

Los «Small Worlds» y el algoritmo de Floyd: una manera de estudiar la colaboración científica

María Peñaranda Ortega, Rafael López Serrano*, Elena Quiñones Vidal y Juan José López García
Universidad de Murcia y * Universidad Miguel Hernández (Alicante)

Desde el análisis de las redes sociales aplicadas al estudio de la colaboración científica se han realizado numerosas propuestas en los últimos años. La teoría Small Worlds parece ser la que obtiene un perfil más eficaz para estudiar las características propias de la comunidad científica. Lo que todos estos estudios han demostrado es que las comunidades pequeñas se basan en unos cuantos individuos clave que vinculan a unos grupos que, de lo contrario, estarían desconectados. Uno de los inconvenientes desde la perspectiva del análisis de redes es la falta de estudios sobre los nodos particulares. Con la implementación de un pseudocódigo algoritmo de Floyd tratamos de salvar esta carencia. También, y como estudio de un caso, observamos el colegio invisible que se conformaría al unir los 15 autores más productivos del *Journal of Personality and Social Psychology*, explicando de esta manera cómo se configura una comunidad pequeña.

The Small Worlds and the Floyd's algorithm: a way to study the scientific collaboration. Many proposals from the analysis of social networks focused on the study of scientific collaboration have been made recently. The Small Worlds theory seems to be the most efficient to study the inner features of the scientific community. Those researches have demonstrated that small communities are based on some key individuals who connect some groups which, on the contrary, would be disconnected. One of the disadvantages from the prospective of the analysis of networks is the lack of researches of particular nodes. With the implementation of a pseudological algorithm of Floyd, we try to avoid this. To study how a small community is formed and, as a research of one case, we observe the invisible college which is formed when connecting the fifteen most productive authors of the *Journal of Personality and Social Psychology*.

La colaboración en la comunicación científica

En las instituciones científicas, la comunicación desempeña un papel fundamental, debido a que la ciencia hoy día se configura como una organización muy compleja, destinada a la actividad de producción, difusión y venta de productos simbólicos en mercados de consumo intelectual y profesional crecientemente especializados (Buela-Casal et al, 2002; Buela-Casal, 2003). Por lo tanto, la producción científica actual es cada vez más el resultado de la labor de equipos que trabajan en los mismos temas, aunque no necesariamente en los mismos lugares, y que multiplican a través del grupo sus capacidades creativas (Alcaín y Román, 2005; Gordillo, González y Muñiz, 2004).

Una característica definitoria de la colaboración es su relación positiva con la productividad: los investigadores más productivos son los que más colaboran, aumentando así la visibilidad de los mismos (Moreno y Sánchez, 1998). Todo ello les proporciona un mayor reconocimiento social, y contribuye a allanarles el camino

hacia los recursos de la comunidad científica. Ésta se consigue fundamentalmente gracias a la coautoría, es decir, a la publicación conjunta de varios autores en literatura científica (Agudelo, Bretón-López, Ortiz-Recio et al, 2003; Agudelo, Bretón-López y Buela-Casal, 2003).

Gracias a este análisis podemos obtener una radiografía de las teorías dominantes en un espacio de tiempo y detectar los grupos de investigadores que actúan como puntas de lanzas y constituyen el frente de investigación. La identificación de estos grupos se realiza a través de las firmas conjuntas (Price y Beaver, 1966), agrupando a todos aquellos autores que mantienen relaciones directas o indirectas en función de las firmas de trabajos científicos.

Coautoría científica y desarrollo de colegios invisibles

Desde que Price (1963) pone en marcha la tradición bibliométrica para el estudio de la colaboración científica, hasta las propuestas sociométricas de análisis de Crane (1969, 1972), el estudio de la red de investigadores que publican en la Ciencia siempre se ha centrado en el establecimiento de la red total en la cual se hayan insertos estos autores, así como en el cálculo de la conectividad existente, determinando así los colegios invisibles que se conforman a lo largo del tiempo.

Entendemos un colegio invisible como la unión de investigadores que trabajando separada o conjuntamente entre sí, desde la

Fecha recepción: 16-11-04 • Fecha aceptación: 7-6-05

Correspondencia: María Peñaranda Ortega
Facultad de Psicología
Universidad de Murcia
30100 Murcia (Spain)
E-mail: mariap@um.es

Cálculo de los caminos entre nodos de un «Small World» mediante el algoritmo de Floyd

Caminos más cortos entre todos los pares de vértices. Un grafo con n nodos puede simbolizarse por una matriz C (nxn), donde cada fila/columna representa un nodo. Cualquier combinación (i,j) es un par de nodos del grafo, excepto los pares (i,i), o elementos de la diagonal principal de C. Por tanto, C tiene un total de n(n-1) pares de nodos.

Supongamos que estamos interesados en conocer los caminos más cortos entre todos los n(n-1) pares de vértices de un grafo dirigido G formado por n vértices. Para su resolución presentamos un procedimiento específico para este tipo de problemas, el algoritmo de Floyd (1962). Para este método se utiliza una matriz de costes. Además, como se verá posteriormente, puede ser utilizado para detectar todos los circuitos dirigidos de un grafo, y en particular circuitos dirigidos con peso total negativo.

Preliminares. Sea G un grafo dirigido con n vértices y C = [c_{ij}] la matriz de costes asociada. Partiendo de una matriz inicial C⁰=C, el algoritmo de Floyd va generando una sucesión de matrices C¹, C², C³, ..., Cⁿ tales que el elemento c_{ij}ⁿ de Cⁿ representa la distancia más corta entre los vértices i y j de G. La matriz C^k se obtiene a partir de C^{k-1} siguiendo el siguiente criterio:

$$c_{ij}^k = \min \{ c_{ij}^{k-1}, c_{ik}^{k-1} + c_{kj}^{k-1} \}$$

Denotamos por P_{ij}^k el camino más corto entre todos los caminos dirigidos entre i y j, usando como vértices internos del mismo sólo elementos del conjunto de vértices {1, 2, ..., k}. Observamos que para todo 0 ≤ k ≤ n, c_{ij}^k es igual a la longitud de P_{ij}^k. Para conocer cuál es exactamente el camino más corto, al mismo tiempo que se construye la sucesión C⁰, C¹, C², ..., Cⁿ se va calculando otra sucesión Z⁰, Z¹, Z², ..., Zⁿ de matrices tales que el elemento z_{ij}^k de Z^k contiene el vértice sucesor del vértice i en P_{ij}^k. Evidentemente:

$$z_{ij}^0 = \begin{cases} j & c_{ij} \neq \infty \\ 0 & c_{ij} = \infty \end{cases}$$

La matriz Z^k se determina a partir de Z^{k-1} de la siguiente forma:

Si M = min {c_{ij}^{k-1}, c_{ik}^{k-1} + c_{kj}^{k-1}}, entonces

$$z_{ij}^k = \begin{cases} z_{ij}^{k-1} & M = c_{ij}^{k-1} \\ z_{ik}^{k-1} & M < c_{ij}^{k-1} \end{cases}$$

El camino más corto entre i y j viene dado por la sucesión de vértices i, i₁, i₂, ..., i_p, j donde:

$$i_1 = z_{ij}^1, i_2 = z_{i_1 j}^2, \dots, j = z_{i_p j}^n$$

Algoritmo de Floyd. El problema que intenta resolver el algoritmo de Floyd es el de encontrar el camino más corto entre todos los pares de nodos o vértices de un grafo. Se ha dividido el algoritmo en 4 pasos que detallamos a continuación:

Paso 1: Construir la matriz Z como $z_{ij}^0 = \begin{cases} j & c_{ij} \neq \infty \\ 0 & c_{ij} = \infty \end{cases}$

Paso 2: Hacer k= 0

Paso 3: Hacer k= k+1, para todo i ≤ k tal que c_{ik} ≠ ∞, y para todo j > k tal que c_{kj} ≠ ∞ :

3.1: Sea M = min {c_{ij}, c_{ik} + c_{kj}}

3.2: Si M < c_{ij}, hacer z_{ij} = z_{ik} y c_{ij} = M

Paso 4:

4.1: Si existe algún c_{ii} < 0, entonces el vértice i pertenece a algún circuito dirigido de longitud negativa, por tanto, PARAR.

4.2: Si todo c_{ii} ≥ 0 y k = n, entonces la matriz [c_{ij}] contiene las longitudes de todos los caminos más cortos, y z_{ij} da el primer índice posterior al i en el camino dirigido más corto entre i y j. PARAR.

4.3: Si todo c_{ii} ≥ 0 pero k < n, ir al paso 3.

Como se muestra en la figura 2, la secuencia se conforma en el siguiente diagrama de flujo:

Donde: n es el orden de la matriz. La matriz C guarda las distancias entre nodos, si no hay distancia es ∞. La matriz Z se forma de la siguiente manera:

$$Z_{ij} = \begin{cases} j & C_{ij} \neq \infty \\ 0 & C_{ij} = \infty \end{cases}$$

El proceso A consta de los siguientes pasos:

Hacer k= k+1.

Para todo i ≤ k tal que C_{ik} ≠ ∞, y para todo j > k tal que C_{kj} ≠ ∞ :

Sea M = min {C_{ij}, C_{ik}+C_{kj}}

Si M < C_{ij}, hacer Z_{ij} = Z_{ik} y C_{ij} = M

Solución es obtener C_{ij} que contiene las longitudes de los caminos más cortos y Z_{ij} da el primer índice posterior al i en el camino más corto entre i y j.

Estudio de un caso con el cálculo del algoritmo de Floyd

Veamos el cálculo de un Small World tomando como base a todos los autores que han publicado en la revista *Journal of Personality and Social Psychology (JPSP)* a lo largo de treinta y

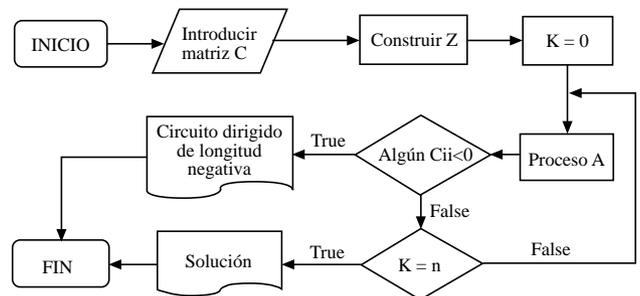


Figura 2

seis años (1965-2000), tiempo que consideramos suficiente para obtener resultados significativos. Creemos que es una revista idónea para nuestro estudio, debido a su relevancia en el terreno científico —su factor de impacto es de 3'862— y a la prevalencia de sus artículos (Fuente: JCR, 2003). En total, han sido 8.091 los autores que han conseguido publicar en la misma y éstos son los que conforman el espacio de «nodos» a los que le calcularemos los «caminos más cortos» para analizar la unión entre autores y el grado de colaboración existente en la revista. Toda la información referida a autores y artículos se ha transformado a una base de datos, con el fin de crear una matriz de datos binaria. Para tratar la matriz resultante (8091x8091) se ha desarrollado una aplicación en C. Con el fin de simplificar los resultados, se ha realizado una selección de 106 nodos (véase tabla 1) que engloba a los 15 autores más productivos del JPSP (resaltados en mayúscula), y 91 autores cofirmantes. El número asignado a cada autor corresponde a su posición en el ranking de productividad en el JPSP.

La figura 3 representa el Small World de los 15 autores más productivos en el JPSP. Los enlaces representados entre los distintos nodos no son todos los enlaces posibles según las coautorías, sino sólo los necesarios para poder conectar a los autores más productivos (véase figura 3 en página siguiente).

Hemos seleccionado a los 15 autores más prolíficos y se ha procedido a unirlos, siempre por el mínimo de nodos posibles entre unos y otros, creando así un Small World que reúne en total a 106 autores, 91 de los cuales son secundarios en nuestro estudio. La diferenciación de nodo principal o secundario es la mera clasificación de los autores más prolíficos de la revista, encuadrándolos para facilitar su estudio, aunque a efectos de grafo todos los nodos poseen las mismas cualidades. Éstos no son todos los enlaces que mantiene un autor, sino los necesarios para que los 17 autores más productivos queden conectados.

Entre ciertos nodos, la cadena se alarga en más de seis eslabones, lo cual es evidente, ya que publicar artículos en una prestigiosa revista no es tan sencillo como mantener relaciones sociales con el vecindario, o que ciertos actores actúen con otros (McCue, 2002; Watts y Strogatz, 1998). Sin embargo, creemos que de haber seleccionado una gran parte de las revistas dedicadas a temas de psicología social y de la personalidad, la unión entre autores sería más compacta, formando «clusters» o aglomeraciones homogéneas más significativas.

Los autores más productivos se encontrarían relacionados de una manera más precisa y con un número inferior de autores o nodos entre ellos. Cuanto más productivo sea un autor y mayor número de colaboradores contenga su colegio invisible, mayor número de enlaces tendrá en el grafo de Small World.

En la tabla 2 se muestra una submatriz de la resultante de aplicar el algoritmo. En ella aparecen las distancias mínimas para los 15 autores más representativos de la revista. La distancia media recorrida obtenida entre las relaciones de los nodos entre sí es de 4,06 nodos, muy similar a las propuestas realizadas por otros autores para redes sociales (Adamic y Adar, 2003). Curiosamente, el Small World que reúne a las 15 autoras más productivas obtiene una media de 4,03 nodos, algo muy similar al de los hombres, y eso que hay que esperar al puesto 32 en el ranking de productividad para encontrarnos con la primera investigadora.

Tabla 1
Autores que componen el Small World de los 15 autores más productivos en el *Journal of Personality and Social Psychology*

Nº	Nombre de autor	Nº	Nombre de autor	Nº	Nombre de autor
1	WYER, ROBERT S.	107	Harkins, Stephen	454	Linder, Darwyn
2	DIENER, ED	120	Brock, Timothy	566	Furhman, Robert
3	PETTY, RICHARD S.	122	Cantor, Nancy	567	Fultz, Jim
4	MISCHEL, WALTER	124	Dweck, Carol	574	Hass, Glenn
5	CIALDINI, ROBERT B.	125	Elliot, Andrew	610	Monson, Thomas
6	BATSON, C. DANIEL	132	Reis, Harry	626	Reich, John
7	GREENBERG, J.	141	Darley, John	632	Rosnow, Ralph
8	INSKO, CHESTER A.	147	Helmreich, Robert	669	Worth, Leila
9	ZUCKERMAN, M.	151	Mackie, Diane	687	Beaman, Arthur
10	BANDURA, ALBERT	156	Sedikides, Constantine	719	Downey, Geraldine
11	CACIOPPO, JOHN T.	159	Strack, Fritz	797	Lingle, John
12	CARVER, C. S.	163	Brehm, Jack	809	Meek, David
13	HOLMES, DAVID S.	181	Latané, Bibb	820	Moore, Bert
14	KOMORITA, S. S.	193	Wells, Gary	839	Pinel, Elizabeth
15	LEPPER, MARK	218	Isen, Alice	850	Rosenhan, D. L.
17	Cooper, Joel	244	Cohen, Sheldon	859	Russell, Daniel
18	Snyder, Mark	248	Ebbesen, Ebbe	861	Sanders, Glenn
19	Wegner, Daniel	258	Kiesler, Charles	961	Braver, Sandford
21	Pyszczynski, Thomas	273	Suls, Jerry	1008	Diener, Carol
25	Ross, Michael	301	Martin, Leonard	1040	Gaertner, Lowell
28	Zanna, Mark	326	Wicklund, Robert	1085	Hinsz, Verlin
34	Ross, Lee	330	Allison, Scott	1174	McGregor, Holly
43	Kerr, Norbert	338	Carlsmith,	1187	Moore, Danny
47	Taylor, Shelley	340	Colvin, Randall	1194	Nagao, Dennis
50	Bersheid, Ellen	355	Kernis, Michael	1279	Smith, Stephen
53	Gilbert, Daniel	356	Buunk, Stanley	1296	Stroesser, Steven
58	Rosenthal, Robert	366	McCaul, Kevin	1300	Tassinary, Louis
63	Ostrom, Thomas	379	Srull, Thomas	1338	White, Tery
79	Worchel, Stephen	391	Zimbardo, Philip	1393	Arps, Kevin
80	Anderson, Craig	401	Buunk, Bram	1788	Haugtvedt, Curt
82	Baron, Robert	412	Dermer, Marshall	1918	Koivumaki, Judith
87	Funder, David	423	Gavanski, Igor	2014	Mann, Robert
88	Gibbons, Frederick	426	Glass, David	2158	Phillips, Susan
91	Lord, Charles	429	Harmon-Jones, Eddie	2368	Sun, Chien
93	Matthews, Karen	434	Hoffman, Curt		
102	Wortman, Camille	450	Kravitz, David		

Tabla 2
Distancia mínima entre nodos en el Small World

Nodos	Nodos														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0	2	3	5	2	4	3	3	4	6	3	5	4	2	3
2	2	0	3	6	2	3	5	3	6	7	3	5	6	4	5
3	3	3	0	4	1	3	4	2	4	5	1	4	3	3	4
4	5	6	4	0	5	4	4	5	6	1	5	5	5	6	4
5	2	2	1	5	0	2	4	1	5	6	1	4	4	2	4
6	4	3	3	4	2	0	2	3	5	5	3	4	3	4	4
7	3	5	4	4	4	2	0	3	4	5	5	4	1	5	4
8	3	3	2	5	1	3	3	0	4	6	2	5	4	3	3
9	4	6	4	6	5	5	4	4	0	7	4	5	5	6	4
10	6	7	5	1	6	5	5	6	7	0	6	6	6	7	5
11	3	3	1	5	1	3	5	2	4	6	0	5	4	3	5
12	5	5	4	5	4	4	4	5	5	6	5	0	5	5	4
13	4	6	3	5	4	3	1	4	5	6	4	5	0	4	5
14	2	4	3	6	2	4	5	3	6	7	3	5	4	0	6
15	3	5	4	4	4	4	4	3	4	5	5	4	5	6	0

*El número corresponde al orden en el ranking de productividad de los 8.091 autores totales

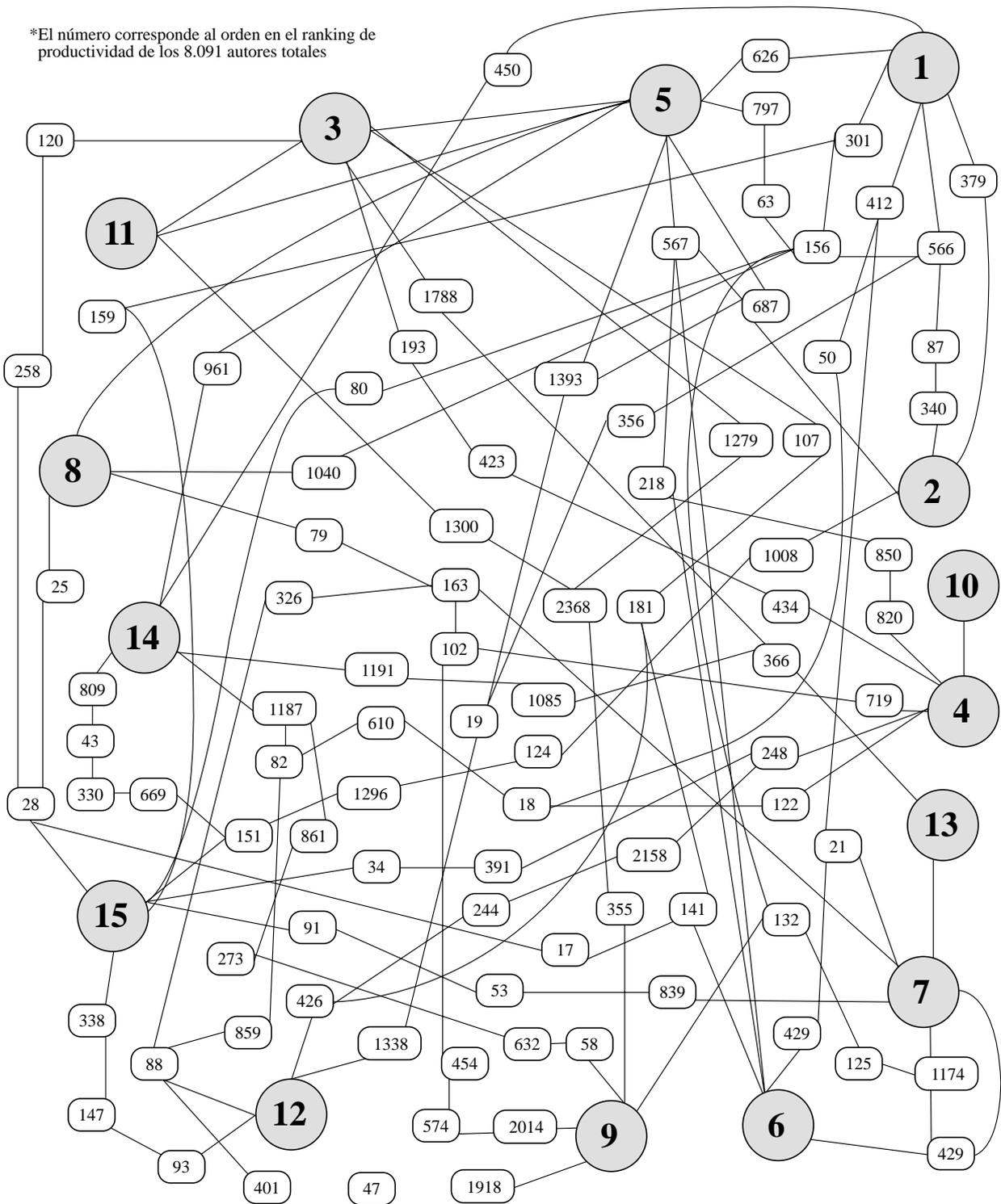


Figura 3. Small World de los autores más productivos en el Journal of Personality and Social Psychology

Conclusiones

Numerosos autores han enfatizado la eficacia del análisis de redes sociales para el estudio de la colaboración científica, especialmente desde la teoría Small Worlds (Barabási et al, 2002; New-

man, Barabási y Watts, 2003; Watts, 1999). De esta forma, se comprueba que la Ciencia no es más que la mera unión de ramas científicas más alejadas o separadas entre sí, pero englobadas al fin y al cabo en el mismo plano (Tvire y Erno, 2001). Desde este punto de vista, los autores investigan y firman los trabajos conjuntamente,

te, estableciendo una estrecha relación entre sí, y quedando vinculados con otros autores que, no habiendo publicado directamente con ellos, sí lo han hecho con sus colaboradores más directos. Esta red de relaciones sociales establece grupos coherentes y permanentes de trabajo, con intereses y finalidades bien definidas, tanto teórica como metodológicamente (Carpintero y Peiró, 1981).

Se ha comprobado que la implementación de un algoritmo en el estudio de la colaboración científica simplifica enormemente el cálculo de longitud entre rutas de nodos, lo cual es muy beneficioso en el análisis de la colaboración científica y la visibilidad de sus autores. Este tipo de procesos se ha mostrado muy revelador en otros tipos de exploraciones con gran cantidad de datos (Pitarque et al, 1997).

El algoritmo de Floyd es una herramienta precisa en el cálculo de los caminos más cortos a trazar para el análisis de las publicaciones entre diferentes autores, incluso desde diferentes materias o áreas de conocimiento, ya que, como se ha mostrado, permite analizar una enorme red de nodos. La entrada en un mundo «Small Worlds» de coautoría científica vendría a ser relativamente fácil si se cumplen ciertos criterios de publicación y firmas conjuntas con

otros autores, aunque la cadena sería relativamente extensa si analizásemos autores que han publicado en reducidas ocasiones.

Por contra, cuando se detecta una colaboración, permanece a lo largo del tiempo, tanto si esa relación científica tuvo su fin o continúa, ya que el algoritmo de Floyd mantiene esa información, por lo que para el tipo de crecimiento que tuvo esa comunidad se debería de parcelar la observación del Small World tomando los datos en cortes temporales, dotándolo así de cierta dinamicidad.

Una carencia que hemos encontrado desde este tipo de estudio es que, para análisis cualitativos de intensidad en la productividad, como conocer el tipo de unión que afecta a los nodos y la potencia que tendría a nivel productivo, el algoritmo de Floyd no puede discriminar las posibles diferencias entre autores con mayor o menor relevancia productiva entre ellos, por lo que, en un nivel superior de análisis, y referido al análisis de científicos que publican sus obras y no a números de nodos que estima un computador, quedaría patente esta limitación cualitativa de la red (Adamic y Adar, 2003). Si se introdujera un cambio en el cual se especificara el tipo de enlace que une cada nodo respecto del resto conforme su tamaño en productividad, esta circunstancia sería obviada.

Referencias

- Adamic, L. A. y Adar, E. (2003). Friends and neighbors on the web. *Social Networks*, 25, 211-230.
- Agudelo, D., Bretón-López, J., Buela-Casal, G. (2003). Análisis bibliométrico de las revistas de psicología clínica editadas en castellano. *Psicothema*, 15, 507-516.
- Agudelo, D., Bretón-López, J., Ortiz-Recio, G., Poveda-Vera, J., Teva, I., Valor-Segura, I. y Vico, C. (2003). Análisis de la productividad científica de la psicología española a través de las tesis doctorales. *Psicothema*, 15, 595-609.
- Alcaín, M.D. y Román, A. (2005). Hacia una valoración integrada de las revistas españolas de ciencias sociales y humanas: las revistas de Psicología. *Psicothema*, 17, 179-189.
- Barabási, A.L., Jeong, H., Néda, Z., Ravasz, E., Schubert, A. y Vicsek, T. (2002). Evolution of the social network of scientific collaborations. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 311, 590-614.
- Bravo, A. y Fernández, J. (2003). Las redes de apoyo social de los adolescentes acogidos en residencias de protección. Un análisis comparativo con población normativa. *Psicothema*, 15, 136-142.
- Buela-Casal, G. (2003). Evaluación de la calidad de los artículos y de las revistas científicas: propuesta del factor de impacto ponderado y de un índice de calidad. *Psicothema*, 15, 23-25.
- Buela-Casal, G., Carretero-Dios, H. y De los Santos-Roig, M. (2002). Estudio comparativo de las revistas de Psicología en castellano con factor de impacto. *Psicothema*, 14, 837-852.
- Carpintero, H. y Peiró, J.M. (1981). *Psicología contemporánea. Teoría y métodos cuantitativos para el estudio de su literatura científica*. Valencia: Editorial Alfaplus.
- Crane, D. (1969). Social structure in a group of scientist: a test of the «invisible college» hypothesis. *American Sociology Review*, 34, 335-352.
- Crane, D. (1972). *Invisible Colleges. Diffusion of knowledge in scientific communities*. The University of Chicago Press.
- Floyd, R.F. (1962). Algorithm 97 (Shortest Path). *Communications of the Association for Computing Machinery*, 5, 345.
- Gordillo, V., González, J. y Muñoz, J. (2004). La evaluación de proyectos de investigación por la Agencia Nacional de Evaluación y Prospectiva. *Psicothema*, 16, 343-349.
- Herrero, J., Meneses, J., Valiente, C. y Rodríguez, F. (2004). Participación social en contextos visuales. *Psicothema*, 16, 456-460.
- Journal Citation Reports (JCR) (2003). ISI Web of Knowledge, 2003 JCR Social Sciences Edition, <http://www.ISIKnowledge.com> [consulta realizada el 7-7-2004].
- Lemos, S. y Fernández, J.R. (1990). Redes de soporte social y salud. *Psicothema*, 2, 113-135.
- McCue, R.P. (2002). Another view of the «Small-Worlds». *Social Networks*, 24, 121-133.
- Moreno, S. y Sánchez, A. (1998). Análisis bibliométrico de la revista *Psicothema* (1989-1997). *Psicothema*, 10, 23-27.
- Newman, M.E.J. (2001). The structure of scientific collaboration networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 98, 404-409.
- Newman, M.E.J., Barabási, A.L. y Watts, D.J. (eds.) (2003). *The structure and dynamics of complex networks*. New Jersey: Princeton University Press.
- Peñaranda, M. (2004). *La colaboración científica en la psicología social y de la personalidad: análisis bibliométrico del Journal of Personality and Social Psychology*. Tesis doctoral. Universidad de Murcia.
- Pitarque, A., Ruiz, J.A., Fuentes, I., Martínez, M.J. y García-Merita, M. (1997). Diagnóstico clínico en Psicología a través de redes neuronales. *Psicothema*, 9, 359-363.
- Price, D.J.S. (1963). *Little Science, Big Science*. New York: Columbia University Press.
- Price, D.J.S. y Beaver, D.B. (1966). Collaboration in an invisible college. *American Psychologist*, 21, 1.011-1.018.
- Quiñones, E., López, J.J., Peñaranda, M. y Alba, F. de (2003). La colaboración científica y los «small worlds» en Psicología. *Revista de Historia de la Psicología*, 25, 645-658.
- Tvire, P. y Erno, L. (2001). Exploring invisible scientific communities: studying networking relations within an educational research community. A finnish case. *Higher Education*, 42, 493-513.
- Watts, D.J. (1999). *Small-World*. Princeton University Press.
- Watts, D.J. y Strogatz, S.H. (1998). Collective dynamics of small-world networks. *Nature*, 393, 440-442.
- Watts, D.J., Dodds, P.S. y Newman, M.E.J. (2002). Identity and search in social networks. *Science*, 296, 1.302-1.305.