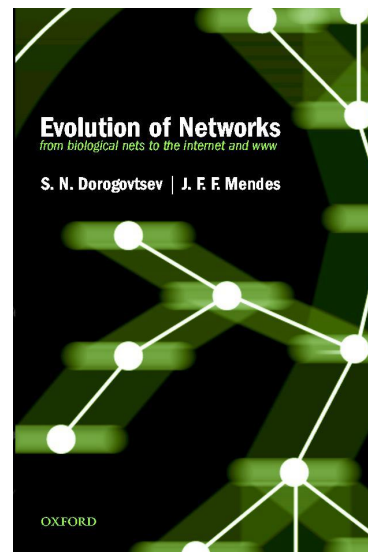
*Sea esta una invitación a pensar en red...*

# Lecturas recomendadas



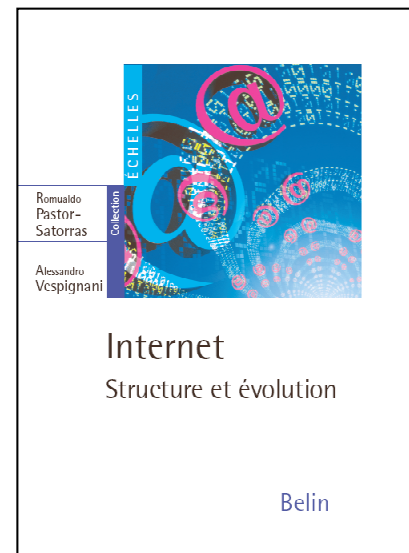
Barabasi, Albert-Laszlo  
**Linked, The New Science  
of Network**

Perseus publishing. 2002.



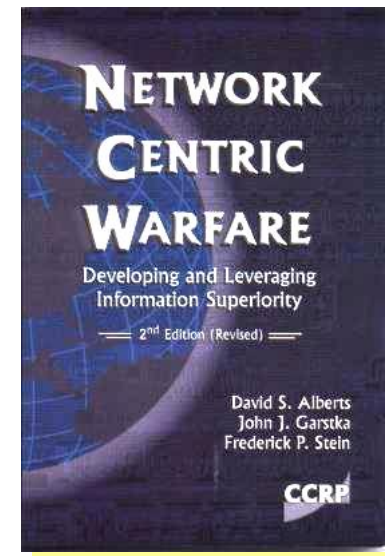
S.N. Dorogovtsev, J.F.F. Mendes  
**Evolution of networks: From  
biological nets to the Internet  
and WWW**

Oxford University Press Oxford 2003



Pastor-Satorras, Romulado  
**Internet, structure et  
évolution**

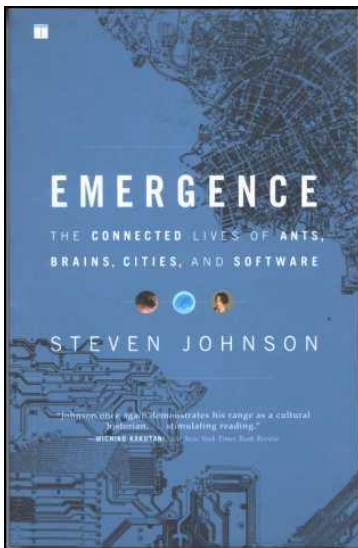
Balin. 2002.



D. Alberts, J. Garska y P. Stein  
**Network Centric Warfare:  
Developing and Leveranging  
Information Superiority**

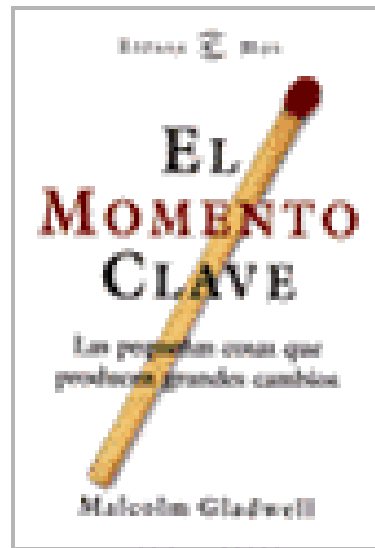
CCRP publishing. 2002.

# Lecturas recomendadas



Johnson, Steven  
**Emergence. The  
connected lives of ants,  
brains, cities and  
software**

Simon & Schuster 2001



Gladwell, Malcolm  
**El momento clave. Las  
puequeñas cosas que  
producen grandes cambios**

Espasa 2001



Mulgan, Geoff  
**Connexity  
How to live in a  
connected world**

HBS Press 1998



Hoffman, Paul  
**El hombre que sólo  
amaba los números**

Granica 2001.

# Muchas gracias

Jorge Crom  
Atlantic Consulting  
Suipacha 868 Piso 2, Buenos Aires  
Tel: 5217-4195  
Mail: [jcrom@atlantic.com.ar](mailto:jcrom@atlantic.com.ar)