



LA COLABORACIÓN CIENTÍFICA / SCIENTIFIC COLLABORATION

Propiedades relacionales de las redes de colaboración y generación de conocimiento científico: ¿Una cuestión de tamaño o equilibrio?

África Villanueva-Felez*, Ana Fernández-Zubieta**, Davinia Palomares-Montero***

*Instituto de Gestión de la Innovación y del Conocimiento (INGENIO)
Consejo Superior de Investigaciones Científicas – Universidad Politécnica de Valencia (CSIC-UPV).
Correo-e: africa.villanueva@ingenio.upv.es

**Instituto de Estudios Sociales Avanzados- Consejo Superior de Investigaciones Científicas (IESA-CSIC).
Correo-e afernandez-zubieta@iesa.csic.es

*** Facultad de Filosofía y Ciencias de la Educación. Universidad de Valencia (UVEG).
Correo-e: davinia.palomares@uv.es

Recibido: 07-01-2014; 2ª versión: 02-05-2014. Aceptado: 11-06-2014.

Cómo citar este artículo/Citation: Villanueva-Felez, A.; Fernández-Zubieta, A.; Palomares-Montero, D. (2014). Propiedades relacionales de las redes de colaboración y generación de conocimiento científico: ¿Una cuestión de tamaño o equilibrio?. *Revista Española de Documentación Científica*, 37(4): e068. doi: <http://dx.doi.org/10.3989/redc.2014.4.1143>

Resumen: El artículo analiza la influencia de las redes de los investigadores en la cantidad y calidad de su producción de conocimiento científico, con datos obtenidos de un cuestionario, cumplimentado por 191 investigadores/académicos españoles especializados en nanotecnología. Se consideran las redes que los investigadores establecen con otros individuos y organizaciones y se examina el efecto de las propiedades relacionales de las redes de colaboración (grado de incrustación y heterogeneidad nodal) en la producción científica, teniendo en cuenta el tamaño de la red. Se observa que el equilibrio en las redes personales y organizativas explica más la cantidad y la calidad de la producción científica que el tamaño de las redes. Las redes personales equilibradas en su fuerza y su diversidad geográfica facilitan la producción científica y, en su aspecto geográfico, su calidad. Las redes organizativas equilibradas en su diversidad institucional, al contrario que en su dimensión geográfica, también facilita la cantidad de producción.

Palabras clave: Redes individuales; redes organizativas; científicos; nanotecnología; producción académica.

The relational properties of collaborative networks and the generation of scientific knowledge: a question of size or of balance?

Abstract: This article analyses the effect of networks of scientists on the quantity and quality of their academic output. Information on the characteristics of the networks comes from a questionnaire completed by 191 Spanish academic scientists working in the field of nanotechnology. The article considers the networks that these scientists establish with other individuals and through organizations and examines how the degree of embeddedness and nodal heterogeneity of these networks affects scientists' output. The findings show that the balance achieved among members of a network –whether individual or organizational– explains more about the quantity and quality of academic output, than the size of the network. Regardless of their size, more integrated and geographically balanced networks of individuals enhance academic production; additionally their geographic balance also serves to enhance the quality of the output. In the case of organizational networks with a well-balanced institutional diversity, there is a greater quantity of academic production, as opposed to those organizational networks characterized by a geographic balance.

Keywords: Individual networks; organizational networks; scientists; nanotechnology; academic performance.

Copyright: © 2014 CSIC. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-Non Commercial (by-nc) Spain 3.0.

1. INTRODUCCIÓN

Las redes individuales (Katz y Martin, 1997; Rigby y Edler, 2005) e institucionales (Etzkowitz y Leydesdorff, 2000) juegan un papel creciente en el proceso de mejora de la generación y transferencia de conocimiento científico (Nowotny y otros, 2003). Las redes sociales resultan especialmente importantes para mejorar la transferencia del conocimiento tácito (Polanyi, 1966; Gordon, 1980; McFadyen y Cannella Jr, 2004). Del mismo modo, la complejidad de determinados proyectos científicos y el carácter interdisciplinar de algunas áreas de conocimiento (ej. biotecnología o nanotecnología) requiere que los investigadores colaboren para la búsqueda de capacidades y recursos, lo que convierte a su propia red de contactos en recurso indispensable (Katz y Martin, 1997; Laudel, 2001). Por ello, este artículo analiza las redes que los científicos establecen con otros agentes sociales, ya sean individuos u organizaciones, y su efecto en la cantidad y calidad de su producción científica.

En lugar de analizar las más tradicionales propiedades estructurales de las redes como la densidad y la centralidad, el análisis se centra en las propiedades relacionales de las redes (Uzzi, 1997). Concretamente, se considera el grado de incrustación (Uzzi, 1997) y la heterogeneidad nodal (McEvily y Zaheer, 1999), haciendo diferenciación con respecto al tamaño de la red. Así, el estudio explora las propiedades relacionales de las redes tanto en su dimensión personal como también organizativa. Por tanto, se analizan las redes persona-a-persona y las redes persona-a-organización. Dado que los estudios de redes basados en datos bibliométricos parecen no capturar de forma suficiente las colaboraciones de los académicos con otros agentes sociales (Subramanyam, 1983), el estudio recurre a datos de cuestionario para recolectar la información sobre las propiedades de las redes.

Así, en las dos formas de red consideradas (personales y organizativas) se tienen en cuenta, de forma diferenciada al tamaño de la red, el grado de incrustación (determinado por la fuerza de los vínculos que conforman las redes) y la heterogeneidad geográfica nodal (calculada en función de la ubicación geográfica de los contactos mantenidos) de las que se determina su grado de balance o equilibrio. Además, en el caso concreto de las redes organizativas, se ha incluido en el análisis la heterogeneidad institucional, establecida en función del tipo de contacto, ya sea con empresas, con entidades gubernamentales o con instituciones académicas.

El análisis se basa en una muestra de 191 académicos españoles del área de investigación de nano-materiales, adscritos a 11 institutos públicos de investigación. Los datos sobre redes fueron obtenidos a partir de un cuestionario, mientras que los datos de producción académica se consiguieron a través del ISI Web of Knowledge (ISI-WOK). El cuestionario también fue utilizado para extraer las

variables demográficas (género, experiencia y disciplina) y variables de aspectos laborales (distribución del tiempo laboral y tipo de investigación) que se utilizan como variables de control. El cuestionario fue remitido a 866 investigadores españoles en el año 2008, con una tasa de respuesta de 22,1%.

Los resultados obtenidos permiten concluir que tanto el equilibrio de las redes individuales como las organizativas influyen en la producción académica. El equilibrio de las redes personales facilita tanto la cantidad como la calidad de la producción académica, aunque sus aspectos geográficos (heterogeneidad geográfica nodal - balance) parecen más importantes que los derivados de su fuerza (grado de incrustación) para explicar la calidad de la producción científica. Por su parte, las redes organizativas no parecen determinar la calidad de la producción científica, pero sí su cantidad. Los aspectos institucionales de las redes organizativas, al contrario que los aspectos geográficos, facilitan la cantidad de producción.

2. ANTECEDENTES E HIPÓTESIS

La ciencia es una actividad social que depende de la interacción de los científicos para su desarrollo. Desde sus inicios, la sociología de la ciencia se ha dedicado a estudiar los factores sociales que afectan al desarrollo científico, las normas y valores que sustentan la institución social de la ciencia y el mantenimiento de la autonomía e independencia científica (Merton, 1942). Asimismo, destacados filósofos de la ciencia, como Kuhn (1970), han sostenido la idea de que la ciencia es una actividad social cuyos avances epistémicos dependen sustancialmente de la interacción entre científicos. No sólo desde el punto de vista institucional y epistémico la colaboración científica resulta fundamental para el desarrollo de la ciencia, también desde el punto de vista individual los científicos presentan razones crecientes para colaborar con otros agentes. A este respecto, Katz y Martin (1997) repasan algunos de los factores del entorno y motivacionales que explican tanto la existencia de la colaboración científica como su incremento. Entre otros, el cambio en las fuentes de financiación, la exigencia en la racionalización de la mano de obra científica, la progresiva especialización y profesionalización de la ciencia, la complejidad y el coste de la instrumentación requerida son algunos de los factores del entorno que indican este aumento de la importancia de la colaboración. Por su parte, la necesidad de acceso a la financiación, a la instrumentación y el equipamiento, al deseo por aumentar la visibilidad, el reconocimiento y la reputación, a la oportunidad de incrementar y mejorar los propios recursos accediendo a nuevos conocimientos y habilidades producidas en otras regiones, son factores motivacionales que explican este fenómeno. De este modo, factores sistémicos como individuales indican la creciente importancia de las colaboraciones en la producción del conocimiento.

El conocimiento forma parte de los investigadores y las instituciones científicas y se encuentra, sólo en parte, codificado en forma de productos como artículos y patentes (Nowotny y otros, 2001, 2003). La creación de conocimiento científico parece depender cada vez más de la combinación y el intercambio de conocimiento tácito (McFadyen y Cannella Jr, 2004). Así, los procesos de mejora de la generación y difusión del conocimiento pasan por el aumento del aprovechamiento de ese conocimiento tácito (Polanyi, 1966). Esta necesidad otorga a las colaboraciones, como un mecanismo de transmisión de dicho conocimiento tácito, de una creciente importancia para explicar la producción de conocimiento científico. Algunos autores han llegado a sostener que las colaboraciones son tan importantes que afectan incluso a los procesos de certificación del conocimiento (Mulkay, 1979) y son la base explicativa de la ciencia como empresa colectiva (Latour, 1987; Callon, 1986; Callon y otros, 1986). Las colaboraciones y las redes han llegado a considerarse como una especie de "capital social", "capital interpersonal" o "capital relacional" (Bourdieu 1986; Coleman, 1988, 1990; Burt, 1992). Así, las colaboraciones y el carácter de las redes que tejen los científicos proveen al individuo y al grupo de cierta ventaja competitiva (Burt, 2001) que puede resultar fundamental para la generación y difusión del conocimiento científico.

Dada la creciente relevancia de las colaboraciones para la producción del conocimiento científico, el análisis de las redes sociales (Granovetter, 1973, 1985) ofrece un marco interpretativo fundamental para analizar cómo determinados recursos individuales y sociales son resultado de las relaciones en las que los sujetos se ven involucrados. La mayoría de estudios que analizan las redes sociales y la producción científica suelen centrarse en las llamadas propiedades estructurales de las redes de colaboración. Así, se centran principalmente en cómo la densidad y/o la centralidad influyen en las acciones (producción científica) de los individuos (científicos). Sin embargo, este trabajo toma como referencia la "perspectiva de cohesión" (Gulati, 1998) y realiza un análisis de las ego redes de primer orden de los científicos (es decir, de las redes que se forman con sus colaboradores directos) a partir de las propiedades relacionales. Específicamente, consideramos el grado de incrustación y la heterogeneidad nodal, incluyendo también el tamaño de estas redes para comprobar que el efecto de estos dos primeros factores persiste teniendo en cuenta el tamaño de la red.

Propiedades relacionales de las ego-redes de colaboración y la producción científica

La importancia del grado de incrustación se enraíza en la distinción entre vínculos fuertes y débiles (Granovetter, 1973). Éste sostiene que "la fuerza de un vínculo es una combinación (probablemente lineal) de la cantidad de tiempo, la in-

tensidad emocional, la intimidad (confidencias mutuas) y los servicios recíprocos que caracterizan a dicho vínculo". Desde esta diferenciación, el grado de incrustación se entiende como el número de vínculos fuertes que componen la red de un sujeto con respecto al total de vínculos. En función de los patrones de incrustación se pueden diferenciar tres tipos de redes (Uzzi, 1997): sobre-incrustadas, infra-incrustadas e íntegras.

Las *redes sobre-incrustadas* están compuestas principalmente por vínculos fuertes. Normalmente, se trata de redes de menor tamaño dado que el mantenimiento de los vínculos fuertes requiere mayores recursos en comparación con los vínculos débiles (Boorman, 1975). Mantener vínculos fuertes limita el número de contactos que el actor puede realmente realizar y restringe la capacidad de mantener relaciones con otros actores e instituciones (Villanueva-Felez, 2011). Como señala Granovetter (1973), la información que circula por este tipo de red se vuelve redundante. Por esta razón, se trata de estructuras rígidas que tienden a la obsolescencia (Burt 1992; Gnyawali y Madhavan 2001; Uzzi 1997). Sin embargo, estas redes fomentan, al mismo tiempo, la cooperación y la resolución de problemas entre colaboradores. Por ejemplo y pensando en un investigador académico, una red sobre-incrustada estaría compuesta por miembros del propio departamento o grupo con escasos vínculos con actores sociales de otras entidades. Fruto de este tipo de redes, el investigador se encontrará más "limitado" en su perspectiva, con menos posibilidades de acceso a nuevas ideas y a la generación de conocimiento.

Por su parte, la *red infra-incrustada* se compone principalmente por vínculos débiles. El tamaño de este tipo de redes suele ser mayor, con mayor potencial para establecer relaciones con actores fuera del círculo inmediato del sujeto. Granovetter (1973) explica que los vínculos débiles ofrecen a los sujetos información novedosa que es indispensable para descubrir nuevas oportunidades. Sin embargo, existe menor predisposición a la cooperación debido a la menor frecuencia en las interacciones y el descenso de los niveles de confianza entre los sujetos (Uzzi, 1997). Ha sido demostrado que la producción científica es significativamente dependiente de la frecuencia de colaboración entre autores, ya que facilita la transferencia de conocimiento tácito (Pravdić y Oluić-Vuković, 1986). En nuestro caso, las redes que no fomentan la cooperación y la transferencia de conocimiento tácito verán reducida la cantidad y la calidad de sus resultados de investigación.

El último tipo de red señalado, la *red íntegra*, se caracteriza por el equilibrio entre los vínculos fuertes y los débiles. Se podría decir que combina los beneficios derivados de ambos tipos de vínculos. Es decir, por un lado, asegura la frecuencia de contacto y confianza, entendida como una cooperación estable y fluida entre actores y, por otro lado, asegura el flujo de información novedosa (Uzzi, 1997).

Por tanto, la red íntegra está formada por un conjunto de lazos fuertes, que proporcionan relaciones sociales estables y duraderas que permiten el trabajo en equipo y la resolución de problemas, y por un conjunto de relaciones sociales más dinámicas, que garantizan al investigador el acceso a nuevos métodos, perspectivas e ideas gestadas en ambientes más alejados del círculo académico más cercano. Como otros estudios han demostrado, esta configuración de red es bi-funcional, en su exploración y explotación del conocimiento, y facilita la producción del conocimiento científico (Villanueva-Felez y otros, 2013).

Por su parte, la heterogeneidad nodal considera la diversidad de actores que componen la red de contactos directos del académico/investigador (McEvily y Zahheer, 1999; Reagans y Zuckerman, 2001). El análisis de esta variabilidad ofrece la posibilidad de identificar patrones de red que pueden variar desde estructuras completamente homogéneas a estructuras completamente heterogéneas.

Las *redes completamente homogéneas* se caracterizan por la total ausencia de vínculos puente a otros entornos sociales lejanos al individuo, pues la totalidad de los componentes de la red son del mismo tipo que el actor que la mantiene. Según McEvily y Zaheer (1999), la redundancia en contactos es una característica que explica este tipo de red debido a que sus miembros procurarán estar vinculados entre ellos, interaccionarán con gran regularidad y se quedarán concentrados en una ubicación geográfica determinada. Por tanto, los actores que componen este tipo de red normalmente pertenecen al círculo social más inmediato del actor; en el caso de la academia, podría identificarse con los miembros de su propio departamento o instituto. Por tanto, este tipo de red influye de forma negativa en la capacidad de generar conocimiento, ya que la información novedosa o la disponibilidad de otros recursos para generar conocimiento nuevo no estarán al alcance del individuo.

En cambio, los individuos pertenecientes a las *redes heterogéneas* poseen una enorme diversidad de contactos. Sus redes cuentan con la participación de actores que pertenecen a diferentes entornos sociales, y por ende, pueden contar con diversas fuentes de información y situaciones que generan nuevas oportunidades (McEvily y Zaheer, 1999). El contexto académico que se mueve en esta lógica de relaciones, heterogénea, se caracteriza por la diversidad de vínculos que los investigadores pueden mantener con miembros de otras universidades, industrias, gobiernos, etc., tanto a nivel local, nacional, como internacional. Al mismo tiempo, una mayor heterogeneidad conlleva una distribución más equilibrada de vínculos entre los diferentes tipos de actores, maximizando las oportunidades de acceso a diversos recursos que podrían destinar a sus investigaciones y, por tanto, a la generación de conocimiento (Villanueva-Felez y otros, 2013). La diferencia sustancial de este enfoque respecto al derivado del estudio del grado de

incrustación es que los círculos sociales a alcanzar por la red de un individuo se definen a priori, ya que el tipo de vínculo social en función de su fuerza no determina que necesariamente actúen como vínculos puente a esos ámbitos.

Estas dos propiedades permiten predecir que las redes íntegras y balanceadas (equilibradas) facilitarán la producción científica al garantizar un acceso a una mayor gama de recursos e ideas (Burt, 1992, 1997; McEvily y Zaheer, 1999; Uzzi, 1997, Villanueva-Felez y otros, 2013). Este tipo de estructuras de red permitirá a los investigadores mayores posibilidades de integrar los recursos propios con los externos mejorando el desarrollo de sus actividades de investigación y, por ende, a su producción de conocimiento.

El tamaño de las redes, y no su fuerza o heterogeneidad, también puede aumentar la probabilidad de acceder a recursos y capacidades más novedosos y, por lo tanto, facilitar la producción de conocimiento. Sin embargo, el establecimiento y mantenimiento de relaciones sociales implican costes en tiempo, energía y otros recursos (Boorman, 1975). Es muy probable, tal y como sostienen diversos autores (Boorman, 1975; McFadyen y Cannella Jr, 2004), que el tiempo y recursos destinados a la gestión de la red se realice en detrimento de aquellas actividades fundamentales para la creación de conocimiento, como son la lectura, escritura, realización de experimentos y trabajo de campo, etc. Aparentemente, la relación entre tamaño y producción de conocimiento no es lineal, sino de U invertida (o cuadrática). Pocas relaciones limita la producción de conocimiento científico por el insuficiente acceso a ideas y recursos. Sin embargo, aunque una mayor red de contactos directos puede incrementar la potencialidad de un individuo para producir conocimiento, un tamaño de red desmesurado puede conducir al científico a no destinar suficiente esfuerzo a actividades propias de producción (McFadyen y Cannella Jr, 2004).

La idea subyacente al tamaño de las redes y su relación con la producción de conocimiento radica sobre el concepto de coste de oportunidad. Es decir, aquello que se consigna a agrandar las redes no se destina en actividades de creación. Por tanto, consideramos que la relación positiva entre las propiedades relacionales de las redes (tamaño, grado de incrustación y heterogeneidad nodal) y la producción de conocimiento será mayor en el caso de aquellas propiedades que hacen referencia al equilibrio (integración y balance) de las redes, más que al tamaño en sí.

3. MÉTODOS Y MATERIALES

3.1. Contexto del estudio: la investigación en nanotecnología

Este estudio se contextualiza en la nanotecnología por la relevancia de esta área científica para

la generación de conocimiento e innovación y su carácter interdisciplinar. En términos generales, la nanotecnología denota un marco conceptual utilizado para definir los procesos de desarrollo de tecnologías a nano-escala (Ott y Papilloud, 2007). Estas tecnologías se sitúan en la intersección de la ciencia de materiales, la biología molecular, la química y la física (Stix, 2001). La nanotecnología, comparada con otro tipo de tecnologías, tiene una mayor dependencia de la investigación científica y de la combinación de disciplinas tradicionales para su desarrollo (Islam y Miyazaki, 2009; Palmberg y otros, 2009). Debido a la nano-dimensión, esta área trasciende las fronteras convencionales entre las disciplinas científicas y los sectores tecnológicos y constituye, hoy en día, un área de expansión de los campos de investigación de casi todas las disciplinas científicas y técnicas de los distintos centros de investigación (universidades, institutos públicos o laboratorios de empresas).

La nanotecnología constituye por su potencial de base científica e interdisciplinar, una prioridad nacional científica y así queda reflejado en los últimos planes estatales de I+D+i. En el anterior Plan Nacional de I+D+i (2008-2011), la nanotecnología fue considerada una de las cinco acciones estratégicas¹ y, en el actual Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación (2013-2016), es considerada como una de las "tecnologías facilitadoras esenciales"². Así, bajo el prefijo "nano" y, en parte potenciado por las fuentes de financiación disponibles, conviven una diversidad de acercamientos de disciplinas generales, como la física, química o biología, y de proyectos de investigación a esta escala sobre diversos temas y sub-áreas como materiales, electrónica y robótica, biomedicina, terapia genética, entre otros.

3.2. Muestra y recolección de datos

La nanotecnología, por su base científica y potencial de generar nuevos conocimientos y aplicaciones prácticas y su carácter interdisciplinar, constituye un lugar destacado para analizar la influencia de las redes sociales en la producción de conocimiento científico. Sin embargo, y dado que la nanotecnología también incluye una diversidad de investigaciones que puede no garantizar un intercambio de conocimiento y recursos entre las sub-áreas más alejadas cognitivamente (Meyer y otros, 2004; Meyer y otros, 2011), se optó por centrar el estudio empírico en la investigación en materiales avanzados a nano-escala para garantizar cierta homogeneidad en el área de investigación. Los **nanomateriales** son materiales con propiedades morfológicas con al menos una dimensión a escala entre 1-100 nanómetros. Entre los nanomateriales se incluyen las nanopartículas, los nanopolvos, las nanofibras, los fullerenos y los nanotubos de carbono, entre otros. Numerosas publicaciones e informes del sector predicen un importante crecimiento de esta área y un gran incremento de pro-

ductos finales que ya están incorporando los resultados conseguidos con este tipo de investigación (Hullmann, 2006; Salerno y otros, 2008). Asimismo, tal y como refleja la encuesta realizada por la Fundación Española para la Ciencia y Tecnología, en el año 2004, sobre la nanociencia y la nanotecnología en España, más de la mitad de las líneas de investigación en el campo de la nanotecnología se concentran en los nanomateriales (Correia y otros, 2004). Por estas razones, se ha considerado pertinente contextualizar el presente estudio empírico en el área de conocimiento de los nanomateriales.

La muestra final consta de 191 investigadores ubicados en España y especializados en nanomateriales pertenecientes a 11 institutos de investigación. La encuesta fue enviada a un total de 866 investigadores, obteniendo un 22% de índice de respuesta. Los datos sobre redes proceden de un cuestionario que contiene preguntas sobre las redes de contactos de los investigadores, tanto en su dimensión personal como organizativa. El uso de cuestionarios para recoger información sobre las redes de colaboración científica, en lugar de datos de co-autorías, se debe a que el cuestionario permite capturar con mayor precisión las relaciones informales entre académicos y otros agentes sociales (Subramanyam, 1983). Los datos de producción científica proceden de la plataforma ISI-WOK.

3.3 Variables

Variables dependientes. En este trabajo se considera la cantidad y la calidad de los artículos científicos como variables dependientes relativas a la producción científica de cada individuo. Éstas son las siguientes:

- Producción científica-cantidad:* raíz cuadrada del número de artículos publicados por un determinado investigador entre los años 2006 y 2008, dividido por el número de co-autores³.
- Producción científica-calidad:* raíz cuadrada de los valores del factor de impacto de las revistas en las que los investigadores han publicado sus artículos, en el mismo período anterior, corregido por el número de co-autores⁴.

Variables independientes. Hacen referencia a las propiedades relacionales de los investigadores en nanomateriales con respecto a sus redes personales (redes entre académicos) y redes organizativas (redes con instituciones). Se han desarrollado cuatro medidas atendiendo a las características de las redes y que, al calcularlas en su dimensión personal y organizativa, dan lugar a siete variables independientes. Por un lado, tanto para las redes personales académicas como para las redes organizativas, se ha determinado el *grado de incrustación* (*Grado_Incrustación*) y la *heterogeneidad nodal geográfica* (*Balance_Geo*) y se ha tenido en cuenta el *tamaño de la red* (*Tamaño*). Además,

para las redes organizativas se ha determinado la heterogeneidad nodal institucional (*Balance_Institucional*). Más en concreto, las variables sobre propiedades relacionales de las redes (incrustación y heterogeneidad) consideran la variabilidad de los contactos como se indica a continuación:

- a. Grado de incrustación: vínculos *fuertes y débiles*.

El vínculo es considerado fuerte cuando hay más de dos comunicaciones al mes en las relaciones con entidades *y*, además, cuando el investigador se siente cómodo para pedir consejo en las relaciones personales.

- b. Heterogeneidad nodal geográfica: contactos *locales, nacionales e internacionales*.

- c. Heterogeneidad nodal institucional: vínculos con *entidades académicas, gubernamentales y empresas*.

La medida de entropía utilizada para calcular las propiedades relacionales de las redes ha sido la de Shannon y Weaver (1959):

$$D = -\left(\frac{1}{\log(n)}\right) \sum_{i=1}^n y_i \log(y_i)$$

donde, *D* diversidad (balance), *n* es igual al número de categorías, *y_i* es la proporción de contactos reportados por el investigador para cada categoría *i*.

Esta medida varía entre 0 y 1. Cuando la red es completamente homogénea nos aproximamos al valor 0, lo cual significa que todos los contactos que componen la red pertenecen a la misma categoría. Cuando la red es completamente heterogénea nos encontramos en el valor 1, lo cual significa que está perfectamente balanceada o equilibrada y podría decirse que la red contiene el mismo número de contactos para todas las categorías consideradas.

Por último se han desarrollado dos medidas para determinar el tamaño de las redes.

- d. Tamaño de la red: variable continua que se calcula sumando el total de contactos, por un lado con otras organizaciones *y*, por otro lado, con otros académicos.

Variables de control. En la investigación se han incluido diferentes variables de control y entre las cuales consideramos variables demográficas (género, experiencia y disciplina) y variables de aspectos laborales (distribución del tiempo laboral y tipo de investigación). Estas variables son suscep-

tibles de influir en la producción académica de los investigadores (Rigby y Edler, 2005; Gulbrandsen y Smeby, 2005; Smeby y Try, 2005).

- a. *Género*: variable dicotómica donde 0 es mujer y 1 hombre.
- b. *Experiencia*: años transcurridos desde que el investigador está formalmente empleado en una institución académica hasta el año 2008.
- c. *Disciplina*: variable nominal que distingue a los investigadores entre físicos, químicos y "otros", de acuerdo a su formación académica.
- d. *Distribución del tiempo laboral*: porcentaje de jornada laboral destinado a docencia, investigación y tareas de apoyo a la investigación (preparación de propuestas, revisión de artículos y otras tareas de índole administrativa).
- e. *Tipo de investigación*: diferencia entre su carácter puramente básico, aplicado y mixto.

Considerar la categoría "mixta", entre básica y aplicada, se debe a que no existe una clara dicotomía, con límites bien definidos, que permita diferenciar entre estos dos tipos de investigación (Godin y Gingras, 2000). La introducción de una pregunta en el cuestionario permitió construir esta variable, solicitando a los encuestados que seleccionasen las afirmaciones que mejor definían el tipo de investigación que realizaban. La *National Nanotechnology Initiative* (2002) de EE.UU. sirvió para componer dichas afirmaciones a partir de la definición de nanotecnología, que incluía:

1. Investigación y desarrollo a nivel atómico, molecular y macromolecular, en la escala aproximada del rango 1–100 nanómetros.
2. Comprensión fundamental de fenómenos y materiales a nivel de nano–escala.
3. Creación y utilización de estructuras, dispositivos y sistemas que tienen propiedades y funciones novedosas debido a su pequeño y/o intermedio tamaño.
4. Capacitación de controlar o manipular a escala atómica.
5. Mis investigaciones no se ajustan a ninguna de las características.

Se considera que el investigador realiza investigación *básica* cuando seleccionaba todas o alguna de las opciones 1, 2 y 4; investigación *aplicada*, si el investigador seleccionaba sólo la opción 3; e investigación *mixta*, si el investigador seleccionaba la opción 3 y alguna o algunas de las otras.

4. RESULTADOS

4.1. Descriptivos

Los estadísticos descriptivos y las correlaciones bivariadas se pueden observar en la Tabla I. La muestra se compone principalmente por hombres (59,2%), frente a la menor representación de las mujeres (40,8%). La experiencia media como académicos/investigadores es próxima a los 17 años. Con respecto a la disciplina, se observa que los investigadores son principalmente químicos (47,6%) o físicos (35,6%). El 16,8% restante corresponde a investigadores de otras disciplinas como ingenierías, ciencias biomédicas e informática. En cuanto a la distribución del tiempo laboral, la mayor parte del tiempo se destina a tareas de investigación (76% del tiempo); a la docencia se le dedica una media del 9% del total de la jornada laboral, mientras que a las tareas más administrativas de apoyo a la investigación se destina un 15% del tiempo. La mayor parte de los investigadores desarrolla inves-

tigación básica (55,5%), seguidos de aquellos que hacen investigación "mixta" (29,3%) y, finalmente, los que desarrollan investigación aplicada (15,2%).

Con respecto a la producción científica, variables dependientes, los investigadores producen entre 2006-2008 de media 1,24 artículos, con un impacto medio de calidad de 2,06.

Si nos detenemos en los resultados obtenidos en las principales variables independientes, se observa que, con relación al tamaño, de media los investigadores mantienen relaciones con 6,35 organizaciones colaboradoras (RedORG-Tamaño) y 22,55 contactos con otros académicos más allá de las fronteras de sus propios institutos (RedPER-Tamaño). Las redes organizativas de los investigadores de media no tienden a estar completamente integradas: grado medio de incrustación organizativa = 0,59, valor que es ligeramente superior en las redes personales (incrustación personal = 0,66) por lo que estas últimas presentan grados mayores de integración (véase Tabla I).

Tabla I. Estadísticas descriptivas generales y coeficientes de correlación

VARIABLES	Media / Frecu.	Desv. típ. / %	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1. Prod. Científica-CANTIDAD	1,2388	,64346																
2. Prod. Científica-CALIDAD	2,0595	1,17464	,727**															
3. Género (Hombre)	113	59,2	,163**	,181**														
4. Experiencia	16,94	9,029	,351**	,274**	,149*													
5. Físico	68	35,6	,058	,020	,084	,012												
6. Químico	91	47,6	,042	,069	-,082	-,009	-,709**											
7. Docencia	8,87	13,566	,052	,009	,043	,252**	-,031	,114										
8. Apoyo Investigación	14,80	11,059	,214**	,147**	-,079	,170**	-,117	,149*	-,011									
9. Inv_Basica	106	55,5	-,075	-,081	-,037	,058	,072	-,095	,187**	-,022								
10. Inv_Aplicada	29	15,2	-,054	-,065	,055	-,104	-,132	,035	-,067	-,077	-,472**							
11. RedORG-Tamaño	6,35	6,353	,245**	,167**	,084	,305**	,031	-,083	,128*	,249**	-,042	-,033						
12. RedORG-Grado_Incrustamiento	,5942	,42099	,078	,046	,054	,116*	,168**	-,105	,092	,161**	,091	-,183**	,295**					
13. RedORG-Balance_Geo	,5175	,35937	,082	,039	,107	,215**	-,014	-,061	,071	,103	-,023	-,028	,479**	,249**				
14. RedORG-Balance_Institucional	,4341	,35149	,170**	,073	,131*	,259**	-,047	-,092	,081	,174**	-,045	-,036	,531**	,235**	,373**			
15. RedPER-Tamaño	22,55	21,407	,152**	,142**	,088	,126*	,050	-,068	,032	,113*	-,057	-,017	,281**	,066	,163**	,161**		
16. RedPER-Grado_Incrustamiento	,6612	,37525	,065	,043	,027	,075	,083	-,106	,064	,056	,001	-,032	,139**	,087	,061	,055	,073	
17. RedPER- Balance_Geo	,7666	,26759	,229**	,203**	,109	,224**	,122*	-,092	,029	,132*	-,108	-,015	,297**	,149**	,236**	,241**	,158**	,065

^a Coeficientes de correlación no paramétricos Kendall's tau-b. ^b N = 191

**p < 0.01; *p < 0.05

La Tabla II presenta con mayor detalle los resultados descriptivos de las redes. Podemos observar que los investigadores tienden a entablar más vínculos débiles que fuertes con otras organizaciones (60,0% y 40,0%, respectivamente). Con respecto a la heterogeneidad nodal organizativa se observa que las redes, de media, no se encuentran bien balanceadas ni en la dimensión geográfica, ni en la dimensión institucional. En su dimensión geográfica, predominan los contactos con otras instituciones internacionales (46%); mientras que, en su dimensión institucional, hay mayor presencia de contactos con entidades académicas (64%).

Por otro lado, las redes personales que se desarrollan exclusivamente con otros académicos presentan unos altos niveles de integridad (respecto al grado de incrustación) con cierta predominancia de vínculos débiles (51%). Los niveles de heterogeneidad nodal geográfica son también mayores, aunque, en el caso de las redes personales, los contactos se concentran a nivel regional (47%), al contrario que ocurre en los contactos organizativos que se concentran internacionalmente.

4.2. Modelos de Producción Científica

Las Tablas III y IV presentan los resultados de los modelos propuestos de producción científica: MOD 1-3 Cantidad y MOD 4-6-Calidad.

MOD 1-3: Cantidad de artículos publicados

Observando los resultados del primer modelo, señalamos que tanto el *género* como la *experiencia* afectan positiva y significativamente a la cantidad

de la producción científica, siendo la experiencia la que tiene un coeficiente más alto y significativo. Podemos decir que los investigadores varones publican más artículos, lo mismo que aquellos que tienen mayor experiencia laboral. Las variables *físico* y *químico* son también positivas y significativas al comparar sus coeficientes con la variable indicativa de investigadores de *otras* disciplinas. Esto indica que los investigadores en el área de física y química publican significativamente más que aquellos cuya formación se orienta hacia las ingenierías. Si nos fijamos en la distribución del tiempo de la jornada laboral, vemos que la *docencia* tiene un efecto negativo y significativo sobre la producción científica. Esto indica que el tiempo dedicado a la docencia reduce el número de publicaciones. Sin embargo, el *apoyo a la investigación* muestra un efecto positivo y altamente significativo, lo cual puede estar indicando que las actividades de recaudación para la investigación inciden en el output investigador de los individuos. Respecto al tipo de investigación, ambas, la *investigación básica* y la *aplicada*, tienen un efecto negativo si son comparadas con la investigación *mixta*, aunque sus coeficientes no son significativos por lo que no se puede asegurar que dedicarse a estos primeros tipos más "clásicos" de investigación reduzca la intensidad de la producción científica (véase Tabla III).

En cuanto a las redes organizativas, ni el *tamaño* ni el *grado de incrustación* se muestran significativos en ninguno de los tres modelos, por lo que no se puede concluir sobre su efecto en uno u otro sentido. Sin embargo, el *balance geográfico* es negativo y significativo. La distribución equilibrada de los contactos organizativos entre regionales, nacio-

Tabla II. Análisis descriptivo de las redes

Red Organizativa		Media	Porcentaje
Grado_Incrustamiento	Red de vínculos fuerte	2,57	0,40
	Red de vínculos débiles	3,79	0,60
Balance_Geo	Red regional	1,47	0,23
	Red nacional	1,92	0,30
	Red internacional	2,94	0,46
Balance_Institucional	Red académica	4,04	0,64
	Red empresarial	1,31	0,21
	Red gubernamental	1,00	0,16
TOTAL		6,35	1
Red Personal Académica			
Grado_Incrustamiento	Red de vínculos fuerte	11,08	0,49
	Red de vínculos débiles	11,47	0,51
Balance_Geo	Red regional	10,63	0,47
	Red nacional	6,51	0,29
	Red internacional	5,41	0,24
TOTAL		22,55	1

nales e internacionales se relaciona negativamente con la cantidad de artículos publicados. En cambio, la *heterogeneidad institucional* se manifiesta positiva y significativa, lo cual indica que un acceso equilibrado a distintos sectores institucionales fomenta la producción de artículos académicos.

Con respecto a las redes personales, observamos que la variable *grado de incrustación* tiene un efecto positivo y significativo. Es decir, cuanto más íntegra es la red personal de los investigadores (igual número de vínculos fuertes y débiles), mayor será el número de sus publicaciones. El *balance geográfico* es también positivo y significativo, con índices más altos que el grado de incrustación. Es decir, cuanto mayor equilibrio existe entre los contactos a nivel regional, nacional e internacional, mayor número de artículos publicarán los investigadores. Como ocurría en el caso de las redes personales, el *tamaño de la red personal* tiene un efecto positivo, aunque el coeficiente no es significativo y, por tanto, no se puede concluir que el tamaño aumente la intensidad de la producción científica.

MOD 4-6: Calidad producción científica

Los resultados obtenidos respecto del análisis de la calidad de la producción científica se muestran en la Tabla IV. El efecto de las variables sociodemográficas, género y experiencia, en la calidad de la producción científica no difiere demasiado a los obtenidos con respecto a su impacto en la cantidad. Tanto el *género* como la *experiencia* tienen, al igual que en el caso anterior, un efecto positivo y significativo. Ser hombre y tener más experiencia aumenta, como decíamos anteriormente, el número de publicaciones y vemos ahora que también su calidad. El efecto positivo de la experiencia tanto en la calidad como en la cantidad de la producción académica está en consonancia con investigaciones previas que aseguran que la categoría profesional es determinante a la hora de explicar la producción académica (Carayol y Matt, 2006). Por lo que respecta a la disciplina científica, las variables *físico* y *químico* son positivas, aunque es significativa exclusivamente en el caso de los químicos. Es decir, los investigadores especializados en química no sólo

Tabla III. Modelos de Producción Científica - CANTIDAD. Regresión Lineal

Modelos de Producción Científica - CANTIDAD						
	MOD 1		MOD 2		MOD3	
	Coef. Estandarizados (error típ.)	t	Coef. Estandarizados (error típ.)	t	Coef. Estandarizados (error típ.)	t
VARIABLES DE CONTROL						
Género	0,132 (0,084)	2,052*	0,122 (0,080)	1,962 [†]	0,122 (0,083)	1,920
Experiencia	0,380 (0,005)	5,520**	0,361 (0,005)	5,231**	0,348 (0,005)	4,953**
Físico	0,186 (0,120)	2,071*	0,243 (0,119)	2,688**	0,197 (0,122)	2,174*
Químico	0,143 (0,117)	1,573	0,250 (0,116)	2,715**	0,201 (0,119)	2,173*
Docencia	-0,115 (0,003)	-1,719 [†]	-0,116 (0,003)	-1,752 [†]	-0,106 (0,003)	-1,590
Apoyo Investigación	0,190 (0,004)	2,749**	0,171 (0,004)	2,566*	0,164 (0,004)	2,383*
Inv_Basica	-0,086 (0,094)	-1,194	-0,065 (0,093)	-0,912	-0,049 (0,093)	-0,677
Inv_Aplicada	-0,068 (0,128)	-0,952	-0,060 (0,127)	-0,859	-0,066 (0,127)	-0,928
RED ORGANIZATIVA						
Tamaño	0,053 (0,007)	0,755			0,027 (0,008)	0,328
Grado_Incrustamiento			-0,050 (0,120)	-0,633	-0,089 (0,122)	-1,121
Balance_Geo			-0,155 (0,146)	-1,917[†]	-0,143 (0,153)	-1,680[†]
Balance_Institucional			0,151 (0,148)	1,835[†]	0,153 (0,158)	1,779[†]
RED PERSONAL ACADÉMICA						
Tamaño	0,079 (0,002)	1,248			0,069 (0,002)	1,100
Grado_Incrustamiento			0,118 (0,107)	1,904[†]	0,110 (0,108)	1,744[†]
Balance_Geo			0,167 (0,184)	2,195*	0,174 (0,186)	2,256*
N=191						
F	8,479		7,677		6,732	
R ²	0,282		0,314		0,312	

**p < 0.01; *p < 0.05; †p < 0.1.

publican más, si los comparamos con los investigadores que tienen otra formación, sino que también sus publicaciones tienen un índice de calidad mayor. Si observamos el efecto que causa la distribución del tiempo de la jornada laboral a las distintas tareas, vemos que los resultados obtenidos respecto a la calidad de la producción científica son iguales a los encontrados sobre la cantidad. Así, el efecto de *docencia* es negativo y significativo. El *apoyo a la investigación* es positivo y significativo. El tipo de investigación es, de nuevo, negativo y no significativo. Por tanto, no se puede asegurar que el tipo de investigación determine el nivel de impacto de las publicaciones, es decir, su calidad, de la misma forma que antes no podíamos asegurar que influyera en la intensidad de la producción científica.

Cuando se consideran las variables de red, sólo se obtiene coeficiente significativo en la heterogeneidad geográfica (*Balance_Geo*) de las redes personales académicas, siendo el signo positivo. Es decir, *balancear geográficamente* los colaboradores académicos, aumenta la calidad del output científico.

El efecto del *tamaño de la red personal* es sólo significativo y positivo en el primer modelo pero se vuelve no significativo cuando se consideran todas las variables relacionales de las redes. Esto indica que el efecto del tamaño de la red es importante sólo cuando no se consideran otras propiedades relacionales más determinantes (en este caso, su balance geográfico). En lo que respecta a las redes organizativas, dado que ningún resultado es significativo, se podría afirmar que la configuración de estas redes no influye en la calidad de la producción científica. Ésta viene en mayor medida determinada por las redes personales.

En resumen, el género y la experiencia aumentan la cantidad y la calidad de la producción académica. Los químicos también parecen producir más y mejor que los ingenieros, mientras los físicos también destacan respecto de los ingenieros si consideramos exclusivamente la cantidad producida. La docencia, al contrario que el apoyo a la investigación, reduce significativamente tanto la cantidad de la producción científica como su calidad.

Tabla IV. Modelos de Producción Científica - CALIDAD. Regresión Lineal

Modelos de producción científica - CALIDAD						
	MOD 4		MOD 5		MOD 6	
	Coef. Estandarizados (error típ.)	t	Coef. Estandarizados (error típ.)	t	Coef. Estandarizados (error típ.)	t
VARIABLES DE CONTROL						
Género	0,173 (0,160)	2,584*	0,187 (0,159)	2,813**	0,172 (0,160)	2,572*
Experiencia	0,316 (0,009)	4,417**	0,309 (0,010)	4,174**	0,309 (0,010)	4,158**
Físico	0,138 (0,228)	1,478	0,128 (0,236)	1,328	0,123 (0,235)	1,277
Químico	0,180 (0,222)	1,901†	0,206 (0,229)	2,111*	0,199 (0,229)	2,034*
Docencia	-0,142 (0,006)	-2,038*	-0,140 (0,006)	-1,983*	-0,136 (0,006)	-1,927†
Apoyo Investigación	0,139 (0,008)	1,933†	0,132 (0,008)	1,850†	0,121 (0,008)	1,665†
Inv_Basica	-0,111 (0,178)	-1,477	-0,085 (0,180)	-1,116	-0,087 (0,180)	-1,141
Inv_Aplicada	-0,094 (0,244)	-1,254	-0,105 (0,246)	-1,396	-0,098 (0,246)	-1,296
RED ORGANIZATIVA						
Tamaño	0,003 (0,013)	0,046			0,029 (0,016)	0,334
Grado_Incrustamiento			-0,075 (0,233)	-0,902	-0,058 (0,235)	-0,693
Balance_Geo			-0,096 (0,283)	-1,110	-0,117 (0,295)	-1,296
Balance_Institucional			0,014 (0,295)	0,154	0,013 (0,304)	0,144
RED PERSONAL ACADÉMICA						
Tamaño	0,119 (0,004)	1,813†			0,104 (0,004)	1,551
Grado_Incrustamiento			0,098 (0,207)	1,480	0,091 (0,209)	1,366
Balance_Geo			0,155 (0,356)	1,911†	0,139 (0,139)	1,704†
N=191						
F	6,465		5,614		4,756	
R²	0,223		0,225		0,229	

**p < 0.01; *p < 0.05; †p < 0.1.

Con relación al análisis de redes, los resultados son relevantes al encontrar que tanto las redes individuales como organizativas influyen en la producción académica. Las redes individuales facilitan tanto la cantidad como la calidad de la producción académica, si bien en la explicación de la calidad parecen más importantes los aspectos geográficos que los de la fuerza del vínculo. Las redes organizativas no parecen determinar la calidad de la producción científica pero sí su cantidad. Los aspectos institucionales de las redes organizativas facilitan la cantidad de producción pero no lo hacen así los aspectos geográficos. Por último, tal y como se concretó en el desarrollo hipotético del estudio, la producción de conocimiento es más una cuestión de equilibrio de las redes que de tamaño.

5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En el presente trabajo, se han considerado diferentes variables que explican propiedades relacionales de las redes de colaboración científica y su capacidad para explicar la cantidad y la calidad de la producción científica. Los resultados obtenidos indican que la experiencia es un factor explicativo de la producción científica; resultado que está en consonancia con otros estudios (ej. Carayol y Matt, 2006). Sin embargo, el análisis realizado va más allá pues desentraña el efecto de esta experiencia de las colaboraciones científicas. Si no se consideran de forma diferenciada, el efecto de la experiencia podría deberse, en parte, al de las colaboraciones, ya que éstas parecen influir positivamente en la producción y aumentan con la experiencia. El estudio no sólo considera de manera separada el efecto de la experiencia de las redes sino que, además, diferencia entre esta última y las redes individuales y organizativas, al tiempo que considera el tamaño de la red. Los resultados indican que la experiencia y las redes influyen de manera significativa y diferenciada en la producción de conocimiento científico. Como ocurre con la experiencia, y considerando el efecto del tamaño de las redes, las redes personales facilitan la cantidad y calidad de la producción académica, aunque sólo las redes balanceadas geográficamente resultan significativas cuando se observa la calidad de la producción. Las redes organizativas sólo influyen en la cantidad de producción científica, favoreciéndola cuando están balanceadas institucionalmente y disminuyéndola cuando muestran un balance geográfico.

Aunque algunos autores (ej. Katz y Martín, 1997) sostienen que la unidad fundamental para analizar las colaboraciones son los individuos, en este estudio, para poder abordar su importancia de una manera diferenciada, hemos considerado tanto las redes individuales como las redes organizativas. Las instituciones tienen capacidades y medios, como rutinas y activos tangibles, que pueden contribuir y aportar recursos que inciden directamente en la generación de conocimiento científico. A este respecto, se observa en los resultados cómo, no sólo las redes individuales influyen en la cantidad de artículos producidos, sino que también son determinantes las redes organizativas a la hora de explicar

la producción científica – de forma positiva en el caso del balance institucional y negativamente en el balance geográfico. En cambio, para explicar la calidad de la producción académica, el equilibrio en las redes individuales resulta más determinante. Los resultados presentados están en consonancia con otros estudios que indican que las redes organizativas son menos determinantes en la explicación del nivel de calidad de la producción científica (Godin y Gingras, 2000).

Estos resultados han sido obtenidos considerando sólo investigadores del área de la nanotecnología. Por esta razón, habría que considerar si los resultados obtenidos acerca de la influencia de las redes, individuales y organizativas, en la producción científica se mantienen cuando se consideran otras áreas. En este trabajo, la calidad ha sido medida a partir del índice de impacto obtenido por la revista donde se publica, por lo que sería interesante comprobar si los resultados sobre la calidad de la producción se mantienen cuando se consideran las citas recibidas por un artículo determinado. De esta forma, se discriminaría la medida de calidad correspondiente a un trabajo académico concreto y no a la media de calidad de los artículos publicados en una determinada revista.

6. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos todos los comentarios recibidos en el I Congreso de Colaboración Científica y a los de los revisores anónimos de la revista. Ana Fernández Zubieta agradece la financiación del programa JAE-Doc "Junta para la Ampliación de Estudios", cofinanciado por los Fondo Social Europeo.

7. NOTAS

(1) Junto con el área de Salud, Energía y cambio climático, Biotecnología y Telecomunicaciones y sociedad de la información.

(2) Junto con fotónica, microelectrónica, biotecnología, tecnologías de la información y las comunicaciones.

(3) Se aplica la raíz cuadrada para normalizar la distribución de los errores y cumplir con los supuestos de la regresión lineal. El uso de la raíz cuadrada se debe a que es menos "fuerte" en términos de transformación de variable que otros métodos de transformación de variables como la logarítmica.

(4) Por la misma razón anterior se aplica la raíz cuadrada a la variable. La posible variación de los índices de impacto por disciplinas está "controlado" por dos razones principales. En primer lugar, porque se analiza área de conocimiento concreta, nanotecnología de materiales, que, a pesar de ser multidisciplinar, asegura que los académicos publiquen en un mismo conjunto de revistas. En segundo lugar, la variable de control "disciplina" se incluye para capturar la posible variación restante de las variables dependientes por disciplinas.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Boorman, B. (1975). A combinational optimization model for transmission of job information through contact networks. *Bell Journal of Economics*, vol. 6 (1), 216-249. doi: <http://dx.doi.org/10.2307/3003223>
- Bourdieu, P. (1986). The forms of capital. En: Richardson, J. G. (editores) *Handbook of theory and research for the sociology of education*. Greenwood; New York (241-258).
- Burt, R. S. (1992). *Structural Holes: The Social Structure of Competition*. Cambridge; Harvard University Press, p. 313.
- Burt, R. S. (1997). The contingent value of social capital. *Administrative Science Quarterly*, vol. 42 (2), 339-365. doi: <http://dx.doi.org/10.2307/2393923>
- Burt, R. S. (2001). Structural Holes Versus Network Closure as Social Capital. En: Lin, N.; Cook, K.; Burt, R. S. (editores) *Social Capital: Theory and Research*. Sociology and Economics: Controversy and Integration series. Aldine de Gruyter; New York (31-56).
- Callon, M. (1986). Some elements of a sociology of translation: domestication of the scallops and the fishermen of St Brieuc Bay. En: Law, J. (editor) *Power, action and belief: a new sociology of knowledge?* London; Routledge (196-223).
- Callon, M.; Law, J.; Rip, A. (1986). *Mapping the dynamics of science and technology: sociology of science in the real world*. Basingstoke; Palgrave Macmillan, p. 242.
- Carayol, N.; Matt, M. (2006). Individual and collective determinants of academic scientists' productivity. *Information Economics and Policy*, vol. 18 (1), 55-72. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.infoecopol.2005.09.002>
- Coleman, J. (1988). Social capital in the creation of human capital. *American Journal of Sociology*, 94, 95-120. doi: <http://dx.doi.org/10.1086/228943>
- Coleman, J. (1990). *Foundations of social theory*. Cambridge MA; Harvard University Press, p. 1014.
- Correia, A.; Roldán-Hernández, J. L.; Serena-Domingo, P. A. (2004). *Estudios sobre las actividades y necesidades en el área de las Nanociencias/Nanotecnologías*. Madrid; FECYT (Ministerio de Educación y Ciencia), p. 109.
- Etzkowitz, H.; Leydesdorff, L. (2000). The dynamics of innovation: from National Systems and "Mode 2" to a Triple Helix of university-industry-government relations. *Research Policy*, vol. 29 (2), 109-123. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0048-7333\(99\)00055-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0048-7333(99)00055-4)
- Gnyawali, D. R.; Madhavan, R. (2001). Cooperative networks and competitive dynamics: A structural embeddedness perspective. *The Academy of Management Review*, vol. 26 (3), 431-445. doi: <http://dx.doi.org/10.5465/AMR.2001.4845820> <http://dx.doi.org/10.2307/259186>
- Godin, B.; Gingras, Y. (2000). Impact of collaborative research on academic science. *Science and Public Policy*, vol. 27 (1), 65-73. doi: <http://dx.doi.org/10.3152/147154300781782147>
- Gordon, M. (1980). A critical reassessment of inferred relations between multiple authorship, scientific collaboration, the production of papers and their acceptance for publication. *Scientometrics*, vol. 2 (3), 193-201. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/BF02016697>
- Granovetter, M. S. (1973). The Strength of Weak Ties. *American Journal of Sociology*, vol. 78 (6), 1360-1380. doi: <http://dx.doi.org/10.1086/225469>
- Granovetter, M. S. (1985). Economic action and social structure: the problem of embeddedness. *American Journal of Sociology*, 91(3), 481-510. doi: <http://dx.doi.org/10.1086/228311>
- Gulati, R. (1998). Alliances and networks. *Strategic Management Journal* (1986-1998), vol. 19 (4), 293-317.
- Gulbrandsen, M.; Smeby, J. C. (2005). Industry funding and university professors' research performance. *Research Policy*, vol. 34 (6), 932-950. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.respol.2005.05.004>
- Hullmann, A. (2006). *The economic development of nanotechnology: An indicators based analysis*. Bruselas; European Commission, DG Research, Unit "Nano S&T - Convergent Science and Technologies", p. 34.
- Islam, N.; Miyazaki, K. (2009). Nanotechnology innovation system: Understanding hidden dynamics of nanoscience fusion trajectories. *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 76 (1), 128-140. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2008.03.021>
- Katz, J. S.; Martin, B. R. (1997). What is research collaboration? *Research Policy*, vol. 26 (1), 1-18. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0048-7333\(96\)00917-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0048-7333(96)00917-1)
- Kuhn, T. S. (1970). *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago; University of Chicago Press, p. 226.
- Latour, B. (1987). *Science in Action. How to follow scientists and engineers through society*. Cambridge; Milton Keynes, Open University Press, p. 274.
- Laudel, G. (2001). Collaboration, creativity and rewards: Why and how scientists collaborate? *International Journal of Technology Management*, vol. 22 (7/8), 762-781. doi: <http://dx.doi.org/10.1504/IJTM.2001.002990>
- McFadyen, M. A.; Cannella Jr., A. A. (2004). Social capital and knowledge creation: Diminishing returns of the number and strength of exchange relationships. *Academy of Management Journal*, vol. 47 (5), 735-746. doi: <http://dx.doi.org/10.2307/20159615>
- McEvily, B.; Zaheer, A. (1999). Bridging ties: A source of firm heterogeneity in competitive capabilities.

- Strategic Management Journal*, vol. 20 (12), 1133-1156. doi: [http://dx.doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0266\(199912\)20:12<1133::AID-SMJ74>3.0.CO;2-7](http://dx.doi.org/10.1002/(SICI)1097-0266(199912)20:12<1133::AID-SMJ74>3.0.CO;2-7) / [http://dx.doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0266\(199912\)20:12<1133::AID-SMJ74>3.3.CO;2-Z](http://dx.doi.org/10.1002/(SICI)1097-0266(199912)20:12<1133::AID-SMJ74>3.3.CO;2-Z)
- Merton, R. K. (1942). The normative structure of science. En: Merton R. K. (editor) *The sociology of science: theoretical and empirical investigations*. University of Chicago Press, Chicago (267-280).
- Meyer, M.; Libaers, D.; Park, J-H. (2011). The emergence of novel science-related fields: Regional or technological patterns? Exploitation in United Kingdom Nanotechnology. *Regional Studies*, vol. 45 (7), 935-959. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/00343401003792468>
- Meyer, M.; Morlacchi, P.; Persson, O.; Archambault, E.; Malsch, I. (2004). *Continuous professional development in emerging technology sectors*. SPRU Report for the Engineering and Technology Board, 1-60. SPRU - University of Sussex.
- Mulkay, M. (1979). *Science and the Sociology of Knowledge*. London; Allen & Unwin, p. 144.
- National Nanotechnology Initiative. (2002). *Small Wonders, Endless Frontiers*. Washington, D.C.; National Academy Press, p. 58.
- Nowotny, H.; Scott, P.; Gibbons, M. (2001). *Re-thinking science. Knowledge and the public in an age of uncertainty*. Cambridge; Polity Press, p. 288.
- Nowotny, H.; Scott, P.; Gibbons, M. (2003). Introduction: 'Mode 2' Revisited: The New Production of Knowledge. *Minerva*, vol. 41 (3), 179-194. doi: <http://dx.doi.org/10.1023/A:1025505528250>
- Ott, I.; Papilloud, C. (2007). Converging Institutions: Shaping Relationships Between Nanotechnologies, Economy, and Society. *Bulletin of Science Technology Society*, vol. 27 (6), 455-466. doi: <http://dx.doi.org/10.1177/0270467607309764>
- Palmborg, C.; Dernis, H.; Miguet, C. (2009). *Nanotechnology: An overview based on indicators and statistics*. STI Working Paper 2009/7. Statistical Analysis of Science, Technology and Industry. Paris; OECD/OCDE, p. 112.
- Polanyi, M. (1966). *The Tacit Dimension*. London; Routledge & Kegan Paul, p. 128.
- Pravdić, N.; Oluić-Vuković, V. (1986). Dual approach to multiple authorship in the study of collaboration/scientific output relationship. *Scientometrics*, vol. 10 (5), 259-280. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/BF02016774>
- Reagans, R.; Zuckerman, E. W. (2001). Networks, diversity, and productivity: The social capital of corporate R&D teams. *Organization Science*, vol. 12 (4), 502-517. doi: <http://dx.doi.org/10.1287/orsc.12.4.502.10637>
- Rigby, J.; Edler, J. (2005). Peering inside research networks: Some observations on the effect of the intensity of collaboration on the variability of research quality. *Research Policy*, vol. 34 (6), 784-794. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.respol.2005.02.004>
- Salerno, M.; Landoni, P.; Verganti, R. (2008). Designing foresight studies for nanoscience and nanotechnology (NST) future developments. *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 75 (8), 1202-1223. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2007.11.011>
- Shannon, C. E.; Weaver W. (1959). *The Mathematical Theory of Communication* [1949]. Urbana, IL.; University of Illinois Press, p. 144.
- Smeby, J.C.; Try, S. (2005) Departmental contexts and faculty research activity in Norway. *Research in Higher Education*, vol. 46 (6), 593-619. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s11162-004-4136-2>
- Stix, G. (2001). Little Big Science. *Scientific American*, vol. 285 (3), 32-37. doi: <http://dx.doi.org/10.1038/scientificamerican0901-32> <http://dx.doi.org/10.1038/scientificamerican0401-32>
- Subramanyam, K. (1983). Bibliometric studies of research collaboration: A review. *Journal of Information Science*, vol. 6(1), 33-38. doi: <http://dx.doi.org/10.1177/016555158300600105>
- Uzzi, B. (1997). Social structure and competition in interfirm networks: The paradox of embeddedness. *Administrative Science Quarterly*, vol. 42 (1), 35-67. doi: <http://dx.doi.org/10.2307/2393808>
- Villanueva-Felez, A. (2011). *El acceso a recursos desde una perspectiva relacional: Un análisis contingente de las características de los vínculos sociales*. Tesis Doctoral. Valencia: Universidad de Valencia.
- Villanueva-Felez, A.; Molas-Gallart, J.; Escribá Esteve, A. (2013). Measuring personal networks and their relationship with scientific production. *Minerva*, vol. 51 (4), 465-483. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s11024-013-9239-5>