CENTRALIDAD Y COHESIÓN EN LAS REDES DE COLABORACIÓN EMPRESARIAL EN LA I+D SUBSIDIADA

Luis SANZ MENÉNDEZ
José Remo FERNÁNDEZ CARRO
Clara Eugenia GARCÍA (*)

I. INTRODUCCIÓN

La innovación tecnológica se presenta como un proceso clave que determina las oportunidades de crecimiento económico de empresas, regiones y países. Por otra parte, desde hace años se viene señalando la importancia de aspectos colectivos y/o sistémicos en la producción de nuevos conocimientos. Por ejemplo, se insiste en la relevancia de las *externalidades* (Geroski, 1995; Mohnen, 1996) o de las estructuras institucionales —*sistemas de innovación*— que condicionan, limitan o potencian, las posibilidades de innovación (Freeman, 1987; Lundvall, 1992; Nelson 1993; Edquist, 1997). Así, la innovación tecnológica aparece como el resultado de las interacciones entre los actores del sistema, incluyendo las relaciones entre empresas y las que éstas mantienen con otros actores públicos y privados.

La idea de que la innovación tecnológica se produce en el seno de redes o sistemas de relaciones interorganizativas se encuentra ampliamente difundida; y un sistema eficiente de innovación sería el que contase con buenas capacidades de distribución y absorción de la información y conocimiento tecnológicos (David y Foray, 1995). Este enfoque sistémico ha servido, además, para llamar la atención no sólo sobre la relevancia creciente de la colaboración en la I+D, sino sobre las características de las redes que emergen como resultado de esta cooperación (Hagedoorn, 1990; Freeman, 1991), y que pueden adoptar formas diversas, incluyendo acuerdos de cooperación, cesión de licencias, intercambio tecnológico, relaciones con clientes o suministradores, etcétera.

Por otra parte, las ventajas de las redes de cooperación interorganizativa en el ámbito de la I+D guardan una relación muy estrecha con las características de la innovación y los conocimientos producidos. En este sentido, es necesario considerar cuáles son algunas de estas características para poder comprender mejor el significado de las formas de medición de la colaboración en la I+D que se desarrollan y analizan en este trabajo. En primer lugar, es necesario destacar que la innovación es un proceso de interacción y producción de conocimientos que, por sus propias características, no son perfectamente apropiables. Estas dificultades en la apropiación del conocimiento se traducen en la existencia de importantes externalidades de carácter positivo, cuyos beneficios se capitalizan mejor si los agentes están organizados, o sus relaciones están estructuradas o semi-estructuradas, que es la idea que subyace al fomento de la investigación cooperativa. Además, partiendo de esta consideración de carácter general, el análisis y medición de las redes sociales de cooperación cobra especial relevancia, ya que permite observar el comportamiento de distintos agentes en función de su posición relativa en cada una de las redes, componentes o *cliqués* en los que participa.

Desde la perspectiva empresarial, las actividades de I+D aparecen como una componente significativa, aunque no la única, del desarrollo de su potencial tecnológico y de innovación. Las actividades de I+D en la empresa tienen un carácter dual: *a)* son la fuente de producción de nuevos conocimientos y *b)* determinan el desarrollo de las denominadas capacidades de absorción del conocimiento producido por otros actores del sistema (Cohen y Levinthal, 1989).

El fomento de la I+D cooperativa se ha convertido en un tema central de las políticas científicas y tecnológicas. Este creciente interés responde, básicamente, a dos razones. En primer lugar, al intento por mejorar la eficiencia del sistema de ciencia y tecnología en su conjunto, de tal manera que el fomento de redes interorganizativas facilita la distribución de conocimientos e innovación, e incrementa las capacidades de absorción de los distintos agentes. Y, en segundo lugar, a que la promoción de la cooperación en materia de I+D tiene para los gobiernos una relación coste/beneficio muy favorable.

Los gobiernos, hoy en día, no se preocupan tanto por incentivar las inversiones individuales en materia de I+D como, sobre todo, por mejorar la eficiencia del conjunto del sistema ciencia-tecnología-industria. De hecho, una nueva generación de instrumentos de política se ha desarrollado con el objeto de «solventar los fa-

llos sistémicos» (Malerba, 1996; Smith, 1997) en lugar de concentrar la acción de los gobiernos en incentivar la investigación con el objetivo de solucionar los tradicionales fallos del mercado. Con esta nueva fundamentación, los gobiernos se convierten en facilitadores o coordinadores (Schienstock, 1994) y, en este contexto, el énfasis en la colaboración en la I+D es parte de las estrategias para facilitar que empresas e instituciones implicadas en la innovación puedan coordinar sus actividades. Podría decirse que existe un nuevo consenso sobre la relevancia de la colaboración en la I+D para las políticas tecnológicas (EC, 1995; OECD, 1996 y 1997) y que esto es debido a que las redes son el ámbito en el que se generan, intercambian y utilizan los conocimientos que conducen a la innovación. La creciente relevancia, en el contexto europeo, de los instrumentos de política tecnológica y de innovación basados en la colaboración, tales como el Programa Marco de I+D o EUREKA (1), son ejemplos prácticos de las nuevas estrategias basadas en la colaboración entre empresas, o entre éstas y centros académicos de investigación.

Si suponemos que la cooperación en el desarrollo de un proyecto de investigación y desarrollo tecnológico promueve la formación de redes interorganizativas, el sistema de innovación, así como de producción y utilización del conocimiento, es susceptible de estudiarse en términos de redes sociales. Aquí no se estudian los patrones o comportamientos cooperativos de los agentes, sino cómo determinados programas europeos de I+D han contribuido a generar estructuras distintas y, por tanto, cómo la diversidad en las redes podría asociarse a diferencias más o menos significativas en la eficiencia de estos programas de investigación. Es importante señalar que este trabajo permite describir los programas y sus efectos sin que ello signifique que sea posible extrapolar estas características a otro tipo de efectos *ex post* que, en el ámbito concreto de las empresas, hayan tenido lugar como resultado de la cooperación interorganizativa.

Este artículo pretende analizar las formas en que esas organizaciones se conectan para determinar la estructura general de la red, sus grupos y la posición de las organizaciones singulares en la misma, de modo que se profundice en las estructuras sociales que subyacen a los flujos de conocimiento e información. La idea fundamental que sustenta la argumentación es que las interacciones entre organizaciones, además de reflejar la estructura que subyace a los flujos de conocimiento y comunicación, podrían tener impacto relevante en el comportamiento de los actores de la innovación, como resultado de los procesos de aprendizaje que se desarrollan en el marco de esas estructuras.

Hoy se reconoce que las redes, o las interacciones entre los actores, son decisivas para la innovación; sin embargo, la medición y descripción de las propiedades y de los efectos de estas redes se encuentra aún poco desarrollada. Es precisamente en este terreno donde se sitúa este trabajo, que se centrará en el análisis de la colaboración interorganizativa en la I+D, especialmente la que surge a través de proyectos de investigación subsidiados de naturaleza pre-competitiva, en el marco de los programas de I+D de la Comunidad Europea (2), que se iniciaron entre 1990 y 1996. El objeto específico de este trabajo es el estudio de las redes interorganizativas dedicadas al desarrollo y/o ejecución de la investigación y, más específicamente, de la investigación subvencionada. Las preguntas que nos planteamos al abordar este análisis en términos de las redes que emergen en el desarrollo conjunto de proyectos de investigación europeos son las siguientes: ¿Cuál es la posición de los actores en la red?, ¿cuáles son los grupos que pueden identificarse?, ¿cómo evoluciona la red?

Para dar cuenta de las estructuras que emergen de la colaboración, este trabajo utiliza métodos relacionales, en concreto el denominado análisis estructural y de redes —*network analysis* (3)—, que tiene su fundamento en la teoría de grafos, y que se ha desarrollado como herramienta de medición en los últimos decenios, fundamentalmente, en sociología y en el estudio de las formas organizativas (4). Esta herramienta tiene la ventaja de que permite analizar el problema, de forma operativa, desde distintas perspectivas o enfoques disciplinares (DeBresson y Amesse, 1991). Por otro lado, el uso de este método, aunque se ha aplicado al estudio de otras estructuras relacionales, no se ha generalizado en el análisis de las redes que emergen de la colaboración en la I+D y, mucho menos, con datos españoles.

Así expuestos, los objetivos de este trabajo son modestos; se trata de hacer una primera aproximación descriptiva al estudio de las redes que emergen como resultado de la cooperación de empresas españolas en el marco de proyectos europeos de investigación. Este trabajo pretende demostrar la utilidad de una metodología —el análisis estructural y de redes— aplicada a la comprensión y caracterización de la cooperación subsidiada en I+D, y que en España se viene

analizando a través de indicadores simples y con herramientas tradicionales, tales como el número de proyectos totales, la razón de proyectos con participación española, el número de coordinadores o la proporción de retorno en términos financieros para España (véase CDTI, 1998; CICYT, 1998).

La relativa novedad de la aplicación del análisis de redes sociales a la colaboración en I+D, así como la dificultad terminológica inevitablemente ligada al mismo, nos llevan a explicar de forma más detallada cómo se construyen estas redes o grafos, así como algunos conceptos necesarios para su comprensión, todo ello antes de presentar las aplicaciones y resultados del análisis de redes sociales utilizando la información procedente de la cooperación en distintos programas europeos de I+D.

II. LOS PROGRAMAS DE I+D COMO CONSTRUCTORES DE REDES

El análisis de redes permite describir las estructuras relacionales que surgen cuando diferentes organizaciones colaboran en diversos acuerdos bilaterales o multilaterales, de modo que tal estructura se traduce en la existencia de una red social. Las redes sociales son conjuntos de relaciones sociales o interpersonales que ligan individuos u organizaciones en «grupos». Desde los primeros trabajos de Barnes (1954) y Bott (1957) intentado describir las estructuras sociales en términos de redes, enlazando con las tradiciones de la sociometría, el concepto de red ha devenido familiar en las ciencias sociales, especialmente en la sociología (5).

Las redes son mecanismos de comunicación, de transmisión de información y de aprendizaje. El estudio sobre los *colegios invisibles* (Crane, 1972) fue uno de los primeros trabajos que utilizó la idea de las redes de comunicación entre científicos como forma de explicar el crecimiento del conocimiento científico. Desde entonces, el fenómeno de las redes de colaboración se ha aplicado al estudio de la ciencia, la tecnología o la innovación desde diversas perspectivas (6). Sin embargo, existe una gran diversidad en los conceptos de red utilizados y, especialmente, en su operacionalización y medición.

En la aplicación de redes a la cooperación empresarial en I+D existen precedentes como los desarrollos de la escuela de Uppsala; así Hakansson (1989) ha desarrollado un esquema analítico en el cual las redes están constituidas por los actores, los recursos y actividades que desarrollan. Sin embargo, el más claro y significativo impulso empírico ha venido de la mano de la explotación de la base de datos CATI creada en MERIT (7), aplicada fundamentalmente al estudio de las *joint ventures* y alianzas tecnológicas. Algunos de los resultados de estos análisis se encuentran en Hagedoorn y Schakenraad (1990), dónde revisan los tipos de acuerdos cooperativos entre empresas en diversas áreas tecnológicas; en Hagedoorn y Schakenraad (1992), dedicado al análisis de la densidad y estabilidad de las redes en tecnologías de la información; o, más recientemente, en Hagedoorn (1995).

El método también se ha aplicado específicamente al estudio de las redes de colaboración que surgen de proyectos conjuntos de investigación entre países (Cabo y Bijmolt, 1992; Cabo, 1997), y ha quedado canonizado en el *Informe europeo de indicadores de ciencia y tecnología* (EC, 1997a). Sin embargo, el objeto específico de este trabajo es el estudio de las redes interorganizativas dedicadas al desarrollo y/o ejecución de la investigación subvencionada y pre-competitiva. Por tanto, las relaciones que se van a analizar no se refieren a países, sino a empresas y centros de investigación.

Las herramientas que tradicionalmente se han utilizado en los análisis bibliométricos han sido las derivadas de la «co-ocurrencia», mientras que en el análisis de la colaboración interempresarial dominan las técnicas de análisis de conglomerados (*clusters*) y las de escalado multidimensional (MDS). La contribución de este artículo, utilizando las herramientas del análisis estructural y de redes, queda reflejada en los siguientes aspectos: *a)* el análisis de los actores y sus posiciones como resultado de la interacción y, especialmente, la identificación de las posiciones de poder que los actores ocupan en la red informativa (para lo que se mide la centralidad de los actores), y *b)* la caracterización del grado de cohesión y de integración de la red (por lo que se estudian los componentes, la densidad y la centralización de las redes). Finalmente, este análisis incluye la demostración de que es viable el desarrollo de mediciones sistemáticas de las variables que caracterizan a las redes que emergen de la colaboración en la investigación, y que tales medidas permiten la comparación entre programas de investigación y países.

El análisis de redes nos permite identificar las estructuras que emergen en torno a la actividad de colaboración en la investigación subvencionada por los programas marco de I+D. Estas estructuras sociales están

formadas por empresas y organizaciones de investigación (universidades, instituciones de investigación, etc.) que colaboran en un conjunto de proyectos, y cuyo alcance y definición de tareas están acotados por los objetivos de un programa específico de investigación. Este tipo concreto de redes se conocen como *redes de afiliación* (Wasserman y Faust 1994), redes de pertenencia o redes de implicación conjunta; la afiliación representa la asociación de un conjunto de actores con un conjunto de acontecimientos. En nuestro caso, un vínculo o una red se forma cuando dos o más organizaciones trabajan conjuntamente en el marco de un determinado proyecto. Este descriptor ofrece varias ventajas; la primera, y más destacada, es la que permite entender cómo el vínculo o vínculos interorganizativos aumentan a medida que se incrementa el número de proyectos conjuntos, así como en relación a otras características tales como la duración o el volumen de recursos implicados.

III. LA CONSTRUCCIÓN DEL GRAFO DE LA COLABORACIÓN EN LA I+D

Como se ha señalado con anterioridad, el análisis estructural y de redes se fundamenta, de modo práctico, en la creación y desarrollo de la matriz de relaciones y en la construcción del *grafo*. En este trabajo se ha construido un grafo que corresponde a los actores participantes en los proyectos de investigación desarrollados en los programas marco de I+D de la Comunidad Europea, que se podrían caracterizar como investigación «pre-competitiva». Este grafo describe las relaciones de cooperación para la investigación de empresas españolas con otras empresas españolas y de otros países europeos, centros de investigación y universidades surgidas en proyectos de investigación al amparo de programas de investigación de los programas marco de I+D, Los datos correspondientes a proyectos y participantes se obtuvieron de la base de datos CORDIS (EC, 1997b), que fue creada como mecanismo de información y difusión de datos de los proyectos de I+D financiados por la Unión Europea.

En el proceso de selección y construcción de los datos se han seguido los siguientes pasos: En primer lugar se identificaron los proyectos cuya fecha de inicio es posterior a 1 de enero de 1990. Dada la fecha en la que se realizó la extracción de datos, se incluyen proyectos contratados hasta septiembre de 1996 en el Programa Marco de I+D. Esto significa que se han incluido proyectos financiados por diversos programas de I+D incluidos en los programas marco II (1987-1991), III (1990-1994) y IV (1994-1998). Bien es verdad que, por el período seleccionado, los correspondientes al III Programa Marco están completos, aunque no los correspondientes al IV Programa, por lo que aquellos representan la parte más importante del grafo.

En segundo lugar, se procedió a seleccionar, del conjunto total, aquellos proyectos que cumplían la condición de tener, al menos, un participante español siempre que este fuese empresa, centro tecnológico empresarial o asociación de investigación. De este modo, se excluyeron los proyectos que no incluían socios españoles o aquellos en los que únicamente estaban representados por universidades o centros públicos de I+D.

Así pues, para definir el grafo se tomó como *actores* a los participantes en proyectos de investigación subsidiada dentro de los programas marco de I+D y que cumplían las condiciones señaladas.

Para hacer viable el tratamiento, se realizó un proceso manual de corrección de los datos originales y de homogeneización de los nombres y acrónimos, tanto españoles como foráneos, aunque en este último caso, y para facilitar el trabajo, se decidió agregar todas las instituciones educativas de cada país distinto de España en una única etiqueta. Este conjunto de instituciones universitarias aparecerá con una posición resaltada artificialmente, aunque sin modificar el análisis de las posiciones y relaciones de los actores españoles, así como de las empresas extranjeras.

El criterio elegido para tender las líneas o aristas entre actores es la colaboración de éstos en un proyecto de I+D, esto es, su afiliación a la red a través de ese proyecto. Por tanto, el grafo consiste en los nodos y las líneas, así como en otra información sobre actores o proyectos. Además, en este caso el grafo resultante es multigrafo, dado que dos actores pueden estar unidos por diferentes líneas derivadas de su adscripción a diferentes proyectos.

Para aumentar la visibilidad de la posición de los socios españoles en la red y para facilitar los cálculos (8), se ha optado por considerar exclusivamente los lazos de los actores españoles con el resto de los socios en cada proyecto, ya fuesen estos españoles o extranjeros, excluyendo del grafo los lazos o aristas de los socios extranjeros entre sí. Este procedimiento permite reducir artificialmente el número de lazos,

aunque introduce un sesgo en la construcción y medida de las redes; si bien la opción es discutible en términos metodológicos, ya que cambia las medidas de centralidad de los actores, no altera ni el orden ni la jerarquía de la posición relativa de los actores españoles entre sí. Esta decisión es justificable en la medida en que permite ver con mayor claridad la posición de los actores españoles, siendo éstos el objetivo de nuestro trabajo.

El criterio elegido para tender las líneas o aristas entre actores es su colaboración en un proyecto de I+D, esto es, su afiliación a la red a través de ese proyecto. Por tanto, el grafo consiste en los nodos y las líneas, así como en otra información sobre actores o proyectos; además, en este caso el grafo resultante es multigrafo, dado que dos actores pueden estar unidos por diferentes líneas derivadas de su adscripción a diferentes proyectos.

IV. LA COLABORACIÓN EMPRESARIAL A TRAVÉS DEL PROGRAMA MARCO DE I+D

Los programas de I+D de la Unión Europea tienen definidos sus objetivos y su razón de ser en los diferentes tratados que establece la Comunidad Europea. Aunque el lanzamiento de las acciones en materia de I+D se produjo a mediados de los setenta y a principios de los ochenta, cuando se aprobó el programa ESPRIT, la puesta en marcha de una estructura de programas plurianuales data de 1984, con la aprobación del Primer Programa Marco de I+D (1984-1987). Sin embargo, no es hasta el Acta Única Europea, que entra en vigor en 1987, cuando la acción de la Comunidad Europea en este campo pasa a formar parte de los contenidos legales de los tratados.

Desde ese momento, los objetivos de la política comunitaria de I+D son: «fortalecer las bases científicas y tecnológicas de la industria europea y favorecer el desarrollo de su competitividad internacional» y «estimular a las empresas, incluyendo a las pequeñas y medianas empresas, centros de investigación y universidades, en sus esfuerzos de investigación y de desarrollo tecnológico, y apoyar sus esfuerzos de cooperación» (artículo 130 F. —nuevo artículo 166 de los tratados refundidos, tras la entrada en vigor del Tratado de Amsterdam). Desde sus orígenes, la política tecnológica ha adoptado una forma cooperativa debido a la exigencia de que en los proyectos hubiera actores de diferentes países, por lo que en la práctica se ha fomentado la cooperación internacional de las empresas entre sí y con otros actores del sistema de innovación.

Los programas marco han transferido en los últimos años una notable cantidad de recursos y han apoyado muchos proyectos de investigación en Europa, con participación de numerosas empresas y centros de investigación. El Segundo Programa Marco (1987-1991) se puso en marcha una vez que España pasó a formar parte de la Comunidad Europea, y se dotó de unos recursos de 5.396 millones de ecus, mientras que el Tercer Programa Marco de I+D (1990-1994) aportó a la I+D europea 6.660 millones de ecus, y el Cuarto Programa Marco de I+D (1994-1998), un total de 12.300 Mecus (véanse EC, 1997a; Peterson y Sharp, 1998).

Hay que recordar que la política tecnológica europea ha sido de apoyo a la oferta de nuevas tecnologías, por lo que el mayor peso, en términos de recursos financieros movilizados, ha estado en las áreas de tecnologías de la información, telecomunicaciones y tecnologías industriales o de la producción, especialmente asociadas a nuevos materiales y a la aeronáutica. Siguiendo este patrón, los programas más importantes dentro del Programa Marco han sido ESPRIT y BRITE/EURAM, que además han mantenido su nombre a lo largo de diversas ediciones de los programa marco, así como los distintos programas en el campo de las tecnologías de la comunicación, entre los que se incluyen RACE, ACTS y TELEMATICS, o finalmente los programas de energía JOULE/THERMIE, que aunque han perdido peso en los últimos años estaban en el origen de la política comunitaria de I+D.

Así pues, el Programa Marco de I+D no es una estructura homogénea que financie todo tipo de actividades tecnológicas, e incluso las áreas seleccionadas como prioritarias reciben en términos de recursos una atención claramente diferenciada. Así, por ejemplo, nunca los programas marco de I+D prestaron apoyo a las actividades específicas incluidas en el campo de la química. Del mismo modo, en el conjunto variopinto de actividades consideradas como prioritarias para la promoción de la competitividad de la industria europea, los esfuerzos aplicados a la potenciación de la actividad investigadora en tecnologías de la información y de las comunicaciones o la aeronáutica han sido muy distintos de los realizados para promover la investigación, por ejemplo, en el campo pesquero. De este modo, en condiciones de igualdad de tamaño, las empresas que pertenecen a sectores que podríamos denominar de nuevas tecnologías han tenido

mayores oportunidades de participar en proyectos de investigación apoyados por los programas marco de I+D que las empresas de otros sectores.

Esta situación hace necesario profundizar y definir los subgrafos pertenecientes a los programas específicos de I+D más importantes. Para este análisis detallado se han elegido los diez subgrafos de mayor tamaño dentro del Programa Marco, y que incluyen diversos programas del III y IV Programa Marco de I+D, así como distintas áreas tecnológicas. Este análisis permite identificar actores y redes que han jugado un papel significativo en cada área tecnológica, de manera tal que el grupo de actores afiliados y de relaciones presentan mayores niveles de coherencia y facilitan la comprensión de la red que emerge de la cooperación en la investigación pre-competitiva. Al mismo tiempo este análisis contribuye a diferenciar los efectos que cada uno de los programas tiene en el grafo del conjunto del Programa Marco, donde podremos observar el mayor peso de las redes creadas al amparo de las líneas prioritarias de mayor impacto, como los de tecnologías de la información y telecomunicaciones, nuevos materiales y aeronáutica (Dumont *et alii*, 1999).

Los mayores programas de investigación han sido seleccionados por el número de *líneas* y de *actores*. Los datos generales se recogen en el cuadro n.º 1, en el que también se han incluido los valores correspondientes al número de proyectos de investigación considerados en la generación de la red, y a la media de socios por proyecto. La inclusión de estos dos valores está justificada por su relevancia en el cálculo de la cohesión general de la red y sus efectos sobre la estimación de las medidas de centralidad de los actores. El grado de centralidad de un actor en el conjunto de la red representa el número total de líneas o vínculos que le unen con otros actores, y en el caso de criterios de afiliación, como son los proyectos, depende del número de participaciones de la empresa en proyectos de investigación, así como del tamaño de cada proyecto según el número de socios; esto equivale a considerar que para dos actores con el mismo número de participaciones en proyectos, en el mismo grafo, su grado de centralidad aumentará en función del tamaño de los proyectos en los que participen.

El número total de proyectos (afiliaciones) con participación española computados en estos subconjuntos analizados son 579, en los que hay participación de al menos un socio empresarial o centro tecnológico/asociación de investigación. Las principales áreas tecnológicas en que se encuentran los programas que sirven como marco a la creación de redes de colaboración tecnológicas son las de tecnologías de comunicación y aplicaciones telemáticas (3 programas al menos), tecnologías avanzadas de materiales y de la fabricación (2 programas), tecnologías de la información (2 programas al menos), energías no convencionales (1 programa) y agricultura (1 programa). En definitiva, en el grafo del Programa Marco de I+D hay 2.808 actores y un total de 10.568 líneas o pares de relaciones.

Cuando los datos lo han permitido, y existe continuidad directa en la denominación del programa específico —aunque haya cambiado la definición de sus contenidos—, se ha generado el grafo correspondiente al conjunto del programa específico a lo largo del III y IV programas marco. Este análisis combinado se ha llevado a cabo para los programas más grandes y clásicos: ESPRIT y BRITE/EURAM (9). Por último, es necesario mencionar que en el campo tecnológico de las energías no convencionales el análisis se realiza de forma conjunta con el objeto de que el grafo alcance un tamaño significativo, de modo que el programa que hemos denominado JOULE/THERMIE corresponde a proyectos desarrollados dentro del III y IV programas marco de I+D.

Excepto para los casos mencionados de ESPRIT y de BRITE/EURAM (con 695 y 687 actores respectivamente), los programas escogidos son bastante semejantes por su número de actores —entre 202 el menor y 275 el mayor—, lo que puede facilitar la comparación entre ellos en aspectos relativos tanto a fortaleza, coherencia y centralización del conjunto del grafo como a los aspectos relativos a la centralidad de los actores particulares.

Los grafos seleccionados se refieren a los programas específicos de I+D más importantes en términos de participación y retornos financieros para empresas y actores de la investigación españoles. Por ejemplo, con datos referidos solamente a los programas correspondientes al IV Programa Marco de I+D, 1994-1998, los participantes españoles en el programa ESPRIT obtuvieron subvenciones de más de 20.000 millones de pesetas; mientras que las cifras para otros programas eran de 15.700 millones dentro de BRITE/EURAM, 8.000 millones para los participantes en TELEMATICS, o 5.500 millones para los participantes en ACTS (CDTI, 1998) (10).

Establecidas las características de los programas europeos de I+D que han servido para la construcción de los grafos, a

CUADRO N.º 1

SELECCIÓN DE SUBGRAFOS CORRESPONDIENTES A PROGRAMAS ESPECÍFICOS DE INVESTIGACIÓN EN LOS III Y IV PROGRAMAS MARCO DE I+D

Acrónimo	*Programa*	*Área Tecnológica*	*P M*	*Número proyectos*	*Socio medios/proy.*	*Actores*	*Líneas*
Air	agriculture and agro-industrial research	tecnologías agrícolas	3	39	10,5	259	878
Joule/Thermie	joint opportunities for unconventional or long-term energy supply	energías no convencionales	3 y 4	48	7,7	202	617
Race	research in advance communications technologies in Europe	tecnologías de la comunicación	3	32	14,8	204	904
Esprit 3 y 4 (*)	european strategic programme for research in information technology	tecnologías de la información	3 y 4	175	7,6	695	2.099
Esprit 3	european strategic programme for research in information technology	tecnologías de la información	3	102	8,8	466	586
Esprit 4	european strategic programme for research in information technology	tecnologías de la información	4	73	6,0	334	1.513
Telematics	telematics applications	servicios avanzados de comunicación y redes telemáticas	4	50	6,8	275	433
Acts	advanced communication technologies and services	telecomunicaciones	4	39	12,2	257	840
Craft.....	cooperative research action for technology	cooperación tecnológica para PYME	3	52	5,5	264	789
Brite-Euram (*).....	basic research in industrial technology for europe / european research in advanced materials	tecnología de materiales y de la fabricación	3 y 4	144	8,0	687	1.564
Brite Euram 2 ..	basic research in industrial technology for europe / european research in advanced materials	tecnología de materiales y de la fabricación	3	94	7,2	484	880
Brite Euram 3 ..	basic research in industrial technology for europe / european research in advanced materials	tecnología de materiales y de la fabricación	4	50	9,3	283	684

(*) Este programa se divide a continuación en las porciones correspondientes a los III y IV programas marco; el número de líneas de aquel se corresponde con la suma de estos, pero no necesariamente el número de actores.

continuación se explica el camino a recorrer para aplicar el análisis de redes a estos grafos. ¿Cuáles son los conceptos y herramientas que tenemos para pensar las características generales de la red, la posición de las organizaciones y las características de sus relaciones? En el análisis estructural y de redes sociales, el valor de una variable para un determinado actor depende de su relación con otros actores de la red a la que pertenece. Si lo que se estudia es colaboración interorganizativa en la investigación y desarrollo tecnológicos, este tipo de procedimientos analíticos parece particularmente útil (11).

Tradicionalmente, se distinguen dos aspectos en el esfuerzo por medir la estructura y organización de las redes. Primero, el análisis de la estructura general de la red y el nivel de integración que caracteriza a ésta, para lo que se identifican sus componentes y se analiza la densidad y la cohesión del conjunto de la red o de sus componentes. Segundo, el estudio de la posición que cada uno de los actores ocupa en el conjunto de la red, lo que se hace habitualmente a través del

análisis de la centralidad de los actores participantes en la misma. Las medidas de una red asociadas al estudio de la centralidad y cohesión tienen en cuenta, en lo fundamental: el número de organizaciones ligadas, el grado de exclusividad de los lazos y la posición de las organizaciones en el conjunto.

1. Los componentes: densidad y coherencia de las redes

El primer paso en el análisis de la estructura de la red es el estudio de sus componentes, así como de su cohesión, ya que se trata de conocer las propiedades de la estructura social completa representada por el grafo. Por ello, se estudian los *componentes* de cada *grafo,* es decir, las partes o subconjuntos de ese grafo que no tienen relaciones entre sí. Esta identificación de los componentes nos indica el grado de homogeneidad del conjunto estudiado, su cohesión e integración.

La medida más simple de la cohesión de la red es la densidad (12) del grafo, o de sus componentes, y se obtiene como la razón entre las líneas efectivas del grafo y el máximo número de líneas posible, siendo ésta función del número de puntos. Esta densidad, que se suele expresar en porcentaje (13), permite comparar los conjuntos entre sí, aunque con cierta precaución, dado que es una medida sensible al tamaño del grafo, por lo que conviene normalizar su valor.

La densidad como medida general depende de otros dos parámetros de la estructura de la red: la inclusividad del grafo, esto es, de si todos los puntos están conectados y de la suma de grados de sus puntos, o sea, del número de conexiones de cada punto con todos los demás. Por tanto, a igual número de líneas y actores, la densidad promedio aumentará con el número de componentes. Además, empíricamente, a mayor tamaño del grafo o del componente, en términos del número de actores, disminuye la probabilidad de obtener densidades elevadas.

Respecto a las características de los subgrafos elaborados, lo primero que llama la atención son los valores relativamente bajos de la densidad, lo que en el contexto de las afiliaciones establecidas por los proyectos de investigación subvencionados por los programas específicos del Programa Marco de I+D, indica un nivel general de conexión débil entre los diversos puntos que forman los grafos.

Aparentemente, el grafo más denso es el formado por el programa de telecomunicaciones del III Programa Marco (RACE) con un 4,4 por 100, mientras que el programa de menor densidad es BRITE/EURAM 2 (III Programa Marco) con un 0,8 por 100 (14) —ver cuadro n.º 2.

Igualmente, al analizar conjuntamente los programas BRITE/EURAM y ESPRIT del III y IV programas marco, la red resultante es significativamente menos densa que cualquiera de las

CUADRO N.º 2

CARACTERIZACIÓN GENERAL DE LOS SUBGRAFOS DE LOS DISTINTOS PROGRAMAS DE I+D Y ANÁLISIS DE COMPONENTES

PM	Programas de I+D	Actores	Líneas	Densidad promedio (%) (Gradap)	Densidad (%)	Número de componentes	COMPONENTE MAYOR			
							Actores	Líneas	Densidad (%)	Porcentaje de actores que incluye
3	air	259	878	2,2	2,6	2	256	725	2,22	99
3 y 4	joule	202	617	2,6	3,0	2	198	514	2,64	98
3	race	204	904	2,5	4,4	2	199	522	2,65	98
3 y 4	esprit	695	2.099	0,7	0,9	5	681	1.727	0,75	98
3	esprit 3	466	1.513	1,1	1,4	4	456	1.203	1,16	98
4	esprit 4	334	586	1,0	1,1	10	290	523	1,25	87
4	telematics	275	433	1,1	1,1	8	232	350	1,31	84
4	acts	257	840	2,0	2,6	1	257	672	2,04	100
3	craft	264	789	2,2	2,3	32	43	90	9,97	16
3 y 4	brite/euram	687	1.564	0,6	0,7	6	664	1.367	0,62	98
3	brite/euram 2	484	880	0,7	0,8	6	461	823	0,78	95
4	brite/euram 3	283	684	1,5	1,7	2	276	575	1,52	98

dos por separado, confirmando que cuando se incrementa el número de actores generalmente disminuye la densidad de la red.

De acuerdo con los datos obtenidos, la densidad no está asociada, con claridad, al área tecnológica específica de cada programa; las diferencias en el valor absoluto y de promedio son escasas, aunque se observa que los valores mayores corresponden a los programas de telecomunicaciones. Sin embargo, la poca densidad relativa de los programas ESPRIT y BRITE/EURAM se debe a su mayor tamaño, dado que los actores participantes tienen dificultades para estar en comunicación con todo el resto de la red debido a su número.

El análisis de componentes de los subgrafos correspondientes a los diversos programas específicos de investigación contemplados se incluye también en el cuadro n.º 2, y nos permite, como se ha señalado anteriormente, analizar cómo se agrupan y conectan los actores. En términos generales los programas específicos de investigación analizados se fragmentan de acuerdo con su tamaño y, además, en la mayoría de los programas casi todos los actores y relaciones se encuentran incluidas en un componente principal, que suele agrupar a más del 95 por 100 del conjunto de los participantes.

Existen dos claras excepciones en esta caracterización general. Por una parte, el programa ACTS de tecnologías de la comunicación, que tiene solamente un componente, por lo que todos los actores sin excepción incluidos en el grafo se encuentran interconectados. Y por otro lado, el programa CRAFT, que destaca por su extrema fragmentación (32 componentes) y por su naturaleza, ya que es un programa que podría definirse como de difusión tecnológica, porque se centra en la ayuda a pequeñas empresas para desarrollar proyectos de I+D. No obstante, este programa es, respecto a su tamaño, comparable con otros programas analizados, por número de actores o de líneas, pero su especificidad viene del hecho de ser un programa de entrada en la actividad de I+D cooperativa para pequeñas y medianas empresas, por lo que la mayoría de las participaciones son únicas. Un hecho que redunda en la menor densidad general y, especialmente, en la mayor fragmentación de la red es que el programa CRAFT tenía el menor número medio de socios por proyecto de todos los programas, lo que contribuye a reducir el número potencial de caminos que unen a los actores entre sí de modo indirecto. Por último, es un programa que no tiene demasiada especificidad en lo que se refiere a la naturaleza de las tecnologías o sector de aplicación, lo que aumenta la diversidad interna y la heterogeneidad entre sus participantes. Sus componentes mayores contienen sólo el 16 por 100, 14 por 100 y 8 por 100 de los actores, y para sumar el 90 por 100 de los actores del grafo se tienen que contabilizar los veinte componentes mayores, lo que demuestra su extremada fragmentación.

Todas estas observaciones nos llevan a concluir que en la mayoría de los programas existe un núcleo amplio de actores que se encuentran conectados entre sí y que, en general, pocos actores se quedan fuera de esta conexión a través de los caminos indirectos de la red, lo que hace suponer la existencia de estructuras sólidas capaces de canalizar los flujos de información.

Por último, para concluir la caracterización de las redes de cada uno de los programas específicos de investigación, se procede al cálculo de tres medidas de cohesión del conjunto del grafo, basadas en la adyacencia de los puntos, que son complementarias de la densidad. Al igual que la densidad, se refieren a si el grafo en su conjunto es muy compacto, pero, mientras la densidad define el nivel general de cohesión del grafo, las medidas diversas de centralización describen hasta qué punto la cohesión está organizada en torno a puntos focales particulares; en definitiva, estas medidas nos ayudan a determinar si el grafo en su conjunto tiene un estructura cohesiva o polarizada. Las medidas de cohesión se explican a continuación. En primer lugar, la unipolaridad (15), que indica el valor del grado del actor más central en relación con el máximo de centralidad posible que podría tener ese actor (n-1). Así pues, si un actor juega un papel decisivo en las conexiones con los otros y lo hace directamente, la unipolaridad aumenta, representando, por tanto, el mayor *grado* efectivo de entre los actores de la red. La segunda medida es la de integración (16) del grafo y corresponde a la suma del grado de todos los actores de un grafo. De modo estándar, sería la razón entre suma efectiva de los grados de todos y cada uno de los actores (la suma de las líneas por las que cada uno está unido con el resto de los actores) y el valor máximo de la suma de los grados posibles. Por último, la centralización (17) es la suma de las diferencias del grado de todos los puntos con el valor de unipolaridad. El procedimiento estándar para medir la centralización del grafo incluye las diferencias entre la medida de centralidad del punto o actor más central y las de los demás puntos, siendo el resultado un valor que se utiliza como una medida de dispersión en la red. La

centralización estandarizada será la razón entre la suma de hecho de las diferencias y la máxima suma de las diferencias posible. Los valores de la medida oscilarán entre 0 y 1, siendo 1 el valor para el grafo más centralizado, caracterizado porque un único actor n_i ocupa el centro y está conectado con todos los demás, mientras que entre éstos no hay ninguna conexión, salvo con el citado actor n_i.

Las tres medidas de cohesión del grafo, que aparecen en el cuadro n.º 3, insisten en las características anteriormente señaladas. En primer lugar, que los programas específicos de telecomunicaciones (RACE y ACTS) y energías (JOULE /THERMIE) representan redes más cohesivas con actores interconectados y con una estructura fuertemente centralizada en comparación con el resto de los programas. En segundo lugar, que en algunos casos un actor singular tiene un papel determinante en la configuración de la estructura de colaboración interorganizativa en materia de I+D.

Un ejercicio particularmente interesante consiste en ordenar los diversos programas y establecer un *ranking* según las diversas formas de medir la centralización del grafo. Así, se observa que RACE y JOULE aparecen siempre como los más unipolares (con más significación del actor más central según su grado), más centralizados y más integrados. ACTS resulta un caso curioso, pues ocupa el primer lugar en cuanto a unipolaridad y centralización, pero está relativamente menos integrado, ello a pesar de tener un solo componente, lo que denota su fuerte polarización sobre unos pocos actores. Mientras que los menos unipolares, centralizados e integrados suelen, con algunas matizaciones, ser BRITE/EURAM y ESPRIT, que son los más grandes. Llama la atención, por su cambio de posición en el *ranking,* CRAFT, que, con muy baja unipolaridad y centralización —no hay un actor singular que domine—, sin embargo posee una estructura medida por la integración más equilibrada.

2. La centralidad de los actores en la red

Analizadas las estructuras generales de las redes de programas a través de grafos y componentes, a continuación se procederá al estudio de la posición de los actores en la red. ¿Cuál es el sentido del concepto de centralidad en el análisis de redes sociales? Sin duda, no se escapa el valor intuitivo que la idea de centralidad en la red tiene, y su asociación con la influencia o la relevancia en el flujo de información que tiene para el conjunto de la estructura.

Localizar a los actores singulares en el conjunto de redes complejas de relaciones exige una distinción relevante entre: centralidad local y centralidad global de los actores. Al medir la centralidad de un actor, no es lo mismo si decimos que éste tiene muchas conexiones directas con otros puntos en su entorno inmediato que afirmar que el actor juega un papel clave en el conjunto de la red, por ejemplo, conectando entre dos subgrupos o

CUADRO N.º 3

MEDIDAS DE COHESIÓN DE LA RED DE LOS DIVERSOS PROGRAMAS DE I+D

PM	Programas de I+D	Actores	Líneas	Integración bruta	Unipolaridad bruta	Centralización bruta	Unipolaridad	Integración	Centralización	Programas ordenados de mayor a menor Unipolaridad	Programas ordenados de mayor a menor Integración	Programas ordenados de mayor a menor Centralización
3	air	259	878	1.454	39	8.647	0,1512	0,0218	0,1304	acts	joule	acts
3 y 4	joule	202	617	1.040	66	12.292	0,3284	0,0256	0,3058	race	race	race
3	race	204	904	1.052	124	24.244	0,6108	0,0254	0,5912	joule	craft	joule
3 y 4	esprit	695	2.099	3.474	125	83.401	0,1801	0,0072	0,1734	esprit 3	air	esprit 3
3	esprit 3	466	1.513	2.420	117	52.102	0,2516	0,0112	0,2415	brite/euram 3	acts	esprit
4	esprit 4	334	586	1.156	24	6.860	0,0721	0,0104	0,0621	esprit	brite/euram 3	telematics
4	telematics	275	433	836	43	10.989	0,1569	0,0111	0,1469	telematics	esprit 3	air
4	acts	257	840	1.344	163	40.547	0,6367	0,0204	0,6211	air	telematics	craft
3	craft	264	789	1.544	36	7.960	0,1369	0,0222	0,1155	craft	esprit 4	brite/euram
3 y 4	brite/euram	687	1.564	2.800	79	51.473	0,1152	0,0059	0,1095	brite/euram	brite/euram 2	brite/euram 2
3	brite/euram 2	484	880	1.712	38	16.680	0,0787	0,0073	0,0716	brite/euram 2	esprit	esprit 4
4	brite/euram 3	283	684	1.172	54	4.110	0,1915	0,0147	0,0519	esprit 4	brite/euram	brite/euram 3

componentes de la misma. La primera aproximación, que se denomina centralidad local, se refiere a la relevancia de un determinado actor en relación con su entorno próximo, con el que tiene lazos directos, mientras que la segunda, denominada centralidad global, se refiere a la prominencia de un actor en relación con el conjunto de la red. La noción de centralidad de los actores es un concepto multidimensional. Freeman (1979), revisando la literatura sobre centralidad, señaló que el concepto podía definirse y hacerse operativo al menos de tres formas: grado (*degree*), proximidad o cercanía (*closeness*) y mediación (*betweenness*):

- *Grado* (18): se define como el número de otros actores a los cuales un actor está directamente unido o es adyacente. La medida del grado, la más sencilla, organiza a los actores por el número efectivo de sus relaciones en el conjunto de la red. Esta medida trata de la *centralidad local* de un actor con respecto a los actores cercanos, pero dice poco sobre la importancia del actor en la red completa, y es muy sensible a variables como el tamaño del grafo y, en el caso de nuestras redes de afiliación, al diverso número de participantes de los proyectos, por no mencionar el peso del propio actor (como es el caso de las empresas). El *grado normalizado* es la proporción de relaciones reales sobre el total de relaciones posibles.

- *Proximidad o cercanía* (19): se refiere a la propiedad por la cual un actor puede tener relaciones con otros actores a través de un pequeño número de pasos en la red. La medida de cercanía, así como su opuesta de lejanía, describe mejor esa *centralidad general* a la que nos referíamos anteriormente. En este caso, los actores son valorados por su distancia medida en pasos, por otros vértices, a todos los demás actores de la red. Son tanto más centrales cuanto mayor es el valor de su valor de cercanía. Dependiendo del contexto, y como señalan Borgatti *et al.* (1996b), la cercanía mide la independencia o autonomía respecto de los otros y puede servir, junto con la mediación, para precisar o matizar la relevancia del valor del grado, ya que se refiere al punto en el que actor está próximo a todos los demás.

- *Mediación* (20): se define como el nivel en que otros actores deben pasar a través de un actor focal para comunicarse con el resto de los actores. Así, la mediación sintetiza, por su parte, el control por cada uno de los actores de los flujos relacionales en el conjunto de la red. El valor de la mediación para un actor mide la cantidad de las geodésicas, los caminos más cortos entre dos actores cualesquiera del grafo, que pasan por él como vértice. Suelen tener valores altos de mediación los actores más centrales de la red según su cercanía, o aquellos que vinculan subgrupos o *bloques* diferentes (y que son los *puntos de corte* entre ellos). Según Freeman, Borgatti y White (1991), mediación se refiere al hecho de que los actores están entre otros, en sus vías de comunicación; los actores centrales, desde este punto de vista, serían los intermediarios del acceso de otros a la información y el conocimiento. Una combinación de valores altos de mediación y cercanía sugiere actores muy importantes en el conjunto de la red.

Lo importante de esta discusión sobre las definiciones operativas es su vinculación con constructos teóricos. Así Freeman sugirió que el *grado* representa el nivel de la actividad comunicativa (la capacidad de comunicar directamente con otros), que la *proximidad* representa la independencia (la capacidad de llegar a muchos de los otros miembros de la red directamente, esto es sin apoyarse en intermediarios), mientras que la *mediación* representa el control de la comunicación de otros y su capacidad de restringirla. Convendría recordar que los estudios experimentales de redes parecen coincidir en que el grado y la mediación están asociados al poder de distribución; sin embargo, no es el caso de la proximidad. En análisis recientes (por ejemplo, Mizruchi y Potts, 1998), se señala que sólo en redes de comunicación (tratadas como redes de intercambio) y en las que los efectos no representan un problema de suma cero la centralidad debiera afectar al poder. En nuestro caso las redes de afiliación a través de proyectos de colaboración en la I+D que estamos analizando pueden tratarse como una red de suma no cero.

En este apartado se presentan los resultados del análisis de la centralidad de los puntos en los diversos subgrafos, para los cuales se han utilizado las medidas de centralidad al uso: grado, proximidad y mediación explicadas en los párrafos precedentes.

En los cuadros n.os 4 a 15, se incluyen los valores calculados de la centralidad de los actores en la red. Los programas pertenecientes a áreas tecnológicas distintas se caracterizan por su particular composición de actores. Por ejemplo, entre los programas seleccionados se observa que algunos de ellos, incluso con las condiciones puestas en la construcción del grafo, están caracterizados por un claro posicionamiento central de los actores que representan instituciones públicas de investigación. El caso más representativo de este

CUADRO N.º 4

MEDIDAS DE CENTRALIDAD DE LOS DIEZ PRIMEROS ACTORES DEL PROGRAMA AIR

Actor	*Grado de Freeman*	*Actor*	*Cercanía (Closeness) [componente mayor]*	*Actor*	*Mediación (Betweenness)*
Universidad Autónoma de Barcelona (UAB)	39	Inst. Español de Oceanografía (IEO)	0,378	Tableros Losan S.A.	0,1921
Inst. Español de Oceanografía (IEO)	38	Consejo Sup. de Investiga. Científicas (CSIC)	0,376	Universidades Francesas	0,1623
Consejo Sup. de Investiga. Científicas (CSIC)	36	Universidad Autónoma de Barcelona - España	0,366	Consejo Sup. de Investiga. Científicas (CSIC)	0,1595
Jerte	31	Azti-Sio Dpt Recursos Pesqueros	0,364	Portucel – Portugal	0,1511
Centro de Investigaciones Submarinas	26	Universidades Británicas	0,362	Universidad Autónoma de Barcelona (UAB)	0,1507
Junta de Andalucía	26	Universidades Francesas	0,351	Sedesa	0,1342
Tecnología Ambiental S.A.	26	Universidades Italianas	0,350	Universidades Italianas	0,1254
Universidad de Alicante	26	Universidades Alemanas	0,342	Universidades Británicas	0,1090
Universitat de Les Illes Balears	26	Consiglio Nazionale Delle Ricerche (CNR) - Italia	0,341	Consiglio Nazionale Delle Ricerche (CNR) - Italia	0,1024
Universidad de Las Palmas de Gran Canaria	26	Centro de Investigaciones Submarinas	0,341	Inst. Español de Oceanografía (IEO)	0,0971

CUADRO N.º 5

MEDIDAS DE CENTRALIDAD DE LOS DIEZ PRIMEROS ACTORES DEL PROGRAMA JOULE

Actor	*Grado de Freeman*	*Actor*	*Cercanía (Closeness) [componente mayor]*	*Actor*	*Mediación (Betweenness)*
Unión FENOSA	66	Unión-FENOSA	0,511	Union FENOSA	0,2757
Iberdrola SA	54	Centro de Investigaciones Energéticas (CIEMAT)	0,510	Iberdrola SA	0,2340
Empresa Nacional de Electricidad SA (ENDESA)	51	Empresa Nacional de Electricidad (ENDESA)	0,495	Universidades Británicas	0,1634
Centro de Investigaciones Energéticas (CIEMAT)	48	Iberdrola SA	0,481	Centro de Investigaciones Energéticas (CIEMAT)	0,1622
Babcock & Wilcox Española SA (BWE)	38	Babcock & Wilcox Española SA (Bwe)	0,469	Empresa Nacional de Electricidad (ENDESA)	0,1233
Asociación de Inv. y Coop.	25	Universidades Británicas	0,448	Asociación de Inv. y Coop.	0,1110
Compañía Sevillana de Electricidad SA	22	Universidades Alemanas	0,433	Babcock & Wilcox Española SA (Bwe)	0,1004
Institute For Appl. Automotive Res. – España	20	Compañía Sevillana de Electricidad SA	0,417	Universidades Alemanas	0,0935
Transports de Barcelona SA ..	20	Asociacion de Inv. y Coop	0,404	Institute For Appl. Automotive Res.	0,0713
Universitat Politécnica de Catalunya (UPC)	19	Zentrum Für Sonnenenergie - Alemania	0,397	Transports de Barcelona SA ..	0,0713

comportamiento es el programa AIR, de investigación agro-pesquera, en el cual un conjunto de universidades y centros públicos de investigación, como CSIC o Instituto Español de Oceanografía, juegan los papeles más centrales.

En el extremo opuesto están algunos programas dónde la participación está limitada casi exclusivamente a empresas. Dos

CUADRO N.º 6

MEDIDAS DE CENTRALIDAD DE LOS DIEZ PRIMEROS ACTORES DEL PROGRAMA RACE

Actor	*Grado de Freeman*	*Actor*	*Cercanía (Closeness) [componente mayor]*	*Actor*	*Mediación (Betweenness)*
Telefónica	124	Telefónica	0,700	Telefónica	0,6432
Alcatel España	77	Alcatel España	0,590	Alcatel - España	0,2768
Universidad Politécnica de Madrid (UPC)	48	Universidad Politécnica de Madrid (UPM)	0,523	Universidad Politécnica de Madrid (UPM)	0,1585
Retevisión	40	Universidad Politécnica de Cataluña (UPC)	0,509	Universidades Británicas	0,1081
Universitat Politécnica de Catalunya (UPC)	39	ITALTEL - Italia	0,479	Teles Gmbh - Alemania	0,0678
Amper S.A.	32	Universidades Británicas	0,475	Universitat Politécnica de Catalunya (UPC)	0,0520
Institut Cerda	24	Philips Lep - Francia	0,473	APD -	0,0391
Generalitat de Catalunya	24	France Télécom - Francia	0,472	Transtools	0,0391
Real Automóvil Club de Catalunya	24	Centro Studi E Laboratori Telecomun. - Italia	0,472	Retevisión	0,0298
Telettra España SA	16	Philips Kommunikations Industrie Ag - Alemania	0,471	Mercolérida	0,0246

CUADRO N.º 7

MEDIDAS DE CENTRALIDAD DE LOS DIEZ PRIMEROS ACTORES DEL PROGRAMA RACE

Actor	*Grado de Freeman*	*Actor*	*Cercanía (Closeness) [componente mayor]*	*Actor*	*Mediación (Betweenness)*
Universidad Politécnica de Madrid (UPM)	125	Universidad Politécnica de Madrid (UPM)	0,432	Universidades Británicas	0,2245
Construcciones Aeronáuticas (CASA)	77	Universidades Británicas	0,429	Universidad Politécnica de Madrid (UPM)	0,1997
Universitat Politécnica de Catalunya (UPC)	74	Consejo Sup. de Investiga. Científicas (CSIC)	0,417	Universitat Politécnica de Catalunya (UPC)	0,1189
Consejo Sup. de Investiga. Científicas (CSIC)	72	Fatronik Systems S.A.	0,400	Construcciones Aeronáuticas (CASA)	0,1171
Fatronik Systems S.A.	69	Universidades Alemanas	0,393	Sema Group SA	0,0785
Telefónica	57	Tecnologia y Gestión de la Innovación (TGI)	0,393	Fatronik Systems S.A.	0,0755
Universidades Británicas	52	Universitat Politécnica de Catalunya (UPC)	0,391	Universidades Italianas	0,0709
Tecnología y Gestión de la Innovación (TGI)	51	Universitad Politécnica de Valencia (UPVAL)	0,391	Consejo Sup. de Investiga. Científicas (CSIC)	0,0699
Universitad Politécnica de Valencia (UPVAL)	51	Sema Group SA	0,388	Tekniker SA	0,0653
Tekniker SA	50	Siemens Ag - Alemania	0,385	Telefónica	0,0617

programas, de naturaleza muy distinta, ocupan este espacio. Los programas de investigación energética (JOULE/THERMIE), que se encuentran dominados por las grandes compañías eléctricas y con una presencia significativa del CIEMAT. Curiosamente este programa, si se recuerda, manifestaba también redes muy cohesivas. El más interesante es CRAFT, donde entre los diez actores centrales, por su grado, no aparece ninguna universidad o centro de investigación tradicional, aunque sí encabeza la lista un centro tecnológico empresarial (INESCOP,

CUADRO N.º 8

MEDIDAS DE CENTRALIDAD DE LOS DIEZ PRIMEROS ACTORES DEL PROGRAMA ESPRIT 3

Actor	*Grado de Freeman*	*Actor*	*Cercanía (Closeness) [componente mayor]*	*Actor*	*Mediación (Betweenness)*
Universidad Politécnica de Madrid (UPM)	117	Universidad Politecnica de Madrid (UPM)	0,461	Universidades Británicas	0,2425
Construcciones Aeronáuticas (CASA)	69	Universidades Británicas	0,460	Universidad Politécnica de Madrid (UPM)	0,2407
Consejo Sup. de Investiga. Científicas (CSIC)	69	Consejo Sup. de Investiga. Cientificas (CSIC)	0,449	Construcciones Aeronáuticas (CASA)	0,1284
Universitat Politécnica de Catalunya (UPC)	64	Universidades Alemanas	0,420	Universitat Politécnica de Catalunya (UPC)	0,1187
Fatronik Systems S.A.	54	Fatronik Systems S.A.	0,419	Consejo Sup. de Investiga. Científicas (CSIC)	0,0961
Telefónica	50	Tecnología y Gestión de la Innovación (TGI)	0,417	Telefónica	0,0803
Tecnología y Gestión de la Innovación (TGI)	45	Universitat Politécnica de Catalunya (UPC)	0,414	Fatronik Systems S.A.	0,0655
Universitad Politécnica de Valencia (UPVAL)	45	Universitad Politécnica de Valencia (UPVAL)	0,413	Sema Group SA	0,0654
Universidades Británicas	45	Siemens Ag - Alemania	0,412	IKERLAN	0,0627
Universidad de Cantabria	33	Telefónica	0,408	Tecnología y Gestión de la Innovación (TGI)	0,0600

CUADRO N.º 9

MEDIDAS DE CENTRALIDAD DE LOS DIEZ PRIMEROS ACTORES DEL PROGRAMA ESPRIT 4

Actor	*Grado de Freeman*	*Actor*	*Cercanía (Closeness) [componente mayor]*	*Actor*	*Mediación (Betweenness)*
Tekniker SA	24	Sema Group SA	0,328	Universidades Británicas	0,2863
Informática El Corte Inglés	19	Universidades Británicas	0,321	Universidades Italianas	0,2830
Fatronik Systems S.A.	18	Hospital General de Manresa	0,320	Sema Group SA	0,2479
Sema Group SA	16	Universidad Politécnica de Madrid (UPM)	0,318	Universidad Politécnica de Madrid (UPM)	0,2200
AT&T - España	15	Universidades Italianas	0,312	Tecnología y Gestión de la Innovación (TGI)	0,1976
Construcciones Aeronáuticas (CASA)	15	Tecnología y Gestión de la Innovación (TGI)	0,305	Hospital General de Manresa	0,1817
Tekniker	15	Sistemas de Imagen y Palabra	0,293	Alcatel España	0,1307
Red iris	15	Universidades Francesas	0,291	Convey Satafim	0,1234
Telefónica	14	Telefónica	0,283	Adaptation Ltd - Reino Unido	0,1222
Danobat Cooperativa	13	Docutex	0,281	CARSA- Consultores de Automovilísticos	0,1169

Instituto Español del Calzado). El resto de los programas se caracteriza por una presencia más variada de empresas y centros académicos entre sus actores más centrales.

Por otra parte, los valores de cercanía y mediación ponen de relieve el papel destacado del conjunto de las universidades alemanas y francesas (aunque resaltado artificialmente, como se ha dicho en el apartado III). Esto nos permite concluir que son universidades y centros públicos de investigación españoles, y también extranjeros, los que contribuyen decisivamente a

CUADRO N.º 10

MEDIDAS DE CENTRALIDAD DE LOS DIEZ PRIMEROS ACTORES DEL PROGRAMA TELEMATICS

Actor	*Grado de Freeman*	*Actor*	*Cercanía (Closeness) [componente mayor]*	*Actor*	*Mediación (Betweenness)*
Eritel/Entel	43	Eritel/Entel - España	0,306	Eritel/Entel - España	0,5614
Telefónica	40	Intrasoft SA - Grecia	0,300	Telefónica	0,4414
Barcelona Tecnología	20	British Telecommunications Plc - Reino Unido	0,298	Enyca -	0,3187
Marben Groupe S.A.	18	Telefónica	0,296	Soc. Ibérica de Constr. Electricas	0,2740
Grupo de Bioingeniería y Telemedicina	13	Universidad Politécnica de Cataluña (UPC)	0,286	Transeur. Cons. Unit of Thess. - Grecia	0,2723
Sadiel	13	Universidades Británicas	0,285	Empresa Mixta de Tráfico S.A.	0,2248
Empresa Mixta de Tráfico S.A.	11	Software AG España	0,280	Ministerio de Transportes- Holanda	0,2239
Autoridad Portuaria de Santander	10	Universidades Alemanas	0,277	Universidades Británicas	0,2231
Consejo Sup. de Investiga. Científicas (CSIC)	10	Universidades Griegas	0,275	Universidades Alemanas	0,2221
Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC)	10	Grupo de Bioingenieria y Telemedicina	0,258	Grupo de Bioingeniería y Telemedicina	0,1658

CUADRO N.º 11

MEDIDAS DE CENTRALIDAD DE LOS DIEZ PRIMEROS ACTORES DEL PROGRAMA ACTS

Actor	*Grado de Freeman*	*Actor*	*Cercanía (Closeness) [componente mayor]*	*Actor*	*Mediación (Betweenness)*
Telefónica	163	Telefónica	0,645	Telefónica	0,7172
Universitat Politécnica de Catalunya (UPC)	58	Universidad Politécnica de Madrid (UPM)	0,477	Hispasat	0,0903
Universidad Politécnica de Madrid (UPM)	50	Universidad Politécnica de Cataluña (UPC)	0,474	Centro de Estudos de Telecomunicacoes - Portugal	0,0897
Alcatel España	31	Alcatel España	0,452	Alcatel - España	0,0856
Hispasat	31	Centro de Estudos de Telecomunicacoes - Portugal	0,443	Desarrollo y Recursos -	0,0837
Construcciones Aeronáuticas (CASA)	29	France Télécom - Francia	0,440	Bioingeniería Aragonesa	0,0761
Retevisión	25	Universidades Británicas	0,440	Construcciones Aeronáuticas (CASA)	0,0686
Sistemas Expertos, SA	20	Centro Studi E Laboratori Telecomun.- Italia	0,439	Universitat Politécnica de Catalunya (UPC)	0,0655
Universidades Británicas	17	Construcciones Aeronáuticas (CASA)	0,439	Universidades Alemanas	0,0568
Institut Cerda	16	Sgs-Thomson Microelectronics - Francia	0,435	Universidad Politécnica de Madrid (UPM)	0,0513

la construcción de las redes de cooperación y a su cohesión, en definitiva, a la vinculación de sus componentes, que de otra forma permanecerían aislados, y a garantizar el flujo de información.

Desde el punto de vista de la centralidad de los actores, y confirmando los datos aparecidos en relación con el conjunto de la red, es necesario señalar los elevados índices de centralidad comparada de los actores implicados en los programas asociados a las telecomunicaciones. En relación con el conjunto de la red, destaca la centralidad comparada de algunos actores de los pro-

CUADRO N.º 12

MEDIDAS DE CENTRALIDAD DE LOS DIEZ PRIMEROS ACTORES DEL PROGRAMA CRAFT

Actor	*Grado de Freeman*	*Actor*	*Cercanía (*) (Closeness) [componente mayor]*	*Actor*	*Mediación (Betweenness)*
INESCOP	36	Universidades Alemanas	*2,630*	Universidades Alemanas	0,2391
Alfil Calzados S.A.	27	Mz4 -	*2,369*	Mz4	0,1968
Alinos Distribution S.L.	27	Tekniker SA	*2,287*	International Venture Consultants	0,1320
Alumimoldes S.A.	27	Danobat S /Coop	*2,138*	Tekniker SA	0,1204
Suelas Bulldog S.L	27	Fagor	*2,138*	Universidades Francesas	0,1129
Caucho Plas S.A.	27	International Venture Consultants	*2,138*	Telstar	0,1104
Suelas Ilicitanas S.L	27	T V D Sistemas SA	*2,138*	INESCOP	0,1068
Calzados Loybe S.L	27	Zubiola S.Coop. Ltda	*2,138*	Universidades Británicas	0,0768
Manolito's S.L.	27	Universidades Francesas	*1,934*	Cidemco	0,0554
Narciso Caballero S.A.	27	Forjas Areitio	*1,765*	Frigoríficos Andal. de Conservas	0,0243

(*) Debido a la dispersión de este subconjunto, los valores de *Cercanía* de su componente mayor son poco significativos.

CUADRO N.º 13

MEDIDAS DE CENTRALIDAD DE LOS DIEZ PRIMEROS ACTORES DEL PROGRAMA BRITE-EURAM

Actor	*Grado de Freeman*	*Actor*	*Cercanía (Closeness) [componente mayor]*	*Actor*	*Mediación (Betweenness)*
Construcciones Aeronáuticas (CASA)	79	Universidades Británicas	0,408	Construcciones Aeronáuticas (CASA)	0,2062
INASMET	67	Construcciones Aeronáuticas (CASA)	0,394	Universidades Británicas	0,1930
LABEIN	61	Universidades Alemanas	0,392	Universidades Alemanas	0,1892
Tekniker	59	INASMET	0,390	INASMET	0,1638
Consejo Sup. de Investiga. Científicas (CSIC)	45	Tekniker	0,367	LABEIN	0,1203
Universidades Británicas	39	Iberdrola SA	0,365	Tekniker	0,1104
Universidades Alemanas	32	LABEIN	0,364	Universidades Belgas	0,1027
Tecnología y Gestión de la Innovación (TGI)	32	Consejo Sup. de Investiga. Científicas (CSIC)	0,362	Consejo Sup. de Investiga. Científicas (CSIC)	0,1027
Universidad Politécnica de Madrid (UPM)	31	Universidades Belgas	0,361	Universidades Francesas	0,0671
Iberdrola SA	30	Universidad Politécnica de Madrid (UPM)	0,359	Fraunhofer-Gesellschaft (FhG)- Alemania	0,0665

gramas de telecomunicaciones (RACE y ACTS), especialmente Telefónica, que está caracterizada no sólo por estar muy próxima a todos los demás actores de la red creada por el programa, sino porque es un punto clave de mediación para el conjunto de la red de los programas RACE y ACTS. Acompañando a Telefónica en este papel, han de incluirse a las empresas de Alcatel, así como las universidades politécnicas de Madrid y Barcelona.

En los dos programas mayores, ESPRIT y BRITE/EURAM, la situación es más variada, aunque en el segundo aparece con cierta fuerza Construcciones Aeronáuticas (CASA) y, sobre todo, comienzan a destacar, como elementos centrales y cohesionadores de la red, un conjunto de centros tecnológicos y asocia-

CUADRO N.º 14

MEDIDAS DE CENTRALIDAD DE LOS DIEZ PRIMEROS ACTORES DEL PROGRAMA BRITE-EURAM 2

Actor	*Grado de Freeman*	*Actor*	*Cercanía (Closeness) [componente mayor]*	*Actor*	*Mediación (Betweenness)*
Construcciones Aeronáuticas (CASA)	38	Universidades Británicas	0,382	Universidades Británicas	0,2885
INASMET	32	LABEIN	0,349	Construcciones Aeronáuticas (CASA)	0,1818
LABEIN	31	Construcciones Aeronáuticas (CASA)	0,348	LABEIN	0,1337
Universidades Británicas	29	INASMET	0,346	Universidades Alemanas	0,1294
Tecnología y Gestión de la Innovación (TGI)	28	GAIKER Centro Tecnológico	0,345	GAIKER Centro Tecnológico	0,1240
Tekniker SA	25	Tecnología y Gestión de la Innovación (TGI)	0,341	Universidades Belgas	0,1194
Consejo Sup. de Investiga. Científicas (CSIC)	23	Iberdrola SA	0,339	INASMET	0,1176
Dragados	23	Universidades Italianas	0,332	Universidades Italianas	0,1112
Montero Fibras y Elastomeros SA	22	Construcciones Mecánicas Mares SA	0,332	Consejo Sup. de Investiga. Científicas (CSIC)	0,1020
Gaiker Centro Tecnológico	21	Universidades Alemanas	0,330	Tecnología y Gestión de la Innovación (TGI)	0,0995

CUADRO N.º 15

MEDIDAS DE CENTRALIDAD DE LOS DIEZ PRIMEROS ACTORES DEL PROGRAMA BRITE-EURAM 3

Actor	*Grado de Freeman*	*Actor*	*Cercanía (Closeness) [componente mayor]*	*Actor*	*Mediación (Betweenness)*
Construcciones Aeronáuticas (CASA)	54	Universidades Alemanas	0,398	Construcciones Aeronáuticas (CASA)	0,2904
INASMET	38	Construcciones Aeronáuticas (CASA)	0,396	Universidades Alemanas	0,2527
Tekniker	35	Universidades Británicas	0,392	INASMET	0,2144
LABEIN	35	INASMET	0,378	LABEIN	0,1629
Universidad Politécnica de Madrid (UPM)	28	Universidad Politecnica de Madrid (UPM)	0,372	Universidades Británicas	0,1605
Universidades Alemanas	23	Universidades Suecas	0,370	Tekniker	0,1243
Consejo Sup. de Investiga. Científicas (CSIC)	23	Sener Ingeniería y Sistemas SA	0,368	Universidades Suecas	0,1113
Sener Ingeniería y Sistemas SA	20	Consejo Sup. de Investiga. Científicas (CSIC)	0,364	Consejo Sup. de Investiga. Científicas (CSIC)	0,1069
Universidades Británicas	16	Universidades Belgas	0,362	Universidad Politécnica de Madrid (UPM)	0,0952
Universidades Suecas	16	Tekniker	0,362	Universidades Francesas	0,0819

ciones de investigación al servicio de las empresas. En el caso de ESPRIT, es interesante llamar la atención sobre el papel determinante de las universidades politécnicas de Madrid y Barcelona, con una posición similar en el conjunto del programa EUREKA (Dumont *et al.*, 1999).

3. Cliqués

El *cliqué* es otro nivel que puede ser identificado entre la organización o el actor individual y el conjunto de la población. Burt (1982: 37) lo define como «el conjunto de actores en una red que están conectados unos con otros por relaciones fuertes»; en definitiva, se trata de subgrupos cohesivos en los que prima la fortaleza del lazo, en este caso la

participación directa en los mismos proyectos de I+D. Mientras que los componentes son estructuras máximas y conectadas, lo que significa que todos los que están en el componente están conectados unos con otros por los diversos caminos, en el caso de *cliqué* nos enfrentamos a un subgrupo máximo y completo, lo que significa que todos sus puntos son adyacentes uno con otro. Un *cliqué* es un subgrafo completo y máximo de tres o más actores que son adyacentes unos a los otros y, donde no hay otros nodos que sean también adyacentes a éstos. Estas características pueden ser utilizadas para representar las asociaciones entre empresas y actores españoles, siempre que al menos dos coincidan en un proyecto.

En el análisis de la influencia de las redes en la conducta individual se dice que el efecto psicológico del *cliqué* puede ser la fusión de los individuos en identidades comunes y compartidas. Si hay varios *cliqués* cohesivos en una red, con pocos lazos entre ellos, entonces hay espacio para diversas (probablemente opuestas) identidades. Esta aproximación es relevante, dado que este tipo de particiones en subgrupos también afecta a la difusión de información en la red y la autonomía de los actores individuales.

Así pues, el análisis de los *cliqués* pretenderá identificar los grupos más cohesivos, aquellos que mantienen relaciones por encima de un nivel o umbral mínimo, además de las asociaciones en determinados proyectos. El tipo de grafos que utilizamos, que son de afiliación, nos permiten asignar valores a las relaciones, dado que éstas pueden repetirse en diferentes proyectos.

Como muestra del potencial de representación de estas relaciones, se han identificado los *cliqués* de *n* actores, siempre más de tres, para representar la asociación directa de empresas españolas en proyectos de diferentes programas. Como ejemplo, para el programa ACTS, con $n = 6$, se dibujan la asociación en proyectos en los que al menos hay seis actores, como mínimo cinco españoles y un extranjero.

Estas imágenes permiten observar hasta qué punto las empresas o actores españoles siguen estrategias de asociación o colaboración entre sí más intensas que con el resto de los extranjeros y van conjuntamente en los proyectos de I+D. En el gráfico 1 puede observarse la posición central de Telefónica en el programa ACTS y los diferentes *cliqués* de actores que el programa incorpora.

En definitiva, la estructura social de un programa de I+D puede considerarse una red de organizaciones, en la cual éstas puede tener diferentes posiciones —en términos de su centralidad— y diferentes relaciones —en términos de su pertenencia a componentes y *cliqués* diferentes—, que se podría caracterizar de forma general por su densidad o por sus medidas de cohesión.

V. DISCUSIÓN, CONCLUSIONES E IMPLICACIONES

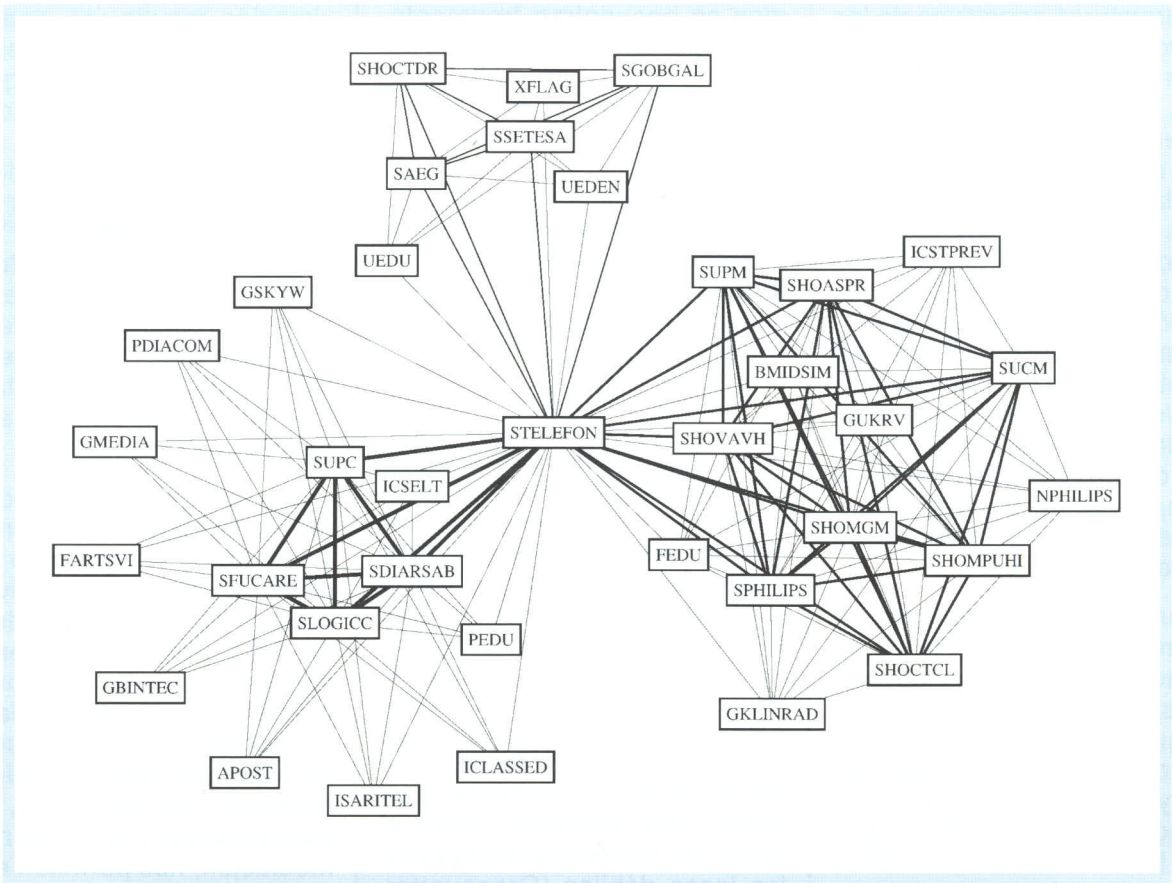
¿Cuáles son las conclusiones de los análisis realizados y, por tanto, cuáles son las consecuencias de esta aproximación, que hemos definido como análisis estructural y de redes? Una de las conclusiones generales que se extraen de este trabajo, y que sirve para destacar la validez del análisis realizado al comparar distintos programas de I+D, es que cada uno de estos programas se caracteriza por la generación y emergencia de distintas redes de colaboración interorganizativa, de modo que estas diferencias habrán de tenerse en cuenta e incorporarse como una variable explicativa a la hora de evaluar los resultados de tales programas.

Siendo una de las preocupaciones fundamentales del análisis social de las redes de cooperación interorganizativa el estudio de la centralidad de los actores, resulta conveniente destacar las principales conclusiones que de nuestro trabajo se derivan. La posición que ocupa una determinada organización en la red, y el número de relaciones o vínculos que mantiene, condicionan el número de oportunidades que tiene para obtener información relevante para el desarrollo de sus propias actividades de innovación. Así, una primera lectura de las medidas de centralidad nos llevaría a considerar que aquellas organizaciones que ocupan posiciones más centrales, medidas en términos de grado y cercanía, como es el caso de Telefónica, CASA, etc., tendrán más y mejor acceso a la información tecnológica y comercial que circula por la red.

Sin embargo, la centralidad no puede entenderse al margen de cuestiones tan relevantes como la coordinación e integración de los flujos de información y conocimientos a los que la organización tiene acceso. Resulta, por tanto, erróneo atribuir directamente a las organizaciones centrales en las redes analizadas una capacidad superior para apropiarse de la información y conocimientos que circulan, sólo podemos establecer que, comparativamente, disfrutan de una mejor posición para capturar una parte importante de las externalidades de la red. Para que esta

GRÁFICO 1

CLIQUÉS (N=6) IDENTIFICADOS EN EL GRAFO DEL PROGRAMA ACTS



Relación de nombres correspondientes a los actores incluidos en el Gráfico 1

Acrónimo	Nombre de Actor	Acrónimo	Nombre de Actor
APOST	Austrian PTT - FZA	SFUCARE	Fundació Catalana per a la Recerca
BMIDSIM	MID-SIM	SGOBGAL	Servicio Galego de Saúde
FARTSVI	ArtsVideo	SHOASPR	Hospital Principe de Asturias
FEDU	Universidades francesas	SHOCTCL	Hospital Clínico
GBINTEC	Bintec	SHOCTDR	Hospital General de Manresa
GKLINRAD	Institut für Klinische Radiologie	SHOMGM	Unidad de Medicina experimental
GMEDIA	Media Transfer	SHOMPUHI	Clínica Puerta de Hierro
GSKYW	SkyWalk	SHOVAVH	Hospital Valle de Hebrón
GUKRV	UKRV Strahlenklinik und Policlinic	SLOGICC	LOGIC CONTROL S.A.
ICLASSED	Class Editori	SPHILIPS	Philips Sistemas Médicos
ICSELT	Centro Studi e Laboratori Telecomun.	SSETESA	Sistemas Expertos, SA
ICSTPREV	Centro per lo estudio e la Prev.	STELEFON	TELEFÓNICA I.R.D.
ISARITEL	SARITEL	SUCM	Universidad Complutense de Madrid
NPHILIPS	Nederlandse Philips Bedrijven BV	SUPC	Universitat Politécnica de Catalunya
PDIACOM	Diacoma	SUPM	Universidad Politécnica de Madrid
PEDU	Universidades portuguesas	UEDEN	EDEN GROUP LIMITED
SAEG	AEG Radiocomunicaciones, SA	UEDU	Universidades británicas
SDIARSAB	Diari de Sabadell	XFLAG	Flaga, HF

Nota: La primera letra de los acrónimos indica el país de origen de los actores: **A**-Austria, **B**-Bélgica, **F**-Francia, **G**-Alemania, **I**-Italia, **N**-Holanda, **P**-Portugal, **S**-España, **U**-Reino Unido, **X**-otros países.

posición pueda traducirse en beneficios o ventajas en materia de innovación, es necesario que la comunicación entre las distintas partes sea efectiva, es decir, que las estructuras cognitivas de los distintos participantes experimenten un proceso de adaptación mutua o, en otras palabras, que la cooperación resulte en un proceso de aprendizaje colectivo. Desde esta perspectiva dinámica, y a veces olvidada en los estudios de cooperación interempresarial, destaca cómo la centralidad y la posición que ocupa una organización es relevante no tanto desde el punto de vista de la apropiación de la información existente y generada como desde el punto de vista del aprendizaje acerca de las capacidades, recursos y tendencias de la investigación de otras organizaciones.

Por otra parte, el papel de intermediación y difusión de información e innovaciones que corresponde a estas organizaciones que se caracterizan por su elevada centralidad puede ser dual, ya que, en ocasiones, pueden actuar como barrera importante limitando la difusión de la información y frenando el desarrollo de las capacidades tecnológicas.

Estas conclusiones se deberían, sin embargo, relacionar con lo que señala la literatura sobre evaluación del impacto de los programas europeos de I+D, en la que, de forma sistemática, se afirma que las empresas, especialmente las grandes, no están plenamente incorporadas en el sistema de colaboración de la I+D europea, no al menos en lo que hace referencia a la participación en aquellas áreas tecnológicas más competitivas o en las que las empresas concentran sus competencias tecnológicas.

Por otro lado, altos niveles de centralidad, por ejemplo en grado, de las organizaciones no garantizan por sí mismos una posición favorable en el conjunto de la red, particularmente cuando las redes que forman los programas se encuentran fragmentadas y, por tanto, sus actores separados en componentes, con bajos niveles de comunicación. En tales casos, la pertenencia a redes pequeñas y demasiado cerradas respecto a su entorno podría dificultar su capacidad de adaptación y absorción de la información del exterior para el subgrupo representado en el componente.

Aparentemente, redes cohesivas, con fuerte integración, tendrían mejores posibilidades de difundir el conocimiento e información tecnológicos que las redes en las que existe un alto grado de unipolaridad y fuerte centralización, donde el dominio de un pequeño conjunto de actores podría bloquear la circulación de la información. Por otro lado, estas redes cohesivas, cuando desarrollan vínculos fuertes, aun sirviendo para contrarrestar la incertidumbre ambiental, tienen el riesgo de perder las ventajas de los lazos débiles (Granovetter, 1973) que son la garantía de un flujo informativo variado, que se convierte en redundante si los contactos son siempre con los mismos actores. En definitiva, observando la estructura y evolución de las redes en las que los actores se implican, podemos analizar empíricamente la solución al difícil equilibrio que las empresas y organizaciones confrontan, cuando se enfrentan a procesos de adaptación al entorno (Levinthal y March, 1981), entre explotación y exploración.

Para nuestro análisis de la colaboración en la I+D subvencionada en el marco de políticas públicas, ¿cuál es el sentido de centralidad en términos del programa? Dado que el término centralidad refleja también cómo está distribuido el poder entre las organizaciones que participan en la red, para los gestores de las políticas y programas esta aproximación resulta útil, dado que una concentración excesiva de poder en alguna de las organizaciones o en un determinado tipo de organizaciones podría no ser deseable desde el punto de vista de la política pública. Por ejemplo, si decimos que las PYMES son fuente de crecimiento y de empleo, la existencia de altos niveles de centralidad de las empresas grandes, con altos niveles de unipolaridad y centralización de la red, podrían ser un resultado no deseable.

En otro campo, dependiendo del modelo propuesto de transferencia de tecnología entre sector público y empresas, los diversos grados de centralidad de empresas y universidades tendrían significados muy distintos. Por ejemplo, el hecho de que las universidades politécnicas jueguen un papel tan central en algunas redes de alta tecnología, especialmente alto cuando se mira la mediación, nos permiten entender cómo la conectividad de las redes de colaboración entre empresas depende del papel de las instituciones educativas en el conjunto de la red. Además, los resultados de algunos de los programas analizados (ESPRIT, RACE, ACTS, etc.) ponen de relieve que las universidades y centros de investigación no son simples actores en el desarrollo de las redes de cooperación tecnológica, sino que su principal función se corresponde con la articulación o vertebración de la red, facilitando de este modo la difusión de la información y los conocimientos tecnológicos. Una de las claves del papel de estas instituciones, al menos a la luz de los resultados del trabajo realizado, reside en su capacidad para

actuar cómo *brokers* de información y conocimiento entre agentes que, de otra manera, quedarían desconectados, al mismo tiempo que permiten ampliar el tamaño de la red conectando distintos componentes y, por tanto, las ventajas de la cooperación interorganizativa. Así mismo, no puede olvidarse que las universidades y centros públicos de investigación, como el CSIC, juegan un papel decisivo en el suministro de personal cualificado a las empresas y sus centros tecnológicos (21).

En definitiva, explorar la topología, la configuración y las propiedades de las redes que emergen de la colaboración en la I+D nos ofrece argumentos nuevos y más variados sobre lo que ocurre en los programas de I+D subvencionada y sus consecuencias, al menos en cuanto respecta a los canales de difusión de los flujos de información y conocimiento, que coadyuvan al aprendizaje tecnológico de las empresas.

El análisis de las redes de colaboración permite igualmente analizar la evolución de medidas tan significativas como la centralización de los actores y la centralización de los programas y, por tanto, analizar la permanencia o sustitución de las organizaciones en las distintas redes de colaboración tecnológica, así como las variaciones en los grados de centralidad que experimentan en las distintas fases que acompañan al desarrollo del programa. Para futuros trabajos queda desarrollar estudios que asocien las características de la estructura de la red con los resultados en la innovación de los participantes en ella.

NOTAS

(*) El presente trabajo recoge resultados parciales de la actividad de los autores para un grupo de expertos de la OCDE sobre «sistemas nacionales de innovación». Los autores agradecen a I. Álvarez su apoyo en la depuración de la base de datos y a María Fernández sus comentarios, sin embargo los errores que puedan persistir son de nuestra exclusiva responsabilidad. Se agradece la financiación recibida de la CICYT (SEC97-1684-E) y SEC96-0637, y de la Unión Europea (TSER-SOE1-CT97-1058).

(1) Para un análisis, véase, por ejemplo, PETERSON y SHARP (1998).

(2) Se utilizan de modo indistinto los términos Comunidad Europea y Unión Europea, dado que para el periodo objeto de nuestra atención ambas denominaciones son válidas.

(3) Para una introducción al análisis de redes, pueden utilizarse los trabajos de BERKOWITZ (1982), KNOKE y KUKLINSKI (1982), SCOTT (1991), o WASSERMAN y FAUST (1994). En castellano existe un manual divulgativo (RODRÍGUEZ, 1995), aunque algo confuso, que es un resumen de KNOKE y KUKLINSKI y de SCOTT.

(4) Véase, por ejemplo, el número especial de *Organization Studies* (1998).

(5) Estas «redes», las estructuras de relaciones, se han estudiado en un número significativo de campos, desde «las organizaciones comunitarias sin ánimo de lucro» (LAUMANN *et al.* 1978) hasta entre las empresas (STOKMAN *et al.* 1985), pasando por la estructura de poder en la Florencia de los Medici (PADGETT y ANSELL, 1993). Para una aplicación reciente al caso español, referida a los consejos de administración de las empresas, véase AGUILERA (1998).

(6) Pueden consultarse, entre otros, los siguientes trabajos: SHRUM y MULLIN (1988), quienes revisan los estudios intra e interorganizativos en «ciencia y tecnología», o DE-BRESSON y AMESSE (1991), quienes analizan los trabajos sobre «las empresas innovadoras que trabajan conjuntamente». Todo ello sin entrar en el campo cuantitativo de la bibliometría y análisis de patentes, en donde los estudios de co-ocurrencia o co-citación son decisivos (véase por ejemplo, LEYDESDORFF, 1995).

(7) Para una descripción de la base MERIT-CATI, véase, por ejemplo, HAGEDOORN y SCHAKENRAAD (1992).

(8) Hay que señalar que para la realización de los cálculos se han utilizado dos programas de análisis de redes: GRADAP (IEC PROGAMMA, 1989) y UCINET IV (BORGATTI *et al.*, 1996a y b), así como el programa de representación gráfica KRACKPLOT v3 (KRACKHARDT *et al.*, 1995).

(9) ESPRIT, por ejemplo en su versión correspondiente al IV Programa Marco de I+D, tras la definición general de tecnologías de la información, incluye áreas como *software,* fabricación integrada, tecnologías para procesos empresariales, sistemas multimedia, redes de altas prestaciones, microprocesadores abiertos, componentes y subsistemas, etc. Mientras que BRITE/EURAM, en su versión correspondiente también al IV Programa Marco, incluye actividades en las áreas de producción, materiales, transportes y, además, específicamente aeronáutica, que en el III Programa Marco estaba bajo un estandarte distinto, el programa AERO.

(10) Para ofrecer al lector una muestra adicional de la representatividad general de los datos que se han incluido en la construcción del grafo, y que corresponden al IV PM, éstos se pueden comparar con los datos ofrecidos sobre la participación española en los proyectos financiados; por ejemplo, para el Programa ESPRIT 4, el CDTI (1998) reportó, para el conjunto de las convocatorias del IV PM, la participación de 257 actores españoles, de los cuales 200 empresas o centros tecnológicos distintos, mientras que nosotros tenemos dentro del grafo correspondiente a 91 actores españoles, que habían participado en las convocatorias de los dos primeros años de vigencia del Programa Marco. En BRITE EURAM tenemos 58 españoles en el grafo correspondiente al IV Programa Marco, mientras que para el total del programa durante el IV Programa Marco participaron, según el CDTI, 211 actores, de los cuales 163 eran empresas o centros tecnológicos. En el grafo de ACTS tenemos 41 socios españoles, frente a un total de 102 socios, y de ellos 75 empresas, para todo el IV Programa Marco. Para el programa Telematics el grafo contiene 55 actores españoles, frente al total de 277 socios, de los cuales 160 fueron empresas o centros tecnológicos. Hay que recordar que, por las fechas de creación de nuestra base de datos, los datos de participación empresarial correspondientes al Tercer Programa Marco de I+D deben estar completos.

(11) Lo mismo opinan los redactores del *Segundo informe de indicadores de ciencia y tecnología de la comisión europea,* pese a que limitan el estudio a la colaboración entre países (véase EC, 1997a, págs. 557-562, y páginas S-109 a S-111).

(12) Densidad, como en todo grafo no dirigido, es: $den = 2L / [n (n-1)]$.

(13) En cuanto a los procedimientos prácticos de cálculo para GRADAP, este valor es un promedio de las densidades de cada uno de los componentes del grafo, con lo que en grafos con un número de componentes superior a 1 puede ser menor que el valor obtenido directamente.

(14) Los valores promediados de la densidad que se ofrecen calculando los valores con GRADAP son semejantes.

(15) El valor de *Unipolaridad* se obtiene al dividir el valor bruto de *Unipolarity* (el máximo *degree* o *grado* de Freeman del grafo, *D*) por el máximo *degree* posible, que sería el de un actor que tuviera relación con todos los demás: $U = D / (n-1)$, donde n es el número de actores, y D el mayor *degree* de un actor del grafo.

(16) El valor de *Integración* se obtiene como proporción entre la suma del *degree* de todos los actores de un grafo, y la suma si todos los actores tuvieran el mayor posible: $I = \Sigma d / [n * (n-1)]$, donde d es el *degree* de cada actor y n el número de actores del grafo.

(17) El valor de *Centralización* es la proporción entre la suma de las diferencias del *degree* de todos los puntos (d) con el valor bruto de *Unipolaridad* (el *degree* mayor del grafo, D), y la suma de los *degrees* de todos

los actores si el de uno de ellos fuera el máximo posible ($n-1$) y el de los demás el mínimo (1): $C = \Sigma (D - d) / [(n-1) * (n-2)]$, donde d es el *degree* de cada actor, D es el *degree* máximo de un actor del grafo, y n es el total de actores.

(18) El índice del grado de centralidad (de Freeman) de un actor sería,

$$CD(n_i) = \sum_j x_{ij}$$

(19) El indice relativo de la centralidad-proximidad (Beauchamp) de un punto *RC (i)*, para el punto i es $RC(i) = (n-1) / D_{i+}$, donde D_{i+} es la suma de las distancias desde i a todos los demás puntos que puede ser representado como la suma de las filas i de la matriz de distancias D,

$$D_{i+} = \sum_{j=1}^{n} D_{ij}$$

De este modo, el índice es mayor cuando aumenta la centralidad-proximidad.

(20) El valor de la centralidad-mediación se representa como: $C_B(K) = [2\sum_i^n \sum_j^n (g_{ij}(k) / g_{ij})] / [n^2 - 3n + 2]$, para todos los puntos no ordenados, i, j, k, donde $i < j$, n es el número de nodos de la red y $g_{ij}(k)$ es el número de geodésicas (caminos más cortos) entre i y j, que pasan por k. Por tanto si k está en el camino más corto del par (i,j), K tiene alta centralidad-mediación.

(21) Véase nuestro análisis sobre la distribución de las capacidades tecnológicas por regiones medidas a través de las patentes europeas en Sanz Menéndez y Arias (1999).

BIBLIOGRAFÍA

Aguilera, Ruth V. (1988), «Directorship interlocks in comparative perspective: The case of Spain», *European Sociological Review*, vol. 14, n.º 4, págs. 319-342.

Barnes, J. A. (1954), «Class and committees in a Norwegian island parish», *Human Relations,* vol. 7, págs. 39-58

Berkowitz, S. D. (1982), *An Introduction to Structural Analysis*, Butterworths, Toronto.

Borgatti, Steve P.; Everett, Martin, y Freeman, Lin (1996a), *UCINET IV, versión 1.64,* Analytic Technologies, Natick, (MA).

— (1996b), *UCINET IV, versión 1.64 Reference Manual.* Analytic Technologies, Natick (MA),

Bott, Elisabeth (1957), *Family and Social Network*, Tavistock, Londres.

Burt, R. S. (1982), *Towards a Structural Theory of Action*, Academic Press, Nueva York.

Cabo, Pépin, G. (1997), *The knowledge network. European subsidized research and development cooperation*, Labyrint, Capelle.

Cabo, P. G., y Bijmolt, T. H. A. (1992), «International R&D networks: the Eureka map», *Research Evaluation,* vol. 2, n.º 3, diciembre, págs. 161-168.

CDTI (1998), «IV Programa Marco de I+D, 1994-1998», *Perspectiva. Revista de Innovación Tecnológica*, año 2, n.º 6, otoño, pags. 12-23.

CICYT (1998), *Plan Nacional de I+D. Memoria de las actividades del Plan Nacional de I+D en 1996*, CICYT, Madrid.

Cohen, W., y Levinthal, D. (1989), «Innovation and learning: The two faces of R&D», *Economic Journal*, vol. 99, páginas 569-596.

Crane, Diana (1972), *Invisible Colleges. Diffusion of Knowledge in Scientific Communities*, The Chicago University Press, Chicago.

David, Paul, y Foray, Dominique (1995), «Accessing and expanding the science and technology knowledge base», *STI. Science, Technology and Industry*, número 16, págs. 13-68.

DeBresson, Chris, y Amesse, Fernand (1991), «Networks of innovators», *Research Policy*, vol. 20, n.º 5, octubre, páginas 363-379.

Dumont, M.; Meussen, W.; Sanz, L.; Fernández, R; García; C. E., y Vock, P (1999), *Focus group on «Organisational Mapping». National Innovation Systems 2nd phase*, OECD, París, mímeo.

EC-EUROPEAN COMMISSION (1995), *Green Paper on Innovation*, European Communities, Bruselas, COM(95) 688 (final), diciembre.

— (1997a), *Second European Report on S&T Indicators, 1997,* Office for Official Publications of the European Communities, Luxemburgo,. Report. EUR 17639.

— (1997b), *Cordis. Community R&D* Information Service, European Communities, Bruselas.

Edquist, Charles (ed.) (1997), *Systems of Innovation. Technologies, Institutions and Organisations*, Pinter, Londres.

Freeman, Christopher (1987), *Technology Policy and Economic Performance*, Pinter, Londres.

— (1991), «Networks of innovators: A synthesis of research issues», *Research Policy*, vol. 20, n.º 5, octubre, páginas 499-514.

Freeman, Linton C. (1979), «Centrality in social networks: Conceptual clarification», *Social Networks*, vol. 1, pags. 215-239.

Freeman, L. C.; Borgatti, S. P., y White, D. R. (1991), «Centrality in valued graphs: A measure of betweeness based on network flow», *Social Networks*, vol. 13, páginas 141-154.

Geroski, Paul (1995), «Markets for technology: Knowledge, innovation and appropriability», en Stoneman, Paul, ed., *Handbook of the Economics of Innovation and Technological Change*, Blackwell, Oxford, págs. 90-131.

Granovetter, Mark. (1973), «The strength of weak ties», *American Journal of Sociology*, vol. 78, págs. 1.360-80.

Hagedoorn, John (1990), «Organisational modes of inter-firm co-operation and technology transfer», *Technovation*, volumen 10, págs. 17-30.

— (1995), «Strategic technology partnering during the 1980s: trends, networks and corporate patterns in non-core technologies», *Research Policy*, vol. 24, n.º 2, marzo, págs. 207-231.

Hagedoorn, John, y Schakenraad, Jos (1990), «Inter-firm partnership and co-operative strategies in core technologies», en Freeman C., y Soete, L., eds., *New Explorations in the Economics of Technological Change*, Pinter, Londres, páginas 3-37.

— (1992), «Leading companies and networks of strategic alliances in information technologies», *Research Policy*, vol. 21, páginas 163-190.

Hakansson, Hakan (1989), *Corporate Technological Behaviour. Co-operation and Networks*, Routledge, Londres.

Iec ProGAMMA (1989), *GRADAP*, Iec ProGAMMA, Groningen.

Knoke, David, y Kuklinski, James H. (1982), *Network analysis,* Sage, Londres.

Krackhardt, David; Blythe, Jim, y McGrath, Cethleen (1995), *Krackplot 3.0, User´s Manual*, Analytic Technologies, Natick (Ma).

Laumann, Edwards O.; Galaskiewicz, Joseph, y Marsden, Peter V. (1978), «Community structure as interorganizational linkages», *Annual Review of Sociology*, volumen 4, págs. 455-484.

Levinthal, D., y March, J. (1981), «A model of adaptative Organizational Search», *Journal of Economic Behaviour*, vol. 2, páginas 307-333.

Leydesdorff, Loet (1995), *The Challenge of Scientometrics. The development, measurement, and self-organization of scientific communications*, DSWO Press, Leiden.

Lundvall, Bengt-Ake, ed. (1992), *National Systems of Innovation. Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning*, Pinter, Londres.

Malerba, Franco (1996), *Public Policy and Industrial Dynamics: an Evolutionary Perspective,* Proyecto ISE- TSER, mímeo.

Mizruchi, Mark S., y Potts, Blyden B. (1998), «Centrality and power revisited: actor success in group decision making», *Social Networks*, vol. 20, octubre, páginas 353-387.

Mohnen, Pierre (1996), «R&D externalities and productivity growth», *STI. Science, Technology and Industry*, n.º 18, páginas 39-66.

Nelson, Richard R. (1993), *National Innovation Systems. A Comparative Analysis*, Oxford University Press, Nueva York.

OECD (1996), *The Knowledge-based Economy*, OCDE, París.

— (1997), *National Innovation Systems*, OCDE, París.

ORGANIZATION STUDIES (1998), Número especial sobre *The Organizational Texture of Inter-firm relations*, vol. 19, n.º 4.

PADGETT, J. F., y ANSELL, C.K. (1993), «Robust action and the rise of Medici, 1400-1434», *American Journal of Sociology*, volumen 98, págs. 1259-1319.

PETERSON, John, y SHARP, Margaret (1998), *Technology Policy in the European Union*, MacMillan, Londres.

RODRÍGUEZ, Josep A. (1995), *Análisis estructural y de redes*, Centro de Investigaciones Sociológicas, Madrid.

SANZ MENÉNDEZ, Luis, y ARIAS, Esther (1999), «Concentración y especialización regional de las capacidades tecnológicas: un análisis a través de las patentes europeas», *Economía Industrial* (en prensa).

SCHIENSTOCK, Gerd (1994), «Technology policy in the process of change: Changing paradigms in research and technology policy?», en AICHHOLZER, Georg, y SCHIENSTOCK, Gerd , eds., *Technology Policy. Towards an Integration of Social and Ecological Concerns*, De Gruyter, Berlin, pags. 1-23.

SCOTT, John (1991), *Social network analysis. A handbook*, Sage, Londres.

SHRUM, W., y MULLINS, N. (1988), «Network analysis in the study of science and technology», en VAN RAAN, A.F.J., ed., *Handbook of quantitative studies of science and technology*, North-Holland, Elsevier, páginas 107-133.

SMITH, Keith (1997), *Public R&D Policy, European Integration and European Innovation System*, ISE-TSER, mímeo.

STOKMAN, F. N., y SPRENGER, C. J. A. (1989), *GRADAP. Graph Definition and Analysis Package: User's Manual*, Iec ProGAMMA, Groningen.

STOKMAN, F. N.; ZIEGLER, R., y SCOTT, J. (1985), *Networks of corporate power*, Polity, Cambridge.

WASSERMAN, Stanley, y FAUST, Katherine (1994), *Social network Analysis. Methods and Applications*, Cambridge University Press, Cambridge.

Resumen

Un sistema de innovación eficiente es un sistema con fuerte capacidad de distribución de información y conocimiento. Para reforzar estas características del sistema, desde hace tiempo se desarrollan políticas de apoyo a la colaboración de la I+D entre empresas, y entre éstas y otros actores de la investigación.

El objetivo de este trabajo es analizar las redes de colaboración que emergen de los proyectos europeos de I+D. Se utiliza el análisis estructural y de redes desarrollado por los estudios sociológicos con el objetivo de medir la densidad y cohesión de las redes, sus propiedades emergentes, así como la posición de centralidad de los actores y empresas en el conjunto de redes que los programas de I+D contribuyen a crear y, por tanto, medir la capacidad distributiva de información y conocimiento tecnológico de las mismas.

Palabras clave: redes empresariales, investigación cooperativa, política tecnológica, política de I+D europea, análisis estructural y de redes sociales.

Abstract

An efficient innovation system is a system with a marked capability to distribute information and know-how. To reinforce these features of the system, for some time polices have been developed to support cooperation in R&D both between companies and between these and other actors of research.

The aim of this article is to examine the cooperation networks that stem from European R&D projects. We use the structural and network analysis developed by sociological studies in order to measure the density and cohesion of the networks, their emergent properties, as well as the position of centrality of the actors and companies in the set of networks that the R&D programmes help to set up and, therefore, to measure their capability to distribute information and technological know-how.

Key words: innovation, business networks, cooperative research, technological policy, R&D policy in Europe, structural and social network analysis.

JEL classification: O32, O38.