

## **Modelo para el análisis de la dinámica estructural de grupos en la ciencia: Descubrimientos simultáneos independientes**

Sofía Liberman. Facultad de Psicología. UNAM. Proyecto DGAPA. PAPIIT. N° IN305013.

Kurt Bernardo Wolf. Instituto de Ciencias Físicas. Cuernavaca, Mor. UNAM.

Keywords: Psicología de la Ciencia, Dinámica de grupos, Descubrimientos simultáneos, Análisis de redes sociales.

### Introducción

El propósito de este proyecto es describir la dinámica estructural de grupos de científicos relacionados con el descubrimiento simultáneo independiente de las *Transformadas Canónicas Lineales* a partir de dos artículos seminales publicados simultáneamente por un lado por el Dr. Marcos Moshinsky con su alumna Christiane Quesne en la UNAM en el campo de la Física y por otro lado por el Dr. Stuart Collins en el campo de la Electromagnética, en la Universidad de Ohio, en 1970. Exploramos cómo la dinámica y el contexto intelectual del descubrimiento definen su difusión y reconocimiento y determinan la formación y estructura de grupos de interés. Un análisis cuidadoso permite ver que ambos descubrimientos fueron hechos en tradiciones disciplinarias diferentes y que la comunicación entre estos dos grupos se activó hasta principios de 1990.

La comunicación científica es inicialmente informal (cara a cara). En un primer ciclo se sitúa en situaciones a través de contactos en el lugar de trabajo, encuentros informales o seminarios, reuniones y congresos y juega un papel preponderante en la vida social del científico ya que es en ese punto donde surge la colaboración y la futura coautoría. Posteriormente, se convierte en una comunicación formal cuando es publicada y pasa a ser parte del archivo universal de la ciencia (Liberman & Wolf, 1990, 1998, 2013). La coautoría conlleva un proceso de comunicación informal entre científicos. A través de técnicas de historiometría y cientométricas es posible estudiar la dinámica de la manera en que grupos de científicos involucrados evolucionan y consecuentemente producen y difunden el conocimiento.

Homans (1950) estableció que los grupos humanos se pueden explicar a través de un arreglo adecuado de renglones y columnas de matrices que describen los lazos sociales, hasta que se logra una forma de bloque diagonal, concepto que hoy en día se practica de diferentes maneras en el estudio de comunidades y redes sociales. El estudio de la comunicación formal en la ciencia permite descubrir la dinámica estructural de la formación de grupos de científicos afines al desarrollo de un dominio del conocimiento (que genera consensos). Small y Crane (1979) afirman que los estudios de citas en las especializaciones científicas y el desarrollo de mapas permiten estudiar el proceso y la difusión del conocimiento científico. Aún cuando hay un problema para relacionar las estructuras sociales con las estructuras cognitivas, es útil desarrollar mapas de las disciplinas para identificar nodos de influencia. De esta manera es posible visualizar la dinámica social de la ciencia a través de atribuir el status de un descubrimiento, especificando las características de las comunidades que acreditan esta atribución (Brannigan, 1980) tomando en cuenta las citas que un artículo influyente ha recibido. Henry Small (1978, p. 337) ha afirmado que una teoría sobre coautoría y citas entre autores obedece a un acto simbólico de los autores para asociar sus ideas con documentos específicos. La función del estudio de la coautoría en artículos seminales en la ciencia permite describir la aceptación y reconocimiento por pares de la relevancia de un artículo científico que se convierte en un artículo seminal por su influencia en el

desarrollo de ese dominio y por ende los autores son considerados líderes intelectuales de ese dominio científico.

El análisis estructural (Wellman & Berkowitz, 1988) permite interpretar el comportamiento en términos de limitaciones estructurales que impulsan a los individuos hacia el logro de una meta. Se enfoca en relaciones o lazos concretos en lugar de atributos y cómo estas relaciones afectan el comportamiento. En Psicología, uno de los precursores del análisis estructural fué Moreno (1953), que estudió patrones de interacción entre niños argumentando que cuando se observa la estructura sociodinámica, de esta manera se pueden desarrollar modelos matemáticos sobre el comportamiento en los grupos humanos. Por otro lado Bavelas (1948, 1968) desarrolló un modelo matemático sobre las relaciones intergrupales hipotetizando la relación entre la centralidad estructural y la influencia en grupos de tarea. Milgram (1967) y Travers & Milgram (1969) estudiaron la forma en que las personas están conectadas entre sí a través de lo que denominaron el '*small world experiment*' originando el concepto de *seis grados de separación*, que funciona bajo ciertas condiciones y que hoy se aplica en el estudio de redes sociales.

Los descubrimientos simultáneos independientes aparecen cuando dos científicos hacen un descubrimiento y lo publican al mismo tiempo o casi al mismo tiempo (cronológicamente). Cuando hay un lapso de tiempo en la publicación de los resultados puede surgir la duda acerca de la simultaneidad del descubrimiento o puede haber un conflicto entre los científicos por la prioridad del descubrimiento. Ogburn y Thomas (1922) atribuyeron la ocurrencia de descubrimientos múltiples simultáneos al contexto cultural de la época. Estos autores enlistaron 148 descubrimientos independientes entre 1420 y 1901 y observaron que estos descubrimientos incrementaban con el tiempo y postularon que las invenciones eran inevitables debido a la herencia cultural del conocimiento acumulado.

El estudio de los descubrimientos simultáneos independientes tiene sus raíces en la Sociología de la Ciencia, cuando Merton (1952) llamó la atención a la ocurrencia de descubrimientos múltiples cronológicamente simultáneos y en los que el contexto social tiene relevancia. Su contribución generó una tradición que se ha dedicado al estudio de este tipo de descubrimientos basándose en las ideas de Galton (1874) que publicó el libro *The English Men of Science*. En el tiempo en que Merton publicó su teoría sobre los múltiples se generó una corriente que sigue discutiendo de qué manera se define la prioridad del descubrimiento y cuáles son las condiciones en las que los descubrimientos múltiples simultáneos aparecen.

Según Simonton (1979) los descubrimientos simultáneos independientes se presentan al azar, aun cuando la influencia del contexto, el *espíritu del tiempo* y la genialidad de los científicos es relevante. Para demostrarlo hizo un estudio basado en una lista de 579 múltiples en el que demostró que en la mayoría de casos se ajustan a una distribución de Poisson por lo cual hipotetiza que los descubrimientos múltiples ocurren básicamente al azar, en segundo lugar por el *espíritu del tiempo* y finalmente por la genialidad de los científicos. Brannigan (1980, p. 571) sostiene que la percepción y atribución de un descubrimiento científico está relacionada con la atribución de status basada en un proceso de reconocimiento social a través del cual se anuncia este logro como algo sustantivamente posible y que muestra ser imprecendente. Brannigan y Wanner (1983) argumentan respecto a la aparición de múltiples, a favor de la maduración cultural además de otras condiciones, y apuntan al papel que la

comunicación tiene en ellos. Visualizar la estructura de la coautoría nos puede brindar una representación estructural de la manera como evoluciona el conocimiento en el tiempo y cómo se crea una comunidad que comparte un código simbólico en un tópico específico y de este modo difunde y valida el descubrimiento.

En el caso que nos ocupa en esta ocasión, Marcos Moshinsky y su alumna Christiane Quesne en la UNAM, en 1970, desarrollaron una solución matemática para explicar las transformaciones de un sistema que conserve su principio de incertidumbre y le llamaron *Transformadas Canónicas Lineales*. Al mismo tiempo, Collins desarrollaba la misma fórmula pero en el contexto de la Óptica Paraxial, campo lejano a la Física y relacionado con la propagación de la luz en un laboratorio de Ingeniería Eléctrica en la Universidad de Ohio.

El descubrimiento simultáneo en este caso no presentó ningún conflicto acerca de la prioridad ya que estos dos grupos de científicos no tuvieron conocimiento uno de otro hasta veinte años después. El artículo de Moshinsky-Quesne fue reconocido inmediatamente en Física, mientras que el artículo de Collins tomó muchos años para ser reconocido por sus pares y hoy en día está siendo citado de forma constante en el campo de la Ingeniería Eléctrica. La importancia de hacer un estudio de este tipo en Psicología de la Ciencia es por un lado el estudio de la dinámica de los grupos en la ciencia basándonos en datos duros y por otro lado la utilización de herramientas que no se usan regularmente en Psicología.

### Metodología

Los métodos utilizados en esta investigación son el análisis estructural de manera innovativa para la historiometría que es un conjunto de métodos para analizar una colección de datos de archivo (Simonton, 1998), la bibliometría y en este caso visualizarlos a través del análisis de redes sociales (Börner *et. al.*, 2003).

Una vez que fueron identificados estos dos artículos seminales como un descubrimiento simultáneo independiente, nuestra hipótesis de trabajo consistió en demostrar la diferencia en la dinámica de los grupos de científicos para ambos artículos seminales. Se construyó una base de datos de coautoría recolectados a través del Web of Science de Thomson Reuters a través del Science Citation Index Expanded (SCI-EXPANDED) – de 1971 a junio, 2013. En esta base de datos obtuvimos 565 registros para el artículo de Collins y 354 para el artículo de Moshinsky-Quesne. Los datos fueron normalizados manualmente eliminando duplicados y corrigiendo nombres de autores que estaban incompletos. Inicialmente hicimos una comparación de las citas y coautorías por año para ambos artículos seminales (Fig. 1):

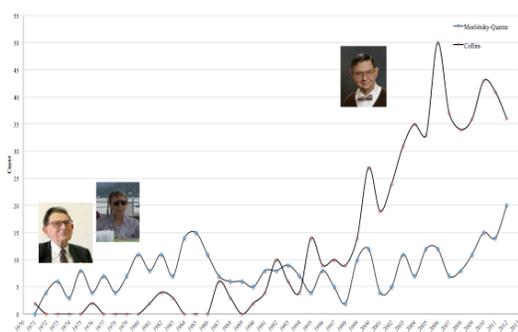


Fig. 1. Citas recibidas de los artículos de Moshinsky-Quesne y Collins.

El artículo de Moshinsky-Quesne tiene un patrón estable de citas, mientras que las citas que recibe el artículo de Collins demuestran que en un inicio era prácticamente desconocido y a partir de 1990 ha sido reconocido y muestra un patrón que va en aumento.

Desarrollamos un análisis con Sci2 (Börner et. Al., 2009), visualizado con Gephi (Bastian et. Al, 2009). Se llevó a cabo un estudio longitudinal con el fin de determinar la dinámica de los grupos de coautores. La visualización de estas redes de coautoría está basada en la detección de comunidades (grupos) a través de un plano modular (Blondel, 2008). El estudio longitudinal lo hicimos en intervalos de 7 años (Fig. 2), mostrando el aumento en el número de autores en cada período.

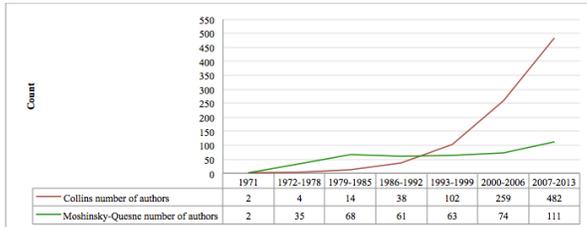


Figura 2. Número de autores en cada período.

En las redes de coautoría es posible identificar a los líderes intelectuales de cada grupo además de una medida estructural sobre los agrupamientos de científicos de cada dominio. Se identificó el componente (módulo) más productivo para la red de coautoría de cada artículo seminal (Fig. 3). Se generaron medidas que describen los indicadores estructurales de cada red (Fig. 3b).

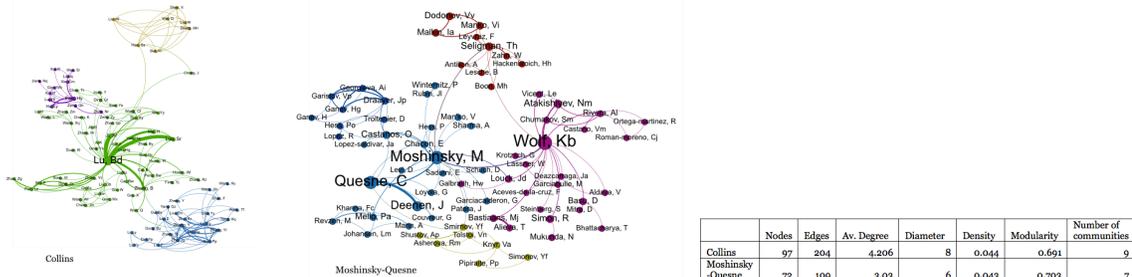


Figura 3. Mayor componente (grupo) de ambas redes de coautoría. Figura 3b. Indicadores estructurales.

Las medidas de agrupamiento (modularity) nos dicen qué tanto los nodos de la población interactúan entre sí más frecuentemente; mostramos el grado de modularidad en la red de cada autor, por intervalos de 7 años (Fig. 4):

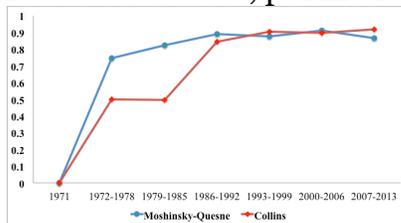
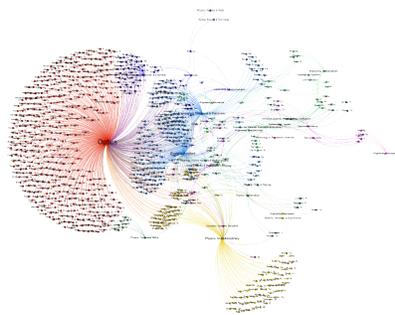


Figura 4. Modularity (Según el algoritmo de Blondel, 2008).

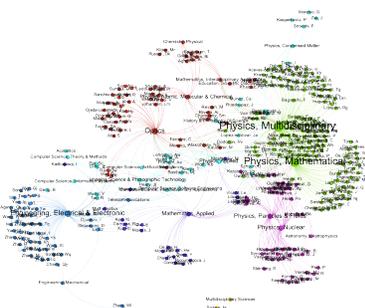
Esta gráfica nos muestra que los autores empezaron a interactuar frecuentemente en los años previos al reconocimiento de la existencia del descubrimiento simultáneo.

Se procedió a identificar a los autores con los dominios disciplinarios, mostrando los grupos y las disciplinas asociadas a cada uno de los artículos a través de una gráfica bipartita en la que se relacionó a los autores con su campo de investigación (Figs. 5 y 6).



Web of Science Categories	records	% of 565
OPTICS	473	83.717
PHYSICS APPLIED	71	12.566
PHYSICS MULTIDISCIPLINARY	52	9.204
ENGINEERING ELECTRICAL ELECTRONIC	49	8.673
PHYSICS MATHEMATICAL	12	2.124
IMAGING SCIENCE PHOTOGRAPHIC	9	1.593
TECHNOLOGY	9	1.593
PHYSICS ATOMIC MOLECULAR CHEMICAL	6	1.062
MATHEMATICS APPLIED	6	1.062
INSTRUMENTS INSTRUMENTATION	5	0.885
SPECTROSCOPY	5	0.885
MATERIALS SCIENCE	4	0.708
MULTIDISCIPLINARY	4	0.708
METEOROLOGY ATMOSPHERIC SCIENCES	4	0.708
COMPUTER SCIENCE INTERDISCIPLINARY APPLICATIONS	3	0.531
PHYSICS FLUIDS PLASMAS	3	0.531
RADIOLOGY NUCLEAR MEDICINE	3	0.531
MEDICAL IMAGING	3	0.531
REMOTE SENSING	3	0.531
TELECOMMUNICATIONS	3	0.531
ACOUSTICS	2	0.354
ENGINEERING MECHANICAL	2	0.354
ENGINEERING MULTIDISCIPLINARY	2	0.354
MATHEMATICS	2	0.354
PHYSICS CONDENSED MATTER	2	0.354

Fig. 5. Gráfica bipartita de Collins en la que se identifican las publicaciones con el campo de investigación.



Web of Science Categories	records	% of 390
PHYSICS MATHEMATICAL	139	35.714
PHYSICS MULTIDISCIPLINARY	124	31.795
OPTICS	44	11.538
ENGINEERING ELECTRICAL ELECTRONIC	41	11.744
PHYSICS NUCLEAR	27	7.714
PHYSICS PARTICLES FIELDS	23	6.571
MATHEMATICS APPLIED	15	4.286
PHYSICS APPLIED	15	4.286
PHYSICS ATOMIC MOLECULAR CHEMICAL	12	3.429
IMAGING SCIENCE PHOTOGRAPHIC TECHNOLOGY	6	1.714
ASTRONOMY ASTROPHYSICS	4	1.143
MATHEMATICS INTERDISCIPLINARY APPLICATIONS	4	1.143
PHYSICS CONDENSED MATTER	4	1.143
CHEMISTRY PHYSICAL	3	0.857
COMPUTER SCIENCE ARTIFICIAL INTELLIGENCE	3	0.857
COMPUTER SCIENCE INFORMATION SYSTEMS	3	0.857
TELECOMMUNICATIONS	3	0.857
ACOUSTICS	2	0.671
EDUCATION SCIENTIFIC DISCIPLINES	2	0.671
HISTORY PHILOSOPHY OF SCIENCE	2	0.671
MATHEMATICS	2	0.671

Fig. 6. Gráfica bipartita de Moshinsky-Quesne en la que se identifican las publicaciones con el campo de investigación.

## Conclusiones

Hemos propuesto un modelo para estudiar la dinámica de los grupos en la ciencia a través del análisis estructural. En este caso se ha descrito la dinámica y el contexto del descubrimiento simultáneo independiente de las Transformadas Canónicas Lineales por Moshinsky-Quesne y simultáneamente por Stuart Collins. Hemos visualizado a través del análisis de redes sociales las diferencias del contexto disciplinario de este descubrimiento simultáneo independiente: en el caso de Collins la Óptica y sus aplicaciones es el campo donde tiene mayor relevancia su descubrimiento mientras que Moshinsky-Quesne pertenecen al campo de la Física Matemática que es teórico. La dinámica estructural en la formación de grupos de científicos en ambos descubrimientos es diferente y el contexto intelectual de ambos es diferente en sus orígenes y continúa estando relativamente desarticulada en la actualidad. Ambos grupos tomaron conocimiento uno del otro a principios de los años 90 y han interactuado discretamente desde entonces. La medida de modularidad confirma que entre los años de 1979 y 1985 en la red de Collins hubo mayor comunicación, mientras que en la red de Moshinsky los grupos se mantienen más o menos igual en el tiempo. Este tipo de observación, nos ha demostrado que los descubrimientos científicos se relacionan con la interacción y permiten el análisis de la estructura de la comunicación científica.

Una de las evidencias que surgen de esta observación es que la dinámica social de la ciencia tiene patrones desiguales en diferentes tradiciones disciplinarias. En este caso la diferencia se sitúa en que la Ingeniería Eléctrica y Electrónica es un tipo de conocimiento aplicado a la tecnología mientras que la Física Matemática es un campo teórico. Los teóricos tienden a publicar solos mientras que el conocimiento aplicado a la

tecnología forma grupos más interactivos y más grandes. El reconocimiento por pares no es mandatorio y según un comentario personal que nos hizo Collins (2013), se requiere de un genio para descubrir la existencia de la simultaneidad de este descubrimiento. Hoy en día los conocimientos producidos por estos científicos se aplican a la encriptación, la metrología, la holografía y las implementaciones ópticas. Han proveído de un constructo matemático incluido en herramientas usadas en óptica y mecánica cuántica.

### Bibliografía

- Bastian M., Heymann S., Jacomy M. (2009). Gephi: an open source software for exploring and manipulating networks. *International AAAI Conference on Weblogs and Social Media*.
- Bavelas, A. (1948). A mathematical model for group structures". *Human Organization* 7: 16-30.
- Bavelas, A. (1968). Communication patterns in task-oriented groups. In Cartwright, D., & In Zander, A. F. *Group dynamics: Research and theory*. New York: Harper & Row.
- Blondel V. D., Guillaume J., Lambiotte R., & Lefebvre E. (2008). Fast unfolding of communities in large networks, in *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment* (10).
- Börner, K., Chen, C., Boyack, K. W. (2003). Visualizing knowledge domains. *Annual Review of Information Science and Technology*, 37 179-255.
- Brannigan, A. (1980). Naturalistic and sociological models of the problem of scientific discovery. *British Journal of Sociology*, 31, 559-573.
- Brannigan, A. (1981). *The social basis of scientific discoveries*. Cambridge [Eng.: Cambridge University Press].
- Brannigan, A., & Wanner, R. A. (1983). Multiple discoveries in science: A test of the communication theory. *Canadian Journal of Sociology*, 8, 135-151.
- Collins S. A. Jr. (1970). Lens-system diffraction integral written in terms of matrix optics. *Journal of Optical Society of America*. 60, 1168-1177.
- Galton, F. (1874). *English men of science: Their nature and nurture*. London: Macmillan & Co.
- Homans, G. C. (1950). *The Human Group*. Harcourt, Brace & Co., New York.
- Liberman, S., & Wolf, K. B. (1990). *Las redes de comunicación científica*. CRIM, UNAM.
- Liberman, S., & Wolf, K. B. (1998). Bonding number in scientific disciplines. *Social Networks*, 20, 3, 239-246.
- Liberman, S, & Wolf, K.B. (2013). Scientific communication in the process to coauthorship. Ch. 6. In Feist, G. J., and Gorman, M. (editors). *Handbook of the Psychology of Science*. Springer Publishing Co.
- Merton, R. K. (1961). Singletons and multiples in scientific discovery. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 105 (5) : 470.486.
- Milgram, S. (1967). The Small World Problem. *Psychology Today*. Vol. 2, 60-67
- Travers, J., and S. Milgram, (1969). An experimental study of the small world problem. *Sociometry* 32, 425.
- Moreno, J. L. (1953). *Who Shall Survive?* New York: Beacon House.
- Moshinsky M., & Quesne C. (1970). Oscillator systems. In: *Proceedings of the 15th Solvay Conference in Physics* (Gordon and Breach, New York, 1974).
- Moshinsky, M., & Quesne, C. (1971). Linear Canonical Transformations and Their Unitary Representations. *Journal of Mathematical Physics*. (N. Y.) 12: No. 8, 1772-1780.
- Sci2 Team. (2009). Science of Science (Sci2) Tool. Indiana University and SciTech Strategies, <https://sci2.cns.iu.edu>.
- Simonton, D.K. (1979). Multiple discovery and invention: Zeitgeist, genius, or chance? *Journal of Personality and Social Psychology*, 37 p. 1603-1616.
- Simonton, D. K. (1998). Historiometric Methods in Social Psychology. *European Review of Social Psychology*, 9, 267-293.
- Small, H. G. (1978). Cited Documents as Concept Symbols. *Social Studies of Science*, Vol. 8, No. 3, , p. 327-340 Sage Publications, Ltd.
- Small, H. G., & Crane, D. (1979). Specialties and disciplines in science and social science: An examination of their structure using citation indexes. *Scientometrics*, 1, 445-461.
- Wellman, B., & Berkowitz, S. D. (1988). *Social structures: A network approach*. Cambridge [Cambridgeshire: Cambridge University Press].