

La ciencia de las redes

José Luis Molina

*Departamento de Antropología Social, Universidad Autónoma de Barcelona, 08193 Bellaterra, Barcelona
corr-ele: joseluis.molina@uab.es. Fax: +34 93 581 1140*

Asociación para el Avance de la Ciencia y la Tecnología en España (AACTE)
© 2004 AACTE

Introducción

La denominación “la ciencia de las redes” la debemos a la reciente incorporación de físicos a un campo conocido hasta ahora como “análisis de redes sociales” (ARS en castellano o SNA, *Social Network Analysis* en inglés). En la Ilustración 1 se puede ver el desarrollo del ARS según nuestra perspectiva (Molina, 2001; Scott, 1991). Las recientes revisiones de Barabási (2002) y Newman (2003) sitúan el origen en Euler y su famosa solución al famoso problema de los puentes de Königsberg en 1875; esto es, en la teoría de grafos.

Pongamos donde pongamos el origen, es destacable en cualquier caso esta convergencia en el campo de las redes de una variedad tan amplia de disciplinas. La perspectiva de redes permite, además, resolver oposiciones hasta ahora difíciles de superar en Ciencias Sociales como son los pares micro-macro, cualitativo-cuantitativo o acción-estructura. Es por ello que consideramos que el ARS, además de representar una poderosa herramienta de

análisis y una perspectiva diferente de la realidad, puede ser un lugar privilegiado para avanzar en la renovación de la teoría social (Cf. Lozares, 2003) y en la revisión de una división entre “Humanidades”, “Ciencias Sociales” y “Ciencias Naturales” seguramente inadecuada.

Pero ¿qué es una red?¹ Una red es un conjunto de relaciones (líneas, vínculos o lazos) entre una serie definida de elementos (nodos). Cada relación equivale a una red *diferente*. Así, los movimientos de un balón de fútbol entre los jugadores de un equipo, constituirían una red, mientras que los movimientos del balón entre los dos equipos o las faltas cometidas, por ejemplo, constituirían redes diferentes a pesar de ser todas ellas mediciones de un mismo fenómeno.

¹ Luis Sanz Menéndez ha publicado en el número 7 de esta misma revista una introducción a los principales indicadores utilizados en ARS, por lo que no insistiremos en ello. (Apuntes de Ciencia y Tecnología, nº 7, pág. 21)

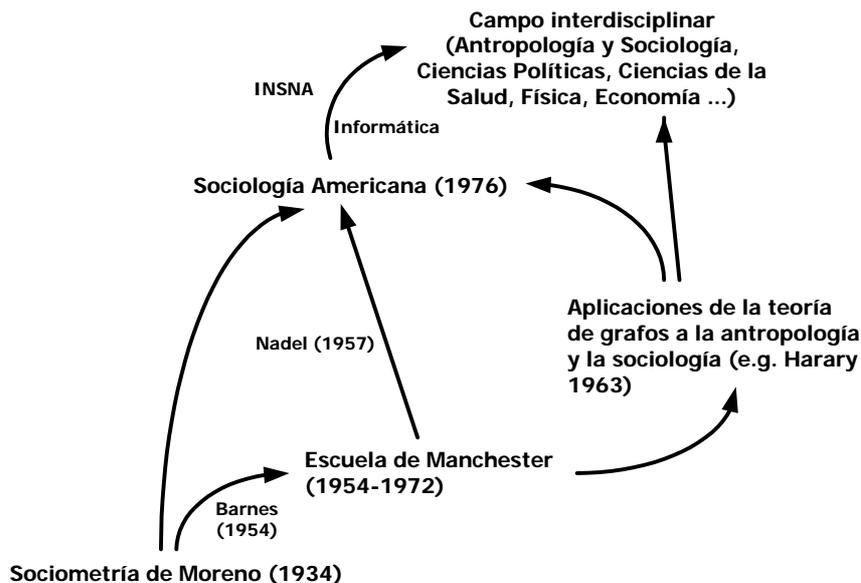


Ilustración 1. El desarrollo del análisis de redes sociales

En función de si la relación escogida es orientada (un jugador hace falta a otro) o recíproca (dos jugadores dialogan) y en función de si los nodos son los mismos (los jugadores del mismo equipo) o diferentes (los jugadores de cada equipo que hacen faltas a los jugadores del equipo contrario) se obtiene cuatro tipos de redes:

	Orientada	Recíproca
Nodos iguales	1	2
Nodos diferentes	3	4

Cada uno de estos tipos pueden ser a su vez binarios (ceros y unos, presencia o ausencia de relación) o valorados (número de faltas cometidas). La abundancia de algoritmos de análisis se sitúa sobre todo en los tipos 1 y 2; existen procedimientos para analizar los tipos 3 y 4, aunque más sofisticados.

Conjuntamente con los movimientos del balón, las faltas o los jugadores que hablan entre sí, podemos recoger información de los atributos de los nodos (edad, peso, función en el equipo, origen étnico, ...) y combinarlos con los datos relacionales o reticulares obtenidos.

Las redes se representan en forma de grafos o matrices, siendo esta última la forma que nos permite realizar fácilmente un análisis de las características formales de la red (Cf. Wasserman *et. al.*: 1994). Los paquetes informáticos de ARS actuales permiten alternar fácilmente

entre matrices y representaciones gráficas: Ucinet 6 y Netdraw (<http://www.analytictech.com>), Pajek (<http://vlado.fmf.uni-lj.si/pub/networks/pajek/>), Netminer (http://www.netminer.com/NetMiner/home_01.jsp), ...

Tomemos un ejemplo (Krackhardt:1990) de una red en una organización actual. En la Ilustración 2 se muestra una red de amistad indicando con la forma de los nodos el departamento al que pertenecen los empleados, con el color (o gradación de grises) los niveles jerárquicos y con un número la edad². Entendemos que las relaciones de amistad son *recíprocas*, esto es, la relación de amistad va en los dos sentidos. Con las tres líneas circulares hemos propuesto la posibilidad que las relaciones de amistad se den preferentemente entre personas del mismo departamento y del mismo nivel jerárquico y quizás, de una edad parecida (todos ellos datos atributivos de los nodos), aunque aquí habría que hacer más matizaciones.

Sin embargo, esta red difiere enormemente de la red “quién informa a quién” de la Ilustración 3. Esta relación es por fuerza orientada (se representa con una flecha en lugar de con una línea): unas personas informan preferentemente a otras y no al revés.

Aunque los nodos y las variables son las mismas que en la ilustración anterior parece bastante claro que una cosa es el organigrama

² Realizada con Ucinet 6 y NetDraw: <www.analytictech.com>.

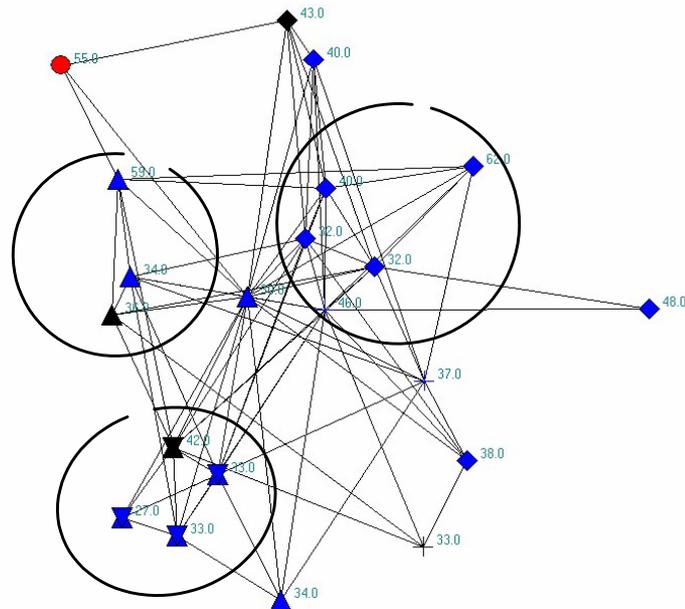


Ilustración 2: Red de amistad en una organización

formal (departamentos y el gerente en el centro) y otra muy diferente el organigrama “informal”, el representado posiblemente por la Ilustración 2, en la cual el gerente es de todo menos central (recuérdese que es solamente la red de amistad la que se representa).

Estos ejemplos nos permiten ver cómo cada relación da lugar a una red diferente, la existencia de relaciones recíprocas u orientadas y la posibilidad de incorporar datos atributivos en el análisis.

Presentamos a continuación uno de los campos de investigación actuales del ARS más fructíferos como es el fenómeno de un mundo pequeño para, finalmente, mencionar algunos campos de aplicación.

Un mundo pequeño

Milgram mostró en 1967 que en 5,2 pasos de media era posible conectar a dos personas desconocidas y que los caminos que alcanzaban el objetivo pasaban por unos pocos nodos

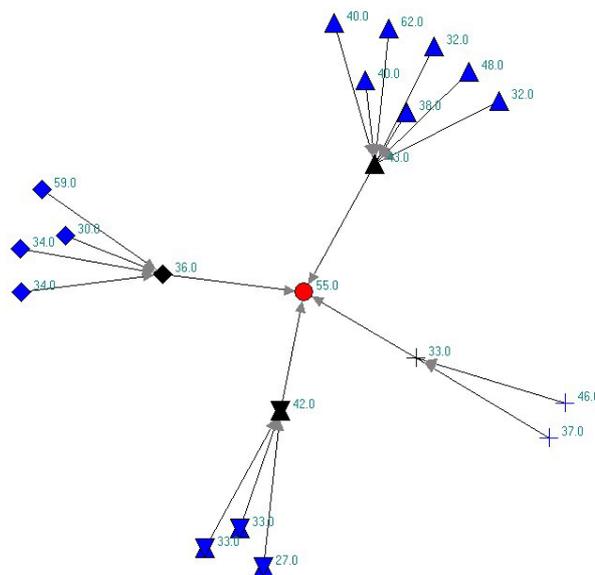


Ilustración 3: "Quién informa a quién" en una organización

	Red	tipo	n	m	z	L
Sociales	Actores de películas	Recíproca	449.913	25.516.482	113,43	3,48
	Directores de empresas	Recíproca	7.673	55.392	14.44	4.60
	Co-autorías en matemática	Recíproca	253.339	469.489	3.92	7.57
	Co-autorías en física	Recíproca	52.909	245.300	9.27	6.19
	Co-autorías de biología	Recíproca	1.520.251	11.803.064	15.53	4.92
	Grafo llamadas telefónicas	Recíproca	47.000.000	80.000.000	3.16	
	Mensajes de correo electrónico	Orientada	59.912	86.300	1.44	4.95
	Direcciones de correo electrónico	Orientada	16.881	57.029	3.38	5.22
	Relaciones entre estudiantes	Recíproca	573	477	1.66	16.01
	Contactos sexuales	Recíproca	2810			
Información	WWW nd.edu	Orientada	269.504	1.497.135	5.55	11.27
	WWW Altavista	Orientada	203.549.046	2.130.000.000	10.46	16.18
	Citas bibliográficas	Orientada	783.339	6.716.198	8.57	
	Thesaurus de Roget	Orientada	1.022	5.103	4.99	4.87
	Co-ocurrencia de palabras	Recíproca	460.902	17.000.000	70.13	
Tecnológicas	Internet	Recíproca	10.697	31.992	5.98	3.31
	Red eléctrica	Recíproca	4.941	6.594	2.67	18.99
	Rutas ferroviarias	Recíproca	587	19.603	66.79	2.16
	Paquetes informáticos	Orientada	1.439	1.723	1.20	2.42
	Tipos de programas informáticos	Orientada	1.377	2.213	1.61	1.51
	Circuitos electrónicos	Recíproca	24.097	53.248	4.34	11.05
	Red de colegas (<i>peer-to-peer</i>)	Recíproca	880	1.296	1.47	4.28
Biológicas	Red metabólicas	Recíproca	765	3.686	9.64	2.56
	Interacciones proteínicas	Recíproca	2.115	2.240	2.12	6.80
	Red trófica marina	Orientada	135	598	4.43	2.05
	Red trófica agua dulce	Orientada	92	997	10.84	1.90
	Red neuronal	Orientada	307	2.359	7.68	3.97

Tabla 1. Propiedades de redes publicadas. Adaptado de Newman (2003). Leyenda de las columnas: n indica el número de nodos; m el número de relaciones; z , el grado nodal medio y L la distancia media entre dos nodos.

“importantes”. El experimento consistía en intentar hacer llegar una carta, a través de una cadena de contactos, a un destinatario del cual se disponían unas pocas informaciones. La media de pasos de las cadenas que lograron su objetivo (un 29 %) fue de 5,2 (sucesivos experimentos dieron el mismo resultado). De ahí la conocida expresión “seis grados de separación”. Esta característica de vivir en un mundo inabarcable pero muy próximo al mismo tiempo, no sólo es propia de las redes sociales sino que es un fenómeno ampliamente difundido.

En la tabla 1 puede observarse cómo el diámetro³ de redes muy diversas es muy reducido, presentando la característica de un mundo pequeño aún en grafos con millones de nodos. Así, las redes de artistas de cine, las redes tróficas marinas, la red de ordenadores

de internet o las redes neuronales de nuestro cerebro, por citar solamente algunas, están dentro de una distancia media de menos de 4 pasos.

¿Cómo es posible? Desde un punto de vista matemático, esta aparente contradicción puede resolverse en los siguientes términos (Watts, 1999): es posible pensar en un grafo que tenga conexiones locales pero que algunos nodos se conecten al azar con otros nodos lejanos, permitiendo una alta fragmentación local y, al mismo tiempo, un diámetro reducido (ver la ilustración 4).

La propuesta de estos sociólogos es la siguiente: dado que los grafos aleatorios tienden a tener un diámetro reducido y que la propiedad de mundo pequeño se compone de un diámetro reducido pero también de una alta fragmentación (alta conectividad global y alta transitividad local) es posible pensar en un modelo intermedio entre un grafo de L nodos, cada uno de ellos unido a sus k nodos vecinos siendo la probabilidad p de que esta unión sea

³ El diámetro de un grafo se define como la longitud de su geodésico más largo, siendo un geodésico el camino más corto posible entre dos nodos.

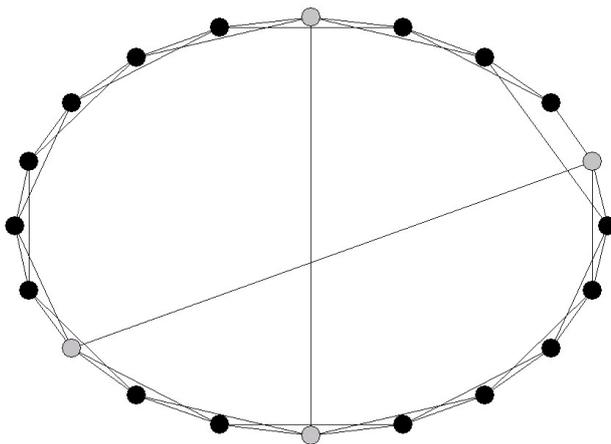


Ilustración 4: Adaptación del modelo de un Mundo Pequeño de Watts y Strogatz (1998).

aleatoria de 0, y un grafo con enlaces totalmente aleatorios. Este modelo intermedio dispondría sólo de algunos nodos religados al azar. De esta forma, se presentan las dos características propias de un mundo pequeño. Efectivamente, en la Ilustración 4 podemos ver que cada nodo tiene conexiones locales pero que en 3 pasos como máximo se puede alcanzar cualquier otro nodo del grafo. Al mismo tiempo, los 4 nodos en gris acaparan el 80% de los caminos posibles entre los nodos de la red. ¡No hay duda que estar “bien conectado” es importante!

Algunos campos de aplicación

Sin pretender ser exhaustivos mencionamos a continuación algunos campos de aplicación del ARS en la actualidad. El primero de ellos es el de la *salud*. El estudio ya clásico de Kadushin (1982) relacionó la salud mental con la red social, de forma que aquellos individuos con redes más amplias y diversas disponían de mejores niveles de bienestar. En la misma línea tenemos los estudios sobre el constipado común (Sheldon *et al.*:1990) que demuestran que, por las razones que sean, las personas con redes más diversas son también más resistentes a las enfermedades infecciosas, más allá de las características personales.

Pero es sobre todo en la difusión de las enfermedades como el SIDA donde el volumen de investigaciones es más alto. Estos estudios intentan establecer el tamaño y las características de estas poblaciones ocultas (Cf. Díaz:1992, para el caso de la cocaína; Shelley *et al.*: 1995) así como las probabilidades de contagio con diferentes relaciones de riesgo.

En el caso de los proyectos que intentan promover nuevas prácticas de salud entre poblaciones con altos niveles de morbilidad, la estrategia adoptada es la de identificar los agentes más influyentes a partir de nominaciones de personas a las que se consulta en temas de salud. A continuación se intenta trabajar con ellos para que actúen como difusores de prácticas beneficiosas. A menudo estas personas influyentes no son conscientes de su papel y pueden no tener nada que ver con los agentes “formales” de salud. Valente (1995) ha mostrado cómo la difusión de las nuevas prácticas es más rápida si los puntos de partida son estas personas “centrales” en las redes locales.

El segundo campo de aplicación es el del *apoyo social*, esto es, los recursos sociales con los que cuentan los individuos para su bienestar, ya sea apoyo emocional, ayuda económica, servicios domésticos o información laboral entre otras. El análisis de las cadenas migratorias o de las sucesivas oleadas de inmigrantes es un campo de aplicación muy fructífero (Cf. Maya Jariego: 1999). La información de la composición étnica de una red y su grado de especialización es altamente informativo de los niveles de “integración” y de las oportunidades de desarrollo de una persona inmigrante.

Relacionado con este campo está el célebre concepto de “capital social” (Cf. Lin: 2001). Una aplicación de este concepto es la hipótesis de los “lazos débiles” (Granovetter:1973). La idea básica es que las personas tienen a su alrededor un núcleo fuerte de lazos que le proporcionan la información, los recursos y el soporte emocional que necesitan. Este núcleo fuerte está constituido por un número reducido de personas con las que se mantiene un

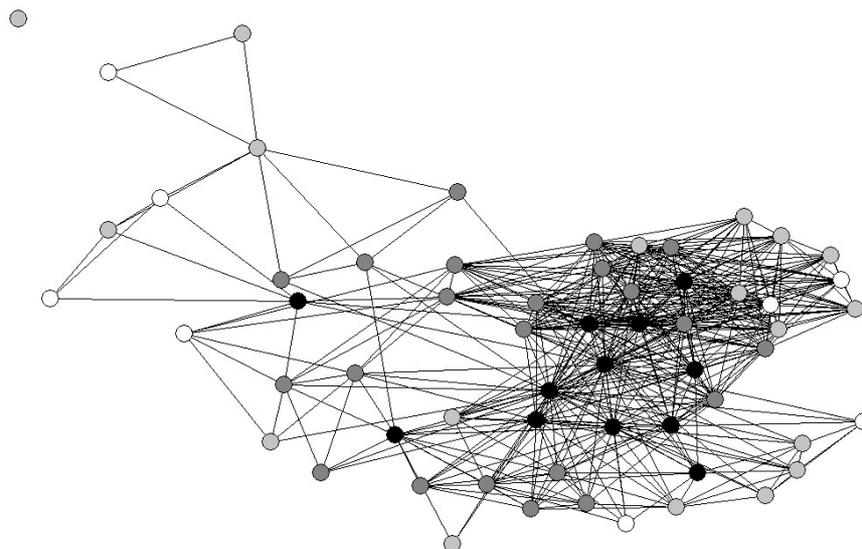


Ilustración 5: Lazos fuertes y lazos débiles en una red personal

contacto frecuente. Al lado de este núcleo existen una miríada de contactos con los cuales la relación es más débil y especializada. Son los “conocidos”, personas que no forman parte del núcleo fuerte pero sí de la red personal. Así por ejemplo en la Ilustración 5 podemos observar una red personal con indicación de la intensidad de la relación (de blanco, lazos débiles, a negro, lazos fuertes). Ego no figura en el gráfico.

Otro uso del concepto de capital social lo debemos a Burt (1992) y los “agujeros estructurales” es decir, contactos no redundantes que confieren más poder e influencia a los nodos necesarios para establecer conexiones en la red. De esta forma, la *estructura* de la red social es la que determina el capital social. Cuanto mayor sea el grado de intermediación, es decir, la capacidad de ser “puentes” en la red, de conectar grupos de forma exclusiva, mayor será el capital social. Naturalmente, este concepto también puede aplicarse a las redes de organizaciones.

Otros campos de interés son el *análisis del discurso*, el estudio de las *comunidades virtuales* y las redes de *coautorías científicas*. En el primer caso es posible construir, a partir de las relaciones entre conceptos, una visión de conjunto de los discursos “hegemónicos” o de las narrativas biográficas, de clase social, etc. (Cf. Verd y Lozares: 2000). Las comunidades virtuales son, de hecho, relaciones entre personas, las cuales se pueden analizar a partir de las “conversaciones” existentes. En la página web

REDES (<http://www.redes-sociales.net>) puede verse un ejemplo de análisis reticular de la misma lista de distribución sobre redes sociales. Por último, las redes de coautorías de artículos científicos permite dibujar con bastante exactitud los “colegios invisibles”, esto es, las áreas de influencia académica (Molina *et. al.*: 2001), como puede verse en el artículo publicado en el número 7 de Apuntes de Ciencia y Tecnología: “*Deconstrucción de los tribunales del CSIC en el período 1985- 2002: Profesores de investigación en el área de Física*” (Sierra: 2003).

Los ejemplos pueden multiplicarse. Así como el INSNA, la Asociación Internacional para el Análisis de Redes Sociales, es un elemento muy importante para explicar el actual desarrollo de esta aproximación, en el mundo iberoamericano la revista Redes (<http://revista-redes.rediris.es/>), con el apoyo de la RedIris y los seminarios (<http://revista-redes.rediris.es/webredes/novedades.htm>), postgrados (<http://antalya.uab.es/ars/>) y cursos de doctorado existentes animan a continuar este camino.

Bibliografía

Barabási, Albert-László (2002). *Linked. The New Science of Networks*. Cambridge, MA: Perseus Publishing.

Barnes, John, "Class and committees in a Norwegian Islan Parish", *Human Relations*, vol. 7, núm 1, 1954, pp.39-58.

Borgatti, Stephen (2003). Ucinet 6. <www.analytictech.com> [Consulta: 23-04-03].

- Díaz, Aurelio; Barruti, Mila; Docel, Concha (1992). *Les línies de l'èxit? Naturalesa i extensió del consum de cocaïna a Barcelona*. Barcelona: Laboratori de Sociologia-ICESB, Ajuntament de Barcelona.
- Granovetter, Mark (1973). "The Strength of Weak Ties", *American Journal of Sociology* 78 (6) (1360-1380).
- Harary, F., y Norman, R.Z. (1963). *Graph Theory as a Mathematical Model in Social Science*. Michigan: University of Michigan - Ann Arbor.
- Kadushin, Charles (1982). "Social Density and Mental Health" en Marsden, Peter V. and Lin, Nan, *Social Structure and Network Analysis*. Beverly Hills / London / New Delhi: Sage Publications. (147-158).
- Krackhardt, David (1990). "Assessing the Political Landscape: Structure, Cognition, and Power in Organizations", *Administrative Science Quarterly*, No. 35 (342-69).
- Lin, Nan (2001). *Social Capital: A Theory of Social Structure and Action*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Lozares, Carlos (2003). "Valores, campos y capitales sociales", *Revista Redes* Vol.4,#2, junio. <<http://revista-redes.rediris.es>> [Consulta: 25-06-03].
- Maya Jariego, Isidro; Martínez García, Manuel Fco. y Manuel García Ramírez (1999). "Cadenas migratorias y redes de apoyo social de las mujeres peruanas en Sevilla", *Demófilo. Revista de cultura tradicional de Andalucía*, 29 (87-105).
- Milgram, Stanley (1967). "El problema del mundo pequeño [The Small-World Problem]", *Psychology Today*, 1(1), 60-67.
- Molina, José Luis (2001). *El análisis de redes sociales. Una introducción*. Barcelona: Edicions Bellaterra.
- Molina, José Luis; Muñoz Justicia, Juan M. y Miquel Domenech (2001). "Redes de publicaciones científicas. Un análisis de la estructura de coautorías", *REDES- Revista hispana para el análisis de redes sociales*. Vol.1,#3, enero 2002..
- Nadel, S.F. (1966). *Teoría de la estructura social [Theory of Social Structure*. 1957]. Madrid: Guadarrama.
- Newman, M.E.J. (2003). "The structure and function of networks", *SIAM Review* 45, 167-256. <<http://arxiv.org/abs/cond-mat/0303516/>> [Consulta: 15-05-03].
- Scott, J. (1991). *Social Network Analysis. A Handbook*. London: Sage Publications.
- Sheldon Cohen; Ian Brissette; David P. Skoner; William J. Doyle (1999). "Social Integration and Health: The Case of the Common Cold", *JoSS*, Volume 1(3). <<http://www.heinz.cmu.edu/project/INSNA/joss/sih.html>> [Consulta: 16-09-00].
- Shelley, Gene A.; Bernard, H. Russell; Killworth, Peter; Johnsen, Eugene y McCarty, Christopher (1995). "Who knows your HIV status? What HIV+ patients and their networks know about each other", *Social Networks* 17 (189-217).
- Sierra, Germán (2003). "Deconstrucción de los tribunales del CSIC en el período 1985- 2002: Profesores de investigación en el área de Física", *Apuntes de Ciencia y Tecnología*, 7, Junio de 2003 <<http://www.cica.es/aliens/aacte/revista/rev7.pdf>> [Consulta: 31-5-04].
- Verd, J. M.; Lozares, C. (2000) "La teoria de xarxes socials aplicada a la interpretació d'entrevistes narratives. Una proposta", *Revista Catalana de Sociologia*, 11 (191-6).
- Wasserman, S.; Faust, K. (1994). *Social Network Analysis: Methods and Applications*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Watts, Duncan J. (1999). *Small Worlds. The Dynamics of Networks between Order and Randomness*. Princeton : Princeton University Press.
- Watts, D. J.; Strogatz, S. H. (1998). "Collective dynamics of 'small-world' networks", *Nature* 393, 440-442.
-