

PROPAGACIÓN DE VIRUS INFORMÁTICOS EN INTERNET

(EPIDEMIAS EN REDES COMPLEJAS)

Romualdo Pastor Satorras

Mayo 2001

Sumario

1. Virus informáticos: ¿Qué son y por qué estudiarlos?
2. Cronología de los virus informáticos
3. Modelos epidémicos para virus informáticos
4. Comparación con observaciones en *estado salvaje*
5. Topología de la Internet
6. Modelos de redes con invariancia de escala: el modelo BA
7. Epidemias en redes BA
 - a) Análisis de campo medio
 - b) Simulaciones numéricas
8. Redes generalizadas
9. Modelo SIS sobre mapas reales de internet
10. Conclusiones y perspectivas

Virus informáticos: ¿Que son?

Definición de virus informático: Programa que puede pasar código malicioso a otro programa normal, modificándolo de alguna forma

Los virus informáticos son pequeños programas que se replican “infectando” a otros programas, modificándolos para incluir una versión de ellos mismos.

“Inspirados” en los estudios de von Neumann sobre autómatas matemáticos autoreplicantes (1940)

Usualmente contienen instrucciones diseñadas para interrumpir el funcionamiento del ordenador, activados al ejecutarse el virus, o por el reloj interno:

- Escribir mensajes en la pantalla
- Sobrecribir archivos
- Sobrecribir la FAT: **pérdida de los datos del disco duro**

Tipos de virus informáticos

- **Virus de programa:** Infectan programas. Cuando el usuario ejecuta el programa, el virus se instala en la memoria del ordenador y se copia a sí mismo en otras programas que se ejecuten
- **Virus de sector de arranque:** Infectan el sector de arranque de discos duros y disquettes. Al arrancar al ordenador, se instalan en memoria e infectan disquettes que se lean
- **Virus de macro:** Infectan archivos de datos y son independientes del sistema operativo. Atacan documentos hojas de cálculo, procesadores de texto, etc., usando los **macros** insertados en los documentos

Virus informáticos: ¿Por qué estudiarlos?

- Razones de tipo científico
 - ¿Cuáles es su dinámica de propagación?
 - Similitudes y diferencias con la transmisión de enfermedades biológicas
- Razones de tipo práctico (**económico**)
 - El negocio de los antivirus mueve cientos de millones de dólares anuales en todo el mundo: **es interesante saber por qué nos gastamos todo ese dinero**
 - Los virus informáticos cuestan dinero a la sociedad: **el reciente ataque del virus *I love you* causó \$8.000 millones de pérdidas en equipo y tiempo de trabajo perdido**

Cronología de los virus informáticos

■ 1981:

Primer virus informático para plataformas Apple II

- Inofensivo; hacía que ciertos programas se interrumpieran espontáneamente

■ 1986:

Brain: Primer virus para PC, creado en Pakistán

- Virus de sector de arranque. Sólo puede infectar diskettes de 360K
- Virus camuflado: al leer el sector de arranque, *Brain* muestra el sector original

Virden: Virus de laboratorio creado en Alemania

- Primer virus de programa

■ 1987:

Lehigh: Primer virus residente en memoria. Descubierta en la Universidad de Lehigh (USA)

Brain: Redescubierta en estado salvaje en Delaware (USA)

Jerusalem: Universidad Hebrea de Jerusalén. Causa la primera epidemia de virus informáticos

Stoned y Vienna: Escritos por estudiantes de bachillerato (USA)

■ 1988:

Cascade: Alemania. Primer virus **encriptado**: se ejecuta con una clave, de modo que no se pueda cambiar o eliminar

Se publica el código del virus *Vienna*. Sirve de base para escribir muchos otros

Primer antivirus: Diseñado para detectar y eliminar el virus *Brain*

■ 1989:

Dark Avenger: Diseñado para dañar el sistema operativo lentamente, para dificultar su detección

Frodo: Primer virus completamente camuflado. Diseñado para borrar el disco duro al ejecutarse el 22 de septiembre de cualquier año

Ping-pong: Detectado en Italia. Causa una notable epidemia

DataCrime: Primera crisis de pánico en la prensa (USA)

■ 1990:

Primeras empresas de antivirus

- McAfee, Digital Dispatch, Iris
- IBM inaugura el *High Integrity Laboratory*

Introducción de nuevas propiedades en los virus:

- **Polimorfismo:** Virus escriptados con clave de descriptación variable
- **Armadura:** Con protección para no poder ser desensamblados
- **Virus multipartitos:** Pueden infectar programas y el sector de arranque simultáneamente

■ 1991–1993:

Symantec lanza la primera versión de Norton Anti-Virus

Tequila: Primer virus camuflado, multipartito y con armadura!!

Michelangelo: Crisis en la prensa

- Anuncios de ataques masivos
- Se disparan las ventas de antivirus. . .

SatanBug Washington DC (USA)

- Estrecha colaboración entre el FBI y las empresas antivirus para capturar a su autor: un niño

Cruncher: Virus “beneficioso”: comprime los archivos infectados y libera disco duro. . .

Primera lista oficial de virus: 100

■ 1994–1996:

Kaos4: Virus camuflado como archivo de texto, enviado a un grupo de noticias de Internet. Descargado por mucha gente en pocas horas

Pathogen: Inglaterra. Scotland Yard persigue y encarcela a su autor

Aparece Windows 95

- Los virus existentes (diseñados para DOS) no pueden replicarse en el entorno del nuevo sistema operativo
- La industria de antivirus comienza a preocuparse. . .

Concept: Primer virus macro para Word. Llegará a ser el más común en el mundo

Boza: Primer virus diseñado para Windows 95

Laroux: Primer virus diseñado para infectar hojas de cálculo de Microsoft Excel

- 1997–1998:

Predominancia de los virus macro: Más de 1.000 identificados

- 1999:

Melissa: Primer virus macro que se envía a sí mismo por correo electrónico, usando Microsoft Outlook (**gusanos**)

- 2000–:

I-Love-You: Causa cuantiosas pérdidas económicas

Más de 48.000 virus diferentes identificados...

Más de 10.000 virus en *estado salvaje*...

Más de 10 nuevos virus descubiertos cada mes...

Los virus informáticos constituyen una verdadera amenaza

Analogía biológica

Dos niveles de analogía

- **A nivel microscópico:**

Ingenieros informáticos tratan de desensamblar las decenas de virus informáticos escritos y liberados cada mes, para preparar el correspondiente antivirus

Búsqueda de nuevas vacunas y medicinas de uso inmediato

- **A nivel macroscópico:**

Análisis estadístico y modelización de datos epidemiológicos a fin de buscar información y diseñar políticas destinadas a disminuir las epidemias

Medidas de profilaxis globales

Modelos matemáticos en epidemiología

Descripción en términos de individuos y sus interacciones

- Descripción de los individuos
 - Los individuos sólo pueden estar en un conjunto discreto de estados:
Susceptible o sano, infectado, inmune, muerto...
- Topología de las interacciones
 - Estructura de los contactos a través de los cuales se puede propagar la epidemia

Visualización como una **red**: los nodos representan individuos y las aristas las conexiones por las cuales se propagan los virus

Caso más simple: retículo hipercúbico

El modelo SIS

Modelo más simple en epidemiología

- Los individuos están en estado susceptible o infectado
- Cada nodo se infecta con probabilidad ν si está conectado a un nodo infectado
- Los nodos infectados se recuperan (curan) con probabilidad δ
 $\delta = 1$ sin perder generalidad (escala de tiempo)
- Parámetro característica: **tasa de propagación**

$$\lambda = \frac{\nu}{\delta}$$

- Consideración implícita de la presencia de antivirus ($\delta = 1$)

Teoría de campo medio dinámica

Ecuación para $\rho(t)$, densidad de nodos infectados (**prevalencia**)

$$\frac{\partial \rho(t)}{\partial t} = \underbrace{-\rho(t)}_{\text{término de destrucción}} + \underbrace{\lambda \langle k \rangle \rho(t)[1 - \rho(t)]}_{\text{término de creación}}$$

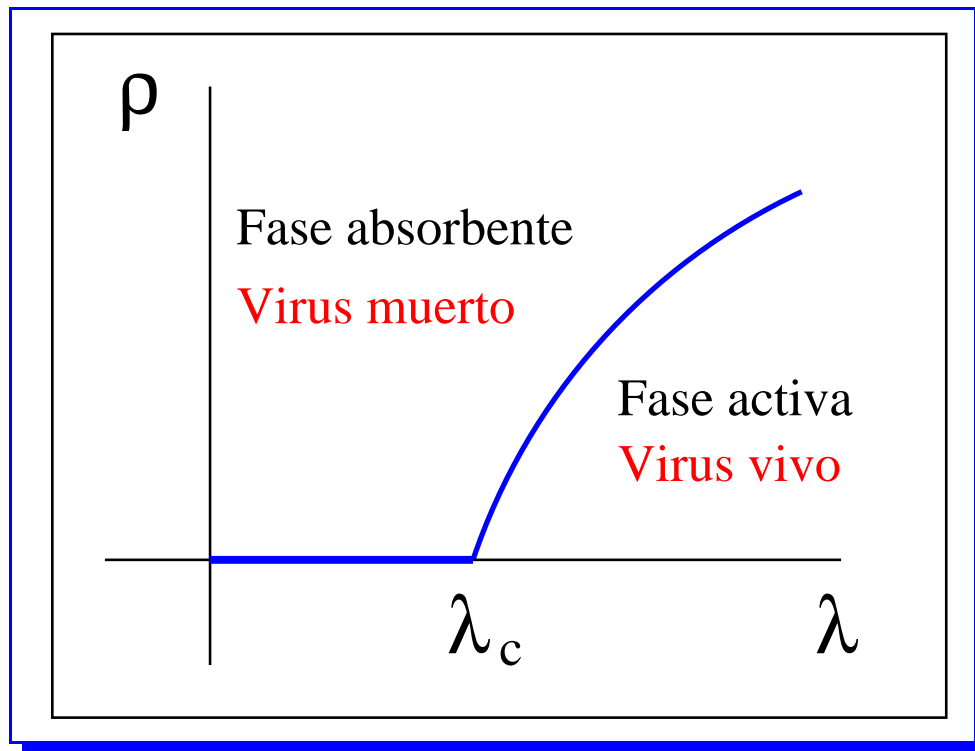
En el estado estacionario, $\partial_t \rho(t) = 0$:

$$\rho[-1 + \lambda \langle k \rangle (1 - \rho)] = 0$$

Definición del **umbral epidémico** $\lambda_c = 1 / \langle k \rangle$:

$$\begin{aligned} \rho &= 0, & \text{para } \lambda < \lambda_c \\ \rho &\simeq \lambda - \lambda_c, & \text{para } \lambda > \lambda_c \quad (\text{estado endémico}) \end{aligned}$$

Diagrama de fases generalizado



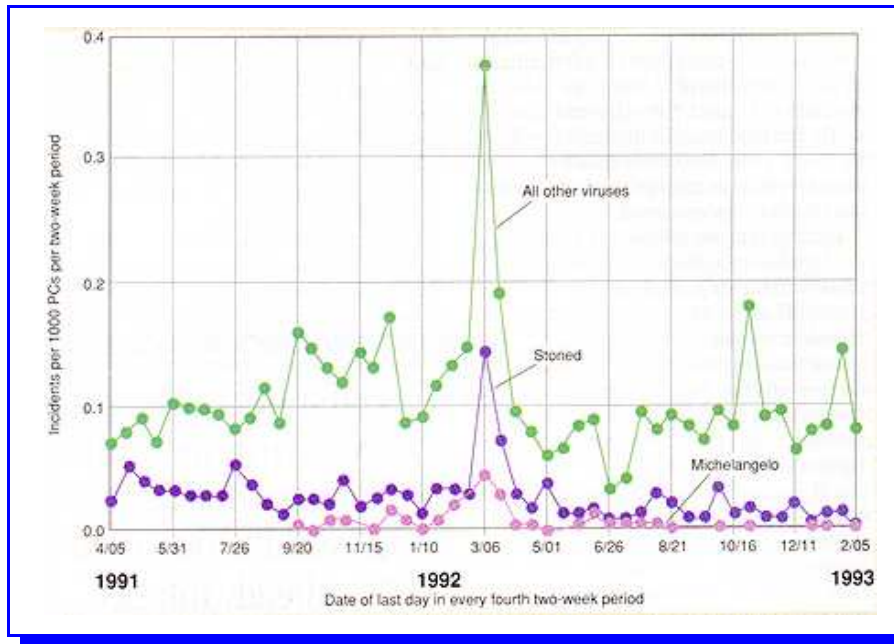
- El modelo SIS presenta una transición de fase de no equilibrio entre un estado **activo** ($\rho > 0$), con prevalencia finita, y uno **absorbente** ($\rho = 0$), con prevalencia nula
 - Umbral epidémico $\lambda_c =$ **Punto crítico**
 - Prevalencia $\rho =$ **Parámetro de orden**
- El modelo SIS es una variación del **proceso de contacto**

Conclusiones de los modelos epidemiológicos

- Existencia de un umbral epidémico finito
 - Por debajo del umbral, la epidemia decae exponencialmente hasta anularse
 - Por encima del umbral, la epidemia crece exponencialmente, hasta infectar una fracción finita del sistema
- Se obtienen los mismos resultados para diferentes variaciones del modelo
 - Presencia de nodos inmunes, muerte (modelo SIR)...

La presencia del umbral epidémico es una característica general

Análisis de prevalencia de virus individuales



Resultados de las medidas de prevalencia basadas en informes de infecciones virales

- Muy pocos virus consiguen sobrevivir hasta establecer un estado endémico
- Los virus endémicos poseen prevalencias muy bajas ($\rho \leq 0,001$) pero estables

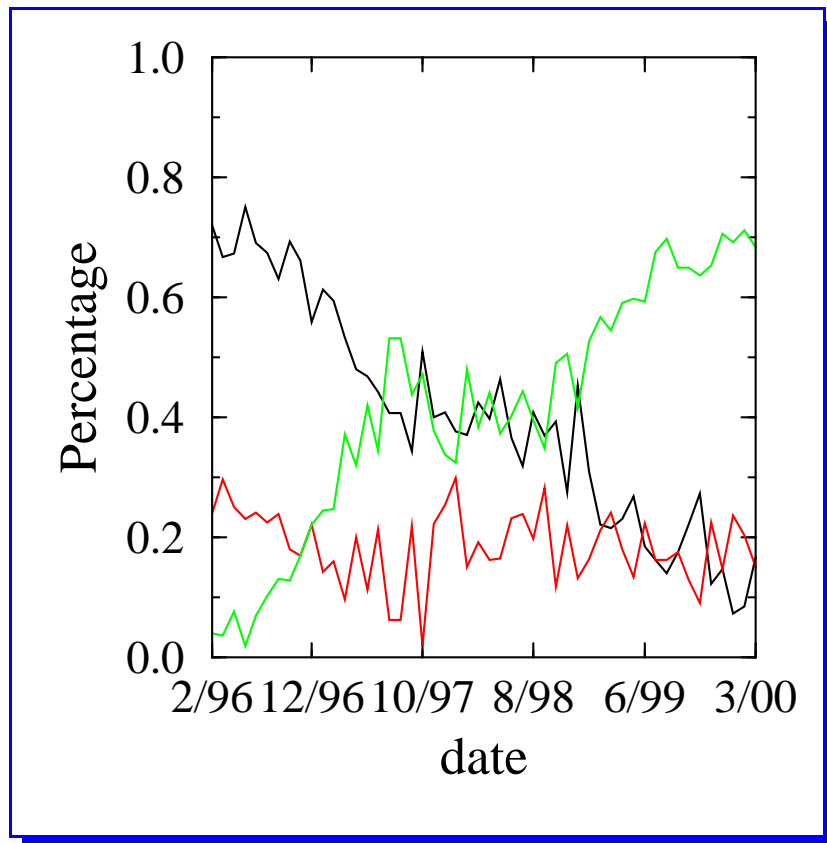
CONCLUSIÓN: Los virus tienen una tasa de propagación ajustada infinitesimalmente cerca del umbral epidémico (??)

“Más importante problema abierto en epidemiología de virus informáticos” (S. White, IBM)

Análisis estadístico por tipos

Análisis estadístico de informes de ataques virales proporcionados por Virus Bulletin

(<http://www.virusbtn.com>) en el período entre febrero de 1996 y marzo de 2000



Virus agrupados en grupos homogéneos

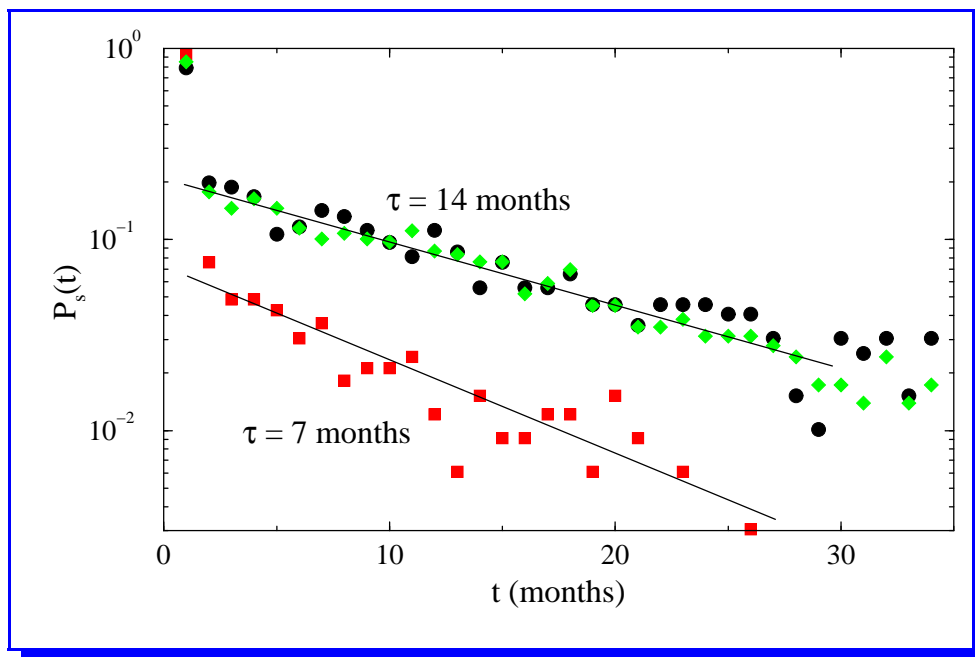
(**programa**, sector de arranque, **macro**) que

comparten similares propiedades y parámetros de propagación

Probabilidad de supervivencia

$P_s(t)$: Fracción de virus dentro de cada clase que sobreviven al tiempo t después de su aparición

Resultado: $P_s(t) \sim e^{-t/\tau}$



τ = Vida media (tiempo característico) de cada clase de virus

La vida media es muy grande comparada con las escalas de tiempo de los virus (o los anti-virus)

- Propagación subcrítica: $\lambda \simeq \lambda_c$
- Propagación supercrítica : Efectos de tamaño finito

¿Que hemos aprendido?

- Los virus se pueden agrupar consistentemente en grupos con propiedades estadísticas similares
- Estados endémicos con muy bajas prevalencias
- Tiempos característicos extremadamente largos

Resultados incompatibles con los modelos epidemiológicos estándar (SIS), a menos que todos los virus tengan una tasa de propagación ajustada muy cerca del umbral epidémico

La clave

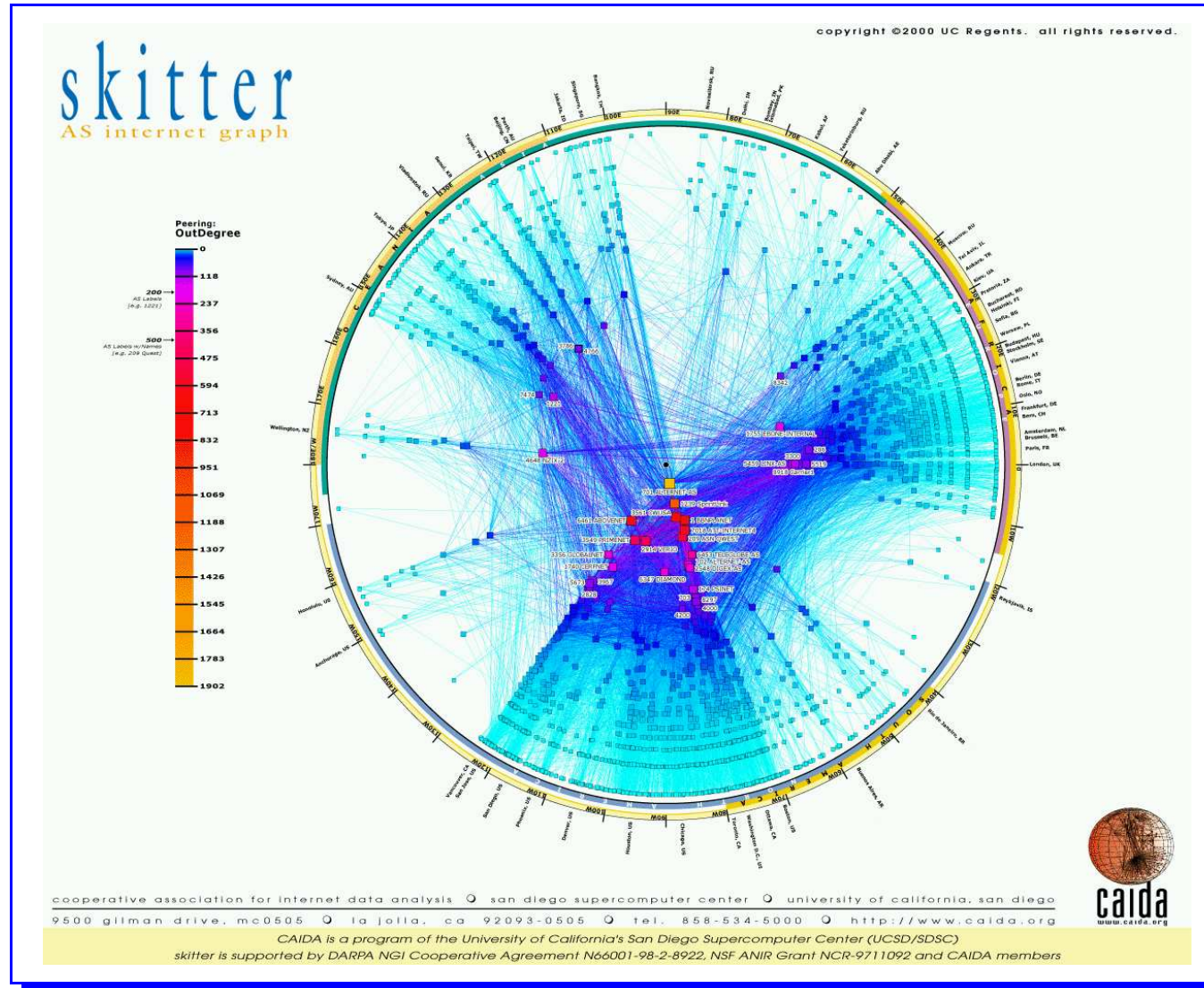
La clave para la comprensión de los virus informáticos es la **topología** del medio en que se propagan

Virus de tipo macro: (*I-Love-You*) Independientes de la plataforma y se propagan esencialmente a través del correo electrónico

Un modelo preciso para la propagación de virus informático debe tener en cuenta la topología del medio de propagación (Internet)

Otros estudios han considerado topologías diferentes (grafos aleatorios): Se recupera siempre la existencia del umbral epidémico

Aspecto de la Internet: sistemas autónomos



Propiedades topológicas de la Internet

Representación de la Internet en términos de un grafo

- Nodos: Ordenadores o conjuntos de ordenadores (LAN)
- Aristas: Conexiones entre ordenadores

Propiedades de la Internet:

- Red compleja
- Conexiones a largas distancias
- Conexión preferente entre nodos
- Clustering jerárquico
- Correlaciones entre nodos...

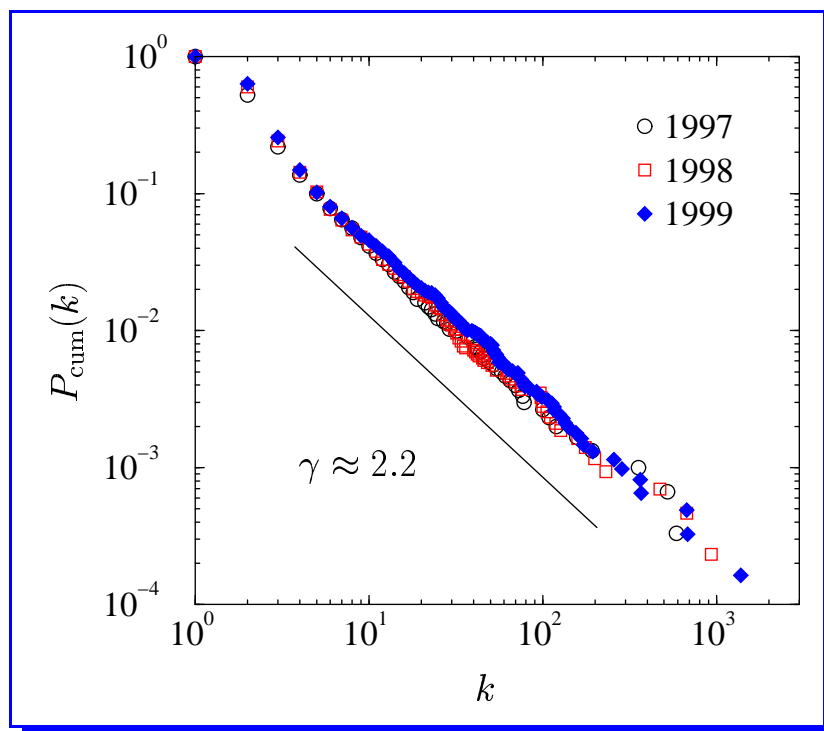
Distribución de conectividad

Propiedad más característica: **Distribución de conectividad**

$P(k)$: Probabilidad de que un nodo tenga k aristas (ordenador con k conexiones)

Experimentalmente $P(k) \sim k^{-\gamma}$, ($2 < \gamma < 3$)

Red invariante de escala (scale-free)



CONSECUENCIA: La **conectividad media** $\langle k \rangle$ es finita, pero las **fluctuaciones** $\langle k^2 \rangle$ divergen.

Factor a tener en cuenta en los modelos

Redes aleatorias

Clásicamente, las redes aleatorias se han representado por el modelo de Erdős y Rényi ('60)

- N nodos aislados
- Con probabilidad p , conectar cada par de nodos con una arista

Presencia de un umbral de probabilidad, $p(N)$, por encima del cual el grafo es conexo

Distribución de conectividad **exponencial**:

$$P(k) \sim e^{-k}$$

Construcción de redes *scale-free*

¿Cuál es el elemento que falta en el modelo ER?

Consideremos las propiedades de las redes complejas (Internet)

- **Crecimiento**: Las redes complejas reales son el resultado de un proceso de crecimiento
- **Conexión preferente**: Al crear un nuevo vértice, es más probable que se conecte a un nodo ya muy conectado

El modelo BA: definición

Modelo *scale-free* (Barabási y Albert, '99, Simon '55)

- Punto de partida: m_0 nodos aislados
- Cada instante de tiempo se añade un nodo con m aristas conectadas a nodos preexistentes
- La probabilidad de crear una arista al nodo i es

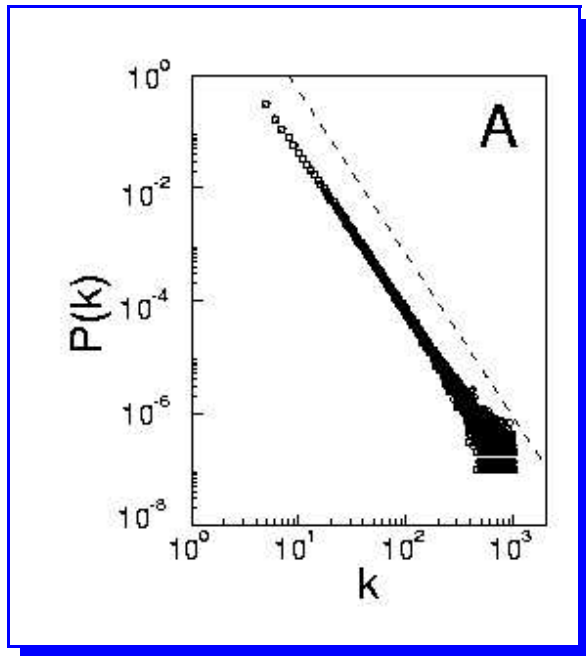
$$\Pi(k_i) = \frac{k_i}{\sum_j k_j}$$

El grafo generado tiene conectividad

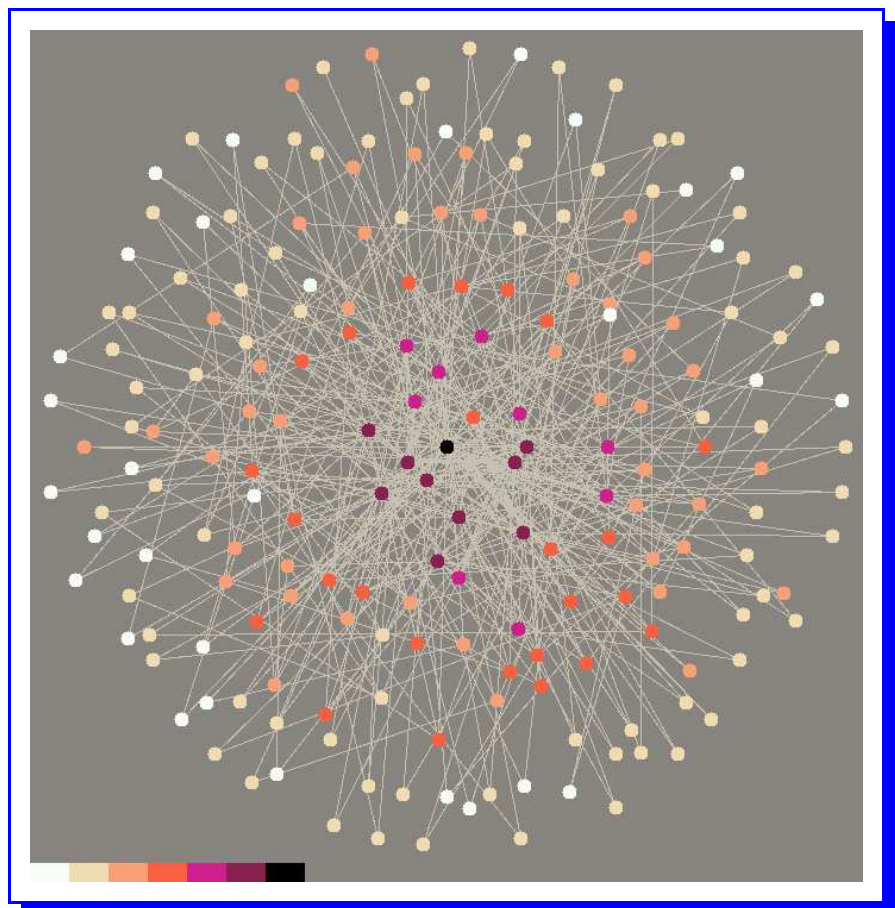
$$P(k) \sim k^{-3}$$

El modelo BA: resultados

Distribución de conectividad



Aspecto del grafo



Teoría de campo medio dinámico

- La conectividad de los nodos presenta grandes fluctuaciones ($\langle k^2 \rangle = \infty$)
- Estas fluctuaciones se deben tener en cuenta

Ecuación para $\rho_k(t)$: densidad relativa de nodos infectados con conectividad k

$$\frac{\partial \rho_k(t)}{\partial t} = \underbrace{-\rho_k(t)}_{\text{término de destrucción}} + \underbrace{\lambda k \Theta(\rho(t)) [1 - \rho_k(t)]}_{\text{término de creación}}$$

$\Theta(\rho(t))$: Probabilidad de que una arista cualquiera está conectada a un nodo infectado

En aproximación de campo medio, Θ es función de la densidad ρ

Estado estacionario

Condición de estado estacionario, $\partial_t \rho_k(t) = 0$,

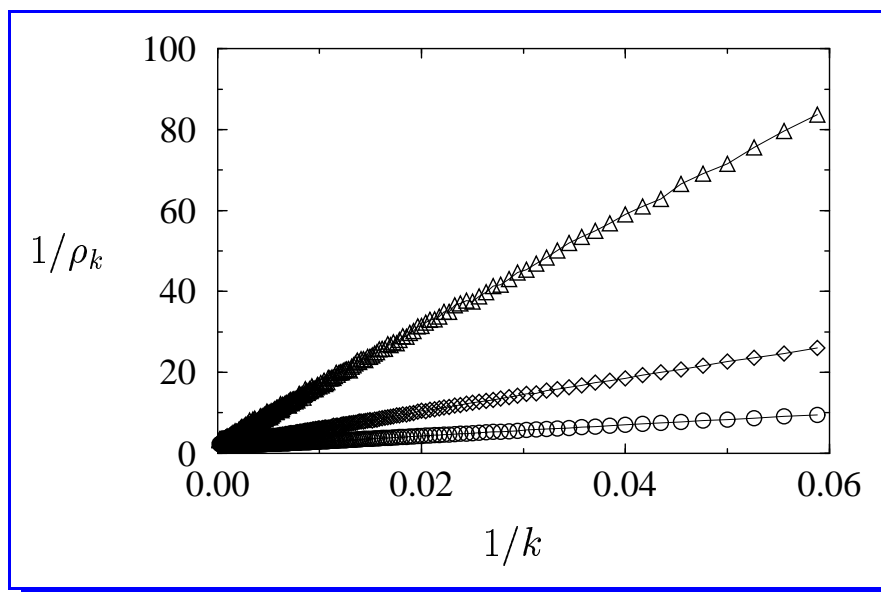
$$\Theta = \Theta(\rho) \equiv \Theta(\lambda)$$

Resolviendo la ecuación de campo medio

$$\rho_k = \frac{\lambda \Theta(\lambda) k}{1 + \lambda \Theta(\lambda) k}$$

Cuando mayor es la conectividad de un nodo, mayor es la probabilidad de que esté infectado

(inhomogeneidad)



Simulaciones numéricas

Relación de autoconsistencia para Θ

$\Theta(\lambda)$: Probabilidad de que una arista cualquiera está conectada a un nodo infectado:

Probabilidad de que una arista esté conectada a un nodo de conectividad $k \rightarrow kP(k) / \sum_s sP(s)$

Probabilidad de que un nodo de conectividad k esté infectado $\rightarrow \rho_k$

\Rightarrow

$$\Theta(\lambda) = \sum_k \frac{kP(k)\rho_k}{\sum_s sP(s)}$$

Ecuación de autoconsistencia para hallar ρ_k en función de λ

Finalmente, ecuación para la densidad total de nodos infectados:

$$\rho = \sum_k P(k)\rho_k$$

Solución de la ecuación de campo medio

Para el modelo BA, en el límite de k continuo

$$P(k) = 2m/k^3 \quad (m \text{ conectividad mínima})$$

$$\text{Conectividad media } \langle k \rangle = 2m$$

La ecuación de autoconsistencia es

$$\Theta(\lambda) = m\lambda\Theta(\lambda) \int_m^\infty \frac{k^2}{k^3(1 + k\lambda\Theta(\lambda))} dk$$

Solución

$$\Theta(\lambda) = \frac{e^{-1/m\lambda}}{\lambda m} \left(1 - e^{-1/m\lambda}\right)^{-1}$$

La densidad ρ es

$$\rho = 2m^2\lambda\Theta(\lambda) \int_m^\infty \frac{k}{k^3(1 + k\lambda\Theta(\lambda))} dk$$

Expresión para la densidad ρ

Sustituyendo los cálculos anteriores, a orden más bajo en λ :

$$\rho \sim 2e^{-1/m\lambda}$$

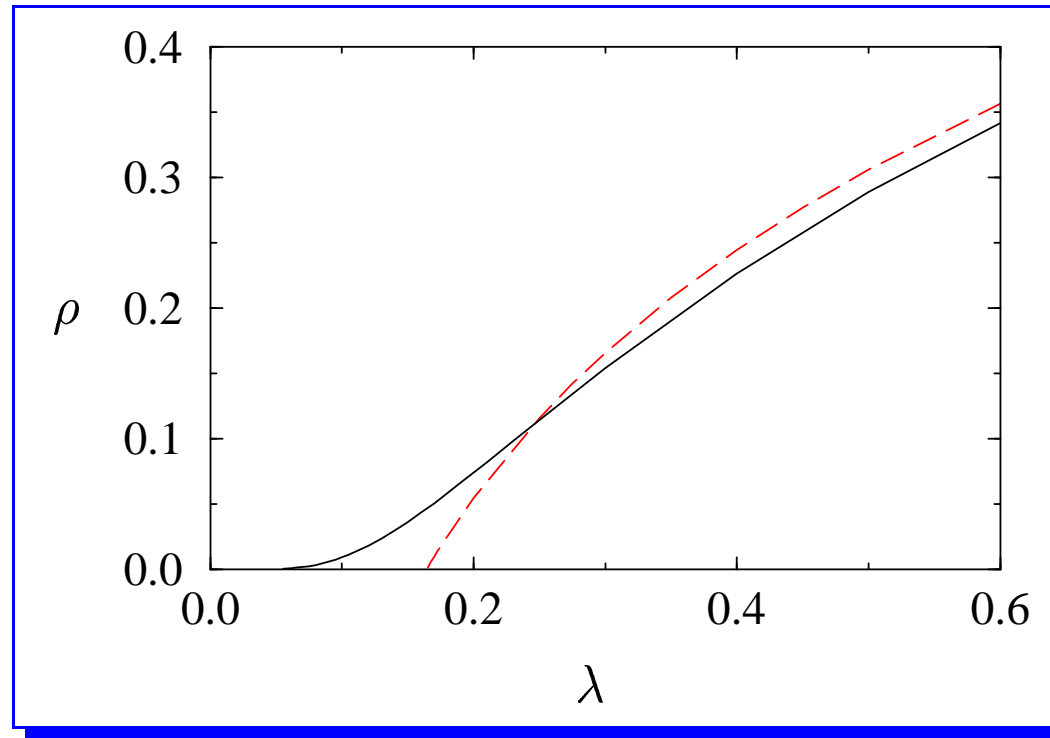
Conclusiones:

- El umbral epidémico (punto crítico) es nulo, $\lambda_c = 0$
- El estado es activo para cualquier valor de λ
- Para sistemas infinitos, la infección persiste infinitamente para cualquier valor de λ (estado endémico estable)

Metodología de las simulaciones

- Creación de una red BA de N nodos y conectividad media $\langle k \rangle = 2m = 6$
- Inicialización del sistema con n_0 nodos infectados
- Iteración de las reglas del modelo SIS hasta obtener un estado estacionario $\rho(t) \approx \text{const.}$
- Promedios estadísticos realizados sobre al menos 10 configuraciones iniciales diferentes, con al menos 10 realizaciones diferentes de la red BA

Resultados



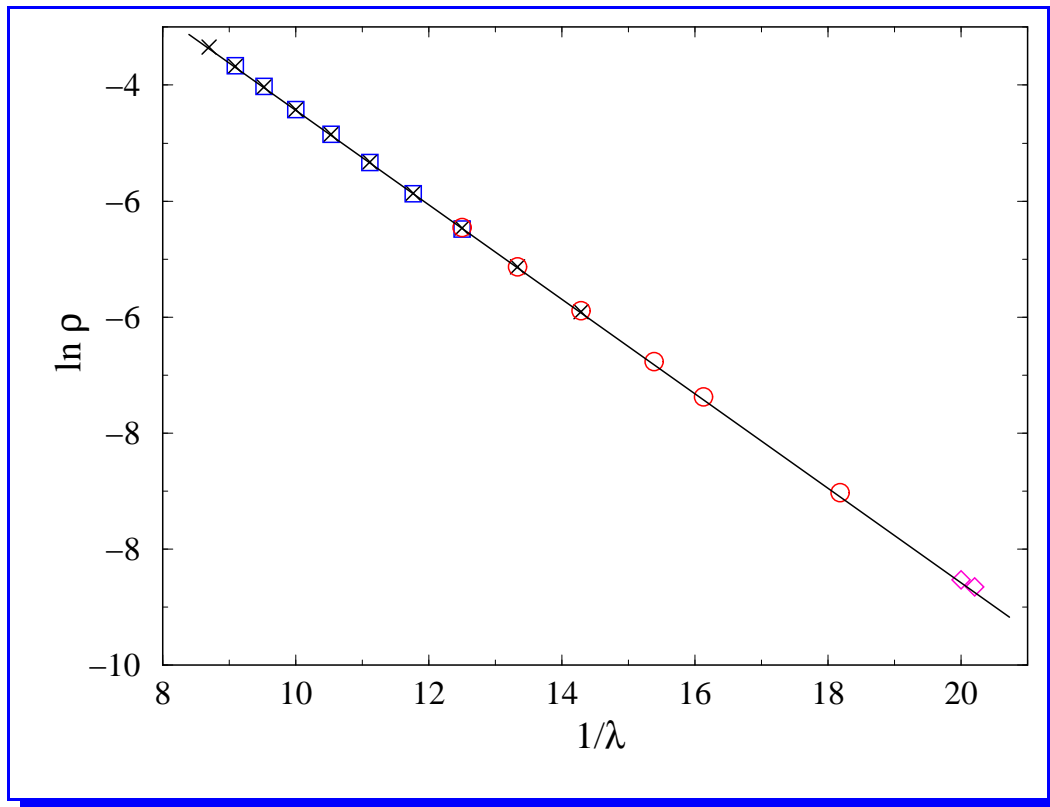
Prevalencia en el estado estacionario para el modelo SIS en la red BA.

Predicción teórica

$$\rho \sim 2e^{-1/m\lambda}$$

Resultados

Aumento en escala log-lineal:



Sistemas de tamaño entre $N = 10^3$ y $N = 10^8$

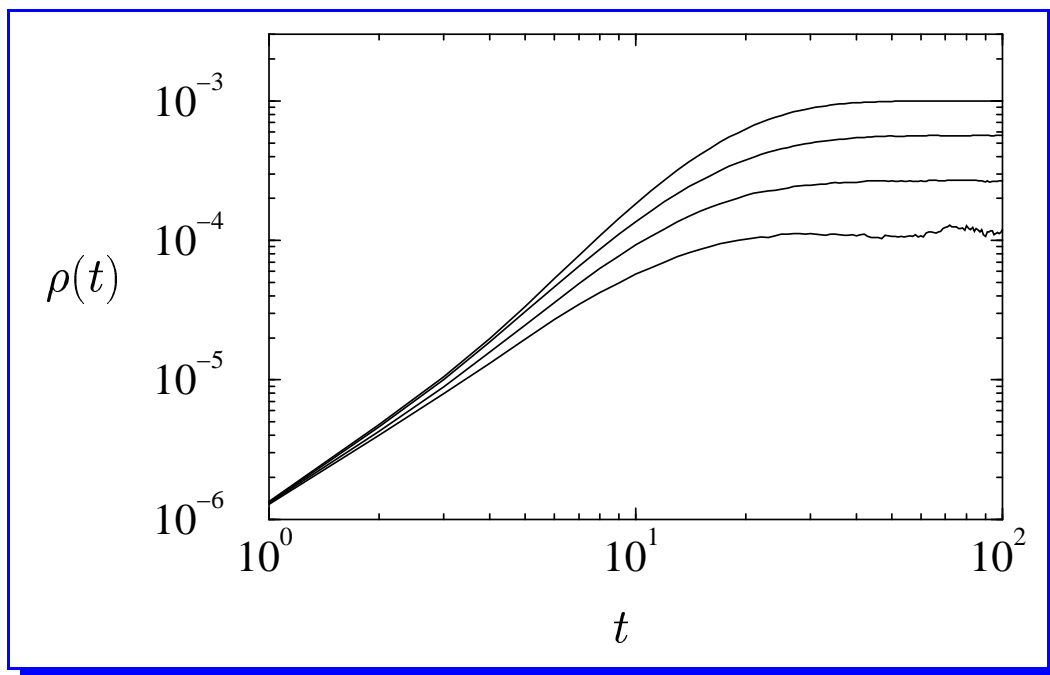
Las simulaciones confirman plenamente la predicción de la teoría de campo medio

$$\rho \sim 2e^{-1/m\lambda}$$

Pendiente de la recta C , con $C^{-1} \simeq 2,5$, en buen acuerdo con la predicción $C^{-1} = m = 3$

Propagación a partir de un nodo infectado

Evolución temporal de la epidemia comenzando a partir de un único nodo infectado (situación real para virus informáticos nuevos)

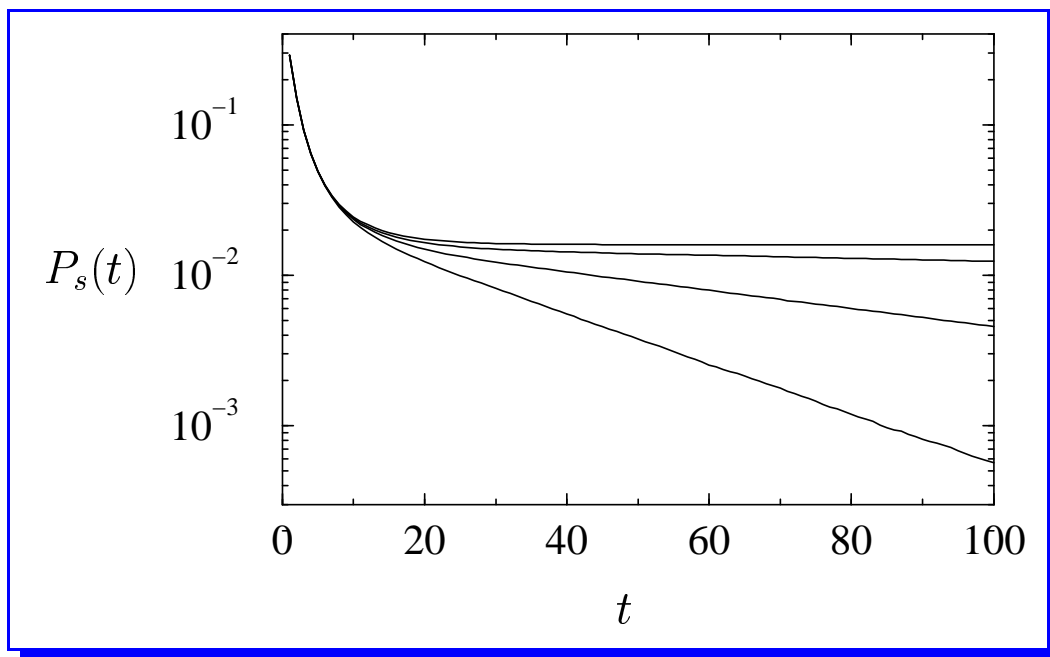


Tasas de propagación entre $\lambda = 0,07$ y $\lambda = 0,04$

En el estado supercrítico el crecimiento inicial es algebraico, en vez de exponencial, como sería de esperar con un umbral finito

Probabilidad de supervivencia

Probabilidad de supervivencia $P_s(t)$ calculada usando la misma definición empleada para el análisis de datos reales



Redes de tamaño entre $N = 10^3$ y $N = 10^6$

Comportamiento $P_s(t) \sim e^{-t/\tau(N)}$

En el estado supercrítico la probabilidad de supervivencia decae exponencialmente, con un tiempo característico $\tau(N)$ que aumenta con el tamaño de la red

Redes generalizadas

El modelo SIS sobre la red BA reproduce el comportamiento observado en los virus informáticos

Sin embargo, el exponente de la red BA es $\gamma = 3$, mientras que la Internet tiene un exponente $\gamma \simeq 2,2$

Para comprobar la generalidad del resultado, consideramos **redes generalizadas** con distribución de conectividad

$$P(k) = (\gamma - 1)m^{\gamma-1}k^{-\gamma}, \quad 2 < \gamma$$

y conectividad media

$$\langle k \rangle = \frac{\gamma - 1}{\gamma - 2}m$$

Teoría de campo medio para redes generalizadas

La aplicación de la teoría de campo medio dinámica es análoga a seguida para el modelo BA

La ecuación de autoconsistencia para $\Theta(\lambda)$ produce

$$\Theta(\lambda) = F[1, \gamma - 2, \gamma - 1, -(m\lambda\Theta(\lambda))^{-1}]$$

La expresión para ρ en el estado estacionario es

$$\rho = F[1, \gamma - 1, \gamma, -(m\lambda\Theta(\lambda))^{-1}]$$

F = función hipergeométrica de Gauss

Teoría de campo medio para redes generalizadas

Cerca del punto crítico $\rho \rightarrow 0$ y $\Theta \rightarrow 0$: podemos aproximar F por su expansión de Taylor:

$$F[1, \alpha, \alpha + 1, -(m\lambda\Theta(\lambda))^{-1}] \\ \simeq \frac{\alpha\pi}{\sin(\alpha\pi)} (m\lambda\Theta)^\alpha + \alpha \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \frac{(m\lambda\Theta)^n}{n - \alpha},$$

Prevalencia a primer orden:

$$\rho \simeq \frac{\gamma - 1}{\gamma - 2} m\lambda\Theta$$

Teoría de campo medio para redes generalizadas

El comportamiento de Θ depende del valor de γ

$$2 < \gamma < 3$$

$$\Theta(\lambda) \simeq \frac{(\gamma - 2)\pi}{\sin[(\gamma - 2)\pi]} (m\lambda\Theta)^{\gamma-2}$$

Prevalencia

$$\rho \sim \lambda^{1/(3-\gamma)}$$

$$3 < \gamma < 4$$

$$\Theta(\lambda) \simeq \frac{(\gamma - 2)\pi}{\sin[(\gamma - 2)\pi]} (m\lambda\Theta)^{\gamma-2} + \frac{\gamma - 2}{\gamma - 3} m\lambda\Theta.$$

Prevalencia:

$$\rho \sim (\lambda - \lambda_c)^{1/(\gamma-3)} \quad \lambda_c = \frac{\gamma - 3}{m(\gamma - 2)}$$

$$\gamma > 4$$

$$\Theta(\lambda) \simeq \frac{\gamma - 2}{\gamma - 3} m\lambda\Theta - \frac{\gamma - 2}{\gamma - 4} (m\lambda\Theta)^2$$

Prevalencia:

$$\rho \sim \lambda - \lambda_c \quad \lambda_c = \frac{\gamma - 3}{m(\gamma - 2)}$$

Prevalencia para redes generalizadas

Comportamiento general $\rho \sim (\lambda - \lambda_c)^\beta$

☒ $2 < \gamma < 3$

$$\lambda_c = 0 \quad \beta = \frac{1}{3 - \gamma}$$

☐ Umbral nulo; comportamiento **no crítico** $\beta > 1$

☒ $3 < \gamma < 4$

$$\lambda_c = \frac{\gamma - 3}{m(\gamma - 2)} \quad \beta = \frac{1}{\gamma - 3}$$

☐ Umbral finito; comportamiento **no crítico** $\beta > 1$

☒ $\gamma > 4$

$$\lambda_c = \frac{\gamma - 3}{m(\gamma - 2)} \quad \beta = 1$$

☐ Umbral finito; comportamiento **crítico de campo medio** $\beta = 1$

Umbral finito para $\gamma > 3 \Rightarrow$ Las fluctuaciones de la conectividad son finitas, $\langle k^2 \rangle < \infty$

Epidemias sobre mapas reales de Internet

Comparación de los resultados teóricos con simulaciones del modelo SIS sobre **mapas reales de Internet**

Mapa “Lucent” (<http://cm.bell-labs.com>)

Características:

$$N = 112,969 \quad \langle k \rangle = 3,22 \quad \gamma \approx 2,4$$

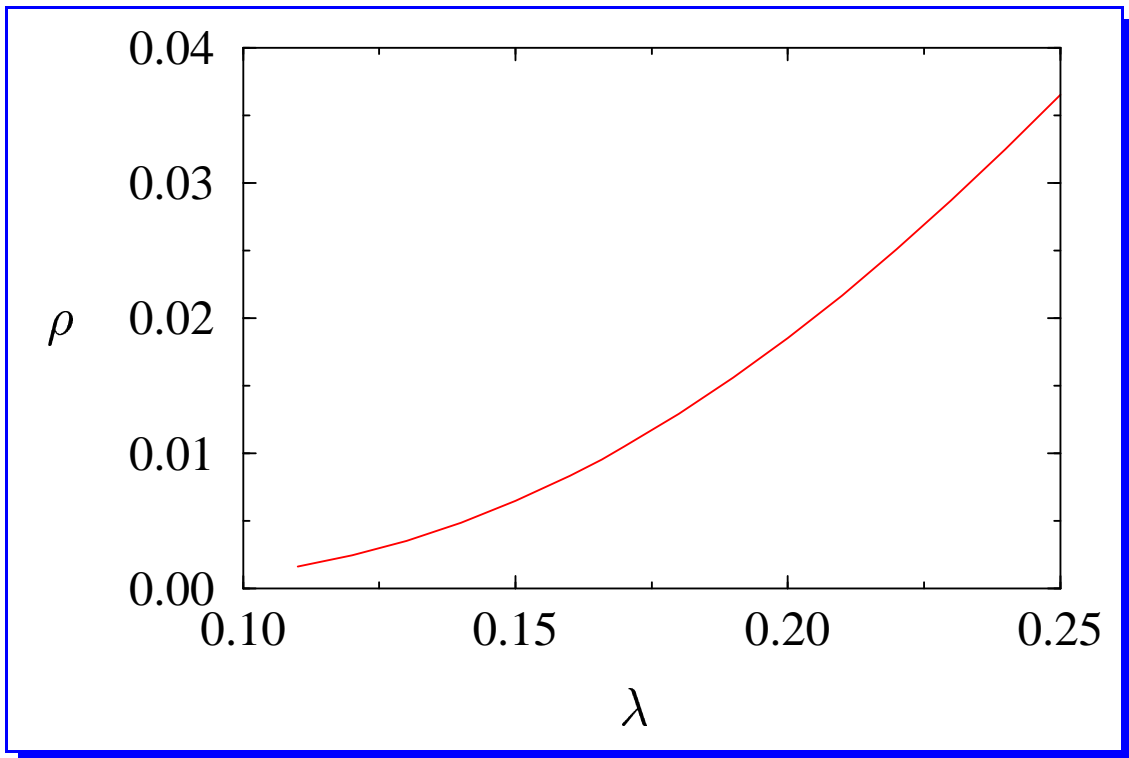
Problema: Mapa demasiado pequeño para explorar las proximidades del punto crítico

Aplicando los resultados del análisis teórico para redes generalizadas:

$$\gamma \approx 2,4 \quad \Rightarrow \quad \lambda_c = 0, \quad \beta \approx 1,7$$

Simulaciones sobre mapas reales

Prevalencia en función de la tasa de propagación λ

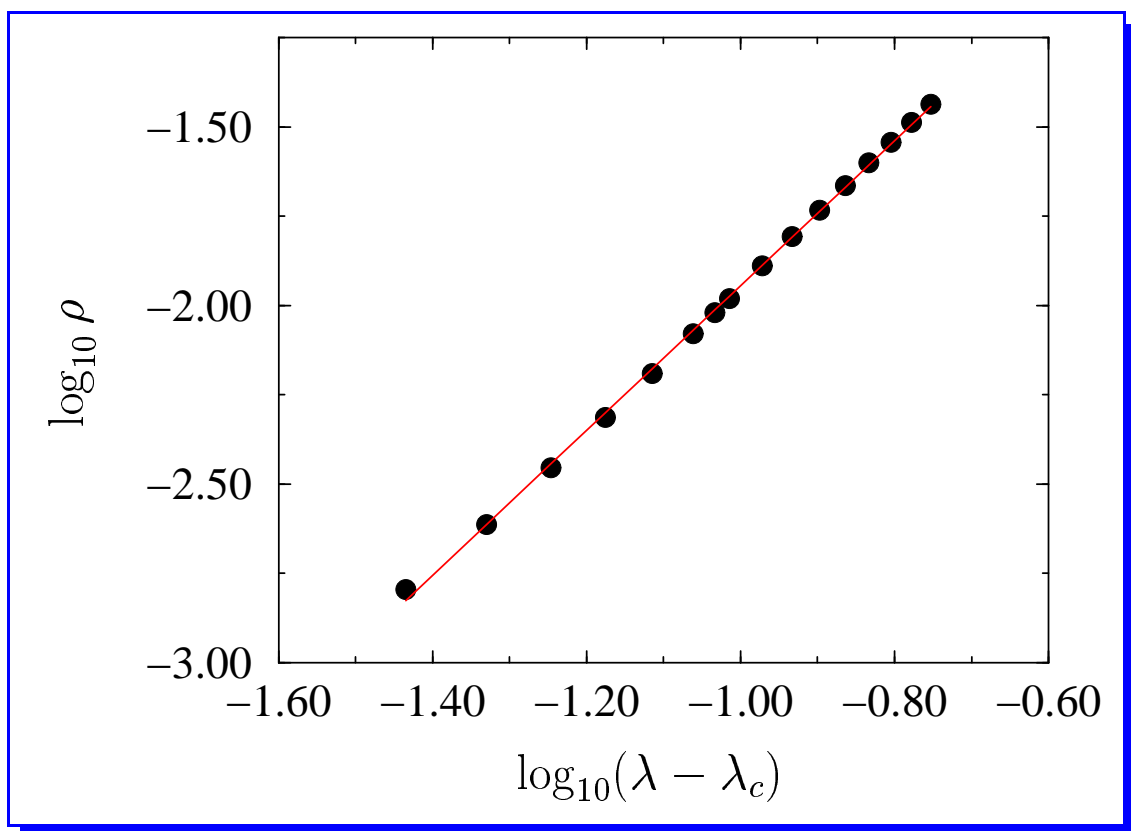


- El rango de valores de λ explorable es pequeño, debido a las grandes fluctuaciones de la prevalencia para $\lambda \rightarrow 0$
- Comportamiento compatible con $\beta > 1$

Simulaciones sobre mapas reales

Ajuste de los datos a la forma

$$\rho = A(\lambda - \lambda_c)^\beta$$



$$\lambda_c \approx 0,07 \quad \beta \approx 2,0$$

Resultados compatibles con la predicción teórica

Conclusiones

- Resultados para redes BA:
 - Ausencia de umbral epidémico (resultado general para $\gamma \leq 3$)
 - Red proclive a las infecciones (estado endémico posible para cualquier λ)
 - Baja prevalencia para un entorno de valores de λ grande
 - Tiempo característico relacionado con el tamaño de la red

Conclusiones

- Interpretación de datos de virus informáticos:
 - Baja prevalencia general explicada sin asumir el ajuste de la tasa de propagación cerca del umbral epidémico
 - Los virus son siempre potencialmente endémicos
 - La reducción local de λ (uso de antivirus) no impide la extensión de los virus
 - La vida media de los virus está relacionada con el tamaño de la Internet (creciente)

Perspectivas

- Estudio del modelo SIS sobre modelos de redes más realistas que tengan en cuenta las **correlaciones** entre nodos
 - Explicar las diferencias entre teoría y simulaciones en redes reales
- Estudiar los efectos de la **inmunización**
 - Diseño de estrategias efectivas de inmunización para reducir globalmente la incidencia de virus informáticos endémicos
- Aplicación de los resultados a **otro tipo de redes con invariancia de escala**
 - Propagación de modas o rumores en redes sociales