UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

TESIS DOCTORAL

# ANÁLISIS Y VISUALIZACIÓN DE REDES DE COLABORACIÓN CIENTÍFICA

## GRUPOS DE INVESTIGACIÓN EN LA UNIVERSIDAD CARLOS III (ISI, Web of Science, 1990-2004)

**Autor: Antonio Perianes Rodríguez**

**Directores: Carlos Olmeda Gómez y Félix de Moya Anegón**

DEPARTAMENTO DE BIBLIOTECONOMÍA Y DOCUMENTACIÓN

FACULTAD DE HUMANIDADES, COMUNICACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

**Getafe, diciembre de 2007**

© Antonio Perianes Rodríguez, 2007

Edita: Universidad Carlos III de Madrid

ISBN: 978-84-690-8819-7

# ANÁLISIS Y VISUALIZACIÓN DE REDES DE COLABORACIÓN CIENTÍFICA

## GRUPOS DE INVESTIGACIÓN EN LA UNIVERSIDAD CARLOS III (ISI, Web of Science, 1990-2004)

**Memoria que presenta**

**Antonio Perianes Rodríguez**

**Para optar al grado de Doctor**

**Dirigida por los profesores doctores**

**D. Carlos Olmeda Gómez y D. Félix de Moya Anegón**

**Getafe, diciembre de 2007**

# ANALYSIS AND VISUALIZATION OF NETWORKS APPLIED TO THE STUDY OF SCIENTIFIC COLLABORATION IN RESEARCH GROUPS

**CARLOS III UNIVERSITY OF MADRID**

**(ISI, Web of Science, 1990-2004)**

**Antonio Perianes Rodríguez**

**Directors**

**Ph. D. Carlos Olmeda Gómez and Ph. D. Félix de Moya Anegón**

**Ph. D. Thesis from the Department of Library and Information Science**

**Faculty of Humanities, Communication and Information Science**

**Carlos III University of Madrid**

**December 2007**

Nemo solus satis sapit

“Nadie sabe lo bastante por sí mismo”

“No one by himself knows enough”

(*Miles Gloriosus, III, iii, 885*, Tito Marcio Plauto)

A mis padres, por toda una vida de trabajo, esfuerzo y amor infinitos.

A Marisa, por su cariño, paciencia y comprensión.

# AGRADECIMIENTOS

No es extraño que la elaboración de un trabajo individual que versa sobre las bondades que ofrece la colaboración científica pueda resultar paradójica. Aunque no es el primero, ni seguramente sea el último en hacerlo, sirva como eximente en el caso que nos ocupa el hecho de que el trabajo en soledad no ha implicado la realización de un trabajo en solitario. Esta tesis no hubiera sido posible sin el apoyo y la confianza que han depositado en mí:

Mis directores, los doctores D. *Carlos Olmeda Gómez* y D. *Félix de Moya Anegón*. A ellos he de agradecer sus sabios consejos, su aliento y estímulo constantes, y la infinidad de discusiones en las que me han permitido participar, aprender e inspirarme, en los sitios más insólitos que yo jamás hubiese imaginado. Caminar junto ha ellos ha sido una de las experiencias más gratificantes de mi vida.

*Mis padres*, *Marisa* y *toda mi familia y amigos*, por su amor, paciencia y comprensión ante las largas ausencias y ese tiempo que no pude dedicarles.

El Grupo de Investigación *SCImago*: *Antonio*, *Benjamín*, *Carmen*, *Cristina*, *Elena*, *Enia*, *Felipe*, *Franjo*, *Rocío*, *Toñi*, *Vicente*, *Víctor*, *Yusef* y *Zaida*, el Departamento de Biblioteconomía y Documentación de la *Universidad de Granada* y la Fakulteta za Družbene Vede de la *Univerza v Ljubljani* por permitirme disfrutar junto a ellos de seis meses de trabajo intenso, por darme la oportunidad de conocer nuevas perspectivas, nuevos lugares y, por encima de todo, nuevos amigos.

El Departamento de Biblioteconomía y Documentación de la *Universidad Carlos III* y los miembros del Grupo de Investigación *GAIA* por su atención.

Los profesores doctores D. *Andrej Mrvar* y Dña. *Anuška Ferligoj*, por sus cálidas palabras y su apoyo incondicional para la obtención de la Mención Europea.

El Vicerrector profesor doctor D. *Antonio Artés Rodríguez*, el profesor doctor D. *José Manuel Torralba Castelló* y el profesor doctor D. *Esteban Moro Egido* que han colaborado y prestado su apoyo y conocimientos no sólo como especialistas en los departamentos y áreas temáticas analizados (Teoría de la Señal, Ciencia e Ingeniería de Materiales y Matemáticas, respectivamente), sino también en la gestión de la Universidad Carlos III a la que han prestado tantos años de esfuerzo.

Las compañeras de la *Biblioteca de la Facultad de Humanidades* y del *Servicio de Préstamo Interbibliotecario* de Leganés, que han conseguido siempre con presteza las decenas de peticiones con las que han sido abrumadas.

*Ana Pereira* y *Keith Rogers* por su inestimable ayuda en la búsqueda y el hallazgo de la precisión de la versión inglesa.

A todos ellos (a todos vosotros) a los que nunca podré devolver tanto cariño y dedicación.

# ABSTRACT


## BACKGROUND.

In recent years, spectacular advances have taken place in the scientific field of structural studies. This has made network theory an emerging area of interdisciplinary research, geared towards developing theories and techniques to increase existing knowledge of biological, technological and academic networks and, in general, of complex systems (Börner K et al., 2007). All this has been made possible through the convergence of several parallel developments. These include computerized data acquisition and manipulation, which have simplified the use of large databases and have prompted the appearance of myriad real-world network topologies, and the increase in computing power, which has facilitated the exploration of networks with millions of nodes (Albert R y Barabási AL, 2002).

These studies have their origins in such disciplines as discrete mathematics and graph theory, mathematical sociology, group psychology and biology, but also in bibliometrics, informetrics and cybermetrics, and most recently in physics. Network studies comprise multiple approaches, which focus on describing and analyzing their properties, investigating their modelling and dynamics and establishing new techniques to visualize them. Their sphere of analysis encompasses problems stemming from the existence of social, biological, information and technological networks, such as communication systems (the Internet, telephone networks), transport infrastructure (roads, railways and airlines), biological systems (protein interaction, DNA, epidemic patterns) and a wide range of social interaction structures, including collaboration networks among scientists (Donetti L y Muñoz MA, 2004).

This final area has proven to be of great interest for more than just bibliometrics, as its characteristics (publicly accessible data in the form of a social network) make it

an especially attractive proposition for understanding the topology and the dynamic laws that govern complex networks (Barabási AL et al., 2002).

However, even though from a physics standpoint the findings of these studies, which focus on large networks and on establishing universalities relating to both their topology and to the dynamics that govern their evolution, might facilitate analysis and decision making in their own right, networks cannot be characterized only by their topology. Their information dynamics, or, in other words, the information flows that take place within them, must also be analyzed. In particular, the different degrees of intensity in their relationships are instrumental to improving the understanding of social systems, in the same way that traffic flows in communications or transport infrastructures are essential to fully describing these types of networks (Barrat A et al., 2004), (Matia K et al., 2005).

The properties of collaboration networks are not unique, although they do have certain features that make them special, such as the dynamics of their evolution. Data on scientific collaboration not only make it possible to visualize the network, but also to establish the time frames in which nodes and links appear in it, which is essential to revealing evolutionary dynamics.

The structure and evolution of scientific development can be captured from two different perspectives: the descriptive model, whose aim is to define the main traits of a set of usually static data, and the process model, which tries to determine temporary mechanisms and dynamics through the use of real-world networks, such as co-authorship networks (Börner K et al., 2004). This thesis studies collaboration networks, going beyond the use of tabular data to extract indicators, which serve only as a starting point for a quantitative analysis of the cooperative links between partners. As the aim is to obtain information from the regularity of relationships among a large number of actors, a more refined analysis is needed, which is only possible through graphic representations that provide an

overview of these link patterns through the application of sophisticated data analysis techniques (Luukkonen T et al., 1993).

From this perspective, networking among scientists, in which the links grow out of co-authorship of one or more documents, is often more real from a social network standpoint than institutional networking. This is because the former, which constitutes the largest social network analyzed to date, truly reflects professional interaction among scientists. (Newman MEJ, 2001b), (Newman MEJ, 2001a). While similar to citation and co-citation networks, collaboration networks involve much stronger social ties. Citations imply no acquaintance among authors and may extend over time, whereas co-authorships entail a temporary relationship between colleagues that fall within the scope of social network analysis (Liu X et al., 2005).

The application of network theory to the study of scientific collaboration is based on the understanding of science as a self-organized system in which collaborators and the research site are selected by the researchers themselves rather than through institutional or national incentives or those of any other nature. There is no authority whatsoever in the world scientific community responsible for arbitrating or resolving possible disputes that may arise during the exchanges that may arise within it (Podolny JM y Page KL, 1998). Co-authorship will be discussed from the standpoint of its use in establishing communication networks, showing that this indicator is apt for analyzing cooperative flows (Wagner CS y Leydesdorff L, 2005).

In short, scientific collaboration analyzed from the perspective of network theory is a key phenomenon in research practice. Although collaboration has always been common in science, a significant change is presently underway. In traditional knowledge production, the disciplinary order is clear, the communication is formal and the work is managed through a hierarchical division of tasks (Gibbons M et al., 1997), (Gibbons M, 1997). New research practices, on the other hand, are

characterized by interdisciplinarity, growing interaction among institutions and individuals, and more flexible ways of organizing scientific work (Sandström U, 1998). Therefore, in most disciplines, it is very difficult to produce scientific results individually. The chapter devoted to research groups discusses how these groups and the networks of researchers comprising them have become the main creators and producers of knowledge at the present time.

## MOTIVATION AND JUSTIFICATION.

From the perspective of Library Science and Documentation, little research has yet been conducted on scientific networking and its possible uses in ascertaining the composition of research groups, the differences in associations between specialities or departments, and the different policies that may be followed in this regard, depending on the institution or the domain analyzed. Traditionally, most studies on scientific collaboration have been geared to analyzing output, be it international or domestic, of a given scientific discipline or a research institution. Studies on smaller units such as departments or research groups are less common (Bordons M et al., 1995a), (Bordons M y Zulueta MA, 1997), (Molina JL et al., 2000), (Molina JL et al., 2002), (Zulueta MA et al., 1999), (Zulueta MA y Bordons M, 1999).

This thesis focuses on a specific facet of scientific communication networks, namely scientific co-authorship networks, based on the premise that scientific communication is the essence of research, and research is only known as such when it has been analyzed and accepted by the scientific community, which gives it the status of a social activity (Meadows AJ, 1998). The use of the term “scientific communication”, therefore, means deliberately limiting considerations on communication to a specific group of individuals (authors directly involved in the creation of original research work): those engaging in a well-defined activity and having very specific objectives (Borgman CL, 2000), (Borgman CL y Furner J, 2003).

Therefore, from the perspective of Library Science and Documentation, a need has arisen for research focusing on how co-authorship networks can represent a new information system, built on the distributed organization of knowledge stored in hundreds of thousands of documents signed by millions of authors, as an interface for accessing and retrieving information. To this end, the analysis of internal relationships and of the different topologies of these new information systems is necessary. The concept of distributed organization is particularly relevant in analyzing collaboration in this context, as there is no single factor that explains its increase in modern science. As noted above, the international scientific community has no guiding or governing authority, nor is there a clear power device that unequivocally explains this increase. Hence collaboration may be inextricably linked to local interactions among scientists (Wagner CS y Leydesdorff L, 2005).

These new information systems are based on visualization tools developed from graphic representations that maximize human understanding and communication through the choice of the appropriate encoding techniques. Although maps and scientific diagrams have been used for thousands of years, today's sophisticated processes and computer-assisted tools can explore information, providing a better understanding of data, patterns and trends, and facilitating decision making. The chapter devoted to information visualization discusses the ability of the human brain to comprehend and retain visualizations more quickly than any form of written text. This ability, together with the power of visual representations have to trigger instant recognition and the increasing need to generate and study data differing in size and nature, is what has made information visualization a key area in data representation today (Chen C y Lobo N, 2005).

The visualizations resulting from the analysis of co-authorship-based scientific collaboration, in the form of networks of individuals whose respective positions reveal their inter-relationships, would be very useful for different types of users. The latter range from the authors themselves to research or scientific policy

managers, and include the citizens of a society that is becoming increasingly aware of the importance of science and technology in everyday life. These visualizations are able to describe and explain historic and/or contemporary research structures, as well as the direction of communication in the domain selected, and identify the most relevant documents in a search for specific information (Borgman CL y Furner J, 2003).

In light of the foregoing, more detail is needed about what happens at the micro level, and how that activity contributes to the formation of socio-cognitive macrostructures. Such detail would provide a better understanding of their formation, development, evolution, dynamics and implications—providing, in short, an overall idea of a complex and dynamic process (Harsanyi MA, 1993), (Bozeman B y Corley E, 2004), (Melin G, 2000), (Sandström U, 1998).

## OBJECTIVES.

The main objective of this thesis is to establish a theoretical and methodological framework with which to identify, characterize and interpret research groups using empirical analysis, through the examination and visualization of scientific networking based on co-authorship papers. The findings obtained will contribute to a better understanding of network dynamics and of how they affect network topology and the internal structure of links among such research groups, and by extension, how they affect the higher-level administrative units of which they form a part. To this end, this thesis will try to achieve four specific objectives:

a) To establish a methodology that facilitates microanalysis of the internal dynamics of research in scientific organizations, at the department and research group levels (Bordons M et al., 2004), (CINDOC, 2006), (Melin G, 2000), (Moya-Anegón F, 2006).

b) To model and characterize co-authorship networks by calculating indicators of the properties of nodes and links that describe sizes and neighbourhoods in subgraphs, as well as to obtain comprehensive measurements that statistically characterize the structure of network interconnections as a whole (Barabási AL et al., 2002), (Börner K et al., 2007), (Newman MEJ, 2004a).

c) To create specialized network-based visualizations, including diagrams of nodes and links, that can be used as interfaces to retrieve information. These interfaces provide data on the element matrices and on the values of their attributes in a clear, easily understood, explanatory and interactive way. They facilitate an understanding of the structural context represented, transmitting detailed information to the user about a variety of aspects relating to scientific collaboration and its evolution over time, such as administrative position, gender, speciality areas of research and the internal and external association patterns among authors (Chen C y Paul RJ, 2001), (Genest C y Thibault C, 2001), (Latour B, 1998), (Melin G y Persson O, 1996), (Morris MA y Yen GG, 2004), (Shneiderman B, 1996), (Tufte ER, 1997), (Tufte ER, 1995), (Tufte ER, 1991).

d) To develop synthetic, hybrid indicators in pursuit of convergence of the bibliometric and structural approaches, and complement the traditional simple indicators normally used in analyzing scientific collaboration (Mählck P y Persson O, 2000), (Zitt M, 2006).

## INFORMATION SOURCES.

Scientific collaboration has been dealt with as a research subject in several disciplines: documentation, psychology, management, computer science, sociology, research policy, physics, mathematics, social sciences and philosophy. In some

cases, specialized communities have even sprung up in collaboration-related areas, such as, for example, scientometric studies to analyze cooperation patterns through quantitative methods, such as co-authorship (Sonnenwald DH, 2007). All of these papers can be found in such journals as *Scientometrics*, *Journal of the American Society for Information Science and Technology* (JASIST), *Information Processing and Management* (IPM), *Research Policy*, *Research Evaluation*, *Journal of Documentation*, *Journal of Information Science*, *Social Studies of Science* and the *Annual Review of Information Science and Technology* (ARIST). They are also in conference communications, such as those of the *International Society for Scientometrics and Informetrics* (ISSI) and the *Conference on Multidisciplinary Information Sciences and Technologies* (INSTAC).

The literature consulted on network theory and structural analysis includes monographs and manuals, as well as papers published in such periodicals as *Complexity*, *Physica A*, *Physical Review E*, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* (PNAS), *Nature*, *Science* and *Social Networks*.

The bibliography on information visualization and the use of computer tools to improve communication among researchers included a variety of monographs and periodicals published by the Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), such as *IEEE Computer*, *IEEE Multimedia* and I*EEE Computer Graphics and Applications*, as well as conference communications. Among the most prominent are the communications published by the Association for Computer Machinery (ACM) in connection with ACM SIGMOD, *ACM Transactions on Information Systems* and *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*.

# STRUCTURE.

The thesis is divided into three parts: the theoretical part, in which the background and status of the issue are addressed; the practical part, in which the main results are extracted; and the analytical part, which includes discussion, conclusions and future lines of research.

The theoretical part comprises four chapters:

**CHAPTER 2. SCIENTIFIC COLLABORATION.**

Science is now no longer a solitary pursuit, but has become a group activity. From the very outset, collaboration has been intrinsic to scientific activity, one that goes beyond the growing specialization described by Beaver and Rosen in one of the most ambitious studies on this subject (Beaver D y Rosen R, 1978), (Beaver D y Rosen R, 1979). Collaboration is a complex development, a way to exchange information, to work together, to use resources rationally and to perpetuate communities of scientists and technologists (Maltrás B et al., 1995). All of these reasons taken together, or any combination thereof, make collaboration more a necessity than a choice.

An abundance of literature on scientific collaboration began to appear beginning in the 1970s. British researchers Katz and Martin classified these papers into four different categories: one for papers focusing on how collaboration is measured; a second for papers analyzing the factors that favour scientific collaboration; a third for papers exploring the communication function and the effects of physical and social proximity, especially as they relate to collaboration; and lastly, a category for studies that analyze the effects of collaboration on research output and impact (Katz JS y Martin BR, 1997).

Interaction among scientists has been the essence of scientific practice for some time. Many of the stages of the research process are associated with a great many communication activities, such as discussion among scientists or the reading and writing of articles. However, scientists not only communicate their results amongst themselves, but actually co-produce research. In essence, they communicate and cooperate. Thus, collaboration is an intense form of interaction that makes effective communication possible and involves allocation of skills, responsibilities and resources.

A review of the spectacular increase in co-authored papers among scientists and research institutions would readily lead to the assumption that collaboration is a prerequisite of modern science and that the essential production unit is the network of scientists who interact to produce new knowledge (Melin G y Persson O, 1996). This intense interaction can take on several forms: scientific projects and publications, research contracts, informal contacts, patents, training through courses and seminars, Ph.D. thesis direction, consulting, researcher exchanges and mobility or participation on scientific committees (Vidal J y Villarroel R, 1995).

As noted earlier, and I will come back to this issue later, research collaboration is assumed to be desirable and an approach that should be encouraged and stimulated. Numerous initiatives along these lines have been taken to develop and increase cooperation among researchers. Policies directed to improving the connection between science and technology through scientific collaboration between sectors, primarily between universities and industry has also been established. Many governments, keen on increasing their researchers' level of international involvement, finance their activity in the belief that this will mean a cost savings as well as other benefits.

This enthusiasm for collaboration and policies to promote it, more political than scientific, is based on a series of implicit assumptions (Katz JS y Martin BR, 1997):

1) That the concept of scientific collaboration is known and understood.
2) That it is a single phenomenon, whether collaboration takes place among scientists, groups, institutions, sectors or nations.
3) That we can somehow measure collaboration and determine whether it changes as a result of certain policies.
4) That the more intense the collaboration, the greater are the advances in knowledge, the better the use of the results and the greater the preparation to face scientific challenges.

But are these assumptions really valid? In order to find out, this chapter will be devoted to a detailed analysis of the notion of collaboration, its nature, its participants, the reasons behind it, the methods for measuring it, its advantages and drawbacks, and its implications for scientific policy and for inter-disciplinary relationships.

**CHAPTER 3. RESEARCH GROUPS.**

Scientific creation is influenced by a variety of factors, both individual (age, psychological characteristics, prior knowledge and so on) and structural (research funding, institutional context, organization and so on). As mentioned, the most significant evidence of the trend towards the transformation of scientific research is the increasingly important role played by research groups, which are acquiring special relevance as opposed to the individual work patterns that predominated in earlier periods (Bordons M y Gómez I, 2000), (Seglen PO y Aksnes DW, 2000).

This chapter contains a discussion on the definition of research groups, the new forms of research that determine its advent, the internal structures adopted to address scientific problems, the methodology available to determine group size, and the future challenges that the expansion of this entity will pose.

## CHAPTER 4. VISUALIZING INFORMATION.

The study of scientific disciplines encompasses several types of quantitative analysis whose aim is to determine the most relevant features of science and technology, which, as complex and heterogeneous knowledge systems, have a variety of fields of activity characterized by a multitude of interrelated aspects.

The exploration of the social and cognitive networks of scientific interrelationships is crucial to the study of knowledge structures in research work. The use of methods based on count data from scientific publications (frequency of co-occurrence of citations, authors, words or classification codes) or similar procedures yields indicators that help to discern the internal structure of disciplines, the relationships among scientists and the research fronts where work is underway.

Graphic representations (science maps, or "scientograms") showing the most significant traits of relational structures, revealing both cognitive (thematic relationships) and social links, are used to this end. Science maps are two- or three-dimensional representations that facilitate understanding of the structure analyzed through symbols that reflect real-world categories or aspects, which act in much the same way as cities on a conventional geographic map.

The relative positions of the elements and their links offer a vision that is precise and easy to grasp, making it possible, for example, to identify the central and peripheral research fields in a discipline, or the relationships that are established among the scientists contributing to a certain field of knowledge.

Network analyses make a graphic description of the entire structure of interdisciplinary links among fields possible. This particular type of content analysis not only reveals the central disciplines, but also shows the most important contributions (scientific or technological) from other areas. Science maps both clarify the underlying structure of the relationship network and shed light on less evident links. They can also provide information about static aspects of the structure, such as, for example, how a research programme has contributed to increasing the level of interdisciplinarity in a certain field, or to what other fields the discipline being analyzed is closely related. Map series also provide information about the directions in which the network is growing and how it is evolving, thus facilitating identification of emerging research specialities.

These quantitative studies have been relaunched in recent years because of the significant growth of scientific research and the attendant increase in public spending on these budget items. This has meant that political authorities require understandable and well structured information that enables them to evaluate research activities and identify the most noteworthy scientific developments.

This chapter takes a closer look at the concepts of visualization and visualizing information as a prerequisite to the application of visualization techniques aimed at representing scientific information (Moya-Anegón F et al., 2004), (Moya-Anegón F et al., 2005b).

**CHAPTER 5. NETWORK THEORY.**

Despite its long existence and international acceptance, network theory and analysis is a practically unknown approach in Documentation, both theoretically and methodologically speaking. Fortunately, this trend is changing, inasmuch as network theory and analysis may mean a quantitative and qualitative leap forward in the representation and analysis of the structure of all types of scientific domains,

whether geographic, thematic or institutional (Vargas-Quesada B y Moya-Anegón F, 2007).

Subjects dealt with throughout this chapter include different views of network theory from such disciplines as sociology, psychology, mathematics, biology, physics and anthropology; it also addresses real-world network types, their mathematical properties and the processes governing their evolution.

Based on his exploration of the social structures emerging from among the different domains of human activity and experience, Manuel Castells, one of Spain's most reputed sociologists, has concluded that the predominant functions and processes in the information era are organized in the form of networks. These networks constitute a new social morphology and the dissemination of networking logic substantially modifies the operations and outcomes of production processes, experience, power and culture. Although social organization in network form is neither new nor exclusive to today's world, the new information technology paradigm is established on a solid base that facilitates its expansion and influence in the social structure as a whole. The result is a network society characterized by the pre-eminence of social morphology over social action, in which networks are open, infinitely expandable structures, integrating new nodes as communicating facilities allow, provided that communication codes are shared (Castells M, 1998).

The vision of real-world networks from the perspective of physics concurs with the aforementioned. Today's is a world of networks, which are also one of the pillars on which the current era of economic, political and cultural globalization is built (Dorogovtsev SN y Mendes JFF, 2003).

This is a revolutionary period in the study of networks. Networks are everywhere. They surround individuals, who form a part of them, sometimes as nodes (in our relationships with family or friends) and on occasion as links (flowing between

stations or airports as users). Communication networks, the World Wide Web, the Internet, the human genome, chemical reaction networks, catalytic networks, metabolic reaction networks, protein networks, neural networks, arterial networks, transport networks, river systems, ecosystems and food chains, social networks, scientific collaboration networks, terrorist networks, telephone and postal networks, citation networks in scientific literature, electric power networks, and even the language that is used to conduct this research is a network, made up of words linked by syntactic and semantic relationships (Barabási AL y Bonabeau E, 2003), (Barrat A et al., 2004), (Börner K et al., 2005).

Progress in this discipline is taking place so quickly that for some authors, a new science based on a new concept, and even on a new philosophy, that of the "small world", is emerging (Milgram S, 1967). Old ideas from mathematics, statistics, physics, biology and computer science can be applied in a new way to real, evolving networks (Dorogovtsev SN y Mendes JFF, 2003).

However, one should no lose sight of the fact that the extraordinary advances that have taken place in recent years in the study and analysis of complex networks have been made possible by a number of parallel developments. First of all, with computerized data acquisition and handling, large databases can be managed, leading to the emergence of different real network topologies. Secondly, the increase in computing power has made it possible to explore networks with millions of nodes. Thirdly, there is the slow but sure breakdown of boundaries between disciplines. This can be seen by researchers because of their ability to access and use databases that facilitate an understanding of the generic properties of complex networks (Albert R y Barabási AL, 2002).

The practical part encompasses the next three chapters.

## CHAPTER 6. MATERIALS.

Most bibliometric indicators are compiled at the national level (Gómez I et al., 2005), (Moya-Anegón F, 2004a), (Moya-Anegón F, 2005a), (Moya-Anegón F, 2006). These indicators reflect the data of the actors in the system. National collaboration is analyzed and the numbers of citations obtained by articles published in the country, region or subject area are tallied (CINDOC, 2004), (Guerrero-Bote VP y Moya-Anegón F, 2005), (Moya-Anegón F, 2004b), (Moya-Anegón F, 2005b), (Moya-Anegón F, 2005c), (Olmeda Gómez C et al., 2007). Analyses regularly reporting on indicators that examine the internal dynamics of national science systems with data disaggregated by institutions or departments are less frequent, however, even though they are necessary, for they can be used to examine such dynamics in detail (CINDOC, 2006), (Moya-Anegón F et al., 2005a).

The section dealing with measuring cooperation establishes the fact that scientific articles contain valuable information that can be processed and statistically analyzed (Price DJ, 1969), (Ziman JM, 1969). There is a consensus that a count of scientific production in the form of articles is a basic indicator for representing publicly accessible knowledge. A detailed study of their contents provides information on impact (understood as a measure of visibility) and collaboration, as they include the links that exist between the people, institutions and nations involved in their publication. Bibliometric indicators can also reveal the movements of authors from one institution to another, and inter-organizational bonding. Such ties can be plotted on maps showing research-related knowledge flows.

However, they cannot capture all of the characteristics of a society's knowledge production. They capture the significance of the written record of formal scientific communication, encoded knowledge, but not in its entirety. Moreover, they better capture the results of institutions, which, like universities, have incentives to publish (Olmeda Gómez C et al., 2006).

This chapter addresses the origin of the secondary data source chosen, its limitations, the operations necessary to minimize its disadvantages and the final encoding of the database, from which the analytical part of this thesis is covered.

**CHAPTER 7. METHODOLOGY.**

This chapter devoted to methodological issues contains an overview of a variety of methodologies used to date for different research objectives, whose convergence is not only possible but necessary for the subject at hand: the development of science maps, the visualization of scientific domains and network theory.

The development of information technologies and communications and the increasingly refined techniques for processing and representing information have blurred the boundaries between these three areas.

The following is a simplified compilation of the different procedures proposed by each of them:

The first methodology describes the analytical process for creating science maps. The original version was intended for the development of this type of map based on an analysis of author co-citations, but it can be extrapolated to any analysis based on co-occurrences (McCain KW, 1990):

- Sample selection: the analysis begins with the selection of the sample and the preparation of the database where all of the information necessary to define the academic landscape to be represented is stored.

- Frequency count: this is the step prior to creating the raw data matrix. In this stage, all papers containing at least one reference in which pairs of

elements co-occur (authors, journal titles, thematic categories, etc.) are counted.

- Creation of the raw data matrix: reflects all the data from the counts of pairs of elements. It is characterized by its symmetry, as it has the same number of rows and columns.

- Matrix conversion and normalization: prior to obtaining the results, a series of operations are performed on the raw data matrix. These often include normalization through procedures such as the Pearson correlation or the cosine function, and treatment of the main diagonal.

- Multivariate analysis: once the data from the matrix have been normalized, they can be used as proximity values between elements. The greater the correlation, the greater the similarity between them. The techniques used to exploit proximity data include: cluster analysis, multidimensional scaling (MDS) and factor analysis.

- Interpretation and validation of results: this is the final stage of the process, in which the relationships between the elements and the groupings obtained in the multivariate analysis stage are established. Next, results are validated by consulting specialists or through statistical validation.

The second methodology focuses on the process that the design of a network study should follow. Although originally applied to social networks, as in the previous case, it can be extended to any network study, of whatsoever type (Marsden PV, 1990):

- Level of analysis: this makes it possible to obtain data to represent the links between the elements in the community studied.

- Analysis limits: the set of units to be included in the study is determined in this stage. This is especially important in network analyses, which focus on the explicit interdependencies between units. Omitting elements that should form a part of the analysis or setting arbitrary limits may produce misleading or incorrect results.

- Network sample: the proposed methods include a complete list of all the constituent nodes, or random procedures to select only some of them.

- Data source: among the methods used to obtain data are surveys and questionnaires, social experiments, files and databases.

- Data quality: when data is gathered through surveys, certain processes must be performed to ensure the quality of the data obtained and reduce subjectivity.

- Interpretation: the interpretation of the results should be based on measurements of the network itself, such as its size, data regarding node centrality and network centralization, and the size of the links.

The third methodology includes the steps necessary to obtain domain visualization tools (Börner K et al., 2003):

- Data extraction: from information on journal articles included in databases (*ISI*, *Inspec*, *Medline*), from patents, monographs, research projects, etc.

- Unit of analysis: this should be selected depending on the research question to be solved, the most prominent being journal, author, term and classification code.

- Unit of measurement: closely related to and dependent upon the previous stage. It involves selecting the measurements whose occurrences or co-occurrences help obtain the matrices that underlie and give meaning to subsequent visualizations.

- Spatial reduction: this, with connectionist techniques and networks obtained through pruning with the Pathfinder algorithm, completes the list of tools proposed by McCain (self-organized maps).

- Information visualization: the design of the data visualizations obtained should use techniques that enable the user to interact with the maps through filters, panoramic views, zoom or distortions that facilitate searches in the new informational domains.

Science maps are ideal tools for learning about and better understanding the details of associations and flows in scientific communication based on research results, in the same way that maps in the real world familiarize users with their environment and help identify their exact location and surrounds. Full information on surroundings helps predict or anticipate future changes, especially changes in the immediate environment (Boyack KW et al., 2005).

The aim of disciplinary maps is to help researchers become more familiar with their work context, enabling them to navigate and move around in it. As most scientific institutions are organized into departments, extracting disciplinary maps of these administrative research units (together with the respective authors) is the main objective of this thesis.

Having discussed the aforementioned methods, some of whose aspects are partially applicable to the work proposed, one must now be formulated that will

encompass the three preceding approaches. To this end, a new, convergent methodology is proposed.

**CHAPTER 8. RESULTS.**

In this chapter devoted to the results obtained, the methodology described in the previous chapter is empirically applied to achieve the proposed objectives. The aim is to describe collaboration patterns in the departments analyzed from a kaleidoscopic perspective, including international, national and departmental cooperation. Collaboration activity in the latter area is broken down into several categories: interdepartmental, subject area, author's gender and actors' hierarchical status. Finally, the evolution of the topological and structural patterns of the networks as a whole was determined, and the popularity and prestige of the most noteworthy nodes in each department were analyzed.

The information gathered about departmental collaboration at UC3M, i.e., the data subset extracted from the database created as described in chapter 6, sheds light on work habits, the importance of geographic proximity, the influence of national and international collaboration on output and impact, women's status in institutional research, group formation along speciality lines and their makeup based on the hierarchical status of their members. It also contributes to establishing possible variations in collaboration patterns, depending on the scientific discipline described.

Finally, the analytical part comprises the last two chapters:

**CHAPTER 9. DISCUSSION.**

This chapter, which deals with the analytical aspects of the results, focuses on a detailed examination of each of the facets of cooperation discussed in the previous

chapter, the summary and explanation of the findings and the recommendations arising from their analysis.

## CHAPTER 10. CONCLUSIONS AND FUTURE STUDY.

### CONCLUSIONS.

A methodology developed for the convergent use of scientific map formulation, the visualization of scientific domains and network theory was applied to a case study of Carlos III University, and its scalability and robustness were verified. “Scalability” refers to its applicability to a set of data, regardless of size. The only limitation in this regard is the physical space available on a computer screen to show a large number of nodes and/or links. In this case, the solution would be to use schematization algorithms. “Robustness” refers to the validity of the results obtained once the matrix data are transformed into information networks. Their accuracy is confirmed both by the opinion of the experts consulted, and by the similarity of the research subjects based on the categories to which the bibliographic references contained in the papers analyzed are assigned.

One small drawback was encountered, which is not attributable to the methodology itself, but to the nature of the data used. In the chapter on material, the databases used were exhaustively analyzed. However, despite their potential and suitability for this type of research, they indisputably pose problems that they are not wholly representative in two respects: in light of the small number of journals they included in the databases, and the accuracy in light of the many problems surrounding the normalization of both individual and institutional data. These were resolved using techniques that ensured their consistency. Thus, the methodology is also sound in this regard, and the higher the quality of the data used in applying it, the more reliable, representative and accurate it will be.

The inclusion of new collections of data from other databases on scientific papers, such as Scopus, or on other types of documents (conference proceedings, monographs, patents, research projects, researcher mobility, research contracts, technical reports, etc.), will serve to improve the results and further establish the solvency of the method proposed.

The conclusions on the modelling and characterization of the co-authorship networks must be vertically subdivided into the three levels of analysis proposed: individuals, groups and departments.

- Individuals: the development of new convergence indicators has made it possible to discover link patterns between actors, invaluable in understanding the individual scope of the issue. The new formulas for characterizing researchers seem to be valid and effective assessment instruments for identifying excellent authors, i.e., not only the most productive or visible ones, but those who are able to pool their efforts and work in communities. Their excellence is based on both their individual worth and their ability to teamwork with partners, with whom they can generate new, high-quality scientific, technical and/or technological knowledge and obtain additional resources that ensure that further research can be conducted.

  The positions of individuals and their distinguishing characteristics could, then, be determined, through indicators identifying the leading and most prestigious professors, as well as the intermediaries. This information could then be used to compare time frames and departments. The establishment of the relationships within the co-authorship networks for the two periods analyzed revealed the collaboration patterns followed by the actors concerned to achieve recognition for their ideas among their colleagues.

These tools are sensitive to traditional indicators but also to the new demands of modern science as a self-organized system of interactions among individuals. They provide information about researchers' environments and about the way they behave in it (always cooperating with the same colleagues within the same lines of research, or working with new scientific partners to seek new challenges, for example). In this new panorama, it is no longer enough to *have* (papers published or cited); rather, it is necessary to *be*, from the perspective of the "*connecto ergo sum*" so aptly coined by Björneborn (Björneborn L, 2004).

The results obtained emphasize the new concept of science and research, and give the necessary prominence to the degree of cooperation among researchers, until now ignored. They also reliably confirm the importance of collaboration in the management of science and technology policies.

A unique feature of the resulting visualizations is that the egocentric network of each of the participating nodes can be accessed. This development not only identifies all of an author's partners, but also denotes the strength (the darker and thicker the line, the stronger the link) and diversity of the links, the latter in the form of a ratio depending on the typology of cases in each partition.

- Groups: with this thesis research groups can be feasibly identified on the basis of their choice of co-authorship links. The group to which authors are assigned is established according to the similarity in their choice of collaborators. Factor analysis, used for this purpose, yields results from which each group's communication structure within its department can be characterized. The result is a set of research-based communities, each of which shares research guidelines and objectives that distinguish it from other groups.

The subsequent identification and pooling of groups according to their common characteristics, in this case subject category, provide intellectual snapshots or cognitive organizational charts for the various departments studied. The aim of this instrument is to detail authors' specialities and their evolution, as a way to initially assess their research.

In addition, the differences in magnitude of the links represented can be used to descend to a deeper level in the concept of "research team", understood as a nuclear subset identified through nodal groupings with very intense relationships, as an instrument that distinguishes the nature of inter-group relationships.

- Departments: the findings at this level led to the observation and analysis of the departmental structure with an unusual degree of detail in the various facets and perspectives suggested by the literature on this subject: specialities, gender, hierarchical status and intra- and inter-institutional relationships. The inclusion of up to twelve one-dimensional indicators combines the (structural) process facet with the (bibliometric) descriptive aspect to enhance the information content. This facilitates the understanding of the details of associations and communication flows among researchers and managers, enabling them to discover, as exceptional observers, the reality of their working context, which they themselves have built.

  In this regard, collaboration with other institutions (Spanish or foreign) does not ensure the greater visibility expected from the results of the research. Therefore, partners should be chosen not because of proximity (geographic, political, social, cultural or any other type), which would augur easy understanding, but because of interests, abilities and needs that contribute

to solving common problems. In other words, this choice should be based on cognitive proximity, which involves greater effort, but also generates greater benefits. In short, it is a question of achieving dialogue between groups, institutions, countries and disciplines to advance scientific knowledge.

The limited inter-departmental cooperation highlights two different but closely related issues. The first is the importance of external intellectual capital in departments' scientific production. On occasion, it even takes precedence over internal intellectual capital. The second, a derivative of the first, denotes severe internal communication problems within the institution. This makes it necessary to develop mechanisms that ensure the effective transmission of the contents of the organization's research work and skills, and any of their most outstanding features that may be of interest and use to the rest of the university community.

Besides, the cases of female and younger researcher representation are similar. Their moderate increase (in production, visibility and centrality) should not prevent the implementation of plans to recruit research staff who combine both quantity and quality, and for the development of professional careers based on merit and individual capabilities.

From a purely structural standpoint, the institution's "youth" has facilitated the observation of the development and evolution of co-authorship networks. In their emergent stage, which coincides with the first period analyzed, such networks are characterized by the predominance of groups in the form of factions, coalitions and rings lacking in any interconnections. In the second period, however, the networks reach some degree of consolidation, the intensity of which depends on departmental maturity and the scientific environment. This stage is characterized by an increase in the

number of actors and weak links that connect communities, making up larger components.

Substructures in the form of a distributed network have been shown to be more efficient than star networks, as will be emphasized below in the discussion on complete networks. The distinguishing characteristic of the latter is that they are governed from a central node whose role is to control and manage information, around which the links with the rest of the participants are established; there are no other connections in the network (Goyal S y Vega-Redondo F, 2005). In network theory, this is known as a structural hole, or the type of inter-group relationship that acts as a barrier (control) for information flows, affording one or a series of actors an advantageous and prominent structural position (Burt RS, 2001). Compared to these, distributed networks are characterized by sharing control among their members and the predominance of reciprocal connections. In such structures information flows are homogenized and shared, facilitating the integration of the actors in the different groups, and generating non-redundant structures that add information and are better adapted to obtaining new knowledge.

There is a final, conclusive, horizontal level that summarizes the departmental level and relates the networks analyzed as a whole. From this perspective, this thesis corroborates, in the first place, the widespread idea, generally accepted by the international scientific community, that it confers positive effects on scientific collaboration and believes that it improves productivity and visibility, as observed in the case at hand.

Secondly, this thesis contributes to characterizing the networks that make up co-authorship relationships. Although working at the micro level of the scientific structure, with small- and medium-sized networks, is regarded as a handicap by

many researchers, the distributions of degree obtained are similar to the archetypal structure of scale-free networks taken from the analysis of much larger real-world networks.

Thirdly, as far as network analysis is concerned, this thesis reveals the influence of network structure and cohesion and their effect on basic bibliometric indicators. The analysis of the values of these representations makes it possible to study network "efficiency", understood as the comparison of results on the basis of the predominant structural configuration. Centralized structures with fewer components are more efficient than decentralized ones formed by the concurrence of isolated groups. A paradigmatic case of the effects of structural configuration on efficiency is the evolution of the Mathematics Department's network, whose centralized composition was changed to a structure based on unconnected groups, resulting in a clear decrease in both productivity and visibility.

The visualization tools developed based on the premises expressed in the chapter on information visualization represent space-time solutions to a variety of propositions. These include the non-distortion of the original data (thanks to the scant density in the resulting medium-sized networks it was unnecessary to apply schematization or simplification algorithms, offering an unaltered view of the underlying reality of the data used); the coherent presentation of a large amount of information in as little space as possible (thanks to spring-embedder algorithms); and the ability to compare different types of indicators (bibliometric and/or structural). However, among the qualities most appreciated by users are their interactive capabilities (visual aids such as the different colours and sizes of nodes and links, option buttons to change the visualization perspective, the ability to hide data to make it easier to obtain information, and the ability to move around and navigate using the zoom feature).

These are, therefore, tools that go beyond mere graphic representation to become knowledge instruments able to reflect the evolution of collaboration analyzed over time based on their own protagonists, emphasizing the often-expressed idea of science as a social system in which scientists exchange ideas, experiences, questions and solutions. Even though this evolution is static and historic, the observation of its trends over time is an invaluable tool for predictions and forecasts, in much the same way as weather maps are.

Finally, the increase in scientific cooperation is the best indication of how difficult it has become for an individual scientist to have all the knowledge, techniques, skills and ability to use the tools required for carrying out quality scientific work. Therefore, researchers are moving further and further away from individuality to move closer to a model in which the research plays the lead role, relegating the scientist to the background.

In this new interdisciplinary, multidisciplinary, transdisciplinary work environment, it is as difficult to divide the whole of the research into disciplinary parts as it is to try and do the same with the authorship of the documents. The shift towards the new paradigm predicted by Gibbons means not only changing the locations where the new science takes place and how it is created, but also changing the way it is understood. This should undoubtedly include the way research is assigned to those responsible for creating it. As group work has been proven to be is the basic and essential way in which scientific studies are conducted, why keep dividing up the authorship of these studies as if they were a cake? The subject (disciplinary) assignment of papers should be as indivisible as their authorship.

Attendant upon this is the proven validity of scientific collaboration *per se*, which is ratified by such illustrative examples as the most recent calls for research projects at the regional (Comunidad de Madrid, 2005), national (Ministerio de Educación y Ciencia, 2006) and European (Unión Europea, 2006) levels, in which the

concurrence of several research groups in each of the proposals presented becomes strictly necessary.

Finally, this dissertation has verified the fact that analyses at the lowest level of the scientific structure, despite their comparatively smaller volume of data, can obtain relevant results able to corroborate scientific observations and ideas resulting from the analysis of macro datasets on collaboration (national or international). It is, therefore, evident that, even though the normalization effort at this level is greater than that which is necessary in other, the results are broken down to a further extent; or to put it another way, they contain more relevant and detailed information. Some authors criticize this type of analysis because of its lack of statistical significance. On the contrary, it is an ideal formula for detecting peculiarities and for trying to explain and understand possible deviations from the norm that would otherwise remain totally hidden in higher-level studies. In short, understanding science in its broadest sense involves the type of scrutiny afforded by micro-analysis.

## FUTURE STUDIES.

### RESEARCH GROUPS.

This thesis presents a methodology appropriate for the analysis of research groups, and its potential has been proven in the analysis and visualization of departmental collaboration networks and for the identification of research groups and specialities. However, one immediate objective focuses on comparing these “real” units, based on common scientific work in the form of publications, to the “official” structures reflected in UC3M’s first Catalogue of Research Groups.

**NETWORK ANALYSIS.**

This dissertation has identified some of the underlying factors that explain different network configurations, the position of the groups in the network, the internal communication structure of these groups, and the position of the different authors within their group and in relation to the other actors in the overall network. However, there are other unknowns that must be explained: how do the group's diversity and heterogeneity affect its creativity, cohesion, cooperation and decision making? What type of internal relationships may be associated with encouraging group work? Does the density of links between a group and its environment influence its development? Are there structural positions that bring greater benefits, forming strategic connections?

From another standpoint, the thesis shows co-authorship network structures that can be divided into the following types, depending on their cohesion: distributed networks, independent networks and networks with structural holes. The identification and analysis of these structures may serve as a basis for ascertaining whether composition is a decisive factor that affects the success of group research.

**INFORMATION VISUALIZATION.**

Other, more ambitious, medium-term objectives include the construction of visualizations with a higher degree of interactivity, enabling users to navigate through map systems on different sublevels. Starting with macrodomains (countries or geopolitical regions), with these systems users could descend to the level of mesodomains (regions, sectors, disciplines, institutions), which in turn would lead to microdomains such as the ones represented here. The *modus operandi* is similar to the procedures deployed by the Atlas of Science's co-citation maps (Grupo SCImago, 2004).

The main difficulty lies in the normalization and control of the enormous volume of authors participating in thousands of papers, which increase in number with each higher level. However, the practice of standardizing the names of both individuals and institutions, which is becoming increasingly widespread among scientists (the IRALIS initiative (IraLIS, 2007) is a good example), as well as algorithmic advances in identifying and correcting these problems, are working to the advantage of researchers in the field.

**DEVELOPING NEW INDICATORS.**

The introduction of new bibliometric and, especially, structural indicators as ideal information complements for the development of an on-line information recovery system will also be very important. The exploration of these innovative representations from a structural analysis standpoint, expanding the battery of centrality indicators with others for cohesion and even probabilistic methods for predicting network evolution, constitutes a line of research with good prospects and promising results.

**EVOLUTION OF NETWORKS.**

Lastly, an equally exciting line of research is the development of interactive maps that incorporate time information. These break the mould of static, unchanging representations by using animation that enables the user to observe network formation and evolution processes.

# SUMARIO

AGRADECIMIENTOS..... VII
ABSTRACT..... IX
SUMARIO..... XLI
ÍNDICE DE TABLAS..... XLVIII
ÍNDICE DE FIGURAS..... L
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN..... 55
1.1. Antecedentes..... 3
1.2. Motivación y Justificación..... 6
1.3. Objetivos..... 9
1.4. Fuentes Utilizadas..... 10
1.5. Estructura de la Tesis..... 11
CAPÍTULO 2. COLABORACIÓN CIENTÍFICA..... 14
2.1. Introducción..... 15
2.2. Qué es la Colaboración..... 17
2.3. Hacia una Definición de Colaboración Científica..... 20
2.4. Naturaleza y Actores de la Colaboración Científica..... 23
2.5. Factores que Intervienen en la Colaboración Científica..... 25
2.6. Motivos para la Colaboración Científica..... 29
2.7. Medir la Colaboración Científica..... 33
2.8. Colaboración, Productividad y Visibilidad..... 35
2.8.1. Productividad..... 35
2.8.2. Visibilidad..... 37
2.9. Políticas Científicas en torno a la Colaboración..... 38
2.10. Colaboración e Interdisciplinariedad de la Ciencia..... 40
2.11. Corolario..... 42
CAPÍTULO 3. GRUPOS DE INVESTIGACIÓN..... 44
3.1. Introducción..... 45
3.2. Definición de Grupo de Investigación..... 45
3.3. Grupos como Unidades para la Resolución de Problemas..... 48
3.4. Determinación de los Grupos de Investigación..... 49
3.5. Organización de los Grupos de Investigación..... 51

3.5.1. Tipos de Colaboración en función de los Objetivos. El Colaboratorio. ..... 52
3.5.2. Tipos de Colaboración en función de la Especialización. ..... 57
3.5.3. Tipos de Colaboración en función de la Organización Interna. ..... 58
3.6. Problemas de Organización de los Grupos de Investigación. ..... 60
3.7. Corolario. ..... 64
CAPÍTULO 4. VISUALIZACIÓN DE INFORMACIÓN ..... 66
4.1. Introducción. ..... 67
4.2. El Concepto de Visualización. ..... 68
4.3. Visualización de Información. ..... 71
4.4. Diseño de Visualizaciones de Información. ..... 74
4.5. La Cienciografía. Un Recorrido Visual. ..... 77
4.6. Utilidad de la Cienciografía. ..... 82
4.6.1. Evolución de las Disciplinas Científicas y Visualización de Dominios Temáticos. .... 83
4.6.2. Interfaz para la Recuperación de Información. ..... 85
4.6.3. Herramienta de Evaluación de Políticas Científicas. ..... 86
4.7. Corolario. ..... 87
CAPÍTULO 5. TEORÍA DE REDES ..... 88
5.1. Introducción. ..... 89
5.2. Breve Reseña Histórica. ..... 91
5.3. Conceptos Básicos de la Teoría de Redes. ..... 94
5.4. Tipos de Redes. ..... 96
5.4.1. Redes Sociales. ..... 96
5.4.2. Redes de Información. ..... 97
5.4.3. Redes Tecnológicas. ..... 98
5.4.4. Redes Biológicas. ..... 98
5.4.5. Redes Pequeñas. ..... 99
5.4.6. Redes de Tamaño Medio. ..... 99
5.4.7. Grandes Redes. ..... 100
5.5. Propiedades de las Redes. ..... 100
5.5.1. Redes Aleatorias. ..... 100
5.5.2. Mundos Pequeños. ..... 101
5.5.3. Redes Sin Escala. ..... 102
5.6. Evolución y Dinámica de Redes. ..... 104
5.7. Detección, Extracción e Identificación de Comunidades. ..... 106
5.7.1. Algoritmos para la Extracción de Comunidades. ..... 107

5.8. Redes de Colaboración Científica. ..... 110
5.9. Corolario. ..... 111
CAPÍTULO 6. MATERIAL ..... 113
6.1. Introducción. ..... 114
6.2. Las Bases de Datos de Thomson Scientific. ..... 115
6.3. Extracción de los Datos. ..... 118
6.4. Normalización y Depuración de los Datos. ..... 119
6.4.1. Falta de Consistencia de los Datos Institucionales. ..... 121
6.4.2. Falta de Consistencia de los Datos de Autores Personales. ..... 123
6.5. Codificación y Generación de la Fuente Secundaria. ..... 126
6.6. Corolario. ..... 126
CAPÍTULO 7. METODOLOGÍA ..... 128
7.1. Introducción. ..... 129
7.2. Nivel de Análisis. ..... 134
7.3. Unidad de Análisis. ..... 135
7.4. Unidad de Medida. ..... 136
7.4.1. La Coautoría. ..... 137
7.4.2. Tipos de Recuento. ..... 142
7.4.3. Obtención de los Valores de Coautoría y Generación de Matrices. ..... 145
7.5. Técnicas de Esquematización. ..... 146
7.6. Distribución Espacial. ..... 148
7.6.1. Fruchterman-Reingold. ..... 150
7.6.2. Kamada-Kawai. ..... 150
7.6.3. Selección del Algoritmo. ..... 151
7.7. Generación de Visualizaciones de Información. ..... 155
7.7.1. Los Gráficos Vectoriales. ..... 156
7.7.2. Scalable Vector Graphics. ..... 156
7.7.3. Visualizaciones Interactivas. ..... 158
7.8. Extracción de Comunidades. ..... 159
7.8.1. Definición de Análisis Factorial. ..... 161
7.8.2. Cálculo de la Matriz de Correlaciones. ..... 162
7.8.3. Extracción de los Factores. ..... 163
7.8.4. Rotación de los Factores. ..... 164
7.8.5. Interpretación de los Factores. ..... 165
7.8.6. Objetivos y Usos del Análisis Factorial. ..... 166

7.9. Interpretación de Resultados. ..... 166
7.9.1. Indicadores para la Dimensión Cuantitativa de la Producción Científica. ..... 167
7.9.1.1. Indicador Ndoc. ..... 167
7.9.1.2. Indicador Artículos. ..... 168
7.9.2. Indicadores para la Dimensión Cualitativa de la Producción Científica. ..... 168
7.9.2.1. Indicador FITN. ..... 169
7.9.2.2. Indicador PI. ..... 170
7.9.2.3. Número de Citas Observadas. ..... 171
7.9.3. Indicadores de Colaboración Científica. ..... 171
7.9.3.1. Ndoc en col. ..... 172
7.9.3.2. Índice de Coautoría. ..... 173
7.9.4 Indicadores para la Dimensión Estructural y de Redes. ..... 173
7.9.4.1. Medidas de Centralidad y Centralización. ..... 173
7.9.4.2. Densidad. ..... 177
7.9.4.3. Índices de Popularidad y Prestigio. ..... 178
7.10. Corolario. ..... 180
CAPÍTULO 8. RESULTADOS ..... 182
8.1 Introducción. ..... 183
8.2. Caso de Estudio. ..... 183
8.2.1. Selección de los Departamentos. ..... 189
8.3. Departamento de Informática. ..... 190
8.3.1. Datos Generales de Colaboración. ..... 190
8.3.2. Colaboración Internacional. ..... 192
8.3.3. Colaboración Nacional. ..... 193
8.3.4. Colaboración Institucional a partir de Redes de Coautoría. ..... 195
8.3.5. Análisis Temático de las Redes de Coautoría. ..... 197
8.3.6. Análisis por Sexo de las Redes de Coautoría. ..... 201
8.3.7. Análisis de la Situación Administrativa de las Redes de Coautoría. ..... 204
8.3.8. Evolución y Topología de las Redes de Coautoría. ..... 205
8.3.9. Popularidad y Prestigio. ..... 207
8.4. Departamento de Economía. ..... 209
8.4.1. Datos Generales de Colaboración. ..... 209
8.4.2. Colaboración Internacional. ..... 211
8.4.3. Colaboración Nacional. ..... 212
8.4.4. Colaboración Institucional a partir de Redes de Coautoría. ..... 213

8.4.5. Análisis Temático de las Redes de Coautoría. 215
8.4.6. Análisis por Sexo de las Redes de Coautoría. 218
8.4.7. Análisis de la Situación Administrativa de las Redes de Coautoría. 220
8.4.8. Evolución y Topología de las Redes de Coautoría. 221
8.4.9. Popularidad y Prestigio. 223
8.5. Departamento de Economía de la Empresa. 224
8.5.1. Datos Generales de Colaboración. 224
8.5.2. Colaboración Internacional. 226
8.5.3. Colaboración Nacional. 227
8.5.4. Colaboración Institucional a partir de Redes de Coautoría. 228
8.5.5. Análisis Temático de las Redes de Coautoría. 230
8.5.6. Análisis por Sexo de las Redes de Coautoría. 233
8.5.7. Análisis de la Situación Administrativa de las Redes de Coautoría. 235
8.5.8. Evolución y Topología de las Redes de Coautoría. 236
8.6. Departamento de Estadística. 239
8.6.1. Datos Generales de Colaboración. 239
8.6.2. Colaboración Internacional. 241
8.6.3. Colaboración Nacional. 242
8.6.4. Colaboración Institucional a partir de Redes de Coautoría. 243
8.6.5. Análisis Temático de las Redes de Coautoría. 245
8.6.6. Análisis por Sexo de las Redes de Coautoría. 248
8.6.7. Análisis de la Situación Administrativa de las Redes de Coautoría. 250
8.6.8. Evolución y Topología de las Redes de Coautoría. 251
8.6.9. Popularidad y Prestigio. 252
8.7. Departamento de Física. 254
8.7.1. Datos Generales de Colaboración. 254
8.7.2. Colaboración Internacional. 256
8.7.3. Colaboración Nacional. 257
8.7.4. Colaboración Institucional a partir de Redes de Coautoría. 258
8.7.5. Análisis Temático de las Redes de Coautoría. 260
8.7.6. Análisis por Sexo de las Redes de Coautoría. 263
8.7.7. Análisis de la Situación Administrativa de las Redes de Coautoría. 265
8.7.8. Evolución y topología de las Redes de Coautoría. 266
8.7.9. Popularidad y Prestigio. 268
8.8. Departamento de Ciencia de Materiales. 269

8.8.1. Datos Generales de Colaboración. 269
8.8.2. Colaboración Internacional. 271
8.8.3. Colaboración Nacional. 272
8.8.4. Colaboración Institucional a partir de Redes de Coautoría. 273
8.8.5. Análisis Temático de las Redes de Coautoría. 275
8.8.6. Análisis por Sexo de las Redes de Coautoría. 278
8.8.7. Análisis de la Situación Administrativa de las Redes de Coautoría. 280
8.8.8. Evolución y Topología de las Redes de Coautoría. 281
8.8.9. Popularidad y Prestigio. 283
8.9. Departamento de Matemáticas. 284
8.9.1. Datos Generales de Colaboración. 284
8.9.2. Colaboración Internacional. 286
8.9.3. Colaboración Nacional. 287
8.9.4. Colaboración Institucional a Partir de Redes de Coautoría. 288
8.9.5. Análisis Temático de las Redes de Coautoría. 290
8.9.6. Análisis por Sexo de las Redes de Coautoría. 292
8.9.7. Análisis de la Situación Administrativa de las Redes de Coautoría. 294
8.9.8. Evolución y Topología de las Redes de Coautoría. 296
8.9.9. Popularidad y Prestigio. 297
8.10. Departamento de Teoría de la Señal. 298
8.10.1. Datos Generales de Colaboración. 298
8.10.2. Colaboración Internacional. 300
8.10.3. Colaboración Nacional. 301
8.10.4. Colaboración Institucional a partir de las Redes de Coautoría. 302
8.10.5. Análisis Temático de las Redes de Coautoría. 304
8.10.6. Análisis por Sexo de las Redes de Coautoría. 306
8.10.7. Análisis de la Situación Administrativa de las Redes de Coautoría. 308
8.10.9. Popularidad y Prestigio. 311
8.11. Departamento de Tecnología Electrónica. 312
8.11.1. Datos Generales de Colaboración. 312
8.11.2. Colaboración Internacional. 314
8.11.3. Colaboración Nacional. 315
8.11.4. Colaboración Institucional a partir de Redes de Coautoría. 316
8.11.5. Análisis Temático de las Redes de Coautoría. 318
8.11.6. Análisis por Sexo de las Redes de Coautoría. 320

8.11.7. Análisis de la Situación Administrativa de las Redes de Coautoría. 322
8.11.8. Evolución y Topología de las Redes de Coautoría. 323
8.11.9. Popularidad y Prestigio. 325
CAPÍTULO 9. DISCUSIÓN 327
9.1. Introducción. 328
9.2. Productividad y Visibilidad. 328
9.3. Patrones de Colaboración. 329
9.4. Colaboración Nacional e Internacional. 330
9.4.1. Valoraciones Previas. 330
9.4.2. Colaboración Internacional. 333
9.4.3. Colaboración Nacional. 333
9.5. Colaboración Institucional. 336
9.5.1. Colaboración Departamental. 336
9.5.2. Colaboración Interdepartamental. 337
9.6. Análisis por Sexo. 338
9.7. Situación Administrativa. 339
9.8. Evolución y Topología de las Redes de Coautoría. 341
9.9. Popularidad y Prestigio. 350
9.10. Corolario. 352
CAPÍTULO 10. CONCLUSIONES 353
10.1. Exposición de las Conclusiones. 354
10.2. Líneas de Investigación Futuras. 363
BIBLIOGRAFÍA 366

# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Cooperación, coordinación y colaboración. Descripción de elementos (Mattesich, 2001).....20
Tabla 2.2. Tipos de colaboración con distinción entre formas intra e inter.....25
Tabla 6.1. Variaciones aceptables del Dpto. Economía de la UC3M.....122
Tabla 6.2. Variaciones inaceptables de la Escuela Politécnica de Leganés.....122
Tabla 6.3. Ejemplo de fichero de autoridad para evitar la sinonimia de autores.....125
Tabla 7.1. Umbrales de varianza acumulada (Visauta, 2003).....166
Tabla 7.2. Listado de indicadores para la interpretación de resultados.....167
Tabla 8.1. Producción absoluta por departamentos. UC3M (1990-2004).....184
Tabla 8.2. Producción de departamentos con más de 10 documentos (1990-2004).....189
Tabla 8.3. Eigenvalues. Informática (1995-2004).....198
Tabla 8.4. Muestra de factores con valor ≥ 0.5. Informática (2000-2004).....199
Tabla 8.5. Aportación masculina y femenina. Informática (1995-2004).....202
Tabla 8.6. Valores generales de las redes de Informática (1995-2004).....206
Tabla 8.7. Popularidad y prestigio. Informática (1995-2004).....208
Tabla 8.8. Eigenvalues. Economía (1995-2004).....215
Tabla 8.9. Muestra de factores con valor ≥ 0.5. Economía (2000-2004).....216
Tabla 8.10. Aportación masculina y femenina. Economía (1995-2004).....218
Tabla 8.11. Valores generales de las redes de Economía.....221
Tabla 8.12. Popularidad y prestigio. Economía (1995-2004).....223
Tabla 8.13. Eigenvalues. Empresa (1995-2004).....230
Tabla 8.14. Muestra de factores con valor ≥ .05. Empresa (2000-2004).....231
Tabla 8.15. Aportación masculina y femenina. Empresa (1995-2004).....233
Tabla 8.16. Valores generales de las redes de Empresa.....237
Tabla 8.17. Popularidad y prestigio. Empresa (1995-2004).....238
Tabla 8.18. Eigenvalues. Estadística (1995-2004).....245
Tabla 8.19. Muestra de factores con valor ≥ 0.5. Estadística (1995-1999).....246
Tabla 8.20. Aportación masculina y femenina. Estadística (1995-2004).....248
Tabla 8.21. Valores generales de las redes de Estadística.....252
Tabla 8.22. Popularidad y prestigio. Estadística (1995-2004).....253
Tabla 8.23. Eigenvalues. Física (1995-2004).....260
Tabla 8.24. Muestra de factores con valor ≥ 0.5. Física (1995-1999).....261
Tabla 8.25. Aportación masculina y femenina. Física (1995-2004).....263
Tabla 8.26. Valores generales de las redes de Física.....267

Tabla 8.27. Popularidad y prestigio. Física (1995-2004) ..... 268
Tabla 8.28. Eigenvalues. Materiales (1995-2004) ..... 276
Tabla 8.29. Muestra de factores con valor ≥ 0.5. Materiales (1995-1999) ..... 276
Tabla 8.30. Aportación masculina y femenina. Materiales (1995-2004) ..... 278
Tabla 8.31. Valores generales de las redes de Materiales ..... 282
Tabla 8.32. Popularidad y prestigio. Materiales (1995-2004) ..... 283
Tabla 8.33. Eigenvalues. Matemáticas (1995-2004) ..... 290
Tabla 8.34. Muestra de factores con valor ≥ 0.5. Matemáticas (1995-1999) ..... 291
Tabla 8.35. Aportación masculina y femenina. Matemáticas (1995-2004) ..... 293
Tabla 8.36. Valores generales de las redes de Matemáticas ..... 296
Tabla 8.37. Popularidad y prestigio. Matemáticas (1995-2004) ..... 298
Tabla 8.38. Eigenvalues. Señal (1995-2004) ..... 304
Tabla 8.39. Muestra de factores con valor ≥ 0.5. Señal (2000-2004) ..... 305
Tabla 8.40. Aportación masculina y femenina. Señal (1995-2004) ..... 306
Tabla 8.41. Valores generales de las redes de Señal ..... 310
Tabla 8.42. Popularidad y prestigio. Señal (1995-2004) ..... 311
Tabla 8.43. Eigenvalues. Electrónica (1995-2004) ..... 318
Tabla 8.44. Muestra de factores con valor ≥ 0.5. Electrónica (2000-2004) ..... 318
Tabla 8.45. Aportación masculina y femenina. Electrónica (1995-2004) ..... 320
Tabla 8.46. Valores generales de las redes de Electrónica ..... 323
Tabla 8.47. Popularidad y prestigio. Electrónica (1995-2004) ..... 325
Tabla 9.1. Promedio de impactos esperados por departamentos (1995-2004) ..... 331
Tabla 9.2. Tipos de colaboración por departamentos en % (1995-2004) ..... 337
Tabla 9.3. Diferencia de aportación femenina respecto al primer quinquenio en % ..... 338
Tabla 9.4. Distribución del grado nodal (1990-2004) ..... 341

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.1. Física Nuclear (Small HG y Griffith BC, 1974) ..... 78
Figura 4.2. Colágeno (Small HG, 1977) ..... 78
Figura 4.3. Colágeno (Small HG, 1980) ..... 79
Figura 4.4. Ciencia y Tecnología (White HD y Griffith BC, 1982) ..... 79
Figura 4.5. Fibras Dietéticas (Callon M et al., 1983) ..... 79
Figura 4.6. Macroeconomía (McCain KW, 1990) ..... 79
Figura 4.7. Astrofísica (Small HG, 1997) ..... 80
Figura 4.8. Documentación (White HD y McCain KW, 1998) ..... 80
Figura 4.9. Red neuronal (Noyons ECM y van Raan AFJ, 1998b) ..... 80
Figura 4.10. Dominio científico (Chen C y Paul RJ, 2001) ..... 80
Figura 4.11. Documentación (White HD, 2003) ..... 81
Figura 4.12. Filósofos clásicos (Lin X et al., 2003) ..... 81
Figura 5.1. Los siete puentes de Kaliningrado en la época de Euler (Wilson RJ y Watkins JJ, 1990) ..... 92
Figura 5.2. Solución de Euler al problema de los puentes de Kaliningrado ..... 92
Figura 5.3. Grafo no dirigido ..... 95
Figura 5.4. Grafo dirigido ..... 95
Figura 5.5. Árbol ..... 95
Figura 5.6. Grafo conectado ..... 95
Figura 5.7. Grafo con dos componentes ..... 95
Figura 5.8. Red completa ..... 96
Figura 5.9. Punto de corte ..... 96
Figura 5.10. Puente ..... 96
Figura 6.1. Software *ad hoc* SCImago de normalización de instituciones ..... 123
Figura 6.2. Estructura final de la base de datos relacional ..... 126
Figura 7.1. Nueva Metodología para la Visualización de Redes de Coautoría ..... 133
Figura 7.2. Esquema de redes simultáneas de autores y documentos ..... 138
Figura 7.3. Red departamental con algoritmo Fruchterman-Reingold ..... 152
Figura 7.4. Red departamental con algoritmo Kamada-Kawai ..... 153
Figura 8.1. Evolución de la producción absoluta. UC3M (1990-2004) ..... 185
Figura 8.2. Producción en colaboración en %. UC3M (1990-2004) ..... 186
Figura 8.3. Tendencias de producción por tipos de colaboración en %. UC3M (1991-2010) ..... 186
Figura 8.4. Producción absoluta por facultades en %. UC3M (1990-2004) ..... 188

Figura 8.5. Distribución de la coautoría en %. UC3M (1990-2004) ..... 188
Figura 8.6. Evolución de la producción por departamentos (1991-2004) ..... 190
Figura 8.7. Evolución de la producción por tipos colaboración. Informática ..... 191
Figura 8.8. Evolución de la producción por tipos colaboración en %. Informática ..... 192
Figura 8.9. Heliocéntrico de colaboración internacional. Informática (1995-2004) ..... 193
Figura 8.10. Heliocéntrico de colaboración nacional. Informática (1995-2004) ..... 194
Figura 8.11. Red de coautoría. Colaboración departamental. Informática (1995-1999) ..... 196
Figura 8.12. Red de coautoría. Colaboración departamental. Informática (2000-2004) ..... 197
Figura 8.13. Detalle de colaboración interdepartamental. Informática (2000-2004) ..... 197
Figura 8.14. Red de coautoría. Análisis temático. Informática (1995-1999) ..... 200
Figura 8.15. Red de coautoría. Análisis temático. Informática (2000-2004) ..... 201
Figura 8.16. Red de coautoría. Análisis por sexo. Informática (1995-1999) ..... 202
Figura 8.17. Red de coautoría. Análisis por sexo. Informática (2000-2004) ..... 203
Figura 8.18. Detalle de colaboración femenina. Informática (2000-2004) ..... 204
Figura 8.19. Red de coautoría. Relación administrativa. Informática (1995-1999) ..... 204
Figura 8.20. Red de coautoría. Relación administrativa. Informática (2000-2004) ..... 205
Figura 8.21. Evolución de la producción por tipos de colaboración. Economía ..... 209
Figura 8.22. Evolución de la producción por tipos de colaboración en %. Economía ..... 210
Figura 8.23. Heliocéntrico de colaboración internacional. Economía (1995-2004) ..... 211
Figura 8.24. Heliocéntrico de colaboración nacional. Economía (1995-2004) ..... 212
Figura 8.25. Red de coautoría. Colaboración departamental. Economía (1995-1999) ..... 213
Figura 8.26. Red de coautoría. Colaboración departamental. Economía (2000-2004) ..... 214
Figura 8.27. Red de coautoría. Análisis temático. Economía (1995-1999) ..... 217
Figura 8.28. Red de coautoría. Análisis temático. Economía (2000-2004) ..... 217
Figura 8.29. Red de coautoría. Análisis por sexo. Economía (1995-1999) ..... 219
Figura 8.30. Red de coautoría. Análisis por sexo. Economía (2000-2004) ..... 219
Figura 8.31. Red de coautoría. Relación administrativa. Economía (1995-1999) ..... 220
Figura 8.32. Red de coautoría. Relación administrativa. Economía (2000-2004) ..... 221
Figura 8.33. Evolución de la producción por tipos de colaboración. Empresa ..... 224
Figura 8.34. Evolución de la producción por tipos de colaboración en %. Empresa ..... 225
Figura 8.35. Heliocéntrico de colaboración internacional. Empresa (1995-2004) ..... 226
Figura 8.36. Heliocéntrico de colaboración nacional. Empresa (1995-2004) ..... 227
Figura 8.37. Red de coautoría. Colaboración departamental. Empresa (1995-1999) ..... 228
Figura 8.38. Red de coautoría. Colaboración departamental. Empresa (2000-2004) ..... 229
Figura 8.39. Detalle de colaboración interdepartamental. Empresa (2000-2004) ..... 230
Figura 8.40. Red de coautoría. Análisis temático. Empresa (1995-1999) ..... 232
Figura 8.41. Red de coautoría. Análisis temático. Empresa (2000-2004) ..... 232
Figura 8.42. Red de coautoría. Análisis por sexo. Empresa (1995-1999) ..... 234

Figura 8.43. Red de coautoría. Análisis por sexo. Empresa (2000-2004) ..... 234
Figura 8.44. Red de coautoría. Relación administrativa. Empresa (1995-1999) ..... 235
Figura 8.45. Red de coautoría. Relación administrativa. Empresa (2000-2004) ..... 236
Figura 8.46. Evolución de la producción por tipos de colaboración. Estadística ..... 240
Figura 8.47. Evolución de la producción por tipos de colaboración en %. Estadística ..... 241
Figura 8.48. Heliocéntrico de colaboración internacional. Estadística (1995-2004) ..... 241
Figura 8.49. Heliocéntrico de colaboración nacional. Estadística (1995-2004) ..... 242
Figura 8.50. Red de coautoría. Colaboración departamental. Estadística (1995-1999) ..... 243
Figura 8.51. Red de coautoría. Colaboración departamental. Estadística (2000-2004) ..... 244
Figura 8.52. Red de coautoría. Análisis temático. Estadística (1995-1999) ..... 247
Figura 8.53. Red de coautoría. Análisis temático. Estadística (2000-2004) ..... 247
Figura 8.54. Red de coautoría. Análisis por sexo. Estadística (1995-1999) ..... 249
Figura 8.55. Red de coautoría. Análisis por sexo. Estadística (2000-2004) ..... 249
Figura 8.56. Red de coautoría. Relación administrativa. Estadística (1995-1999) ..... 250
Figura 8.57. Red de coautoría. Relación administrativa. Estadística (2000-2004) ..... 251
Figura 8.58. Evolución de la producción por tipos de colaboración. Física ..... 255
Figura 8.59. Evolución de la producción por tipos de colaboración en %. Física ..... 256
Figura 8.60. Heliocéntrico de colaboración internacional. Estadística (1995-2004) ..... 256
Figura 8.61. Heliocéntrico de colaboración nacional. Física (1995-2004) ..... 257
Figura 8.62. Red de coautoría. Colaboración departamental. Física (1995-1999) ..... 259
Figura 8.63. Red de coautoría. Colaboración departamental. Física (2000-2004) ..... 259
Figura 8.64. Red de coautoría. Análisis temático. Física (1995-1999) ..... 262
Figura 8.65. Red de coautoría. Análisis temático. Física (2000-2004) ..... 262
Figura 8.66. Red de coautoría. Análisis por sexo. Física (1995-1999) ..... 263
Figura 8.67. Red de coautoría. Análisis por sexo. Física (2000-2004) ..... 264
Figura 8.68. Detalle de colaboración femenina. Física (2000-2004) ..... 264
Figura 8.69. Red de coautoría. Relación administrativa. Física (1995-1999) ..... 265
Figura 8.70. Red de coautoría. Relación administrativa. Física (2000-2004) ..... 266
Figura 8.71. Evolución de la producción por tipos de colaboración. Materiales ..... 270
Figura 8.72. Evolución de la producción por tipos de colaboración en %. Materiales ..... 271
Figura 8.73. Heliocéntrico de colaboración internacional. Materiales (1995-2004) ..... 272
Figura 8.74. Heliocéntrico de colaboración nacional. Materiales (1995-2004) ..... 273
Figura 8.75. Red de coautoría. Colaboración departamental. Materiales (1995-1999) ..... 274
Figura 8.76. Red de coautoría. Colaboración departamental. Materiales (2000-2004) ..... 275
Figura 8.77. Red de coautoría. Análisis temático. Materiales (1995-1999) ..... 277
Figura 8.78. Red de coautoría. Análisis temático. Materiales (2000-2004) ..... 277
Figura 8.79. Red de coautoría. Análisis por sexo. Materiales (1995-1999) ..... 279
Figura 8.80. Red de coautoría. Análisis por sexo. Materiales (2000-2004) ..... 279

Figura 8.81. Detalle de colaboración femenina. Materiales (1995-2004) ..... 280
Figura 8.82. Red de coautoría. Relación administrativa. Materiales (1995-1999) ..... 280
Figura 8.83. Red de coautoría. Relación administrativa. Materiales (2000-2004) ..... 281
Figura 8.84. Evolución de la producción por tipos de colaboración. Matemáticas ..... 285
Figura 8.85. Evolución de la producción por tipos de colaboración en %. Matemáticas ..... 286
Figura 8.86. Heliocéntrico de colaboración internacional. Matemáticas (1995-2004) ..... 286
Figura 8.87. Heliocéntrico de colaboración nacional. Matemáticas (1995-2004) ..... 287
Figura 8.88. Red de coautoría. Colaboración departamental. Matemáticas (1995-1999) ..... 289
Figura 8.89. Red de coautoría. Colaboración departamental. Matemáticas (2000-2004) ..... 289
Figura 8.90. Red de coautoría. Análisis temático. Matemáticas (1995-1999) ..... 291
Figura 8.91. Red de coautoría. Análisis temático. Matemáticas (2000-2004) ..... 292
Figura 8.92. Red de coautoría. Análisis por sexo. Matemáticas (1995-1999) ..... 293
Figura 8.93. Red de coautoría. Análisis por sexo. Matemáticas (2000-2004) ..... 294
Figura 8.94. Red de coautoría. Relación administrativa. Matemáticas (1995-1999) ..... 295
Figura 8.95. Red de coautoría. Relación administrativa. Matemáticas (2000-2004) ..... 295
Figura 8.96. Evolución de la producción por tipos de colaboración. Señal ..... 299
Figura 8.97. Evolución de la producción por tipos de colaboración en %. Señal ..... 300
Figura 8.98. Heliocéntrico de colaboración internacional. Señal (1995-2004) ..... 301
Figura 8.99. Heliocéntrico de colaboración nacional. Señal (1995-2004) ..... 301
Figura 8.100. Red de coautoría. Colaboración departamental. Señal (1995-1999) ..... 303
Figura 8.101. Red de coautoría. Colaboración departamental. Señal (2000-2004) ..... 303
Figura 8.102. Red de coautoría. Análisis temático. Señal (1995-1999) ..... 305
Figura 8.103. Red de coautoría. Análisis temático. Señal (2000-2004) ..... 306
Figura 8.104. Red de coautoría. Análisis por sexo. Señal (1995-1999) ..... 307
Figura 8.105. Red de coautoría. Análisis por sexo. Señal (2000-2004) ..... 308
Figura 8.106. Red de coautoría. Relación administrativa. Señal (1995-1999) ..... 308
Figura 8.107. Red de coautoría. Relación administrativa. Señal (2000-2004) ..... 309
Figura 8.108. Evolución de la producción por tipos de colaboración. Electrónica ..... 313
Figura 8.109. Evolución de la producción por tipos de colaboración en %. Electrónica ..... 314
Figura 8.110. Heliocéntrico de colaboración internacional. Electrónica (1995-2004) ..... 315
Figura 8.111. Heliocéntrico de colaboración nacional. Electrónica (1995-2004) ..... 315
Figura 8.112. Red de coautoría. Colaboración departamental. Electrónica (1995-1999) ..... 317
Figura 8.113. Red de coautoría. Colaboración departamental. Electrónica (2000-2004) ..... 317
Figura 8.114. Red de coautoría. Análisis temático. Electrónica (1995-1999) ..... 319
Figura 8.115. Red de coautoría. Análisis temático. Electrónica (2000-2004) ..... 320
Figura 8.116. Red de coautoría. Análisis por sexo. Electrónica (1995-1999) ..... 321
Figura 8.117. Red de coautoría. Análisis por sexo. Electrónica (2000-2004) ..... 321
Figura 8.118. Red de coautoría. Relación administrativa. Electrónica (1995-1999) ..... 322

Figura 8.119. Red de coautoría. Relación administrativa. Electrónica (2000-2004) .....322
Figura 9.1. Distribución de producción y citas observadas por trabajo y número autores (1990-2004) .328
Figura 9.2. Evolución de tipos de colaboración por departamentos en % (1995-2004) .....329
Figura 9.3. Resumen de heliocéntricos de colaboración internacional (1995-2004) .....332
Figura 9.4. Resumen de heliocéntricos de colaboración nacional (1995-2004).....335

# CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. ANTECEDENTES.

En los últimos años se han producido avances espectaculares en la perspectiva científica de los estudios estructurales, lo que ha convertido a la teoría de redes en un área de investigación interdisciplinar emergente, orientada al desarrollo de teorías y técnicas para aumentar el conocimiento existente tanto de las redes biológicas o tecnológicas, como de las académicas y, en general, de los sistemas complejos (Börner K et al., 2007). Todo ello ha sido posible gracias a la convergencia de diversos desarrollos paralelos, entre los que destacan la adquisición y manipulación de datos por ordenador que han simplificado el manejo de voluminosas bases de datos, y que han hecho aflorar las topologías de multitud de redes del mundo real, o el aumento del potencial computacional que ha facilitado la exploración de redes con millones de nodos (Albert R y Barabási AL, 2002).

Estos estudios tienen su origen en disciplinas como las Matemáticas Discretas y la Teoría de Grafos, la Sociología Matemática, la Psicología de Grupos o la Biología, pero también en la Bibliometría, la Informetría y la Cibermetría, y más recientemente en la Física. Los estudios de redes comprenden múltiples enfoques, que se centran en la descripción y el análisis de sus propiedades, la investigación de su modelado y sus dinámicas, y el establecimiento de nuevas técnicas para su visualización. Su ámbito de análisis engloba problemas derivados de la existencia de redes sociales, biológicas, de información o tecnológicas, como los sistemas de comunicación (Internet, redes telefónicas), las infraestructuras de transporte (carreteras, líneas ferroviarias o aéreas), los sistemas biológicos (interacción de proteínas, ADN, evolución de epidemias) y un amplio abanico de estructuras de interacción social, entre las que se encuentran las redes de colaboración entre científicos (Donetti L y Muñoz MA, 2004).

Estas últimas se han mostrado de gran interés no sólo para la Bibliometría, puesto que sus características (datos públicamente accesibles en forma de red) son especialmente atractivas para entender la topología y las leyes dinámicas que gobiernan las redes complejas (Barabási AL et al., 2002).

Sin embargo, aunque los hallazgos de estos estudios desde la perspectiva de la Física, centrados en grandes redes y en el establecimiento de las universalidades tanto en lo que respecta a la topología, como a las dinámicas que gobiernan su evolución, por sí solos pudieran facilitar el análisis y la toma de decisiones, las redes no pueden caracterizarse únicamente por su topología, sino que se hace también necesario un examen de sus dinámicas de información, dicho de otro modo de los flujos de información que tienen lugar en su interior. En particular, la heterogeneidad de la intensidad de sus relaciones es fundamental para la mejor comprensión de los sistemas sociales, de la misma manera que los flujos de tráfico en infraestructuras de comunicaciones o transportes son esenciales para la descripción completa de este tipo de redes (Barrat A et al., 2004), (Matia K et al., 2005).

Las propiedades de las redes de colaboración no son únicas, aunque sí presentan ciertas características que las hacen especiales, por ejemplo, su dinámica de evolución. Los datos de colaboración científica no sólo permiten realizar una visualización de la red, sino que hacen posible el establecimiento del tiempo en el que los nodos y los enlaces aparecen en ella, algo esencial para revelar dinámicas evolutivas.

Dado que es posible capturar la estructura y evolución del desarrollo científico desde dos modelos distintos: el modelo descriptivo, destinado a definir los principales rasgos de un conjunto de datos casi siempre estáticos, y el modelo de proceso, que trata de determinar los mecanismos y dinámicas temporales mediante el empleo de redes del mundo real, como las redes de colaboración

basadas en coautorías (Börner K et al., 2004), en este trabajo hemos optado por los estudios de redes de colaboración, que trascienden el uso de datos tabulares para la extracción de indicadores, que sirven únicamente como punto de partida para un análisis cuantitativo de los enlaces de colaboración entre agregados. Puesto que la pretensión es la obtención de información a partir de las regularidades de las relaciones entre un gran número de actores, precisaremos de un análisis más refinado, que sólo es posible mediante representaciones gráficas que ofrezcan una visión global de esos patrones de vinculación mediante la aplicación de sofisticadas técnicas analíticas de datos (Luukkonen T et al., 1993).

Desde esta perspectiva, las redes de filiación de científicos, en las que los enlaces se obtienen a partir de la coautoría en uno o más documentos, son más reales, desde el punto de vista de red social, que muchas redes de filiación institucional, puesto que este tipo de redes reflejan de forma genuina la interacción profesional entre científicos y se postulan como las redes sociales más grandes hasta ahora analizadas (Newman MEJ, 2001b), (Newman MEJ, 2001a). Aunque similares a las redes de citación y cocitación, las redes de colaboración implican lazos sociales mucho más fuertes que los existentes en las primeras. Las citas ocurren sin que los autores se conozcan entre sí y pueden prolongarse a lo largo del tiempo, la coautoría, en cambio, implica una relación colegiada y temporal que tiene lugar en el ámbito de los estudios de análisis de redes sociales (Liu X et al., 2005).

La aplicación de la teoría de redes al estudio de la colaboración científica parte de la idea de entender a la ciencia como un sistema autoorganizado en el que la selección de colaboradores y la localización de la investigación se da a partir de las elecciones de los propios investigadores, más que a través de incentivos institucionales, nacionales o de cualquier otra índole, y sin que exista autoridad alguna en el seno de la organización científica mundial encargada de arbitrar o resolver posibles disputas que puedan surgir durante los intercambios que en ella se realizan (Podolny JM y Page KL, 1998). En el capítulo séptimo comprobaremos

como la coautoría puede utilizarse para el establecimiento de las redes de comunicación, por lo que los flujos de colaboración pueden ser analizados a partir de este indicador (Wagner CS y Leydesdorff L, 2005).

En definitiva, la colaboración científica analizada a partir de la teoría de redes es un fenómeno fundamental en la práctica investigadora. Aunque siempre ha existido colaboración en la ciencia, en la actualidad asistimos a un cambio significativo. En el modo tradicional de producción de conocimiento el orden disciplinar es claro, la forma de comunicación es formal y la gestión del trabajo se caracteriza por una división jerárquica de las tareas (Gibbons M et al., 1997), (Gibbons M, 1997). Las nuevas prácticas de investigación, en cambio, se caracterizan por la interdisciplinariedad, el incremento de las interacciones entre instituciones e individuos, y por formas de organización del trabajo científico más flexibles (Sandström U, 1998), por lo que en la mayor parte de las disciplinas es muy difícil producir resultados científicos a partir del trabajo individual. En el capítulo dedicado a los grupos de investigación conoceremos como éstos y las redes de investigadores que conforman, se convierten en los principales artífices y productores del conocimiento en el momento presente.

## 1.2. MOTIVACIÓN Y JUSTIFICACIÓN.

Desde la perspectiva de la Biblioteconomía y la Documentación, existe aún una escasa investigación sobre el fenómeno de la colaboración científica a través de redes y sus posibles utilidades para conocer la composición de los grupos de investigación, las diferencias de asociación entre especialidades o departamentos, y las diferentes políticas que pueden seguirse a este respecto dependiendo de la institución o del dominio analizados. Tradicionalmente, la mayor parte de los estudios sobre colaboración científica se han dirigido hacia el análisis de la producción internacional, nacional, de una disciplina científica o de una institución o centro de investigación, siendo los estudios sobre unidades menores como

departamentos o grupos de investigación menos habituales (Bordons M et al., 1995a), (Bordons M y Zulueta MA, 1997), (Molina JL et al., 2000), (Molina JL et al., 2002), (Zulueta MA et al., 1999), (Zulueta MA y Bordons M, 1999).

Este trabajo se centra en un aspecto concreto de las redes de comunicación científica, las redes de colaboración científica basadas en coautoría, partiendo de la premisa de que la comunicación científica es la esencia de la investigación, y ésta sólo recibe tal nombre cuando ha sido analizada y aceptada por la comunidad científica, lo que le confiere el estatus de actividad social (Meadows AJ, 1998). El empleo del término comunicación científica, por tanto, supone la limitación deliberada de las consideraciones sobre la comunicación a aquel grupo específico de individuos (autores directamente involucrados en la creación de trabajos de investigación originales), con una actividad muy clara y con unos objetivos muy concretos (Borgman CL, 2000), (Borgman CL y Furner J, 2003).

De este modo, desde la perspectiva de la Informetría, resulta fundamental la investigación que incida en la averiguación de cómo las redes de colaboración basadas en coautoría pueden suponer un nuevo sistema de información, construido a partir de la organización distribuida del conocimiento almacenado en cientos de miles de documentos, firmados por millones de autores, como interfaz para el acceso y la recuperación de información. Para ello, se hace preciso el análisis de las relaciones internas y de las distintas topologías de estos nuevos sistemas de información. Y es en ese contexto en el que el concepto de organización distribuida es particularmente relevante, en el caso del análisis de la colaboración, dado que no existe un único factor que explique su incremento en la ciencia moderna. Como hemos visto, ninguna autoridad guía o dirige la organización científica internacional, ni existe una figura clara de poder que explique de manera unívoca ese aumento, lo que pone de manifiesto la posibilidad de que ésta sea producida de forma inherente a la existencia de interacciones locales entre científicos (Wagner CS y Leydesdorff L, 2005).

Estos nuevos sistemas de información se basan en herramientas de visualización elaboradas a partir de representaciones gráficas que mediante la elección de las técnicas de codificación apropiadas maximizan la comprensión y comunicación humanas. Aunque el uso de mapas y esquemas científicos se ha venido empleando desde hace miles de años, hoy día disponemos de sofisticados procesos y herramientas asistidas por ordenador a través de los cuales es posible explorar la información para comprender mejor los datos, observar los patrones y las tendencias, y facilitar la toma de decisiones. En el capítulo dedicado a la visualización de información comprobaremos como el cerebro humano tiene la habilidad de comprender y retener las visualizaciones de manera más rápida que cualquier forma de texto escrito. Esta habilidad, unida al poder de las visualizaciones para provocar reconocimiento inmediato y las necesidades cada vez mayores de generar y estudiar datos de distinto tamaño y naturaleza, es lo que ha convertido a la visualización de información en un aspecto fundamental de la representación actual de datos (Chen C y Lobo N, 2005).

Las visualizaciones resultantes de los análisis de la colaboración científica basados en coautoría, en forma de redes de individuos posicionados de manera que sean capaces de poner de manifiesto las relaciones entre ellos, serán de gran utilidad para diversos tipos de usuarios que van desde los propios autores, hasta los gestores de políticas científicas o de investigación, pasando por los ciudadanos de una sociedad cada vez más consciente de la importancia de la ciencia y la tecnología en el devenir cotidiano. Estas visualizaciones son capaces de describir y explicar estructuras de investigación históricas y/o contemporáneas, la dirección de la comunicación en el dominio seleccionado o la identificación de los documentos más relevantes en una búsqueda de información concreta (Borgman CL y Furner J, 2003).

Por todo ello, se hace necesario un mayor grado de detalle de lo que sucede en el nivel micro, y cómo esa actividad contribuye a la formación de macroestructras socio-cognitivas, que nos ayuden a comprender mejor su formación, desarrollo, evolución, dinámica e implicaciones, en definitiva, a obtener una percepción global de un proceso complejo y dinámico (Harsanyi MA, 1993) (Bozeman B y Corley E, 2004), (Melin G, 2000), (Sandström U, 1998).

## 1.3. OBJETIVOS.

El objetivo principal de esta tesis es el establecimiento de un marco teórico y metodológico que, mediante el análisis empírico, permita la identificación y caracterización e interpretación de grupos de investigación a partir del examen y la visualización de redes de colaboración científica basadas en coautoría de documentos. Los hallazgos obtenidos contribuirán a la mejor comprensión de la dinámica de redes y de cómo ésta afecta a la topología de la red y a su estructura interna de enlaces entre esos mismos grupos de investigación y, por extensión, a las unidades administrativas superiores de las que forman parte. Para ello, esta tesis tratará de alcanzar cuatro objetivos específicos:

a) El establecimiento de una metodología que facilite el microanálisis de la dinámica interna de investigación en organizaciones científicas, en el nivel de autores, departamentos y grupos de investigación (Bordons M et al., 2004), (CINDOC, 2006), (Melin G, 2000), (Moya-Anegón F, 2006).

b) El modelado y caracterización de las redes de coautoría a partir del cálculo de indicadores derivados de las propiedades individuales de los nodos y de los vínculos que describen tamaños y vecindades en los subgrafos, así como la obtención de medidas globales capaces de definir la estructura de interconexiones de las redes en su conjunto (Barabási AL et al., 2002), (Börner K et al., 2007), (Newman MEJ, 2004a).

c) La creación de visualizaciones especializadas basadas en redes, incluyendo diagramas de nodos y enlaces, que permitan su uso como interfaces para la recuperación de información. Estas interfaces proporcionan datos de las matrices de elementos y de los valores de sus atributos de forma clara y fácilmente comprensible, explicativa e interactiva. Facilitan la comprensión del contexto estructural representado, transmitiendo al usuario información detallada de diversos aspectos relacionados con la colaboración científica y su evolución temporal, como son la posición administrativa, el sexo, las especialidades de investigación o los patrones internos y externos de asociación entre autores (Chen C y Paul RJ, 2001), (Genest C y Thibault C, 2001), (Latour B, 1998), (Melin G y Persson O, 1996), (Morris MA y Yen GG, 2004), (Shneiderman B, 1996), (Tufte ER, 1997), (Tufte ER, 1995), (Tufte ER, 1991).

d) El desarrollo de indicadores híbridos sintéticos para la convergencia de las aproximaciones bibliométrica y estructural, complementarios de los indicadores simples tradicionales habitualmente empleados en el análisis de la colaboración en la ciencia (Mählck P y Persson O, 2000), (Zitt M, 2006).

## 1.4. FUENTES UTILIZADAS.

La colaboración científica ha sido tratada como tema de investigación en diversas disciplinas: la Documentación, la Psicología, la Gestión, la Informática, la Sociología, la Política de Investigación, la Física, las Matemáticas, las Ciencias Sociales o la Filosofía. En algunos casos, incluso han surgido comunidades especializadas en aspectos relativos a la colaboración, como por ejemplo los estudios cienciométricos para el análisis de los patrones de colaboración a partir de métodos cuantitativos, como la coautoría (Sonnenwald DH, 2007). Todos estos trabajos pueden encontrarse en revistas como *Scientometrics*, *Journal of the American Society for*

*Information Science and Technology* (JASIST), *Information Processing and Management* (IPM), *Research Policy*, *Research Evaluation*, *Journal of Documentation*, *Journal of Information Science*, *Social Studies of Science* o el *Annual Review of Information Science and Technology* (ARIST). También en comunicaciones a congresos como los de la *International Society for Scientometrics and Informetrics* (ISSI) o la *Conference on Multidisciplinary Information Sciences and Technologies* (INSTAC).

La bibliografía sobre teoría de redes y análisis estructural ha sido consultada en forma de monografías y manuales, además de trabajos en publicaciones periódicas como *Complexity*, *Physica A*, *Physical Review E*, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* (PNAS), *Nature*, *Science* y *Social Networks*.

Para la bibliografía relacionada con la visualización de información y el uso de herramientas informáticas para la mejora de la comunicación entre investigadores se han empleado diversas monografías, publicaciones periódicas del Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), como *IEEE Computer*, *IEEE Multimedia* e *IEEE Computer Graphics and Applications*, y comunicaciones a congresos entre los que destacan los de la Association for Computer Machinery (ACM): *ACM SIGMOD*, *ACM Transactions on Information Systems* y *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*.

## 1.5. ESTRUCTURA DE LA TESIS.

La tesis está compuesta de tres partes: la parte teórica, en la que se muestran los antecedentes y el estado de la cuestión, la parte práctica, en la que se extraen los principales resultados, y la parte analítica, en la que se establecen la discusión, las conclusiones y las líneas de investigación futuras.

La parte teórica comprende cuatro capítulos:

**Capítulo 2:** describe con detalle la idea de colaboración, su naturaleza, quiénes la realizan, los motivos de los científicos para ejercerla, los métodos para medirla, cuáles son sus ventajas e inconvenientes, y qué implicaciones tiene sobre la política científica y sobre la relación entre disciplinas.

**Capítulo 3:** se centra en la definición de grupo de investigación, las nuevas formas de investigación que condicionan su aparición, la configuración interna que adoptan para afrontar la resolución de problemas científicos, la metodología disponible para determinar su dimensión, y los retos futuros que supone su expansión.

**Capítulo 4:** analiza los conceptos de visualización y visualización de información como paso previo necesario para la posterior aplicación de técnicas dirigidas a la representación de la información científica.

**Capítulo 5:** aborda las distintas perspectivas de la teoría de redes que provienen de disciplinas como la Sociología, la Psicología, las Matemáticas, la Biología, la Física o la Antropología, los tipos de redes del mundo real, las propiedades matemáticas que las describen, y los procesos que rigen su evolución.

La parte práctica abarca los tres capítulos siguientes:

**Capítulo 6:** profundiza en el origen de la fuente secundaria de datos elegida, sus limitaciones, las operaciones necesarias para minimizar sus inconvenientes y la codificación final de la base de datos que permitirá abordar la parte analítica de este trabajo.

**Capítulo 7:** orientado a los aspectos metodológicos, realiza una primera aproximación a diversas metodologías empleadas hasta la fecha para objetivos de investigación diferentes pero cuya convergencia no sólo es posible sino que se hace necesaria en el trabajo que nos ocupa: la elaboración de mapas de la ciencia, la visualización de dominios científicos y la teoría de redes.

**Capítulo 8:** dedicado a los resultados obtenidos, en él se aplica empíricamente la metodología descrita en el capítulo anterior con el objeto de describir los patrones de colaboración en los diversos departamentos desde una visión caleidoscópica que incluye colaboración internacional, colaboración nacional y colaboración departamental. Finalmente, se determina la evolución de los patrones topológicos y estructurales de las redes globales, y se realiza un análisis de la popularidad y del prestigio de los nodos más destacados de cada departamento.

Por último, la parte analítica está compuesta por los dos últimos capítulos:

**Capítulo 9:** muestra los aspectos analíticos de los resultados, teniendo por objeto el examen detallado de cada una de las facetas de la colaboración abordadas en el capítulo anterior, la síntesis y explicación de los hallazgos y las recomendaciones derivadas de su análisis.

**Capítulo 10:** presenta las conclusiones finales del trabajo y las futuras líneas de investigación.

Aunque al comienzo de la tesis, algunos años atrás, no estaba previsto un trabajo tan voluminoso, el alcance de los resultados para dar respuesta a los objetivos de investigación propuestos, ha desembocado en un tamaño más extenso de lo esperado.

# CAPÍTULO 2. COLABORACIÓN CIENTÍFICA

## 2.1. INTRODUCCIÓN.

En la actualidad, la ciencia ha dejado de ser un trabajo solitario para convertirse en una actividad colectiva. Desde sus comienzos la colaboración ha sido un fenómeno intrínseco a la actividad científica, que va más allá de la creciente especialización que describen Beaver y Rosen en uno de los estudios más ambiciosos sobre este tema (Beaver D y Rosen R, 1978), (Beaver D y Rosen R, 1979). La colaboración es un fenómeno complejo, una forma de intercambio de información, de trabajo conjunto, de uso racional de recursos y de perpetuación de las comunidades de científicos y tecnólogos (Maltrás B et al., 1995). Todos estos motivos en conjunción, o la combinación de algunos de ellos hacen del trabajo en colaboración una necesidad más que una elección.

La literatura sobre colaboración científica es abundante, especialmente a partir de la década de los años 70 del siglo XX. Los británicos Katz y Martin realizaron una clasificación de este tipo de trabajos, subdividiéndolos en cuatro categorías distintas: la primera es la de aquellos trabajos que se centran en el modo de medición de la colaboración. La segunda categoría se refiere a los trabajos que analizan los factores que favorecen la aparición de la colaboración científica. La tercera categoría está reservada a aquellos documentos que profundizan en la función de la comunicación y de la proximidad física y social, y sus efectos sobre la colaboración. La última de ellas es la dedicada a los estudios que analizan los efectos de la colaboración en la producción y el impacto de la investigación (Katz JS y Martin BR, 1997).

La interacción entre científicos, es la esencia de la práctica científica. Muchas de las fases del proceso de investigación están asociadas con una gran cantidad de actividades de comunicación, como las charlas entre científicos o escritura y lectura de artículos, pero los científicos no sólo se comunican entre sí sus resultados de investigación, sino que también los coproducen. En definitiva, comunican y

colaboran. La colaboración, por tanto, es una forma intensa de interacción que permite una comunicación efectiva, y supone el reparto de competencias, responsabilidades y recursos.

Observando el espectacular incremento de los artículos cofirmados entre científicos e instituciones de investigación, es fácil asumir que la colaboración es un prerrequisito de la ciencia moderna, siendo la red de científicos que interactúan para producir nuevo conocimiento la unidad de producción esencial (Melin G y Persson O, 1996). Esa intensa interacción puede adoptar formas diversas: proyectos científicos, publicaciones científicas, contratos de investigación, contactos informales, patentes, formación a través de cursos y seminarios, dirección de tesis doctorales, consultoría, intercambios y movilidad de investigadores, participación en comités científicos, etc. (Vidal J y Villarroel R, 1995).

Como ya se ha señalado y se volverá a indicar más adelante, se asume que la colaboración en investigación es deseable y que debería ser alentada y estimulada. En este sentido, han surgido numerosas iniciativas con el objetivo de desarrollar e incrementar la colaboración entre investigadores. También se han establecido políticas orientadas a la mejora de la conexión entre la Ciencia y la Tecnología a través de la colaboración científica entre sectores, fundamentalmente entre Universidad e Industria. Son muchos los gobiernos que han mostrado gran interés por aumentar el nivel de colaboración internacional de sus investigadores, a los que financian con la creencia de que esto supondrá ahorro de costes, entre otros beneficios.

Este entusiasmo, más político que científico, por la colaboración y las políticas para su fomento se basan en una serie de suposiciones implícitas (Katz JS y Martin BR, 1997):

1) Que el concepto de colaboración científica es conocido y comprendido.
2) Que nos encontramos ante un mismo fenómeno, sea esa colaboración entre científicos, grupos, instituciones, sectores o naciones.
3) Que podemos medir de alguna manera la colaboración y determinar si ésta cambia como consecuencia de determinadas políticas.
4) Que cuanta mayor colaboración, mayor avance del conocimiento, mejor explotación de resultados o mayor preparación para afrontar retos científicos.

Pero, ¿estas suposiciones son realmente válidas? Para determinarlo, dedicaremos este capítulo a analizar con detalle la idea de colaboración, su naturaleza, quiénes la realizan, los motivos de los científicos para ejercerla, los métodos para medirla, cuáles son sus ventajas e inconvenientes, y qué implicaciones tiene sobre la política científica y sobre la relación entre disciplinas.

## 2.2. QUÉ ES LA COLABORACIÓN.

En la literatura de investigación que aborda el fenómeno de la colaboración encontramos gran variedad de definiciones más o menos detalladas en las que el término queda caracterizado como un conjunto de actividades de amplio espectro, interactivas e interdependientes. Una definición sencilla es aquella que indica que la colaboración engloba los procesos que tienen lugar para la consecución de un objetivo común cuando los individuos o las organizaciones no pueden alcanzarlos por sí mismos. La colaboración puede incluir el establecimiento de contactos de larga duración, con realización de múltiples actividades que requieren la existencia de vínculos y de adaptaciones por parte de cada uno de los actores participantes, bien sean individuos, grupos u organizaciones. Otras definiciones, en cambio, ponen el acento en las relaciones, por lo que la colaboración vendría determinada por aquellos vínculos capaces de proporcionar oportunidades para la obtención de resultados y beneficios mutuos, más allá de los que los actores son capaces de

lograr por sí mismos. En definitiva, aunque han sido muchos los investigadores que han trabajado y pretendido demostrar la importancia de la colaboración, pocos han prestado atención a su definición (Belkhodja O y Landry R, 2005), (Hara N et al., 2003), (Smith D y Katz JS, 2000).

Mattessich define la colaboración como un beneficio mutuo y una relación perfectamente definida entre dos o más organizaciones para alcanzar objetivos comunes. Las relaciones incluyen compromisos de vinculaciones y finalidades compartidas; una estructura desarrollada conjuntamente con responsabilidades repartidas; con mutua autoridad y responsabilidad, compartiendo recursos y beneficios (Mattessich PW et al., 2001). La colaboración entre individuos es para Scharage el proceso de creación compartida en el que dos o más actores con habilidades complementarias interactúan para obtener conocimiento que antes no poseían por separado (Scharage M, 1995). Iivonen y Sonnenwald definen colaboración como "un comportamiento humano que facilita el reparto de significado y finalización de actividades respecto a un objetivo común compartido y que tiene lugar en un escenario social o de trabajo concreto" (Iivonen M y Sonnenwald DH, 2000).

Por su parte, Gray señala que la calidad de los resultados aumenta cuando la resolución de problemas se enfoca a partir de la colaboración entre diversos organismos. Esta metodología de trabajo permite a las organizaciones que trabajan conjuntamente realizar análisis más amplios, abarcando mayores casuísticas y posibilidades. Sin embargo, la colaboración no es siempre efectiva, ni apropiada. En ocasiones supone más costes que beneficios, pero es una herramienta estratégica de incalculable valor en muchas situaciones (Gray B, 1989).

La colaboración puede entenderse como un continuum que progresa desde formas sencillas a formas más complejas. Incluye tareas de *contactos*, *cooperación, coordinación* y *colaboración*. En muchas ocasiones, todos estos términos se usan

intuitivamente como sinónimos sin serlo en realidad por lo que se hace necesaria su distinción:

- Un **contacto** no es sino el intercambio de información para beneficio mutuo, que refleja un nivel inicial de confianza y compromiso. Es más frecuente entre individuos que entre organizaciones.

- La **cooperación o interconexión** se caracteriza por la existencia de contactos y relaciones informales que existen sin que se defina una misión, una estructura o se planifiquen los esfuerzos. La información se comparte a medida que se necesita, mientras que la autoridad permanece en cada una de las organizaciones. Los resultados y los beneficios quedan al cuidado de quien los obtenga puesto que no son compartidos.

- La **coordinación** es un proceso que supone la comunicación, la planificación y el reparto de recursos, riesgos, y recompensas, con el propósito de lograr eficiencia y efectividad para alcanzar unas metas comunes fijadas de antemano por los actores involucrados. Es una relación de carácter más formal que las anteriores, donde se comparten las misiones y los objetivos. Requiere la existencia de una división de funciones, así como la planificación conjunta de las tareas, y la existencia de canales de comunicación permanentes y estables. La autoridad sigue aún en manos de cada uno de los participantes, aunque la asunción de riesgos supone también el reparto de responsabilidades. Los resultados, las recompensas y el reconocimiento son mutuos.

- La **colaboración** denota un tipo de relación más duradera e influyente. Provoca que actores que desarrollan sus actividades de forma separada, se organicen en una forma de trabajo radicalmente nueva con el fin de llevar a cabo cometidos comunes. Las relaciones exigen una planificación integral,

con canales de comunicación bien definidos en múltiples niveles. La autoridad vendrá determinada por la propia estructura de la colaboración. El riesgo es plenamente compartido, ya que cada actor pone en juego sus propios recursos y reputación. La tabla 2.1 compara la cooperación, la coordinación y la colaboración.

Tabla 2.1. Cooperación, coordinación y colaboración. Descripción de elementos (Mattesich, 2001)

| Elementos esenciales | Cooperación | Coordinación | Colaboración |
|---|---|---|---|
| Relaciones y visiones | • Fundamentalmente entre individuos.<br>• No se comparten misiones organizativas ni objetivos.<br>• Duración indefinida. | • Las relaciones individuales son respaldadas por las organizaciones.<br>• Revisión de compatibilidad de misiones y objetivos.<br>• La interacción gira en torno a un conjunto de tareas definidas. | • Existen vínculos entre los grupos y organizaciones.<br>• Se comparten fines y objetivos.<br>• El trabajo se lleva a cabo para obtener resultados a largo plazo |
| Estructura, responsabilidades y comunicación | • Las relaciones son informales.<br>• No se requieren planes conjuntos.<br>• La información se transmite a medida que se necesita. | • Los actores asumen funciones pero funcionan de forma independiente.<br>• Se requiere escasa planificación específica.<br>• Se crean canales de comunicación. | • Nueva división del trabajo con estructuras organizativas claramente definidas.<br>• Desarrollo conjunto de estrategias.<br>• Establecimiento de múltiples niveles de comunicación. |
| Autoridad y responsabilidad | • La autoridad reside de forma individualizada en cada uno de los participantes.<br>• Liderazgo unilateral. | • La autoridad sigue siendo individual, pero existe coordinación entre los participantes.<br>• Se comparten liderazgo, riesgo y control. | • La autoridad es compartida por los participantes.<br>• El liderazgo es disperso y el control se ejerce de forma compartida<br>• Los riesgos se comparten |
| Recursos y recompensas | • Los recursos (tiempo, dinero y capacidades) están separados y sirven a necesidades individuales. | • Se aprueban recursos compartidos para proyectos específicos.<br>• Se aceptan premios de forma mutua | • Los recursos forman parte de un fondo común de la nueva estructura colaboradora.<br>• Se comparten los resultados, que son más que trabajando por separado. |

## 2.3. HACIA UNA DEFINICIÓN DE COLABORACIÓN CIENTÍFICA.

Analizando con detenimiento las definiciones del apartado anterior encontramos dos elementos comunes: el trabajo conjunto para lograr un objetivo común y la necesidad de compartir conocimiento. Por tanto, la colaboración científica podría definirse como el trabajo en equipo de investigadores para lograr el objetivo común de producir nuevo conocimiento científico. Sin embargo, esta definición

obvia la cuestión de cómo deben trabajar los científicos para constituir una colaboración. Desde un extremo, podría decirse que la comunidad científica internacional es una gran colaboración y que la investigación básica es una actividad global donde todos los investigadores trabajan juntos para hacer avanzar el conocimiento científico. Se intercambian ideas de cómo hacer experimentos, qué hipótesis probar, qué nuevos instrumentos construir, cómo relacionar los resultados experimentales con los modelos teóricos, etc. En éstas y otras tareas, los miembros de un grupo de investigación no sólo hablan entre ellos, sino que reciben ayuda y consejo de otros (Subramanyam K, 1983).

En nuestra búsqueda de una definición para colaboración científica, otra posibilidad podría ser la de considerar como colaborador a cualquiera que intervenga en alguno de los procesos de la investigación. Pero, esta definición de colaboración presentaría una evidente debilidad, ya que permitiría tal número de colaboradores que haría muy difícil el desarrollo de cualquier propósito práctico.

En el otro extremo, se podría formular una estricta definición de colaborador teniendo sólo en cuenta a aquellos científicos que intervienen de forma directa en las principales tareas de investigación a lo largo de todo el proyecto. Esto representa un problema inmediato puesto que ningún individuo posee el conocimiento necesario para contribuir a todos los aspectos de una investigación compleja, un proyecto multidisciplinar o un experimento científico. Por tanto, la aplicación de esta definición estricta a un documento en el que, por ejemplo, intervienen ciento cincuenta científicos, significaría que ninguno de ellos sería realmente un colaborador porque la mayor parte de ellos dedicaron su tiempo a tareas muy específicas, contribuyendo muy poco o nada en el resto de las que conforman el proyecto.

Katz y Martin, llegaron a la conclusión de que la colaboración científica, al igual que la virtud, se encuentra entre ambos extremos, y distinguieron entre lo que

denominaron colaboradores y el resto de personal que interviene en el trabajo científico. Entre los primeros se encuentran:

1) Aquellos que trabajan juntos en el proyecto de investigación durante toda o gran parte de su duración, o que hacen contribuciones frecuentes o sustanciales.
2) Aquellos cuyo nombre aparece en la propuesta original de investigación.
3) Aquellos responsables de uno o más elementos principales de la investigación (diseño experimental, construcción del equipamiento, ejecución del experimento, análisis e interpretación de los datos, difusión de resultados).

En algunos casos la lista de colaboradores también podría incluir:

4) Aquellos responsables de un paso clave (establecimiento de la idea o hipótesis inicial, interpretación teórica).
5) Aquel que propone el proyecto original y/o consigue los fondos, aunque su contribución principal sea la gestión de la investigación más que su desarrollo.

Entre el resto del personal que no se considera colaborador se incluyen:

I) Aquellos que sólo realizan contribuciones esporádicas menores.
II) Aquellos que no sean investigadores propiamente dichos (técnicos, asistentes, personal de laboratorio, etc.).

No obstante, aunque estos criterios para la distinción entre colaboradores y otro tipo de participantes en la investigación puedan aplicarse en la mayor parte de los trabajos científicos, siempre se encuentran excepciones en determinadas disciplinas, instituciones o países, lo que demuestra la dificultad para establecer los

límites de la definición de la colaboración científica, ya que éstos varían considerablemente de unas disciplinas, instituciones, sectores o países a otros, a la vez que se ven afectados por el paso del tiempo (Katz JS y Martin BR, 1997).

## 2.4. NATURALEZA Y ACTORES DE LA COLABORACIÓN CIENTÍFICA.

Existen diferentes modalidades de colaboración derivadas de los tipos, clases y naturalezas de las interacciones que mantienen entre sí los científicos, como el grado de formalidad o informalidad de los vínculos o si éstos se establecen a título individual o como miembros de organizaciones, dando lugar a colaboraciones de tipo interinstitucional.

La interacción personal directa, como las conversaciones cara a cara, permite construir capital social, cimentando la confianza necesaria para el desempeño de las tareas entre los miembros, un lenguaje común y una cultura o perspectiva de investigación similar. El capital social facilita el intercambio y la transmisión de información y conocimiento porque el proceso comunicativo es fácil y fluido.

La colaboración e interacción personal está asociada con el intercambio de conocimiento a través de actividades como hablar, escuchar o redactar conjuntamente. Es una combinación de intercambios de conocimientos tácitos y explícitos. Las colaboraciones personales entre científicos pueden dividirse en cuatro tipos, reflejo de los diferentes perfiles, conocimientos previos y funciones de cada uno de los colaboradores:

*a)* **Empleador/empleado:** es la forma más débil de colaboración, en la que el científico delega en el empleado tareas rutinarias que éste último conoce. Sería el caso, por ejemplo, de la realización de experimentos, la elaboración de programas o subrutinas de programación, la construcción de circuitos, etc. Los técnicos y los ayudantes de laboratorio, tal como vimos

anteriormente, no suelen ser considerados colaboradores, pero algunos de ellos pueden pasar a formar parte de la siguiente categoría.

*b)* **Profesor/ayudante:** este tipo de colaboración es similar a la anterior, mostrando nuevamente una asimetría entre el conocimiento y el estatus, pero sus objetivos son diferentes. Los ayudantes adquieren habilidades técnicas que les permiten trabajar por sí mismos. El diseño de experimentos y la interpretación de resultados sólo se aprenden a través del trabajo en proyectos con investigadores especializados.

*c)* **Pares similares:** es frecuente que científicos con conocimientos, intereses y estatus similares, encuentren valioso el trabajo en equipo. Sin embargo, "similar" no quiere decir idéntico. Aunque pertenezcan a la misma disciplina científica, poseerán habilidades y conocimientos distintos.

d) **Pares diferentes:** la investigación interdisciplinar es la que se produce entre investigadores con objetivos similares, pero con conocimientos y habilidades diferentes. En las ciencias cognitivas, por ejemplo, esta colaboración es la que se da entre un psicólogo y un informático. El primero tiene formación teórica y experimental, incluyendo la forma de realizar experimentos, mientras que el segundo sabe desarrollar programas que simulen ciertos aspectos del razonamiento humano.

Aunque en el nivel más bajo se encuentran los individuos, la colaboración científica no se produce sólo en el nivel personal y entre científicos. La asociación directa entre dos o más científicos es la unidad mínima fundamental de colaboración. También podemos hablar de colaboración en otros niveles: entre grupos de investigación de un mismo departamento, entre departamentos, entre instituciones, entre sectores y entre regiones o países (Bordons M y Gómez I, 2000). Katz y Martin detallaron los distintos tipos de colaboración científica (tabla 2.2), señalando que la necesidad de distinguir entre colaboración "intra" e "inter" vendrá determinada por el problema que se pretenda investigar (Katz JS y Martin BR, 1997).

Tabla 2.2. Tipos de colaboración con distinción entre formas intra e inter

| | Intra | Inter |
|---|---|---|
| Individual | -- | Entre individuos |
| Grupo | Entre individuos del mismo grupo | Entre grupos |
| Departamento | Entre individuos o grupos del mismo departamento | Entre departamentos |
| Institución | Entre individuos o departamentos de la misma institución | Entre instituciones |
| Sector | Entre instituciones del mismo sector | Entre instituciones de distinto sector |
| Región | Entre instituciones de la misma región | Entre instituciones de distinta región |
| País | Entre instituciones del mismo país | Entre instituciones de distinto país |

## 2.5. FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA COLABORACIÓN CIENTÍFICA.

Desde un punto de vista general, los componentes que contribuyen al éxito de la colaboración son heterogéneos pudiendo ser agrupados en las seis categorías siguientes (Mattessich PW et al., 2001):

**Factores medioambientales:** se refieren a los relacionados con la ubicación geográfica y el contexto social en el que se producen las actividades de colaboración. La asociación puede estar capacitada para influir o ser afectada en algún modo ya que no tiene el control sobre ellos:

- Historial colaborador de los miembros del grupo.
- Clima político y social favorable a la colaboración.
- Confianza y solvencia para acometer las actividades.

**Características de los colaboradores:** se refieren a las habilidades, actitudes y opiniones de los individuos, así como a la cultura y las capacidades organizativas que poseen en su conjunto:

- Respeto mutuo, comprensión y confianza en los modos de actuación, en el cumplimiento de normas y valores, en las posibles limitaciones y en sus expectativas.
- Reparto equilibrado de funciones.
- Los miembros conciben la colaboración como procesos que les benefician, pese a inconvenientes como la pérdida de autonomía o de espacio.
- Habilidad para comprometerse, ya que muchas decisiones pueden no encajar en las preferencias de cada uno de los integrantes.

**Factores relacionados con los procesos y la estructura:** se refieren a los aspectos relativos a la gestión, la toma de decisiones y los sistemas de trabajo que suponen los estudios en colaboración.

- Los participantes comparten el interés en los procesos y se sienten propietarios de los resultados de su trabajo, con independencia del nivel (dirección, nivel medio, técnicos) al que se encuentren adscritos.
- La colaboración es flexible ante posibles cambios en su modo de organización.
- Desarrollo de relaciones claras, de comprensión de las funciones, derechos, responsabilidades, y su modo de ejecución.
- Capacidad y habilidad de adaptación para preservar la asociación ante los cambios, bien de objetivos, bien de integrantes.
- Los cambios en la estructura, los recursos o las actividades de los socios no deben afectar a su ritmo de desarrollo.

**Factores relacionados con la comunicación:** se refieren a los canales que usan los colaboradores para enviar y recibir información o transmitir opiniones.

- Comunicaciones frecuentes y abiertas, con actualización de la información, discusiones sobre temas francos y transmisión de información adecuada dentro y fuera del grupo.
- Establecimiento de relaciones y vínculos de comunicación informales.

**Factores relacionados con los propósitos:** se refieren a los motivos para desarrollar la colaboración o las tareas específicas necesarias para lograr sus objetivos.

- Fines y objetivos concretos, alcanzables e inteligibles.
- Visiones compartidas, de objetivos y estrategias que deben existir desde el inicio de la colaboración.

**Factores relacionados con los recursos:** incluyen tanto los de naturaleza económica como los que afectan a los recursos humanos.

- Fondos, personal, equipamiento y tiempo suficientes. Supone la consecución de tiempo para lograr los fines, pero también para la maduración de la colaboración.
- Habilidades para el liderazgo, organizativas e interpersonales que deben ejercerse con imparcialidad. Es fundamental que el líder sea reconocido y legitimado por sus compañeros de trabajo.

Como puede verse, en la literatura existen múltiples factores que son esenciales para el éxito de la colaboración, sin embargo la confianza ha sido mencionada repetidamente como un ingrediente significativo para la maduración de los procesos de colaboración y un requisito para su éxito (Barber B, 1983), (Gambetta D, 1990), (Huxham C, 1996).

La confianza se basa en la noción de interdependencia entre el actor que confía y el que obtiene esa confianza. La confianza se entiende mejor en el sentido de habilidad para crear expectativas entre los fines y la conducta futura de los

colaboradores en relación a esos fines. Una condición necesaria para que pueda construirse la confianza, reside en que las expectativas que puedan formarse de una parte, se cumplan por la otra, y viceversa. La habilidad para crear expectativas puede interpretarse en un doble sentido: desde una orientación hacia el futuro o hacia el pasado. En el primer caso, la confianza se fundamenta en la anticipación de algo que está por venir; en el segundo, en las experiencias pasadas que han sido satisfactorias.

Cuando la confianza se basa en la anticipación, la comprensión de las expectativas de los colaboradores es crucial para el éxito de la colaboración en sus etapas iniciales. La confianza basada en experiencias pasadas, empleando la terminología de la teoría de juegos, se puede concebir como derivado de un juego repetido. Es una confianza lograda de interacciones repetidas que han logrado el éxito en el pasado entre quienes confían y quienes han obtenido la confianza. Es, según los expertos, una confianza de relación, afectiva o basada en identidades. La confianza basada en experiencias pasadas, se basa por ejemplo, en la reputación anterior del colaborador elegido o en su pertenencia a ciertas estructuras sociales. Este tipo de confianza, que se basa en información creíble obtenida acerca de las intenciones de las competencias del otro, se describe en la literatura como confianza basada en razones de cálculo.

Un concepto clave cuando se habla de confianza, es el concepto de riesgo, o más específicamente, del temor a que un actor en la relación de colaboración vaya a actuar de forma oportunista. El riesgo es una noción central en el concepto de confianza. Muy cercana al riesgo, se encuentra la vulnerabilidad, que vincula a quien confía con quien obtiene la confianza. Tener confianza, significa aceptar riesgos, pero también tener confianza es un medio para reducirlos, por lo que confianza y riesgo actúan en una relación recíproca.

La confianza, pues, se incrementa a medida que lo hace la interacción conjunta, incluso aunque ésta no exista en el momento inicial, emergerá a partir de los procesos formales e informales de transferencias y transacciones. Aumentará gracias al ciclo de aprendizaje. Recíprocamente, confío porque tú confías es el elemento básico del ciclo. Cuando uno actúa con confianza y hay reciprocidad por parte del interlocutor, la colaboración se forjará de forma gradual.

## 2.6. MOTIVOS PARA LA COLABORACIÓN CIENTÍFICA.

Como ya hemos visto, el concepto de colaboración científica es difícil de definir, y puede darse en varios niveles del sistema científico, por lo que resulta complejo distinguir entre distintos tipos de colaboración. Ésta puede darse entre individuos, grupos, departamentos, instituciones, sectores y/o países. También son diversas las motivaciones que conducen a los científicos hacia el trabajo en colaboración. Los pioneros en el estudio de la colaboración científica establecieron hasta dieciocho motivos (Beaver D y Rosen R, 1978):

1) Adquirir experiencia.
2) Acceso a equipamiento, recursos o materiales de los que no se dispone.
3) Mejorar el acceso a fondos.
4) Obtener prestigio y/o visibilidad.
5) Mejorar la eficiencia.
6) Progresar más rápido.
7) Asumir la resolución de problemas de mayor envergadura.
8) Aumentar la productividad.
9) Conocer a gente con los mismos intereses y crear una red (colegio invisible).
10) Aprender nuevas técnicas o habilidades.
11) Satisfacer la curiosidad o el interés intelectual.
12) Compartir el entusiasmo de una disciplina con otra gente.
13) Detectar y reducir errores con mayor facilidad.

14) Centrarse en la investigación.
15) Reducir el aislamiento.
16) Educar (estudiantes, investigadores o a uno mismo).
17) Hacer avanzar el conocimiento.
18) Por entretenimiento y placer.

La lista de factores puede ser interminable. A pesar de que algunos de ellos pueden darse más frecuentemente que otros, la colaboración es un proceso social y, como cualquier otra forma de interacción humana, también depende de factores individuales (Beaver D, 2001).

Los estudios previos han puesto de relieve distintos aspectos de la colaboración científica. Beaver y Rosen concluyeron que la colaboración científica representa una respuesta a la creciente profesionalización de la ciencia. La colaboración hace aumentar tanto los avances profesionales, como el conocimiento. Permite el acceso a recursos (de información y de equipamiento), y el contacto con la élite científica que hace mejorar la visibilidad de los científicos más jóvenes. Otros autores señalan que la participación conjunta en trabajos de investigación es capaz de reflejar tanto la influencia intelectual, como la social entre científicos (Edge D, 1979), (Stokes TD y Hartley JA, 1989).

Estos estudios se han centrado en el análisis de tres grupos de factores: económicos, cognitivos y sociales, para explicar las motivaciones que consolidan la colaboración. La importancia relativa de estos factores varía en función del tipo de análisis y de la clase de agregados que se utilicen.

Todos estos factores son internos a la empresa científica en mayor o menor medida. Pero existen otros factores en la sociedad actual que aun siendo externos al sistema científico, afectan a la colaboración, y especialmente a la colaboración internacional. Entre ellos destacan la facilidad de uso y abaratamiento de las

comunicaciones y las iniciativas gubernamentales dirigidas al aumento de los contactos internacionales a través de planes y programas de financiación de la ciencia y la tecnología (Programas Marco de la UE, Planes Nacionales de I+D), que también han contribuido a crear esfuerzos colaboradores. Este tipo de políticas muestra que la colaboración científica se concibe como algo bueno *per se*, y se ha consolidado como objetivo político (Miquel JF et al., 1989).

Hay muchas razones por las que el nivel de colaboración científica ha aumentado en las últimas décadas. Entre los factores económicos se encuentran el coste cada vez más elevado de las investigaciones. Sirva como ejemplo el aumento del precio de los instrumentos científicos, especialmente tras la introducción de generaciones sucesivas de nuevas tecnologías. Como consecuencia, las agencias de financiación se encuentran cada vez con mayores dificultades para ofrecer las facilidades necesarias a todos los grupos de investigación. Los recursos existentes deben ser repartidos en todos los niveles (regional, nacional e internacional), lo que ha obligado a los investigadores a colaborar estrechamente para obtener fondos (Wray KB, 2002).

Un segundo factor, también económico, que ha favorecido el crecimiento de la colaboración ha sido el considerable descenso en los costes de viajes y comunicaciones, a lo que se ha unido el acceso cada vez más fácil a fuentes científicas de información.

En tercer lugar, como algunos sociólogos de la ciencia han señalado, la ciencia es una institución social (factor social) donde los avances dependen de interacciones con otros científicos (Kuhn TS, 1962). En algunas disciplinas, implica la creación de colaboraciones formales de grandes equipos de investigadores. En otras, es suficiente con enlaces informales a modo de colegios invisibles o redes (Kraut R et al., 1988b), (Kraut R et al., 1988a).

Un cuarto factor, muy relacionado con el anterior pero de índole cognitiva, ha sido el aumento de las necesidades de especialización en el seno de algunos campos científicos.

En quinto lugar, otro factor cognitivo está relacionado con el aumento de la interdisciplinariedad. Es evidente que la mayor parte de los avances científicos significativos han surgido como resultado de la integración o fusión de campos diversos. Los campos nuevos o emergentes son la base de nuevas tecnologías futuras. Son pocos los individuos que poseen las habilidades suficientes para realizar tareas de investigación en solitario, lo que obliga a los científicos a asumir el trabajo conjunto entre disciplinas mediante la colaboración. Los avances en ciertas áreas de investigación básica han sido cruciales para desarrollar nuevas tecnologías como la biotecnología o los nuevos materiales, por lo que la colaboración científica no sólo traspasa las barreras entre disciplinas, sino también entre sectores, donde resulta cada vez de mayor importancia, por ejemplo, entre la Universidad y la Empresa[1].

Por último, también existen factores políticos que han favorecido el aumento de los niveles de colaboración entre investigadores, que serán tratados en el apartado 2.9 (Katz JS y Martin BR, 1997), (Smith D y Katz JS, 2000), (Sonnenwald DH, 2007).

A todos estos factores Belkhodja añade otros que pueden definir el comportamiento de los investigadores a la hora de realizar una elección individual (Belkhodja O y Landry R, 2005):

- Búsqueda de oportunidades comerciales.

[1] Las distintas políticas adoptadas para mejorar la transferencia de resultados científicos y tecnológicos desde las instituciones públicas hacia las empresas se dirigen a distintos grupos objetivo (investigadores, estudiantes, empresas), y a un amplio rango de materias que van desde los derechos de propiedad intelectual, hasta la creación de redes, pasando por la innovación financiera. Además, no sólo engloban reformas reguladoras sino también iniciativas diseñadas para la mejora del entorno en el que tiene lugar la colaboración entre la industria y los centros públicos de investigación. Todas esas medidas se dirigen a evitar que algunos de los descubrimientos realizados por científicos en departamentos universitarios susceptibles de comercialización no puedan llegar al mercado por la excesiva distancia entre la Universidad y la Empresa (Gibbons M et al., 1997).

- Obtención de conocimiento sobre aplicaciones que pueden utilizarse en la enseñanza.
- Mejora de conocimiento del área de investigación.
- Generación de recursos económicos adicionales.
- Creación de oportunidades de trabajo para los alumnos.
- Cumplir los objetivos y misiones de la organización.

## 2.7. MEDIR LA COLABORACIÓN CIENTÍFICA.

Ziman afirma que la ciencia se caracteriza por ser "conocimiento público", por lo que el objetivo del científico no es otro que crear, criticar o contribuir al consenso racional de ideas e información. Si aceptamos esta noción general, estaremos dando por supuesto que los resultados de investigación sólo serán completamente científicos cuando sean publicados (Ziman JM, 1969). En términos parecidos se expresa Price, que señala que cuando se trabaja y se produce nuevo conocimiento, el resultado debe ser una publicación. Será entonces, y sólo entonces cuando se pueda decir que se ha realizado lo que conocemos con el nombre de ciencia (Price DJ, 1969).

Para Meadows la comunicación científica[2] es la esencia de la investigación. La investigación no puede recibir tal nombre hasta que no sea analizada y aceptada por la comunidad científica, por lo que precisa ser comunicada. Esa comunicación es esencial para que la investigación pueda ser considerada una actividad social (Meadows AJ, 1998).

Por su parte, Borgman entiende que la investigación, cualquiera que sea el campo, será incompleta hasta que no sea validada a través de procesos de revisión y

[2] Para Borgman el término comunicación científica hace referencia a la actividad comunicativa de los científicos. En otras palabras, limita deliberadamente las consideraciones sobre la comunicación a un grupo específico de individuos (los científicos directamente involucrados en las labores de investigación), y con una actividad muy clara y unos objetivos muy concretos (la difusión de sus resultados y hallazgos de investigación a través de la publicación de trabajos científicos originales) (Borgman CL y Furner J, 2003).

compartida con otros investigadores, considerando a los documentos científicos como una aproximación útil a los conceptos, las teorías y los hallazgos de las distintas disciplinas científicas (Borgman CL, 2000).

Otros autores, en cambio, mantienen que la literatura es sólo una parte de un sistema que posee muchas formas de intercambio de información. Garvey y Griffith, en su estudio de intercambio de información entre psicólogos encontraron, que los principales productores y consumidores de este tipo de información no esperan a verla publicada en revistas, sino que hacen uso de su red de contactos, la mayor parte de ellos informales, pero muy eficientes, para su difusión y utilización (Garvey WD y Griffith BC, 1964).

Los trabajos de Frame y Carpenter son pioneros en el uso de la publicación cofirmada como indicador de colaboración. A este respecto señalan que la colaboración científica puede tener múltiples formas: participación de fuentes de datos, intercambio de ideas, estancia en centros en el extranjero o intercambio de artículos son algunos ejemplos de actividad colaboradora. Sin embargo, y redundando en las tesis de Ziman y Price, la forma más obvia de colaboración, y la más fácilmente mensurable, es la colaboración en forma de artículos científicos (Frame JD, 1977), (Frame JD y Carpenter MP, 1979).

Miquel y sus colaboradores presentan a la coautoría como el único indicador disponible para analizar la colaboración científica, y que a partir de los resultados que con ella se obtienen surgen instrumentos estratégicos de gran valor tanto para los investigadores que participan en esos trabajos como para las entidades (universidades, organismos de investigación, ministerios, etc.) involucradas en su elaboración (Miquel JF et al., 1989).

Para Stokes y Hartley las asociaciones de coautoría entre científicos reconocen tanto las deudas intelectuales, como las personales, y ofrecen la posibilidad de

identificar y medir la actividad social y la influencia entre distintas especialidades científicas. El examen de los enlaces de coautoría entre científicos mostrará a aquellos investigadores que trabajan en la misma área de conocimiento, aunque no necesariamente en conjunto. El resultado es un número de grupos colaboradores de tamaño variable, conectados o aislados los unos de los otros, dentro de los cuales algunos científicos juegan un papel principal, otros son los que sirven de nexo de unión entre grupos, y otros desempeñan ambos papeles simultáneamente (Stokes TD y Hartley JA, 1989).

Newman abunda en el concepto de red de coautoría indicando que nos encontramos ante redes que además de describir la sociedad académica, muestran la estructura de nuestro conocimiento (Newman MEJ, 2004a).

Sea como fuere, medir la colaboración científica no es una tarea fácil. El estudio de los intercambios informales entre científicos requiere observación directa. Este contacto puede cristalizar en forma de artículos científicos que son en los que los especialistas de la colaboración vuelcan su atención. Sin embargo, además de la coautoría, también deberían tenerse en cuenta aspectos como la movilidad de los investigadores, el desarrollo de proyectos científicos o la creación de centros de investigación compartidos (Maltrás B et al., 1995), (Zitt M y Bassecoulard E, 1999).

## 2.8. COLABORACIÓN, PRODUCTIVIDAD Y VISIBILIDAD.

### 2.8.1. PRODUCTIVIDAD.

Un intento pionero de comprender la productividad científica fue el realizado por Lotka. Concluyó que el número de autores que producían *n* documentos era proporcional a $1/n^2$. Por tanto, el número de investigadores que elaboran un documento en un período de tiempo dado es dos veces mayor que el número de

investigadores que elaboran 10 documentos en el mismo período, y cuatro veces mayor que el número de los que editan 100 trabajos (Lotka AJ, 1926).

El hallazgo de Lotka ha llevado a algunos investigadores a preguntarse si los autores más prolíficos tienden a colaborar más que los menos productivos. Resultados a este respecto indican que la mayor productividad (en términos de publicaciones) correlaciona con elevados niveles de colaboración (Börner K et al., 2005), (Glänzel W, 2001), (Harsanyi MA, 1993), (Lindsey D, 1980), (Persson O et al., 2004), de hecho, los autores más prolíficos parecen colaborar con mayor frecuencia, mientras que los autores con menores niveles de producción tienden a hacerlo en mayor medida con autores prolíficos que con los que presentan productividades menores (Katz JS y Martin BR, 1997), (Smith D y Katz JS, 2000). Este fenómeno tiene relación con el "efecto Mateo" descrito por Merton o la "ventaja acumulativa" introducida por Price. Ambos conceptos describen el aumento desproporcionado del crédito, bien sea en forma de citas o de mayor productividad, de los miembros de mayor prestigio de un grupo de investigación (Merton RK, 1969), (Price DJ, 1969).

Además de aumentar la productividad personal, la colaboración ofrece otra ventaja a los autores cuando envían sus trabajos a las revistas. Gordon encontró una relación significativa entre los niveles de autoría múltiple de trabajos enviados a una revista de Astronomía, y su frecuencia de aceptación para su publicación (Gordon MD, 1980).

Sin embargo, los estudios sobre colaboración y productividad centrados en los tamaños de los grupos de investigación revelan que, independientemente del campo de investigación analizado, su relación es compleja de sintetizar y explicar. La productividad aumenta en grupos pequeños (Hicks D y Skea J, 1989), (Qurashi MM, 1991), pero no sucede lo mismo en los grandes grupos de investigación (von Tunzelmann N et al., 2003). En aquellos con más de cinco miembros, la relación

entre productividad y tamaño del grupo es lineal (Johnston R, 1994), (Kretschmer H, 1985), (Qurashi MM, 1993), (Seglen PO y Aksnes DW, 2000).

Se ha comprobado, pues, que la productividad aumenta rápidamente cuando los trabajos son firmados por más de un investigador. Sin embargo, esta economía de escala expira con rapidez cuando se rompe el equilibrio entre la interacción y la fertilización cruzada, por una parte, y la pérdida de eficiencia debida al tiempo que es necesario invertir en la gestión de la colaboración, por otra. El punto en el que esa economía de escala comienza a decaer, es incluso menor cuando se toma en consideración la calidad de los resultados de investigación.

### 2.8.2. VISIBILIDAD.

Parece claro que colaborar con un miembro eminente hace aumentar la visibilidad, ya que la aparición junto a él servirá de presentación al resto de la comunidad científica, lo que a su vez puede suponer nuevas colaboraciones futuras (formales o informales) con el resto de miembros de la comunidad (Beaver D y Rosen R, 1978).

Otros trabajos muestran nuevas ventajas para la autoría múltiple. Nudelman y Landers sugieren que el crédito de la comunidad científica es mayor para los autores de trabajos en colaboración que para aquellos que firman en solitario. El número de coautores también parece correlacionar con el impacto de los documentos. Lawani muestra que cuando el número de autores por documento aumenta, la proporción de documentos de alto impacto también aumenta. Diversos autores indican que la investigación realizada por grandes grupos tiende a ser más influyente (Chinchilla-Rodríguez Z, 2006), (Harsanyi MA, 1993), (Katz JS y Martin BR, 1997).

Pero cualquier tipo de generalización en este tipo de análisis resulta aventurada. Rousseau señala que no es cierto que los artículos con autoría múltiple reciban más

citas que los firmados en solitario, ni siempre es correcta la suposición de que cuantos más autores tenga un trabajo, más citado será. La mayor frecuencia de citas se da a menudo más entre artículos de autoría múltiple que en artículos firmados en solitario, pero esta relación no es tan fuerte como para que se mantenga bajo cualquier circunstancia y para todos los dominios científicos (Rousseau R, 2000), como ha quedado de manifiesto en el dominio matemático español, por ejemplo (Corera-Álvarez E, 2006).

## 2.9. POLÍTICAS CIENTÍFICAS EN TORNO A LA COLABORACIÓN.

La colaboración internacional no es reciente en la historia de la ciencia, aunque ha sido en las últimas décadas cuando se ha producido un aumento sustancial de la misma. Entre la década de los 70 y los 80 la proporción de documentos firmados por autores de dos o más países se duplicó respecto del total publicado (Luukkonen T et al., 1993), (Maltrás B et al., 1995), (Nagpaul PS y Sharma L, 1994). La importancia de la colaboración científica en el desarrollo de sistemas de investigación de calidad es ampliamente reconocida y juega un papel cada vez más destacado en la producción de conocimiento científico. Las publicaciones multinacionales reciben más citas que las nacionales, lo que permite asumir que las colaboraciones internacionales constituyen un segmento más importante en la literatura mundial. Su importancia también puede ser confirmada por el hecho de que los datos bibliométricos de publicaciones internacionales han recibido mayor atención por parte de instituciones encargadas del desarrollo de políticas científicas de muchos países, o por la importancia cada vez mayor de las revistas de carácter internacional en las bases de datos del ISI, frente a las de ámbito nacional (Narin F et al., 1991), (Zitt M y Bassecoulard E, 1999).

Las señales enviadas a los sistemas de investigación desde los gobiernos, los organismos de financiación, o las instituciones investigadoras relativas a la producción de conocimiento incluyen el objetivo explícito de romper las barreras

entre universidades, industria y poderes públicos. Estos mensajes incluyen (Smith D y Katz JS, 2000):

- El crecimiento de la economía basada en el conocimiento y el fortalecimiento del carácter económico y social de los resultados de investigación.

- Un cambio hacia el trabajo científico en colaboración con un amplio espectro de creadores y usuarios de conocimiento. El paso del modo 1 al modo 2 al que se refiere Gibbons[3].

- Financiación selectiva de la investigación que hace necesaria la colaboración y la asociación para la obtención de los fondos necesarios que aseguren el desarrollo de nuevos trabajos científicos y ahorren costes compartiendo equipos y competencias.

- Aumento de la financiación orientada, basada en áreas de prioridad (Programas Marco de la UE, Programas Nacionales de I+D, Programas Autonómicos de investigación).

- Cambio hacia un sistema de enseñanza superior de masas y un aprendizaje a lo largo de la vida.

La colaboración científica parece organizada y controlada por los propios científicos. Sin embargo, son cada vez más numerosas las iniciativas

[3] El modo 1 incluye nuevo conocimiento producido fundamentalmente en el seno de disciplinas individuales, en universidades y otros centros académicos. Las conexiones con las necesidades sociales son escasas y los resultados de la investigación se transfieren al final del proyecto a usuarios a los que pueden o no interesar esos resultados. La justificación del gasto empleado en el trabajo no es obligatoria. Además, existe un alto grado de autonomía para la elección de los problemas de investigación. El modo 2, por el contrario, incluye investigación multidisciplinar soportada por una creciente variedad de instituciones no sólo universitarias y con un difuso límite entre los sectores tradicionales (Universidad, Industria, etc.). El conocimiento se produce en un contexto de aplicación, es decir, teniendo en cuenta la influencia directa de las necesidades sociales y una contabilidad explícita de los fondos públicos recibidos (Gibbons M et al., 1997).

gubernamentales en materia de política científica, en sus distintos niveles, encargadas de promover la colaboración en la investigación. Desde esa perspectiva, la colaboración se ha convertido en una característica prioritaria (Melin G y Persson O, 1996).

## 2.10. COLABORACIÓN E INTERDISCIPLINARIEDAD DE LA CIENCIA.

Las disciplinas poseen estructuras intelectuales y sociales a partir de las cuales se organiza el conocimiento moderno. Sin embargo, el orden establecido de ese conocimiento está siendo influenciado cada vez más por un cambio fundamental: las fronteras que separan las distintas disciplinas se desvanecen, y éstas tienden a solaparse formando nuevos campos híbridos emergentes. Las disciplinas son cada vez más difusas y el número de nuevos campos y especialidades aumenta, provocando que la denominada interdisciplinariedad se convierta en una experiencia cada vez más habitual.

La tendencia de la ciencia hacia una mayor especialización y la necesidad de combinar el conocimiento procedente de distintos campos para enfrentarse a los problemas científicos específicos son algunas de las razones que provocan ese aumento.

Por otro lado, la importancia de la investigación interdisciplinar ha sido ampliamente reconocida, y a ella se asocia la creatividad, el progreso, la innovación y algunos de los principales avances de los tiempos modernos. Muchos de los principales problemas de la sociedad precisan del trabajo integrado de diversas disciplinas. El estudio de los aspectos estructurales, los problemas de evaluación y financiación o los mecanismos para la promoción de la interdisciplinariedad se han incrementado en los últimos tiempos (Bordons M et al., 2004), (Morillo F et al., 2003).

La interdisciplinariedad tiene cuatro características destacadas:

a) Permite desarrollar una estructura en evolución permanente que sirve de guía a los esfuerzos de los científicos que forman parte del grupo de trabajo para la resolución de los problemas a los que se enfrentan. Todo este trabajo se genera y mantiene dentro de un contexto de aplicación distinto del inicial, si bien, se hacen necesarios elementos que forman parte del conocimiento existente. Por tanto, la creatividad y las labores del grupo heterogéneo de trabajo, en lo que a adscripción disciplinar se refiere, deben centrarse en la consecución de un contexto teórico que, una vez alcanzado, será difícilmente fraccionable en partes disciplinares.

b) Como quiera que la solución del problema contiene componentes tanto empíricos como teóricos, nos encontramos, innegablemente, ante una contribución al conocimiento científico general, aunque no necesariamente al conocimiento particular de una determinada disciplina. A pesar de haber surgido a partir de un contexto concreto de aplicación, el conocimiento interdisciplinar desarrolla sus propias estructuras teóricas, métodos de investigación y modos de práctica, distintos, probablemente, a los acostumbrados en el mapa disciplinar prevaleciente. El esfuerzo, por tanto, es acumulativo, pero la dirección de esa acumulación puede desplazarse en distintas direcciones dependiendo del problema resuelto.

c) A diferencia del modo 1, en el que los resultados se comunican a través de los canales institucionales, en el modo 2 los resultados se comunican a aquellos que han participado en el curso de la investigación, de ese modo, su difusión inicial se da durante el proceso de producción. Aunque el contexto del problema es transitorio y quienes lo solucionan son móviles, las redes de comunicación que surgen a partir de esa colaboración tienden a

persistir y el conocimiento generado en ellas está disponible para entrar a formar parte de nuevas configuraciones.

d) Como ya hemos visto, la interdisciplinariedad es dinámica. Una solución concreta puede convertirse en el lugar cognitivo desde el que efectuar avances posteriores, pero predecir dónde se ha de utilizar ese conocimiento o cómo se desarrollará es tan difícil como el determinar las posibles aplicaciones que puedan surgir a partir de la investigación. El modo 2 se caracteriza especialmente, aunque no en exclusiva, por la interacción cada vez más estrecha entre la producción de conocimiento y la sucesión de contextos que plantean nuevos problemas científicos. Tal como sucede con los descubrimientos logrados en el modo 1, un descubrimiento puede basarse en otro, pero los descubrimientos realizados en el modo 2 se encuentran fuera de los confines de cualquier disciplina concreta, y los practicantes no tienen por qué regresar a ella para encontrar convalidación de los mismos. Es posible que el nuevo conocimiento producido de esta forma no encaje fácilmente en ninguna de las disciplinas que contribuyeron a la solución. Tampoco será fácil referirlo a instituciones disciplinares concretas, o registrarlo como contribuciones disciplinares (Gibbons M et al., 1997), (Martin BR y Etzkowitz H, 2000).

## 2.11. COROLARIO.

Este segundo capítulo ha servido para analizar los aspectos que intervienen e influyen en la colaboración científica, y para comprobar que la red de científicos que interactúan entre sí para producir nuevo conocimiento es la unidad de producción esencial en la ciencia, convirtiendo a ésta en un proceso social no exento de influencias individuales, que permite agrupar los factores básicos que explican la colaboración científica en económicos, cognitivos y sociales.

En cuanto a la forma de conseguir datos científicamente mensurables, la coautoría se postula como un indicador válido para analizar la colaboración científica, aunque no está exenta de inconvenientes, por lo que ha de utilizarse como medida genérica de colaboración a la que intentar complementar con otro tipo de datos para reducir la posible incertidumbre de sus conclusiones.

En síntesis, trabajar en equipo no es una tarea fácil, como tampoco lo es desarrollar objetivos comunes. Compartir conocimiento, recursos, responsabilidad y poder a menudo supone construir capital social y correr riesgos depositando confianza en otros, algo difícil de asumir cuando están en juego carreras profesionales o reputaciones.

# CAPÍTULO 3. GRUPOS DE INVESTIGACIÓN

## 3.1. INTRODUCCIÓN.

La creación científica se ve influenciada por diversos factores, tanto individuales (edad, características psicológicas, conocimientos previos, etc.), como estructurales (financiación, contexto institucional, organización de la investigación, …). Ya se ha mencionado la tendencia contemporánea hacia la colectivización de la investigación científica, y prueba de ello es el papel destacado que juegan los grupos de investigación, que gradualmente adquieren mayor protagonismo en detrimento de los patrones de trabajo individual predominantes en períodos anteriores (Bordons M y Gómez I, 2000), (Méndez-Vásquez RI et al., 2007a), (Méndez-Vásquez RI et al., 2007b), (Seglen PO y Aksnes DW, 2000).

Este capítulo se aproxima a la definición de grupo de investigación, las nuevas formas de investigación que condicionan su aparición, la configuración interna que adoptan para afrontar la resolución de problemas científicos, la metodología disponible para determinar su dimensión, y los retos futuros que supone su expansión.

## 3.2. DEFINICIÓN DE GRUPO DE INVESTIGACIÓN.

Al igual que sucede con la colaboración científica, muchos han sido los trabajos centrados en analizar el trabajo científico en colaboración desde distintas perspectivas, pero pocas las tentativas para acotar y definir con la suficiente claridad qué se entiende por “grupo de investigación”.

Un grupo de investigación puede definirse como un colectivo de científicos que colaboran en el planteamiento y en el desarrollo de investigaciones, compartiendo recursos materiales y económicos. Las ya aludidas especialización y complejidad de la investigación científica, han hecho aumentar la importancia de la colaboración entre autores y han favorecido la creación de grupos de investigación sobre los que

descansa el trabajo de forma colectiva con un objetivo que no es otro que el de mejorar la eficiencia en la consecución de resultados. La relevancia adquirida por los grupos es tal, que han pasado a considerarse la unidad mínima del sistema investigador en muchas disciplinas. Los grupos son hoy día una pieza fundamental en el desarrollo de la investigación en gran parte de las disciplinas científicas y tecnológicas, mientras que el trabajo individual prevalece en algunas áreas de las Ciencias Sociales y las Humanidades (Bordons M et al., 1995b), (Zulueta MA et al., 1999).

En un reciente trabajo, centrado en los procesos e interacciones socio-cognitivas implicados en la resolución de problemas en grupo y en cómo éstos afectan a los miembros que lo componen en sus comportamientos de información en términos de actividades y experiencias tanto cognitivas como afectivas, Hyldegård se aproxima, desde una perspectiva psicológica, a la concreción del concepto. Para la autora danesa, grupo implica cooperación entre los miembros que lo componen, por lo que los principales procesos asociados al trabajo en grupo son la cooperación y la colaboración[4].

Así, desde el punto de vista de la psicología social, grupo puede ser descrito como aquel que implica a un número reducido de personas, con contacto regular entre ellas mediante la colaboración y participación en objetivos comunes, y que además de conocerse tienen una idea aproximada de las funciones de cada uno de los que componen el conjunto[5].

[4] Hyldegård define *cooperación* como una noción compleja que implica acciones colectivas e intencionales dirigidas a la consecución de un objetivo común, mientras que *colaboración* implica un trabajo basado fundamentalmente en esfuerzo intelectual conjunto.

[5] Una definición más sencilla define grupo como aquel conjunto de personas que interactúan entre sí, que son psicológicamente dependientes las unas de las otras, y que se perciben como conjunto. Por tanto, los grupos suponen unidades de actividades de trabajo que implican: las tareas de trabajo y los problemas asociados a su resolución, por un lado, y los procesos grupales, o mecanismos que utiliza el grupo para actuar como unidad, por otro.

Desde esa misma perspectiva, los motivos fundamentales que consolidan la participación de los individuos en grupos son: i) la pertenencia: referida a la identidad social, o la necesidad de sentirse identificado con el grupo, ii) el entendimiento: o reducción de la incertidumbre. La identificación del individuo con el grupo supone su orientación no tanto hacia sí mismo, sino hacia la realización como miembro ejemplar del grupo, iii) y el control: entendido como la necesidad de revisar los procesos de una actividad interdependiente y cuyos resultados dependen del colectivo. Por último, señala las cuatro fases por las que pasa el desarrollo grupal (Hyldegard J, 2006):

- Formación: es la fase en la que el grupo se encuentra por primera vez. Todo el mundo es educado y los conflictos rara vez son expresados abiertamente. El individuo reserva sus opiniones.
- Ubicación: es la fase en la que las facciones se han formado, las personalidades chocan y predominan los conflictos.
- Normalización: fase en la que los grupos comienzan a reconocer los méritos del trabajo en equipo y decaen las luchas. Los miembros comienzan a sentirse seguros y cómodos a la hora de expresar sus propios puntos de vista que son discutidos entre todos. Comienza el reconocimiento colectivo de grupo.
- Desarrollo: última fase en la que los grupos asientan el sistema de normas que permitirá el libre y franco intercambio de visiones y un alto grado de apoyo colectivo a cada una de las decisiones.

Un concepto también relacionado con el de grupo de investigación es el de comunidad de práctica (*community of practice*), que Davenport y Hall definen como grupo flexible de profesionales informalmente relacionados por intereses comunes para compartir conocimiento (Davenport E, 2001), (Davenport E y Hall H, 2002). Añaden que los tres dominios que contribuyen al concepto son el aprendizaje, la cognición (interacción de personas, instrumentos y contextos para

la resolución de problemas en distintos niveles) y la comunicación (análisis del discurso a partir de redes sociales).

Aunque en principio el concepto de comunidad de práctica pueda parecer más amplio, y de hecho lo es en función del contexto al que se destine, si aplicamos la definición de Davenport y Hall como agrupación de miembros unidos por vínculos comunes a través de su participación en iniciativas tendentes al descubrimiento de hechos científicos, podemos considerar a tal como sinónimo de grupo de investigación.

La comunidad de práctica, al igual que el grupo de investigación, se distingue de otras formas de agrupación porque existe de mutuo acuerdo, lo que implica responsabilidad mutua, y tiene total independencia (las comunidades, como los grupos, no son de nada ni pertenecen a nadie más que al colectivo que los conforman).

## 3.3. GRUPOS COMO UNIDADES PARA LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS.

En la investigación científica, los grupos están formados por investigadores con perfiles de especialización distintos pero complementarios, orientados a aumentar la eficiencia y el éxito en la resolución de problemas científicos, frente a las limitadas posibilidades que ofrece la investigación individual. Así, el trabajo en grupo supone la interacción de dos ámbitos motivadores: el cognitivo, enfocado a la elaboración de un producto óptimo, y el social dirigido a la actuación en conjunción con otros miembros para alcanzar soluciones aceptables. El primero se encamina hacia la precisión y utilidad de las tareas de trabajo, mientras que el segundo se centra en las necesidades del grupo para mantener sus relaciones y su identidad permitiendo la satisfacción mutua. Consecuentemente, la razón subyacente que motiva el trabajo en grupo es que en la mayor parte de los casos éstos trabajan mejor que los individuos. Así, los factores socio-cognitivos ayudan a

los miembros del equipo a tomar conciencia de la situación, hacer converger las distintas perspectivas de un mismo asunto hacia una solución compartida y transferir conocimiento de un contexto a otro (Hyldegard J, 2006), (Seglen PO y Aksnes DW, 2000), (Zulueta MA et al., 1999) (Bordons M y Gómez I, 2000).

## 3.4. DETERMINACIÓN DE LOS GRUPOS DE INVESTIGACIÓN.

Los trabajos sobre grupos de investigación se han centrado fundamentalmente en aspectos referidos a su tamaño, su producción y productividad, el impacto de los resultados que obtienen o cómo afecta la edad y el paso del tiempo a todos estos factores (Acedo FJ et al., 2006), (Bonaccorsi A y Daraio C, 2003), (Börner K et al., 2005), (Calero C et al., 2006), (Cohen JE, 1991), (Colman AM et al., 1995), (García-Aracil A et al., 2006), (Genest C y Thibault C, 2001), (Kretschmer H, 1997), (Lee CK, 2003), (Moed HF et al., 1998), (Noyons ECM et al., 1999), (Qurashi MM, 1993), (Rey-Rocha J et al., 2002), (Rey-Rocha J et al., 2006), (Seglen PO, 1992), (Seglen PO y Aksnes DW, 2000), (van Leeuwen TN y Moed HF, 2005).

Sin embargo, la información relativa a la composición de los grupos de investigación no se encuentra directamente disponible en las bases de datos, como sucede en el caso de los autores, de las instituciones, de los países o de las revistas. Los grupos de investigación deben definirse a partir de la estructura interna de las universidades, los institutos de investigación, los laboratorios o las empresas dedicadas a investigación y desarrollo (van Raan AFJ, 2006a), (van Raan AFJ, 2006b).

En este sentido, Cohen profundiza en la esencia de los estudios dirigidos a analizar el trabajo en grupos de investigación. Para él coexisten dos patrones metodológicos posibles para la determinación y el análisis de los grupos de investigación: los basados en input y los basados en resultados (Cohen JE, 1991).

El patrón basado en resultados utiliza los datos extraídos de artículos, memorias de investigación o referencias bibliográficas. La pertenencia al grupo, en este caso, se restringe a los autores de los documentos, determinando los grupos en función de su participación conjunta en publicaciones[6]. Esta aproximación es especialmente apropiada, señala Cohen, para estudios de sociología del conocimiento.

Los grupos extraídos a partir de los resultados, por tanto, no se corresponden necesariamente con realidades administrativas o institucionales. Se definen a partir de la coautoría y no de la gestión institucional. En este tipo de agrupaciones no existen requerimientos localizados de recursos puesto que los miembros pueden encontrarse geográficamente dispersos. Quedan automáticamente excluidos aquellos integrantes de la organización que reciben un salario y ocupan un espacio, pero no aparecen reseñados en las publicaciones. Además, la selección de fuentes para la extracción de los trabajos omitirá también a aquellos que escapen del filtro elegido, como los trabajos en determinados tipos documentales (monografías) o las revistas no recogidas en el repertorio bibliográfico elegido. Todo ello dibuja un paisaje incompleto, incluso para aquellos autores que publican pero lo hacen fuera de los canales de comunicación seleccionados.

Los estudios de grupos científicos basados en input, por su parte, se definen a partir de los acuerdos administrativos, bien entre laboratorios, institutos o proyectos de investigación que posean un líder identificable. Todos los científicos que formen parte de estas agrupaciones se considerarán integrantes del grupo, publiquen o no. El corpus de publicaciones que se empleará en este tipo de estudios, a diferencia del modelo anterior, será el del conjunto de las realizadas por los científicos que configuran el grupo. En este caso, es difícil que se omitan publicaciones científicas, puesto que el reconocimiento, el estatus o las recompensas que suponen hacen que se incluyan sin excepción en los informes

[6] El principal resultado de los grupos de investigación es el conocimiento y el "saber hacer" (*know-how*) que puede mostrarse de formas diversas: monografías, prototipos de innovación, patentes, asesorías, formación, etc. De todas ellas, es el artículo científico el indicador clave para la evaluación de la investigación, mostrándose como la principal fuente de actividad y reconocimiento por parte de la comunidad científica (García-Aracil A et al., 2006).

institucionales. El riesgo, entonces, estará en separar las que sean triviales o superfluas.

En los análisis basados en input, es fácil controlar las publicaciones realizadas o los recursos invertidos, sin embargo, la pertenencia administrativa no se corresponde necesariamente con la de grupos colaboradores o con intereses científicos comunes. Además, el hecho de que algunas de sus publicaciones sean firmadas por autores que no forman parte del grupo, hace que sus miembros obtengan un crédito del que sólo son parcialmente responsables.

Las ventajas e inconvenientes que presentan las dos metodologías hacen necesaria la combinación acertada de ambos tipos de estudios. Así, partiendo de una determinada colección de documentos de una institución, pueden realizarse estudios basados en resultados de la misma.

## 3.5. ORGANIZACIÓN DE LOS GRUPOS DE INVESTIGACIÓN.

Una vez aproximados a la definición de grupos de investigación, de cuáles son sus cometidos en la ciencia actual y de cómo pueden ser identificados a partir de la literatura científica, surgen al menos tres retos en torno a su estudio:

- Cómo acomodar el diseño organizativo de los centros de investigación ante estas nuevas estructuras.
- Cómo facilitar el trabajo que se realiza a través de la interacción de distintos instrumentos, personas y contextos.
- Cómo identificar y gestionar la nueva forma de acumulación de capital social[7].

[7] Capital social entendido como el conjunto de enlaces que se producen entre los actores de la red y la predisposición o no de éstos a trabajar en conjunto. El capital social opera a través de la creación, el mantenimiento y la transferencia de información, y el valor de la red que sea capaz de configurar será proporcional al número de acciones existentes en su seno tendentes a la colaboración y, por tanto, al beneficio mutuo (Ellis D et al., 2004).

### 3.5.1. TIPOS DE COLABORACIÓN EN FUNCIÓN DE LOS OBJETIVOS. EL COLABORATORIO.

Para Zare, el progreso de la investigación demanda mecanismos que soporten la mega-colaboración de grupos de investigación, que será la forma de trabajo necesaria para lograr la resolución de problemas globales a los que se enfrentarán los científicos. La actividad investigadora, por tanto, se organizará en forma de inteligencia distribuida, en la que la experiencia y el conocimiento se sustentarán en una única ubicación física que podrá ser accesible y compartida por el resto de la comunidad con independencia del lugar en el que se encuentren. De esta manera, la información estará disponible para cualquiera, en cualquier lugar y en cualquier momento, trasladando la información, el control y el poder de los sistemas centralizados a sistemas distribuidos centrados en los individuos. Este nuevo modelo supone una profunda revisión de la organización actual de la ciencia, que se aleja cada vez más de los "colegios invisibles", donde el centro del nuevo conocimiento se basaba en la intervención de un pequeño número de investigadores de élite que trabajaban en conjunto. La noción de inteligencia distribuida, en cambio, supone la movilización del esfuerzo científico colectivo, y el consecuente aumento de los resultados y de las capacidades, dado que existirá un gran número de participantes en la creación del nuevo conocimiento (Zare RN, 1997).

Esta nueva forma de trabajo ha sido denominada colaboratorio[8] (*collaboratory*), o centro de investigación sin muros, un nuevo paradigma en la práctica científica en el que los investigadores pueden desarrollar su trabajo sin tener en cuenta su localización física (interaccionar con colegas, utilizar instrumentos, compartir datos y acceder a la información a través de bibliotecas digitales). El colaboratorio

[8] *Collaboratory* es una palabra compuesta a partir de *collaboration* y *laboratory*. Entre los visionarios de la importancia de las nuevas tecnologías en la ciencia se encuentra Vannebar Bush, que anticipó algunas de las funcionalidades del colaboratorio, imaginando una máquina, Memex, que permitiría a los científicos acceder y recuperar datos y resultados de una gran matriz de publicaciones científicas (Bush V, 1945).

proporciona un excelente mecanismo para el aprovechamiento de las tecnologías de la información y las comunicaciones y el trabajo organizado en forma de redes (Russell JM, 2001), (Sonnenwald DH, 2003a), (Sonnenwald DH, 2003b), (Sonnenwald DH et al., 2003), (Sonnenwald DH y Li B, 2003), (Wellman B et al., 2006).

Para Finholt, la comunicación es incuestionablemente necesaria para garantizar e incluso alentar la colaboración científica. Pero el trabajo en equipo cada vez más deslocalizado también requiere, como predice Zare, el acceso a equipamiento especializado y conjuntos de datos, por lo que es preciso abordar la necesidad de elaborar una red de aplicaciones que permitan compartir datos, visualizaciones y programas que faciliten el uso remoto de instrumentos.

Los científicos que comparten ordenador en la misma sala pueden hacer referencia a rasgos de una visualización en pantalla simplemente señalando con el dedo la peculiaridad. Sin embargo, cuando esa visualización se comparte de manera deslocalizada, lo primero que han de hacer los científicos es asegurarse de que tienen ante sí la misma visualización, y que la peculiaridad visualizada es la misma en ambos casos. En este segundo escenario la pérdida de inferencia también puede suponer la pérdida del conocimiento compartido que permite a ambos colaboradores coordinar los esfuerzos para alcanzar los objetivos comunes. La colaboración supone, por tanto, mayores esfuerzos a la hora de comunicar la información adicional necesaria para lograr un contexto común, por lo que lograr herramientas y aplicaciones que compensen la ausencia de marcos comunes, se convierte en un reto, y los interfaces WISIWYS (What I See Is What You See) en una posible solución (Finholt TA, 2002), (Sonnenwald DH et al., 2004).

El colaboratorio, por tanto, es una entidad organizativa que traspasa las fronteras espaciales, alienta la interacción humana hacia el logro de resultados comunes y fomenta el contacto entre investigadores que pueden o no conocerse, ofreciendo

acceso a datos, instrumentos y herramientas comunes para el logro de las tareas de investigación. Los grupos de investigación deslocalizados pueden clasificarse en siete categorías atendiendo a sus objetivos o sus métodos de trabajo (Bos N et al., 2007):

I) **Instrumentos compartidos:** este tipo de colaboratorio tiene como función principal el acceso a instrumental científico. Compartir instrumentos a menudo supone el manejo de aparatos de alto coste como telescopios o supercomputadores. Si ese acceso, además, es remoto, requerirá el suplemento de equipos de videoconferencia, ordenadores portátiles, dispositivos de almacenamiento masivo de datos y otras herramientas de comunicación.

II) **Sistemas comunes de datos:** este tipo de colaboración se basa en la creación, mantenimiento y explotación de recursos de información comunes para una comunidad geográficamente dispersa. No se considerarán como tales los grupos pequeños que comparten documentos de trabajo en línea.

Los sistemas de datos comunitarios se encuentran en la vanguardia de los esfuerzos de normalización de datos. Las grandes bases de datos compartidas no pueden construirse ni utilizarse hasta que sus usuarios establezcan los criterios de almacenamiento, búsqueda y explotación de datos.

III) **Comunidad abierta:** es un proyecto abierto que aglutina esfuerzos de diversos individuos geográficamente dispersos involucrados en la resolución de un problema común. Se distingue de los sistemas comunes de datos en que las contribuciones son en forma de trabajo y no de

datos. Por otro lado, se diferencia de los centros de investigación distribuidos porque sus requisitos de participación son más abiertos.

Uno de los retos tecnológicos que plantea este tipo de colaboratorio, es la creación de un sistema universal capaz de trabajar sobre cualquier plataforma y que sea fácil de usar, para que los participantes puedan obtener resultados de forma rápida sin necesidad de perder demasiado tiempo en su aprendizaje.

En este caso, los problemas organizativos deben dirigirse a la consecución de controles de calidad efectivos que eviten los problemas de obtención masiva de trabajos de un conjunto heterogéneo de contribuyentes.

IV) **Comunidades virtuales de prácticas:** son redes de individuos que comparten un área de investigación y que se comunican a través de las nuevas tecnologías. Estas comunidades virtuales pueden compartir noticias profesionales de interés, técnicas, recursos en línea sobre la materia, etc. Se distinguen de los centros de investigación distribuidos porque no realizan trabajos o proyectos en común.

V) **Comunidades virtuales de aprendizaje:** su principal objetivo es el aumento de las capacidades de los participantes, no necesariamente dirigidos a investigación original. Suelen ser comunidades formales de educación, pero también pueden darse en forma de servicios de desarrollo profesional.

VI) **Centros de investigación distribuidos:** funcionan como cualquier centro de investigación tradicional pero sus miembros no comparten un espacio físico, sino que trabajan a distancia. Es un intento de aglutinar talento,

esfuerzo y recursos más allá de investigadores individuales. Se configuran en un área temática de interés común y desarrollan proyectos en la misma.

Este tipo de colaboratorio tropieza con todos los problemas tecnológicos reseñados anteriormente, incluyendo los problemas de normalización de datos y los derivados del necesario soporte técnico a distancia.

Tratándose de uno de los proyectos organizativos más ambiciosos, requiere el mantenimiento de la participación de los diversos actores, normalizar los protocolos de comunicación, facilitar la toma de decisiones distribuida y garantizar el soporte administrativo.

VII) **Infraestructura comunitaria:** este tipo de proyectos tratan de desarrollar infraestructuras que permitan la elaboración de trabajos que profundicen en dominios científicos concretos. Por infraestructuras se entienden recursos comunes que faciliten el trabajo investigador, como programas informáticos, protocolos de normalización, nuevos instrumentos científicos o métodos educativos, etc. Este tipo de proyectos son a menudo interdisciplinares.

Por tanto, la colaboración científica actual no puede entenderse sin las nuevas tecnologías. Resulta fundamental la presencia (y también la necesidad) de infraestructura tecnológica suficiente para desarrollar el trabajo investigador compartido con éxito pero, por otro lado, también exige la disponibilidad local de las habilidades necesarias para su explotación. En resumen, la aparición del trabajo investigador en forma de grupos y su nueva organización en forma de colaboratorios suponen la convergencia de la tecnología informática y la práctica científica.

### 3.5.2. TIPOS DE COLABORACIÓN EN FUNCIÓN DE LA ESPECIALIZACIÓN.

Todo proceso de colaboración científica requiere de una serie de actividades básicas como: la formulación de las preguntas de investigación o de los problemas a resolver, la preparación de la investigación, el desarrollo o adaptación de los métodos científicos, la extracción de datos y la interpretación de los resultados obtenidos. Sin embargo, estas actividades varían en función del grado de especialización necesario para su ejecución. Así el tipo de colaboración en el seno de un grupo en función de esa especialización puede clasificarse en (Laudel G, 2002):

**División del trabajo:** este tipo de colaboración se da tanto en el plano teórico-conceptual como en el experimental cuando se requieren contribuciones de varios investigadores. La formulación del problema a resolver se realizará de manera conjunta, pero el resto de fases o actividades básicas serán realizadas por los distintos miembros del grupo de investigación.

**Colaboración de servicio:** en este caso el problema científico a resolver es definido por un único investigador. Las contribuciones del resto de colaboradores suelen restringirse a labores rutinarias que consumen gran cantidad de tiempo pero que precisan la intervención de especialistas.

**Acceso a equipamiento de investigación:** en este tipo de colaboración el trabajo no requiere el desarrollo de procesos rutinarios sino el manejo de equipamiento especializado. Las actividades suelen limitarse al aprendizaje del manejo del aparato y a la asistencia necesaria durante su utilización.

**Transmisión de conocimiento:** en este tipo de colaboración se transmite conocimiento procedimental, es decir, conocimiento necesario para el desarrollo exitoso de un proceso específico de la investigación.

**Estimulación mutua:** este tipo de colaboración es sustancialmente distinta a las cuatro anteriores porque no se refiere a un proceso investigador concreto ni incluye el intercambio de contribuciones claramente definidas. Se trata de un efecto secundario de la comunicación científica y, por tanto, relacionado con el trabajo investigador en general. La comunicación entre científicos les estimula a pensar sobre problemas no resueltos o sobre nuevos proyectos de investigación. La estimulación mutua no supone la transferencia de conocimiento, sino la estimulación de la creatividad de alguna o ambas partes.

**Asesoría:** los cinco tipos de colaboración anteriores están relacionados con el proceso de producción de conocimiento en sí mismo, sin embargo, este sexto tipo concierne al proceso de publicación de los resultados de investigación. Concretamente, se refiere a aquellos investigadores que aceptan críticas constructivas sobre la investigación realizada, previas a su difusión a la comunidad científica.

Todos estos tipos de colaboración según la especialización requerida para cada una de las fases pueden combinarse o transformarse a lo largo del proceso investigador.

### 3.5.3. TIPOS DE COLABORACIÓN EN FUNCIÓN DE LA ORGANIZACIÓN INTERNA.

Pero el tipo de colaboración de los grupos de investigación también puede clasificarse en función del modo elegido para su organización y sus mecanismos de

gestión interna. Estas formas de colaboración según el tipo de organización se subdividen en (Chompalov I et al., 2002):

**Grupos burocráticos:** los grupos organizados de forma burocrática se caracterizan por una elevada incidencia de los rasgos de la burocracia weberiana: jerarquía de la autoridad, normas y regulaciones escritas, responsabilidades definidas y división del trabajo especializada. Entre los patrones comunes a este tipo de colaboraciones encontramos: amplia evaluación externa, comités con distintas funciones, gestores nombrados oficialmente, líneas de autoridad claramente definidas (tanto administrativa como científicamente) y una jerarquía de autoridad perfectamente establecida.

**Grupos sin liderazgo:** son aquellos tipos de agrupación que carecen de un líder científico, aunque no necesariamente sin un líder administrativo, de hecho, la mayor parte de los proyectos de este tipo tienen un líder administrativo nombrado oficialmente.

Los grupos sin liderazgo son similares a los de tipo burocrático en su organización formal, con estructuras claramente diferenciadas. Las razones para esa diferenciación también son parecidas, evitar que los intereses particulares de los participantes (algunos con historiales y expectativas idénticos) no dificulten la colaboración, especialmente cuando hay gran cantidad de recursos en juego. Se distinguen de las anteriores porque no designan un líder específico que represente los intereses de los investigadores o decida los temas de investigación. Carecen de la férrea jerarquía que formaliza la división del trabajo. En esta forma semi-burocrática de agrupación, los administradores se encargan de obtener los recursos, mientras que los científicos son los encargados de desarrollar los instrumentos y los proyectos.

**Grupos no especializados:** este tipo de agrupaciones son complementarias a las colaboraciones sin liderazgo. Mientras que éstas últimas son similares a las burocráticas en la formalización y diferenciación, las no especializadas son parecidas a las burocráticas porque su gestión es jerárquica, careciendo de formalización y diferenciación. La diferencia fundamental, por tanto, entre los dos tipos de colaboraciones semi-burocráticas es la presencia o ausencia de un líder científico.

**Grupos participativos:** las agrupaciones participativas se caracterizan por la ausencia de los rasgos tradicionales asociados a la burocracia. Ni tienen un líder específico, ni cuentan con férreas estructuras jerárquicas de la organización, ni definen por escrito sus derechos y deberes.

## 3.6. PROBLEMAS DE ORGANIZACIÓN DE LOS GRUPOS DE INVESTIGACIÓN.

Debido a que el trabajo científico es cada vez más cooperativo, los científicos se enfrentan a problemas relacionados con la organización de conjuntos de investigadores para lograr la consecución de un grupo. Aunque la conjunción de científicos de distintos lugares, disciplinas e instituciones ofrece importantes ventajas para el abordaje de problemas científicos, el trabajo en forma de grupo de investigación requiere la división del trabajo, la superación de problemas de agenda, la coordinación y el control de los progresos, la gestión de las distintas culturas e idiomas involucrados, y la creación y consolidación de mecanismos de intercambio de información. Entre los problemas organizativos relacionados con las estructuras de colaboración científica se encuentran (Walsh JP y Maloney NG, 2007):

**Tamaño de la colaboración:** el tamaño del grupo es una de las variables que explican los procesos organizativos. Por un lado, es una aproximación a

otras variables como la heterogeneidad o la dispersión geográfica, por otro es una medida de la complejidad de la división del trabajo y de la dificultad para establecer los canales de comunicación necesarios para su éxito. El mayor tamaño de la colaboración se asocia con un aumento de los problemas culturales, de confianza, de seguridad de la información y de coordinación.

**Diversidad del grupo:** la diversidad demográfica y la disparidad de creencias dentro de un grupo puede desembocar en conflictos de opinión e interpretación. Los mecanismos de toma de decisiones y coordinación son más fáciles en grupos pequeños y homogéneos (entre pares).

**Proximidad geográfica:** puesto que la ciencia es un proceso social, tanto la comunicación como el contacto entre colaboradores resulta esencial para alcanzar los objetivos. La proximidad geográfica facilita oportunidades para la comunicación informal y para evitar o minimizar los problemas asociados con la dirección de las investigaciones (reuniones de socios, definición de problemas, planificación de proyectos, supervisión de tareas).

En este sentido, Cummings y Kiesler sugieren que la distancia es más relevante que la diversidad en el seno de un grupo. Así, es preferible miembros que trabajen cerca, a aquellos que sean de otra especialidad, hecho que facilita la coordinación y control entre los colaboradores (Cummings JN y Kiesler S, 2005).

**Cohesión del grupo:** la medida de cohesión de grupos de investigación se entiende como la fortaleza de los vínculos, vista desde la teoría de redes. Existe un debate sobre el valor de los enlaces fuertes y los débiles. Para algunos las redes con abundancia de enlaces débiles son ventajosas porque permiten puentes entre grupos, logrando nueva información que se

intercambia entre cada uno de ellos. Otros sostienen que los enlaces fuertes son vitales en los flujos de información, especialmente si ésta es compleja.

**Independencia de tareas:** otro importante aspecto de la estructura de colaboración es la organización del trabajo, que varía en función del grado de interdependencia de los miembros del grupo en la ejecución de las tareas. Una mayor interdependencia demandará mayor comunicación entre los integrantes del grupo y la posibilidad de mayores conflictos internos. Una alternativa es la reorganización del trabajo desligando el mayor número de tareas posibles.

**Presión competitiva y comercial:** todos los problemas descritos hasta ahora aumentan cuando lo hacen la presión competitiva y/o la comercial. Estas presiones repercuten especialmente en las preocupaciones por la seguridad de la información.

**Comunicación cara a cara:** la comunicación informal cara a cara es fundamental en entornos de trabajo científicos complejos e inciertos. Un resultado importante de la comunicación debe ser la consecución de una cultura de intercambio de información. El aumento de la distancia aumenta los riesgos de problemas de coordinación y cultura. Este tipo de comunicación mantiene la integridad de la colaboración y permite a los miembros rediseñar las normas y disipar las dudas o inquietudes.

Las tecnologías de la información, especialmente Internet, han facilitado la colaboración científica, mejorando la producción de los grupos de investigación, dinamizando su comunicación, permitiendo estructuras más flexibles y con menores diferenciaciones jerárquicas que facilitan la participación de los miembros. Estas tecnologías, entendidas como la convergencia de ordenadores y redes, están aportando cambios de gran alcance a los sistemas de comunicación

científica. Este cambio ha sido comparado con otros sufridos por el sistema científico, como el desarrollo global de la ciencia o el auge de las ciencias biológicas. El hecho de que las investigaciones sobre la comunicación científica cobraran un nuevo impulso a partir de mediados de la década de los noventa del siglo pasado, se puede atribuir a la reestructuración progresiva del sistema de comunicación, al rápido crecimiento de las tecnologías de la información y de las publicaciones electrónicas, y al desarrollo de trabajos sobre redes (Borgman CL, 2000).

Los sociólogos de la ciencia fueron capaces de predecir que los investigadores superarían los límites espaciales a la hora de llevar a cabo su trabajo, hecho que quizá sea el primero de los éxitos de las nuevas tecnologías de la información y las comunicaciones. Sin embargo, obviaron barreras cruciales, fundamentalmente debidas a que los estudios modernos sobre la ciencia enfatizan la naturaleza social de las comunidades científicas, que hacen de la colaboración científica una empresa más difícil de lo que pudiera parecer a priori. Debe hacerse, por tanto, una distinción clave entre la colaboración informal (uno a uno) ampliamente extendida entre los científicos, y las estructuras organizativas en forma de grupo de investigación, cada vez más frecuentes pero no por eso mejor comprendidas. Entre las barreras de esta nueva concepción del trabajo científico se encuentran (Bos N et al., 2007):

1) El conocimiento científico es difícil de acumular: aunque que cada vez resulta más sencillo transmitir y almacenar información, la transferencia de conocimiento sigue siendo difícil de lograr. Los científicos suelen trabajar con ideas que se encuentran en la frontera de lo conocido por lo que la comprensión de ese conocimiento requiere una gran especialización, es difícil de representar y cambia con rapidez. Esa transferencia de conocimiento resulta aún más difícil de gestionar y difundir con la distancia.

2) Los científicos trabajan de manera independiente: los investigadores prefieren trabajar con independencia tanto en sus tareas diarias como en su trabajo a más largo plazo. Esa cultura de independencia beneficia a la ciencia de muchas formas, pero también dificulta la agrupación de labores científicas. Los trabajos científicos en colaboración deben poner más énfasis que cualquier otro tipo de organización en el mantenimiento de los canales de comunicación, la adopción de herramientas para compartir e intercambiar el trabajo y la fijación de objetivos comunes.

3) El trabajo entre instituciones es muy complejo: traspasar las fronteras institucionales es un reto en muchos casos infranqueable. Incluso cuando todos los científicos están preparados para emprender el trabajo cooperativo, surgen problemas institucionales, fundamentalmente de índole legal, difíciles de resolver.

Estas dificultades específicas para los científicos se unen al resto de problemas propios del trabajo cooperativo, como lograr la coordinación, conseguir la confianza mutua, o la superación de los malentendidos y los problemas de comunicación.

## 3.7. COROLARIO.

En este tercer capítulo hemos comprobado que las nuevas formas de trabajo y las nuevas necesidades que deben ser adoptadas para afrontar la resolución de los problemas científicos actuales han supuesto cambios significativos en la organización interna de los centros de investigación y han favorecido la aparición de los grupos de investigación.

La ciencia, cada vez más especializada, se ha convertido en una empresa eminentemente colaboradora. A los trabajos cada vez más complejos se unen el

aumento de los costes de investigación y las reducciones presupuestarias para acometerla. Por otro lado, tanto el aumento de las interacciones entre científicos[9], como los nuevos desarrollos tecnológicos, han hecho emerger nuevas posibilidades para la organización del trabajo científico colectivo, especialmente entre aquellos colaboradores geográficamente dispersos. Buen ejemplo de ello son la aparición de Internet y el desarrollo de los colaboratorios en sus distintas modalidades, como representación más o menos gráfica del trabajo en equipo, en el que los científicos tienen la posibilidad de conectarse los unos con los otros para intercambiar datos y utilizar instrumentos compartidos con independencia del lugar y el tiempo.

La revolución de las tecnologías de la información no ha restado importancia a la tarea intelectual de generar materiales científicos. Además, la fusión de la informática y la comunicación electrónica tiene el potencial de aumentar la productividad y la eficacia de la investigación. En general, los científicos abordan problemas cada vez más complejos, de carácter fundamentalmente interdisciplinario que es necesario investigar con equipos de especialistas, cada uno de los cuales aportará al ejercicio colectivo sus propios conocimientos, contactos y habilidades.

Sin embargo, no debemos olvidar los problemas inherentes a la colaboración científica, que pueden resumirse en problemas de coordinación y malentendidos, y problemas de cultura y seguridad de la información.

En cualquier caso, el estudio, análisis, conocimiento y comprensión de las estructuras de colaboración resulta fundamental para la determinación de sus problemas actuales, o la predicción de aquellos que puedan darse en su desarrollo futuro.

[9] Gracias, entre otros motivos, a la reducción de las barreras de estatus entre ellos, es decir, la pérdida de la distinción entre científicos de élite y aquellos que no lo son, lo que facilita la posibilidad de que participen juntos en trabajos científicos de envergadura.

# CAPÍTULO 4. VISUALIZACIÓN DE INFORMACIÓN

## 4.1. INTRODUCCIÓN.

El estudio de las disciplinas científicas engloba varios tipos de análisis cuantitativos que tratan de determinar las características más relevantes de la ciencia y la tecnología que, como sistemas de conocimiento complejos y heterogéneos, poseen diversos campos de actividad caracterizados por multitud de aspectos interrelacionados.

La investigación de las redes social y cognitiva de interrelaciones científicas es un elemento crucial en el estudio de las estructuras de conocimiento en los trabajos de investigación. La aplicación de métodos como los basados en el recuento de datos procedentes de publicaciones científicas (frecuencia de coocurrencia de citas, autores, palabras o códigos de clasificación), ofrecen indicadores que permiten conocer la estructura interna de las disciplinas, las relaciones entre científicos, o los frentes de investigación en los que trabajan.

Para ello, se emplean representaciones gráficas (mapas de la ciencia o cienciogramas) que muestran los rasgos más significativos de las estructuras relacionales, revelando tanto los enlaces cognitivos (relaciones temáticas) como los sociales. Los mapas de la ciencia son representaciones en dos o tres dimensiones que facilitan la comprensión de la estructura analizada a través de símbolos que reflejan las categorías o aspectos del mundo real, haciendo las veces de ciudades en un mapa geográfico convencional.

Las posiciones relativas de los elementos y sus enlaces presentan una visión precisa y fácil de captar permitiendo, por ejemplo, la identificación de los campos centrales y periféricos de investigación de una disciplina, o las relaciones que se establecen entre los científicos que forman parte de un determinado dominio temático.

Los análisis de redes permiten una descripción gráfica de toda la estructura de enlaces interdisciplinares entre los campos. Este tipo particular de análisis de contenidos no sólo revela las disciplinas centrales, sino que también muestra aquellas contribuciones (científicas o tecnológicas) más importantes provenientes de otras áreas. Los mapas de la ciencia no sólo clarifican la estructura subyacente de la red de relaciones, sino que además muestran los enlaces menos evidentes. Asimismo, pueden informar de cuestiones referentes a aspectos estáticos de la estructura como por ejemplo conocer como un programa de investigación ha contribuido a aumentar el nivel de interdisciplinariedad en un campo determinado; o con qué otros campos está estrechamente relacionada la disciplina analizada. Las series de mapas también ofrecen información sobre hacia donde crece y de qué modo evoluciona la red, lo que facilita la identificación de las especialidades emergentes.

Estos estudios cuantitativos se han visto relanzados en los últimos años gracias al importante crecimiento de las investigaciones científicas y al inherente aumento de los gastos públicos en estas partidas presupuestarias, lo que ha hecho que los responsables políticos requieran información comprensible y bien estructurada que les permita evaluar las actividades investigadoras, y la identificación de los desarrollos científicos más destacados.

En este capítulo profundizaremos en los conceptos de visualización y visualización de información como paso previo necesario para la posterior aplicación de técnicas dirigidas a la representación de la información científica (Moya-Anegón F et al., 2004), (Moya-Anegón F et al., 2005b).

## 4.2. EL CONCEPTO DE VISUALIZACIÓN.

Según el diccionario de la RAE, visualizar consiste en: representar mediante imágenes ópticas fenómenos de otro carácter, por ejemplo, el curso de la fiebre o

los cambios de condiciones meteorológicas mediante gráficas, los cambios de corriente eléctrica o las oscilaciones sonoras con el oscilógrafo, etc. Pero también puede utilizarse para formar en la mente una imagen visual de un concepto abstracto. Para imaginar, además, con rasgos visibles algo que no se tiene a la vista. Un último significado se inclina por hacer visible una imagen en un monitor.

Aunque parece difícil obtener una definición unívoca del concepto, resulta más sencillo extraer generalidades de las acepciones anteriores. Así, la visualización no precisa de la visión en el mismo momento de su producción, aunque sí haya sido necesaria previamente para forjar en la mente los símbolos y elementos que conformarán la imagen mental.

Consiste en hacer visible para la mente aquello no visible para los ojos, bien porque no está presente en ese momento, porque es invisible a la vista o porque se trata de una abstracción (Vargas-Quesada B y Moya-Anegón F, 2007).

La visualización es una actividad que el hombre ha venido desarrollando desde la antigüedad. Los primeros esbozos servían para señalar caminos, delimitar terrenos, o dejar constancia de ciudades, zonas mineras o rutas marítimas (Franco Aliaga T, 2001). En la actualidad, la visualización toma forma de gráficos, figuras o imágenes que sirven para apreciar fenómenos naturales (mapas meteorológicos), estructuras teóricas invisibles (partículas atómicas), flujos de materias (estudios aerodinámicos), modelos de relación en series de datos multivariables (datos epidemiológicos o sociométricos), o más recientemente, series de datos económicos y financieros y contenidos informativos de conjuntos de documentos (Williams J et al., 1995).

Latour nos ilustra sobre este concepto con un magnífico ensayo sobre la visualización. Dependiendo del tratamiento que se dé a los diagramas, listados, fórmulas, archivos, dibujos de ingeniería, ecuaciones, diccionarios, colecciones y

demás, éstos pueden decir todo o casi nada. Las pruebas impresas, las imágenes y la escritura están por todas partes, pero, se pregunta, ¿cuál es su capacidad explicativa?, ¿cuántas capacidades cognitivas pueden, no ya facilitarse, sino explicarse de forma adecuada? Además, nos deleita con un ejemplo que nos sirve para entender qué hace que una imagen realizada por un individuo pueda ser comprendida por otro sin necesidad de procesos anteriores de aprendizaje: el marino francés La Pérouse fue enviado al Pacífico por Luis XVI con el cometido de realizar un mapa más preciso que los existentes hasta la fecha de aquellas tierras. A su llegada a Sajalín[10] preguntó a dos nativos si ese territorio era una isla o una península. El mayor de ellos se levantó y dibujó en la arena de la playa un mapa de la isla con los detalles y a la escala que necesitaba el francés. El más joven, al ver que la marea amenazaba con borrar las trazas, tomó el cuaderno de La Pérouse y realizó a lápiz la misma inscripción.

La diferencia no parece residir entre la geografía del civilizado y la del inculto, ambos demuestran la misma capacidad para dibujar y visualizar, sino en la importancia que cada uno de ellos da a esa visualización. Una efímera, a merced de las olas del mar, y otra que constituye el fin último de la misión.

Sin embargo, no debe dejarse de lado otra importante diferencia, las innovaciones francesas en las inscripciones, las proyecciones, la escritura, el archivo y el procesamiento. No cualquier inscripción resulta interesante, sólo lo son aquellas que ayudan a comprender mejor. Por tanto, la visualización, la impresión y la escritura no definen por sí solas las características esenciales de la inscripción:

- La inscripción debe ser móvil y poder viajar de un lugar a otro, Sajalín y sus habitantes no pueden trasladarse hasta Versalles, pero sí los mapas elaborados por La Pérouse.
- La movilidad de la inscripción no debe afectar a su inmutabilidad.

[10] Sajalín es una isla situada al norte de Japón, actualmente bajo soberanía de la Federación Rusa.

- Las inscripciones tienden a volverse lisas, fáciles de dominar en el plano.
- Su escala puede modificarse a voluntad sin que se produzcan cambios en sus proporciones internas. De hecho, la mayor parte de los fenómenos se desarrollan en un mismo tamaño medio, independientemente de que nos encontremos ante una representación de millones de galaxias o del ADN humano.
- Son reproducibles a bajo coste, de tal forma que todos los instantes y todos los lugares pueden reunirse en cualquier contexto espacio-temporal.
- Pueden recombinarse. La mayor parte de lo que imputamos a conexiones mentales puede explicarse mediante la reconstrucción de inscripciones con la misma consistencia óptica, las metáforas, por ejemplo.
- La recombinación permite la superposición de varias imágenes de orígenes y escalas totalmente diferentes.
- Una de sus principales ventajas es que puede formar parte de un texto escrito.
- Por último, su carácter bidimensional permite a cualquier inscripción fundirse con la geometría. El resultado es que, además de trabajar con reglas y números, es posible manipular objetos tridimensionales.

Las inscripciones nuevas y las nuevas formas de percibirlas son el resultado de algo más profundo. Debemos dirigirnos, como La Pérouse, hacia objetos que sean móviles, inmutables, visibles y legibles, hacia inscripciones cada vez más simples y capaces de movilizar en un solo punto un número cada vez mayor de sucesos (Latour B, 1998).

## 4.3. VISUALIZACIÓN DE INFORMACIÓN.

La visualización de información es un proceso cognitivo ejecutado por el ser humano mediante el cual es capaz de obtener una imagen mental de un dominio (química, arqueología, biología). La informática se limita a soportar la visualización

humana, presentando esos dominios temáticos mediante gráficos, imágenes y secuencias animadas que muestran la estructura y el comportamiento dinámico de series de datos voluminosas y complejas.

Algunos autores afirman que la visualización consiste en la representación de valores discretos de un dominio n-dimensional en un mapa de píxeles mediante procesos de reducción de la dimensión (Rossignac JR y Novak M, 1994). Otros en cambio la definen como un método de la informática que transforma lo simbólico en geométrico, permitiendo ver lo que de otra manera sería inapreciable (McCormick BH et al., 1987).

Para Costa la visualización debe hacer visibles y comprensibles al ser humano aspectos y fenómenos de la realidad que no son accesibles para el ojo, incluso aquellos que no son de naturaleza visual. Por tanto, la visualización de información no es un resultado implícito de la visión. Visualizar consiste en transformar datos abstractos y fenómenos complejos de la realidad en mensajes visibles que hagan comprensible la información que subyace oculta en ellos (Costa J, 1998).

A las nueve características que Latour atribuye a las inscripciones que facilitarán las tareas de visualización y cognición, cabría añadir una décima, fruto sin duda de las posibilidades que en la actualidad ofrecen los desarrollos informáticos; la interacción, o lo que es lo mismo, la manipulación, el tratamiento y la gestión de las inscripciones de la misma manera que manipulamos, tratamos y gestionamos objetos en la realidad, con el valor añadido de que esa interactividad puede ser aún más amplia y compleja que en el mundo real gracias a la Realidad Virtual[11].

[11] Por Realidad Virtual se entiende aquella simulación tridimensional, dinámica, interactiva, en tiempo real, generada por ordenador en la que el usuario se encuentra inmerso en un entorno artificial, y que lo percibe como real a través de sus sentidos gracias a las interfaces de comunicación con la máquina. Su objetivo es la creación de experiencias que sumerjan al usuario en un mundo virtual aparentemente real. Para ello se sustituyen los dispositivos tradicionales de comunicación con el ordenador (teclado, ratón, pantalla, altavoces), por otros adaptados a estos entornos y que permiten una interacción más intuitiva (cascos, guantes de datos, cabinas, etc.). El mundo virtual creado por el ordenador es un modelo matemático que describe el espacio tridimensional en el que se encuentran representados los objetos con los que interacciona el usuario.

La interacción con las inscripciones es fundamental para la comprensión de los objetos o sistemas complejos que representan. Por tanto, las inscripciones (mapas, gráficos, diagramas) generadas con ayuda de ordenadores deben permitir la manipulación directa (*direct manipulation*), o posibilidades de desplazamiento, rotación y ampliación o reducción en cualquier dirección (Shneiderman B, 1983).

La visualización de información se resume como un acto de transferencia de conocimiento en respuesta a un mundo real multifacético y multifenoménico. Surge entonces la dificultad de realizar una transferencia adecuada de esa dimensión múltiple a una inscripción móvil, inmutable, escalable, plana, y reproducible a la semejanza de la expuesta por Latour. Tufte nos ofrece una serie de pautas para facilitar su consecución (Tufte ER, 1995):

- Uso preferible de representaciones tridimensionales.
- Obtención de distintas perspectivas de una misma realidad.
- Asociación de colores a la información visual.
- Combinación de inscripciones tridimensionales con la dimensión temporal.

Todas ellas deben conducir a la comunicación de ideas complejas de un modo claro, preciso y eficiente, lo que denomina excelencia gráfica (Tufte ER, 1997), (Tufte ER, 1991):

- Las inscripciones deben inducir al espectador a pensar en su esencia y naturaleza, nunca en su metodología, su diseño o la tecnología que las ha producido.
- Evitan la distorsión de los datos originales.
- Presentan gran cantidad de información en el menor espacio posible y de manera coherente.
- Invitan al espectador a comparar entre distintos tipos de datos.

- Muestran distintos niveles de detalle, desde vistas generales a otras más específicas.

En definitiva, la visualización consiste esencialmente en la creación de mapas a partir de representaciones gráficas, que mediante la elección de las técnicas de codificación apropiadas maximizan la comprensión y comunicación humanas. Estas técnicas se han utilizado en mapas y esquemas científicos durante miles de años. Actualmente, son diversas las herramientas asistidas por ordenador que permiten explorar la información para comprender mejor los datos, observar patrones y tendencias y facilitar la toma de decisiones. Puesto que el cerebro humano tiene la habilidad de comprender y retener la visualizaciones más rápido que cualquier forma de texto escrito, es esa habilidad, unida al poder de las visualizaciones para provocar reconocimiento inmediato y las necesidades cada vez mayores de generar y estudiar los datos de distinto tamaño y naturaleza lo que ha convertido a la visualización de información en un aspecto fundamental de la representación de datos (Chen C y Lobo N, 2005).

## 4.4. DISEÑO DE VISUALIZACIONES DE INFORMACIÓN.

Las técnicas de visualización se utilizan para la comunicación de los resultados obtenidos a partir de la aplicación de medidas de red, para su validación o para comparar visualmente las estructuras y dinámicas de redes simuladas. Las técnicas incluyen desde tablas sencillas de comparación, pasando por grafos básicos, hasta la aplicación de visualizaciones avanzadas encargadas de mostrar la dinámica de las redes. En este apartado nos centraremos en las cualidades que deben presentar y los requisitos que deben cumplir las visualizaciones de información basadas en estructuras y dinámicas de redes, en función de los retos que muestran debido a su tamaño, su complejidad y la diversidad de sus aplicaciones (Börner K et al., 2007):

- **Metáforas:** la importancia de las metáforas es vital, puesto que son las que ponen en relación a los usuarios con sus necesidades de información. Son diversas las metáforas empleadas para la visualización de redes: mapas de metro, visualización de galaxias, incorporación de nodos y enlaces a representaciones reales como mapas físicos o políticos, entre otras.

- **Ayudas visuales:** facilitan la legibilidad de las visualizaciones de redes. En la mayor parte de los casos la visualización de una red incluye un mapa central, una serie de informaciones que se solapan sobre el primero, etiquetas y leyendas con un título o pequeñas explicaciones describiendo ciertos aspectos de la representación. La credibilidad de la información mostrada aumenta si el mapa incluye el nombre de los autores, su fecha de creación y además permite su manipulación por parte del usuario.

- **Mapas visuales:** definida la metáfora apropiada, los sistemas de referencia y las ayudas visuales, se habrá de concretar qué datos se representarán como nodos, cuáles serán las relaciones que los unan, qué atributos de esos nodos serán destacados visualmente, qué subred aparecerá destacada del resto de la estructura o cómo serán denominados los distintos elementos de la red.

- **Disposición de los grafos:** los algoritmos para la disposición de grafos se utilizan para ordenar un conjunto de nodos ubicados aleatoriamente de forma que la distribución satisfaga criterios estéticos para la presentación visual de la información: evitar el solapamiento de enlaces y nodos, garantizar la simetría, conseguir uniformidad en la longitud de los enlaces y obtener representaciones ortogonales que reduzcan el espacio necesario y las posibles distorsiones. Debemos tener en cuenta que todos estos criterios disminuyen la velocidad de proceso de la representación, y aumentan los tiempos de espera para su obtención (Eades P, 1984).

- **Técnicas de interacción y distorsión:** La mayor parte de conjuntos de datos utilizados en análisis de redes son demasiado grandes para ser mostrados de una sola vez. En ocasiones se muestran sólo los más destacados, dejando el resto para ser recuperados bajo demanda de los usuarios. Según Shneiderman, los usuarios prefieren tener una visión general de la estructura para, posteriormente, descender mediante zoom o filtros a subredes de interés menor. Por tanto, las visualizaciones de redes deben incorporar la posibilidad de interacción:

    - Identificación: claridad, códigos de color y forma.

    - Parámetros de control: anchura de enlaces, longitud, leyendas, ventanas temporales.

    - Navegación: ojo de pez, zoom, etc.

    - Solicitud de información: al situar el ratón sobre el objeto o al hacer clic recuperar más detalles o mostrar una subred.

Los principios básicos que deben regir la visualización de información son: vista general, zoom, filtro y detalles bajo petición:

- Vista general: obtener una visión general de la colección completa de datos.

- Zoom: permitir la aproximación a aquellas zonas de interés.

- Filtro: permitir la eliminación de aquella información no relevante.

- Detalles bajo petición: mostrar los datos de un elemento o conjunto de elementos cuando sea solicitado por el usuario.

- Relación: comprobar las relaciones existentes entre los elementos.

- Historial: guardar un histórico de las acciones ejecutadas para su posible repetición.

- Extracción: de subconjuntos de datos o parámetros de búsqueda.

Como veremos en el apartado siguiente, los estudios de Biblioteconomía y Documentación en el ámbito de la visualización de información han sido práctica habitual de esta disciplina para, por ejemplo, revelar y divulgar la esencia y la estructura de la ciencia, remontándose a trabajos de mediados del siglo pasado (Bush V, 1945).

## 4.5. LA CIENCIOGRAFÍA. UN RECORRIDO VISUAL.

A pesar de que los trabajos en este ámbito han sido numerosos, pocos han sido los investigadores que de manera explícita han señalado la definición de cienciografía[12] (*scientography*) o mapas de la ciencia. A continuación se muestran algunas de ellas en secuencia cronológica que nos permitirán observar la evolución que con el paso del tiempo ha sufrido el concepto.

[12] Existen otros términos para referirse al mismo concepto de cartografiar la ciencia mediante grafos para su visualización y análisis, como *scientografía*, *visualización de dominios* o *visualización de conocimiento*.

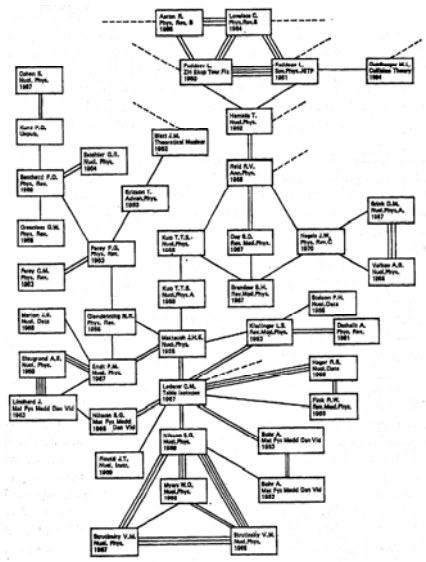


Figura 4.1. Física Nuclear (Small HG y Griffith BC, 1974)

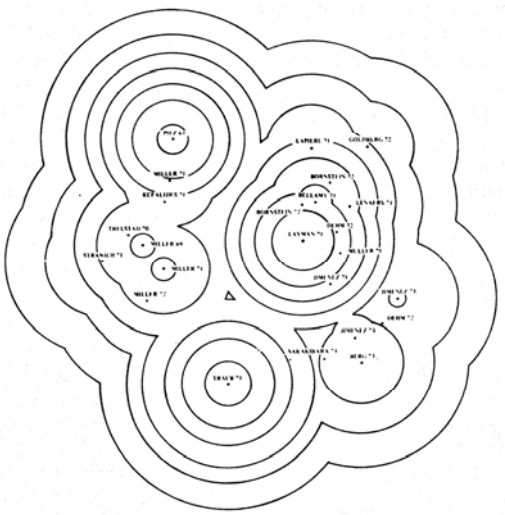


Figura 4.2. Colágeno (Small HG, 1977)

Garfield y colaboradores describen la idea de mapa de la ciencia como la identificación de los documentos y eventos clave a través del estudio de publicaciones científicas. La noción de mapa implica el manejo de objetos con una distancia entre sí significativa y bien definida, y que tienen una localización espacial en un número determinado de dimensiones. Los mapas de la ciencia tratan de alcanzar la representación física de los campos y disciplinas (y, en un nivel más bajo, de documentos individuales y de científicos) en los que se logre representar la localización relativa de esas entidades. La realidad física de los mapas de la ciencia es muy útil como herramienta heurística, al igual que sucede con los “mapas mentales” construidos por los cartógrafos o geógrafos (Garfield E et al., 1978).

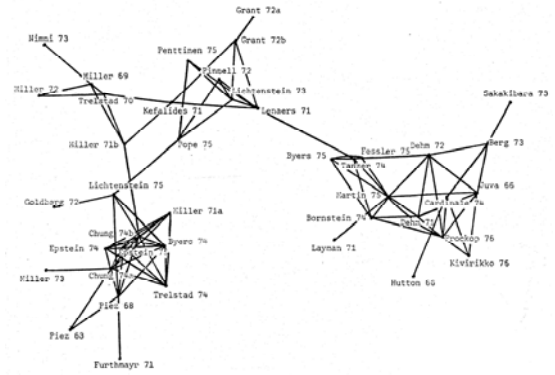



Figura 4.3. Colágeno (Small HG, 1980)

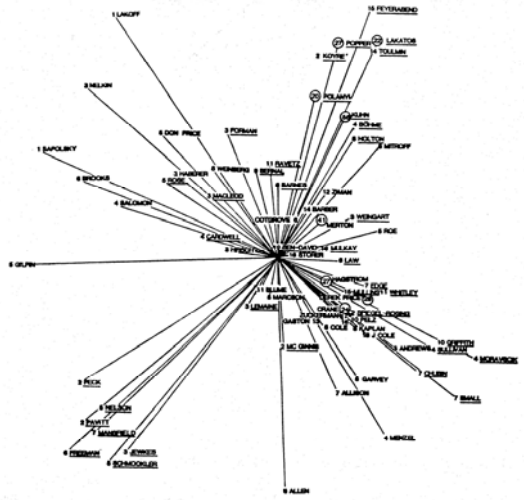


Figura 4.4. Ciencia y Tecnología (White HD y Griffith BC, 1982)

Noyons y van Raan indican que los mapas son una forma de visualizar la producción científica de los investigadores en un campo concreto de la ciencia o la tecnología (Noyons ECM y van Raan AFJ, 1998a), (Noyons ECM y van Raan AFJ, 1998b).

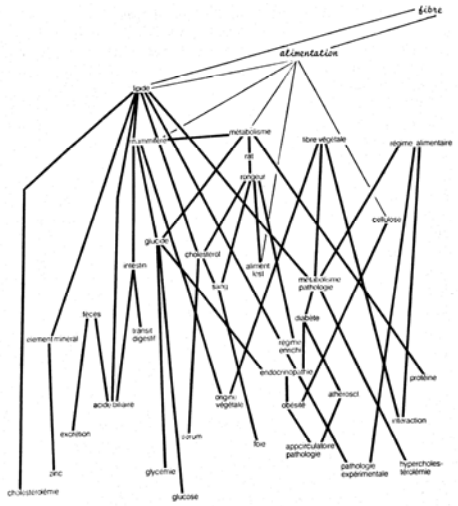



Figura 4.5. Fibras Dietéticas (Callon M et al., 1983)

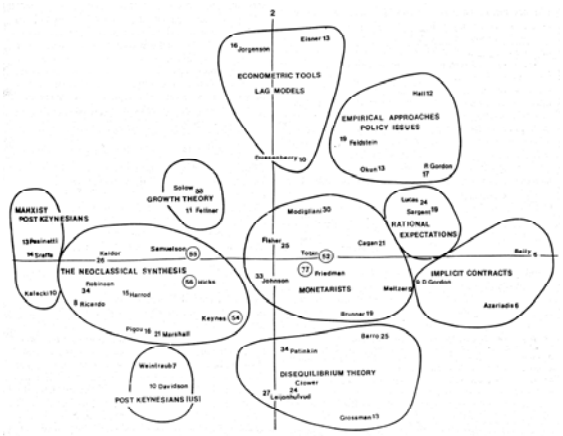



Figura 4.6. Macroeconomía (McCain KW, 1990)

Small define mapa de la ciencia como aquella representación espacial que relaciona disciplinas, campos, especialidades y artículos científicos o autores individuales entre sí, mostrando su proximidad física y su ubicación relativa, de la misma manera que los mapas geográficos muestran las relaciones de rasgos físicos o políticos de la tierra (Small HG, 1999).

Noyons y van Raan vuelven a hacer hincapié en que los mapas de la ciencia se dirigen principalmente al análisis de un campo científico para determinar su estructura cognitiva, su evolución y los actores principales que lo conforman (Noyons ECM et al., 1999).

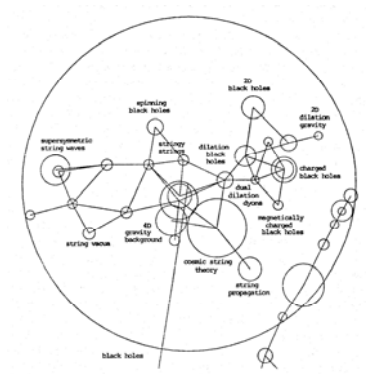



Figura 4.7. Astrofísica (Small HG, 1997)

Figura 4.8. Documentación (White HD y McCain KW, 1998)

Es nuevamente Noyons el que perfila aún más la definición de mapa de la ciencia, indicando que es una representación en dos o tres dimensiones de un campo científico, un "paisaje de la ciencia" donde los ítems son temas que hacen las veces de ciudades en un mapa geográfico. En esos mapas los ítems se posicionan los unos en relación con los otros de tal forma que los temas cognitivamente relacionados aparecen más cercanos, mientras que aquellos menos relacionados se distancian. Añade que los mapas de la ciencia más conocidos son los basados en datos bibliográficos (Noyons ECM, 2001).

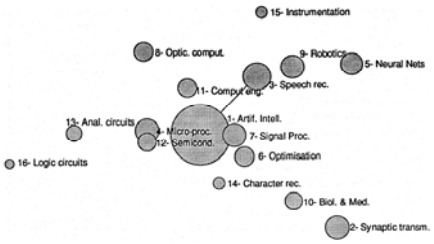



Figura 4.9. Red neuronal (Noyons ECM y van Raan AFJ, 1998b)

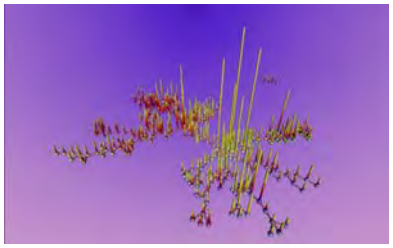


Figura 4.10. Dominio científico (Chen C y Paul RJ, 2001)

Vargas y Moya consideran a la cienciografía simultáneamente como herramienta y método para el análisis de dominios científicos, puesto que permite visualizar las

relaciones reales entre autores, documentos, revistas, disciplinas, instituciones, países, etc., llegando a explicitar sus influencias sociales e intelectuales, y por tanto las interacciones y la evolución del dominio analizado (Vargas-Quesada B y Moya-Anegón F, 2007).

Figura 4.11. Documentación (White HD, 2003)

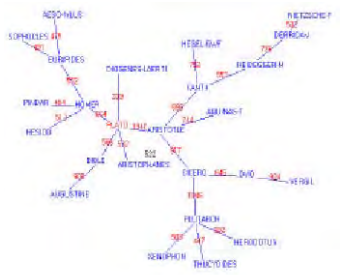


Figura 4.12. Filósofos clásicos (Lin X et al., 2003)

Una de las ideas recurrentes en todas estas definiciones es la de la utilización del principio de información coocurrente para la generación de la mayor parte de los mapas de la ciencia, es decir, cuantas más veces se repitan dos elementos juntos en los distintos documentos, más fácilmente serán identificados y más estrechamente relacionados se encontrarán. Así, cuanto más relacionados estén dos elementos, más próximos aparecerán situados en el mapa.

Una vez vislumbradas las definiciones parciales que se han establecido sobre el concepto, y extrayendo de cada una de ellas las partes esenciales que las conforman, estamos en condiciones de aportar nuestra propia definición de mapa de la ciencia, entendiendo como tal aquella metáfora gráfica en dos o tres dimensiones que permite representar la literatura de las disciplinas científicas a partir de datos empíricos para identificar los trabajos, autores y/o eventos clave, mostrar sus relaciones cognitivas y sociales, y su evolución a lo largo del tiempo, a partir del principio de información coocurrente, encargada de determinar esas relaciones mediante la proximidad o lejanía de los elementos en el mapa.

## 4.6. UTILIDAD DE LA CIENCIOGRAFÍA.

Cuando un neófito se enfrenta por primera vez con una disciplina científica, o dominio institucional, a menudo siente la necesidad natural de tener un punto de partida que sirva de referencia y un conjunto de señales indicadoras que le guíen a través de ese recorrido. Por su parte, los investigadores más especializados y los expertos necesitan herramientas efectivas para conocer los desarrollos en su campo y extraer las señales decisivas sobre la dinámica de la disciplina: su evolución a lo largo del tiempo, la detección de las variaciones futuras de las representaciones, las conexiones con otros dominios, etcétera.

Las nuevas tecnologías han revolucionado la forma en que buscamos información. Gracias a ellas podemos acceder fácilmente a volúmenes ingentes de información sobre cualquier materia. Sin embargo, uno de los grandes retos que se presentan en la sociedad de la información actual es ir más allá de esa cantidad ingente de información científica y alcanzar un conocimiento científico de alto nivel. El meta-conocimiento, o el conocimiento de cómo las estructuras particulares han sido percibidas, debería llegar a ser una parte integral de nuestra disciplina científica, y ser presentado con simplicidad y claridad a la comunidad académica y al público en general (Chen C et al., 2001), (Chen C y Paul RJ, 2001).

La cienciografía trata estas cuestiones. Utiliza distintos modelos y tecnologías de visualización para aumentar los resultados de las aproximaciones tradicionales aplicadas al estudio de las disciplinas científicas. De acuerdo con esta aproximación, la mejor forma de entender la comunicación científica es mediante el estudio de los dominios de conocimiento como pensamientos o comunidades discursivas. La organización del conocimiento, su estructura, los patrones de cooperación, el lenguaje y las formas de comunicación reflejan los objetos de trabajo de esas comunidades y sus funciones en la sociedad.

Los usos que los especialistas en estudios cuantitativos de la ciencia han dado a los mapas son diversos y han variado con el paso de los años. Sin embargo, la práctica totalidad de los autores que han dedicado sus trabajos a desarrollar este tipo de herramientas coinciden en sus utilidades:

### 4.6.1. Evolución de las Disciplinas Científicas y Visualización de Dominios Temáticos.

Los estudios sobre visualización de información científica permiten identificar las relaciones entre documentos que han sido considerados importantes por los autores de una especialidad. De esta manera, la información coocurrente se convierte en una relación reconocida y mantenida por los investigadores, además de servir como medida de proximidad entre documentos para la elaboración de mapas de especialidades científicas (Griffith BC et al., 1974), (Small HG y Griffith BC, 1974). Estas representaciones permiten observar los cambios que se producen en su estructura a lo largo del tiempo, y a través de ellos es posible visualizar el desarrollo de los campos científicos y evaluar el grado de interrelación entre especialidades[13] (Small HG, 1973). Además las relaciones obtenidas son capaces de reflejar las estructuras cognitiva y social de la especialidad, por lo que los estudios cienciográficos pueden ayudar a determinar las relaciones entre los factores sociales y cognitivos que influyen en el desarrollo de las especialidades, y cual es el grado de dependencia entre ellos (Garfield E et al., 1978). La importancia de este tipo de estudios radica en su potencial para hacer aflorar agrupaciones capaces de identificar grupos generados a partir de intereses intelectuales comunes[14], que

[13] La elaboración de series anuales permite observar los cambios en las modas de investigación. Así, mientras que los mapas con datos anuales no pueden predecir por sí solos los avances de la investigación, la observación de esos mapas año tras sí es capaz de mostrar las tendencias y son una ayuda visual inestimable para la interpretación de los resultados (Chen C y Carr L, 1999b), (Culnan MJ et al., 1990), (Garfield E, 1998), (Noyons ECM, 2001).

[14] Los mapas de la ciencia permiten extraer aspectos de la actividad académica como: la estructura intelectual basada en los enlaces entre trabajos publicados, la estructura cognitiva del campo científico derivada de las percepciones de los autores a partir de sus citas, o las redes interpersonales entre autores que aparecen en el mapa, incluyendo patrones de colaboración y coautoría, estructura social y redes de comunicación informales, identificando las nuevas corrientes de pensamiento y las migraciones de autores entre especialidades (McCain KW, 1984), (McCain KW, 1990).

demuestran la noción de ciencia como red de trabajo entre especialidades, y que puede ser realizada a partir de publicaciones científicas[15] (Braam RR et al., 1991b), (Braam RR et al., 1991a), (Garfield E, 1979), (Osareh F, 1996b), (Osareh F, 1996a), (Tijssen RJW, 1992).

Por otro lado, los análisis de la producción científica facilitan la identificación y el análisis de las distintas fuerzas que intervienen en la red y el contexto en el que se desarrolla (científico, tecnológico y socio-político), determinando no sólo los actores y sus relaciones, sino también la función que desempeñan individualmente dentro de la red (Callon M et al., 1983). Y para el desarrollo de paradigmas, puesto que donde existe un paradigma también reside el consenso ideológico[16] (Culnan MJ et al., 1990).

Sea como fuere, la visualización de dominios generalmente se centra en dominios específicos o disciplinas científicas de tal manera que hace posible la exploración de su dinámica como sistema orgánico y la identificación de frentes emergentes (Chen C, 2000), (Chen C y Paul RJ, 2001). Si bien, también es capaz de analizar la ciencia como un todo, permitiendo la elaboración de mapas de la macroestructura científica (Boyack KW et al., 2005), (Vargas-Quesada B y Moya-Anegón F, 2007).

[15] Muchos de los análisis bibliométricos tienen como objetivo revelar la estructura interna de los dominios intelectuales, es decir, la elaboración de un mapa de los componentes de las disciplinas, campos o especialidades. Los mapas muestran las especialidades centrales y periféricas de una disciplina, las variaciones en las posiciones de los autores e incluso el análisis de la estructura del mapa permite explicar cuestiones como las conjunciones temporales, las relaciones entre instituciones, las coautorías o las orientaciones filosóficas comunes que se dan dentro de la red. Las visualizaciones resultantes deben ofrecer, además, una visión general del campo más independiente que la interpretación que pudiera realizar un único observador, evitando cualquier posible sesgo (White HD, 1990), (White HD y McCain KW, 1997).

[16] El desarrollo del contexto de citas, por ejemplo, representa el consenso entre los autores cuando deciden citar los mismos trabajos, convirtiendo la red en una cadena deductiva (Small HG, 1980).

### 4.6.2. INTERFAZ PARA LA RECUPERACIÓN DE INFORMACIÓN.

La elaboración de mapas cienciográficos hace posible una nueva forma de sistemas de recuperación espacial de documentos científicos, similares a los desarrollados para la recuperación geográfica de información. En ellos, el usuario accede al mapa general de la ciencia para, posteriormente, ir seleccionando los nodos que le interesen y así realizar descensos sucesivos a los subniveles que contienen las especialidades. El nivel final del mapa será el que dé acceso a la recuperación de los trabajos científicos específicos (Small HG, 1982), (Small HG, 1973), (Small HG y Garfield E, 1985).

Los sistemas de recuperación de información basados en mapas de la ciencia suponen una importante innovación en las estrategias de búsqueda disponibles hasta la fecha porque permiten la recuperación de información sin necesidad de recurrir a los términos incluidos en el documento, como sucede en los sistemas tradicionales[17] y aportan mayor información que la proporcionada por sus predecesores. Puesto que, como hemos visto, mejoran la comprensión del campo científico que describen, son de gran ayuda para los especialistas en información que encuentran mayores facilidades para detectar las necesidades de sus usuarios, y para el desarrollo de las colecciones y la mejora de los servicios que ofrecen en sus bibliotecas y centros de información (Lin X et al., 2003), (White HD, 1990), (White HD y Griffith BC, 1982), (White HD y McCain KW, 1997).

Por tanto, los mapas cienciográficos se postulan no sólo como un medio para que los usuarios exploren la estructura intelectual de un dominio temático, sino que también ofrecen una nueva forma de organización y acceso a la literatura científica en las bibliotecas digitales y a través de la Web (Chen C, 2000), (Chen C y Carr L, 1999b), (Chen C y Paul RJ, 2001).

[17] No debemos olvidar, sin embargo, que son herramientas de recuperación con exhaustividad más o menos limitada dependiendo de la especialidad, puesto que sólo recogen una parte de las publicaciones fuente de cada campo científico (Braam RR et al., 1991b).

### 4.6.3. HERRAMIENTA DE EVALUACIÓN DE POLÍTICAS CIENTÍFICAS.

Hay al menos cuatro razones básicas por las que la evaluación del gasto público en investigación en los últimos años ha cobrado un interés creciente. La primera es el incremento de costes de la instrumentación e infraestructuras necesarias para estos estudios (sofisticación). En segundo lugar, todos los países industrializados han sido víctimas de las restricciones de gasto público, incluido el destinado a ciencia y tecnología. Como resultado, es cada vez más difícil conseguir los fondos necesarios que soporten los costes de las nuevas áreas y el mantenimiento de los nuevos científicos. La tercera razón obedece a los crecientes problemas de la revisión por pares[18] (desde 1945 es el principal mecanismo para determinar el reparto de fondos en investigación) que ha probado ser efectiva en la identificación y decisión entre nuevas áreas e investigadores, pero es menos satisfactoria cuando debe identificar áreas y grupos en decadencia. Por último, surge el requerimiento por parte del gran público hacia sus gobernantes de la necesidad de justificación del gasto público en todas las áreas de investigación. Por todo ello, son imprescindibles las evaluaciones basadas en el desarrollo de indicadores que aseguren tanto a gobiernos como a contribuyentes que el dinero público está siendo gastado de la mejor manera posible[19] (Bellardo T, 1980), (Carpenter MP y

[18] La demanda de indicadores objetivos de ciencia y tecnología se ha incrementado con el paso del tiempo para dar soporte a los representantes políticos en su lucha por tomar decisiones que aseguren una financiación estratégica acertada. Aunque los métodos para la visualización aún se limitan a comparar el lugar que ocupan los autores, instituciones o países, se hace necesario enfatizar su potencial para ofrecer representaciones comprensibles de las actividades de investigación y desarrollo. Estos mapas muestran gráficamente los temas de investigación más importantes y sus tendencias. Además, las instituciones, empresas o países involucrados en la investigación pueden ser evaluados en términos de productividad científica, visibilidad de citas y su posición central o periférica dentro del campo o disciplina de interés (White HD y McCain KW, 1997).

[19] La creación de una interfaz sobre los mapas permite su uso como herramientas de navegación para la exploración del paisaje científico analizado. La información disponible determinará su grado de uso posible para cuestiones relacionadas con política científica. En otras palabras, el usuario del mapa debe ser capaz de expresar la cuestión que pretende resolver de forma clara, así los bibliómetras podrán determinar cuáles de los datos necesarios para la resolución de esa pregunta están disponibles en el mapa y en qué forma se muestra esa información. La pretensión de creación de mapas de la ciencia útiles y válidos para establecerse como herramientas en el contexto de la política científica y de gestión de la investigación, supone la elaboración de instrumentos transparentes, en los que la descripción detallada de los métodos y los procedimientos seguidos para la obtención de los datos faciliten una actitud positiva hacia los resultados (Noyons ECM, 2001).

Narin F, 1973), (Garfield E, 1979), (Martin BR, 1996), (Noyons ECM, 2001), (Tijssen RJW, 1992).

## 4.7. COROLARIO.

En este cuarto capítulo hemos conocido la propiedad explicativa de las inscripciones que rodean al ser humano desde el principio de los tiempos y cuáles son las capacidades cognitivas para su realización y posterior interpretación. Las inscripciones que hacen las veces de visualizaciones deben comportarse como objetos móviles, inmutables, visibles y legibles, con tendencia a la simplicidad y capaces de movilizar en un solo punto un número cada vez mayor de hechos científicos.

La necesidad natural del neófito de tener un punto de partida que sirva de referencia y un conjunto de señales indicadoras que le guíen a través del recorrido que inicia por un dominio científico hasta ahora desconocido para él, debe converger con la necesidad de herramientas precisas que requiere el usuario experto para conocer los desarrollos y extraer las señales decisivas sobre la dinámica de su disciplina. Ambas necesidades han de ser cubiertas por los desarrollos cienciográficos que se sirven de distintos modelos y tecnologías de visualización con el objeto de aumentar los resultados de las aproximaciones tradicionales.

# CAPÍTULO 5. TEORÍA DE REDES

## 5.1. INTRODUCCIÓN.

A pesar de la larga existencia y de su uso internacionalmente aceptado, la teoría de redes y su análisis son una aproximación prácticamente desconocida en la Documentación, tanto en su ámbito teórico, como metodológico. Afortunadamente, esta tendencia está cambiando, por cuanto la teoría de redes y su análisis pueden significar un salto cuantitativo y cualitativo en la representación y análisis de la estructura de todo tipo de dominios científicos, bien sean geográficos, temáticos o institucionales (Vargas-Quesada B y Moya-Anegón F, 2007).

A lo largo de este capítulo se abordarán distintas perspectivas de la teoría de redes como objeto común de estudio en disciplinas como la Sociología, la Psicología, las Matemáticas, la Biología, la Economía, la Física o la Antropología, aunque con objetivos y metodologías claramente diferenciados (Vega-Redondo F et al., 2005); los tipos de redes del mundo real; las propiedades matemáticas que las describen; y los procesos que rigen su evolución.

Uno de los sociólogos españoles más reputados, Manuel Castells, de su exploración de las estructuras sociales emergentes entre los distintos dominios de la actividad y la experiencia humanas, concluye que las funciones y procesos dominantes en la era de la información se organizan en forma de redes. Esas redes constituyen una nueva morfología social de la sociedad y la difusión de la lógica de redes modifica de manera notoria las operaciones y los resultados de los procesos de producción, la experiencia, el poder y la cultura. Aunque la organización social en forma de red no es nueva ni exclusiva de la contemporaneidad, el nuevo paradigma de la tecnología de la información se asienta sobre una base sólida que facilita su expansión e influencia en la estructura social en su conjunto. Nos encontramos, por tanto, ante una sociedad red, caracterizada por la preeminencia de la morfología

social sobre la acción social[20], y en la que las redes son estructuras abiertas que pueden expandirse sin límites integrando en su seno a nuevos nodos en función de las posibilidades de comunicación que existan y siempre que compartan códigos de comunicación idénticos (Castells M, 1998).

La visión de las redes en el mundo real desde el punto de vista de la Física es coincidente. Vivimos inmersos en un mundo de redes que, además, son uno de los pilares sobre los que se asienta la época actual de globalización económica, política y cultural (Dorogovtsev SN y Mendes JFF, 2003).

Nos encontramos ante un período de revolución en el estudio de las redes. Las redes están por todas partes, nos rodean, formamos parte de ellas, unas veces como nodos (en nuestras relaciones de parentesco o amistad), en otras ocasiones como enlaces (fluyendo como usuarios entre estaciones o aeropuertos). Las redes de comunicación, la World Wide Web, Internet, el genoma humano, las redes de reacciones químicas, las redes catalíticas, las de reacciones metabólicas, las redes de proteínas, las redes neuronales, las redes arteriales, las de transportes, las redes fluviales, los ecosistemas y las cadenas tróficas, las redes sociales, las redes de colaboración científica, las redes terroristas, las redes telefónicas o postales, las de citas en la literatura científica, las redes de suministro eléctrico, e incluso el lenguaje del que nos valemos para llevar a cabo esta investigación es una red, compuesta por palabras enlazadas por relaciones sintácticas y semánticas (Barabási AL y Bonabeau E, 2003), (Barrat A et al., 2004), (Börner K et al., 2005).

El progreso de esta disciplina está siendo tan acelerado que para algunos autores nos encontramos ante el surgimiento de una nueva ciencia basada en un nuevo

[20] La existencia de un desarrollo científico tan poderoso como las redes, permite saber más sobre los riesgos del mundo y tener mucha más información de lo que en él ocurre, lo que puede ser de extrema utilidad para tratar de aproximar los polos *desigualdad* y *globalización*. La gestión adecuada de las redes, implica el conocimiento de una nueva dialéctica que pasa por conectar a las redes lo que tenga valor, y por desconectar lo superfluo o redundante.

concepto, e incluso en una nueva filosofía, la del mundo pequeño (*Small World*)[21] (Milgram S, 1967). Las viejas ideas de las Matemáticas, la Estadística, la Física, la Biología o la Informática cobran una nueva forma de aplicación a redes reales en evolución (Dorogovtsev SN y Mendes JFF, 2003).

Pero no debemos perder de vista que los extraordinarios avances que han tenido lugar en los últimos años en el estudio y análisis de redes complejas han sido posibles gracias a numerosos desarrollos paralelos. En primer lugar, la adquisición y manipulación de datos por ordenador ha permitido manejar voluminosas bases de datos que han hecho emerger topologías de distintas redes reales. En segundo lugar, el aumento del potencial de computación ha permitido la exploración de redes con millones de nodos. En tercer lugar, el lento pero seguro retroceso de los límites entre disciplinas, visible a los ojos de los investigadores, gracias al acceso y explotación de bases de datos que facilitan la comprensión de las propiedades genéricas de las redes complejas (Albert R y Barabási AL, 2002).

## 5.2. BREVE RESEÑA HISTÓRICA.

La comunidad científica estructura sus relaciones conforme a modelos de redes, donde los nodos representan a los individuos, disciplinas, instituciones, etc., y los enlaces, a los flujos de información que intercambian esos nodos (Liberman S y Wolf KB, 1997).

El matemático suizo Leonhard Euler es considerado el padre de la teoría de grafos gracias a su empeño en la búsqueda de la solución al problema de los siete puentes sobre el río Pregel de la ciudad prusiana de Kaliningrado. A principios del siglo XVIII los vecinos de Kaliningrado se divertían tratando de resolver problemas, uno de los más famosos era el protagonizado por los puentes de su ciudad, ¿es posible dar un

[21] El mundo pequeño supone que a pesar del gran tamaño de muchas redes, existe en ellas una distancia media entre cada pareja de nodos muy reducida. En apartados posteriores del capítulo abundaremos en este concepto.

paseo empezando por una cualquiera de las cuatro partes de tierra firme, cruzando cada puente una sola vez y volviendo al punto de partida? Euler enfocó el problema representando cada parte de tierra por un punto y cada puente, por una línea, trasladando el problema anterior a la siguiente pregunta: ¿se puede recorrer el dibujo (figura 5.2) sin repetir las líneas?

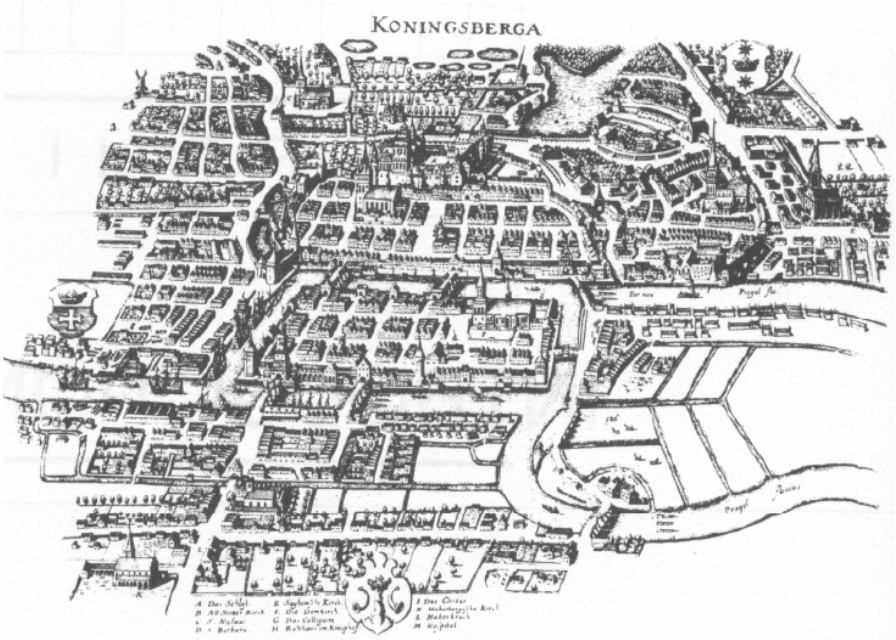



Figura 5.1. Los siete puentes de Kaliningrado en la época de Euler (Wilson RJ y Watkins JJ, 1990)

En 1736, el suizo demostró mediante rigurosas pruebas matemáticas que no existía posibilidad alguna. Pero, inadvertidamente, no sólo resolvió el problema sino que puso la primera piedra de la rama matemática que hoy conocemos con el nombre de teoría de grafos. En los siglos posteriores esa rama ha crecido y madurado gracias a la aportación de grandes matemáticos (Barabási AL, 2002).

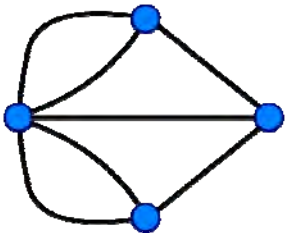


Figura 5.2. Solución de Euler al problema de los puentes de Kaliningrado

Ya en el siglo XX, la teoría de grafos cobra un nuevo impulso de la mano, esta vez, de especialistas en Psiquiatría y Antropología Social que introducen el concepto de análisis de redes sociales, iniciado en los años treinta del siglo pasado (Moreno JL, 1934). Pero el verdadero desarrollo en redes sociales se dio con la introducción de medidas destinadas a la obtención de patrones de conexiones sociales que enlazaran conjuntos de actores en Psicología, para detectar los grupos sociales (interrelación de actores) o sus posiciones en la red (relación similar de actores dentro del sistema) (Molina JL, 2001), (Rodríguez JA, 1995).

También fue Moreno el introductor de la primera representación gráfica de la información para el análisis de este tipo de patrones psicológicos, el sociograma[22] (Moreno JL, 1953). Desde el punto de vista de la abstracción o la información visual, el sociograma presenta ventajas sobre la información meramente numérica, ya que permite transmitir la información estructural de la red de forma sencilla y destacar la relevancia de los distintos actores.

El avance de las matemáticas discretas a partir de la década de los setenta, como disciplina unificadora de diversas áreas tradicionales de las Matemáticas (combinatoria, probabilidad, geometría de polígonos, aritmética o grafos), permitió establecer un nuevo marco conceptual para el análisis de redes (Scott J, 1992).

La introducción generalizada de ordenadores personales en la década de los ochenta facilitó la aplicación de técnicas de agrupamiento de los datos y permitió la reproducción de sociogramas de manera rápida y sencilla. Desde entonces, las redes y su análisis han sido empleadas en: estudios de movilidad laboral, impacto residencial en individuos, sistemas políticos y económicos, toma de decisiones, apoyo social, sociología de la ciencia, poder e influencia, formación,

[22] Por sociograma se entiende la representación gráfica de una matriz de datos que recibe el nombre de grafo, y que por medio de la teoría de grafos se transforma en conceptos y teoremas para obtener las distintas relaciones entre los sujetos que conforman un grupo, y revelar los lazos de influencia y de preferencia que existen en el mismo.

comunicaciones y transportes, epidemiología, ecología, biología, o en el análisis de la estructura de los dominios científicos y la colaboración científica (Vargas-Quesada B y Moya-Anegón F, 2007).

## 5.3. CONCEPTOS BÁSICOS DE LA TEORÍA DE REDES.

**Grafo o Red:** el concepto de grafo y sus nociones relacionadas son una parte importante del análisis de redes, ya que la teoría de grafos proporciona un lenguaje formalizado apto para la descripción de las redes y sus características. Básicamente, un grafo es un grupo de puntos interconectados por un conjunto de líneas. En la teoría de grafos, estos elementos reciben la denominación de nodos (actores, puntos o vértices)[23] y vínculos (enlaces, relaciones o lazos) respectivamente. Así, el diagrama gráfico traduce la matriz de relaciones a una representación gráfica en la que los actores son los nodos y las relaciones entre ellos son los vínculos. La existencia de relaciones entre los actores vendrá determinada por la existencia o no de enlaces que los conecten. En un grafo lo importante es la pauta de conexiones, es decir, los modelos de relaciones entre actores, y no las posiciones de los puntos en el gráfico (Björneborn L, 2004), (Borgatti S, 2003), (Flament C, 1972), (Pizarro N, 1998).

**Grafo no dirigido:** se dice de aquel grafo que conecta sus nodos mediante enlaces no direccionales o no dirigidos (*edges*).

**Grafo dirigido:** es aquel grafo que conecta sus nodos mediante enlaces direccionales o dirigidos, también llamados arcos (*arcs*).

[23] En la literatura anglosajona, y dependiendo de la disciplina, encontramos como sinónimos términos como *vertices (vertex), nodes, actors* o *sites* para referirse a los nodos, y *links* o *bonds* para hacerlo a las relaciones entre los primeros. A lo largo del trabajo se utilizarán indistintamente.

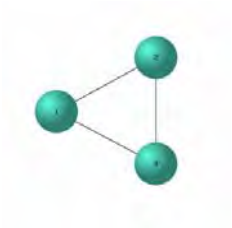


Figura 5.3. Grafo no dirigido

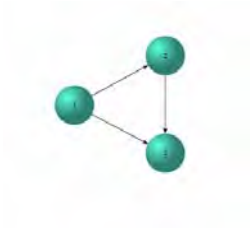


Figura 5.4. Grafo dirigido

**Árbol:** es un grafo con estructura jerárquica donde los nodos se conectan sin que llegue a darse interconexión entre los mismos. En el caso de árboles, el número de nodos será igual al número de enlaces más uno. La eliminación de cualquiera de los enlaces desconectará el grafo.

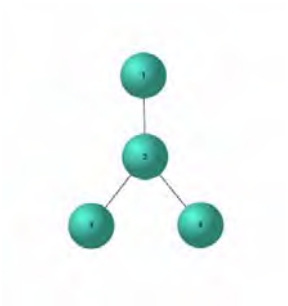


Figura 5.5. Árbol

**Componente:** reciben este nombre los subgrafos, subgrupos o subredes, que componen un grafo desconectado.

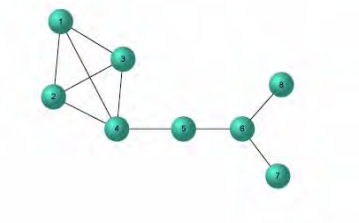


Figura 5.6. Grafo conectado

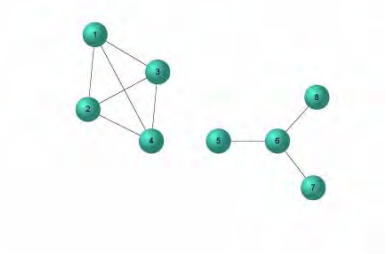


Figura 5.7. Grafo con dos componentes

**Punto de corte:** se denominan así aquellos actores cuya eliminación de la red, y de los enlaces que les acompañan, la desconecta en componentes.

**Puente:** es un elemento básico de conectividad dentro de la red. La eliminación de un enlace puente entre dos actores supone la desconexión de la red y su división en componentes.

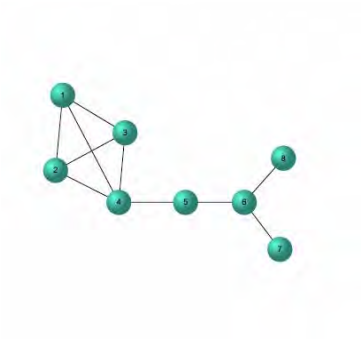


Figura 5.8. Red completa

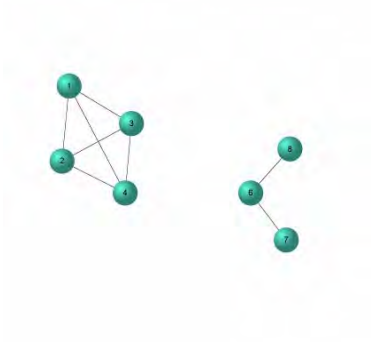


Figura 5.9. Punto de corte

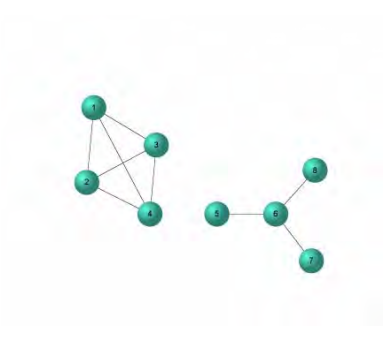


Figura 5.10. Puente

## 5.4. TIPOS DE REDES.

Como hemos visto, las redes son ubicuas. En este apartado revisaremos de manera sucinta la estructura y diferencias entre distintos tipos de redes del mundo real, basadas en los estudios que tratan de explicar y modelar las propiedades de esas redes. Newman divide las redes “reales” en cuatro categorías, y señala que el origen de las diferencias entre unas y otras radica en el tipo de datos empleados para su elaboración (Newman MEJ, 2003):

### 5.4.1. REDES SOCIALES.

Las redes sociales están compuestas por un conjunto de personas o grupos de personas con patrones de contactos o interacciones entre ellos. Ejemplos de este tipo de redes son las relaciones de amistad, las relaciones de negocios entre empresas, o las relaciones entre familias a partir de sus matrimonios. Los estudios

sociológicos y antropológicos mencionados en el apartado de reseña histórica son también ejemplos de redes sociales.

Al estudio de redes sociales a menudo se le asocian problemas de imprecisión, subjetividad y muestras de pequeño tamaño. Los datos se recopilan a partir de encuestas, cuestionarios o entrevistas, convirtiendo a la metodología de explotación de esos datos en tremendamente laboriosa, limitando el tamaño de la red observada. A ello se une la subjetividad inherente a los métodos empleados en la recogida de datos.

Para superar estos problemas en los estudios de redes sociales, los investigadores han probado nuevos métodos de investigación en busca de muestras más fiables y numerosas, como el análisis de las redes de colaboración científica en la que los investigadores se unen a partir de la autoría conjunta en trabajos publicados.

### 5.4.2. Redes de Información.

Las denominadas redes de información (o redes de conocimiento) conforman la segunda categoría. El ejemplo clásico de este tipo de redes reales son las de citas y cocitas entre trabajos científicos (Garfield E et al., 1978), (Garfield E, 1979), (Garfield E, 1998), (McCain KW, 1984), (McCain KW, 1990), (Noyons ECM et al., 1999), (Small HG, 1977), (Small HG, 1978), (Small HG, 1973), (Small HG, 1980), (Small HG, 1995), (Small HG, 1982), (Small HG, 1994), (Small HG, 1999), (Small HG y Garfield E, 1985), (White HD, 1981), (White HD, 1990), (White HD y McCain KW, 1998). Los trabajos científicos citan estudios previos, conformando redes en las que los nodos pueden ser artículos o autores. La estructura de la red de citas refleja la estructura de la información propiamente dicha, aunque no deben olvidarse los aspectos sociales presentes en los patrones de comportamiento (Egghe L y Rousseau R, 1990), (MacRoberts MH y MacRoberts BR, 1996), (Nicolaisen J, 2004), (Nicolaisen J, 2007).

Una de las características de las redes de citas es que son acíclicas, es decir, que un artículo sólo puede citar otros documentos que hayan sido escritos previamente. Desde el punto de vista del estudio científico, también se caracterizan, al igual que las redes de colaboración científica, por la abundancia y precisión de los datos disponibles.

Otro ejemplo ampliamente estudiado de redes de información es la World Wide Web[24], red que contiene páginas informativas que se enlazan a través de hipervínculos (Faba Pérez C et al., 2004), (Faba Pérez C et al., 2005). Al igual que las redes de citas, en la WWW también influyen aspectos sociales que trascienden el mero interés informativo de los vínculos.

### 5.4.3. REDES TECNOLÓGICAS.

Esta tercera categoría está reservada a las redes tecnológicas realizadas por el hombre y diseñadas para la distribución de recursos como la electricidad o la información. Buenos ejemplos de ellas son las redes de distribución de energía eléctrica, agua o gas, las redes de transportes (carreteras, ferrocarril, rutas aéreas), las redes telefónicas[25], etc.

### 5.4.4. REDES BIOLÓGICAS.

Son diversos los sistemas biológicos susceptibles de representarse en forma de redes. Las redes de reacciones metabólicas, las redes genéticas, los ecosistemas y cadenas tróficas, las redes neuronales o las vasculares son algunos de los ejemplos de redes biológicas analizadas desde la perspectiva de la teoría de redes. Las redes

[24] Esta red no debe confundirse con Internet, que es una red de ordenadores físicamente interconectados, y que forma parte de la categoría de redes tecnológicas.

[25] Forman parte de esta categoría las redes físicas de cables y postes, puesto que las redes de llamadas (uso de las redes físicas) formarían parte de las denominadas redes sociales.

alimentarias, por ejemplo, pueden ser descritas como un grafo con un conjunto finito de nodos (especies) y un conjunto finito de enlaces que asocian cada uno de esos nodos entre sí. El estudio del grado saliente y entrante (*indegree* y *outdegree*) de las redes alimentarias permite extraer abstracciones de la complejidad e interconexión entre las distintas comunidades naturales (Berlow EL et al., 2004), (Montoya JM et al., 2003), (Montoya JM y Solé RV, 2003), (Montoya JM y Solé RV, 2002).

Pero las redes también pueden clasificarse en función de su tamaño (Börner K et al., 2007):

### 5.4.5. Redes Pequeñas.

Este tipo de redes contienen un máximo de 100 nodos. Ejemplos de redes pequeñas son algunas redes sociales, de ecosistemas biológicos o de exportación-importación de productos entre países. En ellas es posible mostrar la totalidad de nodos, de sus atributos y de los enlaces que les unen. El tamaño de los nodos suele representar atributos como la importancia, el poder o el nivel de actividad.

### 5.4.6. Redes de Tamaño Medio.

Este tipo de redes son las que incluyen entre 100 y 1000 nodos. Ejemplos destacados son las redes genéticas, las metabólicas o las económicas, y algunos tipos de redes científicas. En ellas también es posible representar todos sus nodos, pero no todos sus atributos o etiquetas. En ocasiones, también es difícil mostrar la totalidad de sus enlaces, por lo que su número debe reducirse de forma adecuada. Estas reducciones suelen identificar los componentes principales de la red.

Entre las estrategias que suelen seguirse se incluyen la muestra de los nodos, enlaces, etiquetas y atributos importantes, la utilización de metáforas apropiadas y sistemas de referencia que incluyan ayudas que orienten la navegación del usuario.

### 5.4.7. Grandes Redes.

Son aquellas que presentan más de 1000 nodos, como Internet, las redes telefónicas, las redes de transportes o de carreteras, y algunas redes científicas. Entre los principales retos que presentan se encuentran: la extracción de los nodos, enlaces, subgrafos o columnas vertebrales y su posición, la poda de enlaces, el etiquetado y el diseño de la interacción y la navegación.

## 5.5. Propiedades de las Redes.

La teoría de grafos surgida a partir de los estudios de Leonhard Euler para solucionar el problema de los puentes sobre el río Pregel en la ciudad prusiana de Kaliningrado, puso por primera vez de manifiesto que la construcción y estructura de grafos o redes es la clave para comprender el mundo complejo que nos rodea. Pequeños cambios en la topología, aunque afecten sólo a unos pocos nodos o enlaces, pueden ofrecernos nuevas e insospechadas posibilidades (Barabási AL, 2002). Este apartado se centrará en las propiedades más destacadas de las redes extraídas desde los inicios de su estudio hasta la actualidad.

### 5.5.1. Redes Aleatorias.

Desde hace más de 40 años, la ciencia ha tratado a todas las redes complejas como si fueran puramente aleatorias. Este paradigma fue establecido a partir de los trabajos de dos matemáticos húngaros, Paul Erdös y Alfréd Rényi, que en 1959, y con las miras puestas en la descripción de las redes observables en las comunicaciones y en las ciencias biológicas, sugirieron que estos sistemas se

podían modelar eficazmente interconectando sus nodos mediante enlaces distribuidos al azar. La sencillez de sus métodos y de algunos de sus teoremas revitalizaron la teoría de grafos y posibilitaron el nacimiento de una especialidad matemática centrada en el estudio de las redes aleatorias.

Una importante predicción de la teoría de redes aleatorias es que, aunque los enlaces de una red hayan sido distribuidos al azar, el sistema resultante será profundamente democrático: la mayor parte de los nodos contará con el mismo número de enlaces. En una red aleatoria el número de enlaces por nodo se atiene, por tanto, a una distribución acampanada de Poisson, en la que resulta excepcionalmente extraño hallar nodos que cuenten con números notablemente mayores o menores que la media (Barabási AL y Bonabeau E, 2003), (Erdös P y Reyni A, 1959).

### 5.5.2. MUNDOS PEQUEÑOS.

Uno de los experimentos más conocidos sobre mundos pequeños es el del psicólogo Stanley Milgram[26], que trataba de explicar el concepto de los "seis grados de separación", basado en la idea de que el número de conocidos crece exponencialmente con el número de enlaces de la red personal, y son sólo necesarios un pequeño número de enlaces para que el conjunto de conocidos se convierta en toda la humanidad (Milgram S, 1963).

Watts y Strogatz mostraron que si un pequeño número de enlaces es aleatoriamente redirigido en una red regular, en forma de anillo, ésta se convierte en una red de mundo pequeño, conservando un agrupamiento muy elevado (alto coeficiente de agrupamiento[27]), y con cortas distancias entre pares de nodos, en

[26] Basado en una teoría del escritor húngaro Frigyes Karinthy.

[27] El coeficiente de agrupamiento (*clustering coefficient*) definido por Watts y Strogatz, permite calcular el grado de conexión o tupición existente entre los vecinos de un nodo determinado. Un coeficiente de agrupamiento de 1 supone que todos los vecinos del nodo analizado están enlazados, se "conocen", mientras que un coeficiente 0 se traduce en que los vecinos se vinculan exclusivamente con el nodo, sin que exista relación alguna entre ellos.

grafos aleatorios. En este contexto, los autores encontraron que en una red de mundo pequeño es suficiente la existencia de un bajo porcentaje de enlaces de largo recorrido que hagan las veces de atajos y permitan la conexión de nodos distantes de la red. A partir del alto coeficiente de agrupamiento presente en los denominados mundos pequeños, es fácil inferir que es posible conectar dos nodos de la red a través de muy pocos enlaces, o lo que es lo mismo, poseen una distancia media entre nodos muy corta (Barabási AL, 2002), (Björneborn L, 2004), (Björneborn L, 2006), (Watts DJ y Strogatz SH, 1998).

El fenómeno de mundos pequeños, por tanto, se caracteriza por la paradójica coincidencia de un alto grado de agrupamiento local y una reducida separación global que posibilita la conexión de dos nodos cualesquiera de la red a través de muy pocos enlaces intermedios. Estas características afectan de manera excepcional al aumento del flujo de los procesos en su seno (difusión de datos, energía, contactos, ideas, influencia, epidemias, etc).

Esta predicción fue confirmada en gran número de redes estudiadas en distintas disciplinas, y fue el desencadenante de diversos trabajos dirigidos no sólo a redes de mundo pequeño sino también al análisis de los principios dinámicos y topológicos de las redes complejas en general. Desde entonces y hasta ahora muchos han sido los estudios que han caracterizado a las redes del mundo real como mundos pequeños, entre ellas las de colaboración científica (Albert R y Barabási AL, 2002), (Barabási AL, 2002), (Björneborn L, 2004), (Nascimento MA et al., 2003), (Newman MEJ, 2001c), (Nunes Amaral LA et al., 2000).

### 5.5.3. Redes Sin Escala.

La imposibilidad de la ciencia contemporánea de describir sistemas compuestos de elementos variados, con interacciones diversas limita los avances en muchas disciplinas, que van desde la Biología Molecular hasta la Informática. Esta dificultad

para describir este tipo de sistemas parte de su topología: muchas de ellas forman redes complejas cuyos nodos son elementos del sistema y cuyos enlaces representa las interacciones entre ellos.

Como hemos visto, las redes de topología compleja han sido tradicionalmente descritas a partir de la teoría aleatoria de grafos. Sin embargo, la obtención de datos del mundo real, cada vez más fáciles de conseguir a través de procedimientos informáticos, hace aumentar las posibilidades de comprender mejor la dinámica y topología de las grandes redes. La explotación de distintas bases de datos y el análisis de los distintos tipos de redes, han permitido concluir que, con independencia del sistema y las entidades que lo constituyen, la probabilidad de que un nodo de la red interactúe con otros desciende siguiendo una ley potencial (*power law*) [28].

Hay dos aspectos de las redes reales que no se han incorporado a los modelos Erdös-Rényi y de Watts-Strogatz. El primero es que ambos modelos asumen que las redes parten de un número fijo de nodos conectados aleatoriamente. Por el contrario, la mayor parte de las redes del mundo real son abiertas y se forman por la adición de nuevos nodos al sistema, por lo que el número de nodos crece durante toda la existencia de la red. Por ejemplo, la WWW crece de manera exponencial a lo largo del tiempo debido a la suma de nuevas páginas Web, y lo mismo ocurre con la producción científica. Por tanto, un rasgo común de estos sistemas es que las redes se expanden constantemente por la suma de nuevos nodos que se unen a los ya existentes. En segundo lugar, los modelos aleatorios presuponen que la probabilidad de que dos nodos se conecten es aleatoria y uniforme. Sin embargo, la mayor parte de las redes reales muestran preferencias a la hora de conectarse. Por ejemplo, un nuevo actor prefiere trabajar en una nueva

[28] Muchas redes del mundo real funcionan como redes sin escala, caracterizadas por la inexistencia de un nodo típico, es decir no tienen una escala característica, un patrón, que defina el grado de conexión. La distribución de grado en este tipo de redes muestra largas colas, lo que implica que sólo un pequeño número de nodos es conectado por muchos de los otros, mientras que la mayor parte del resto de nodos tienen escaso número de enlaces que les unan.

película con actores conocidos. De forma similar, una nueva página Web incluirá enlaces a documentos o páginas muy populares. Estos ejemplos ilustran que la probabilidad de que un nuevo nodo se conecte con otros existentes no es uniforme; existe mayor probabilidad de que se una a otros nodos con gran número de enlaces (Barabási AL et al., 1999), (Barabási AL y Reka A, 1999), (Nunes Amaral LA et al., 2000).

## 5.6. EVOLUCIÓN Y DINÁMICA DE REDES.

En el apartado anterior se han expuesto las dos condiciones de partida de las redes aleatorias: la primera es la asunción de un número fijo inicial de nodos que permanece invariable a lo largo de la vida de la red; la segunda es la equivalencia de esos nodos. Sin embargo, aunque la diversidad de las redes del mundo real es indudable, todas ellas tienen un rasgo en común. Frente al modelo estático de las redes aleatorias, las reales crecen. Las redes reales comienzan con un pequeño número de nodos al que se van incorporando nuevos nodos, haciendo aumentar gradualmente su tamaño.

Entre los primeros estudios que comprobaron la existencia de redes sin escala se encuentran los trabajos de Derek de Solla Price. Price estudió la red de citas de trabajos científicos y encontró que la frecuencia de citas recibidas por los trabajos científicos se distribuye siguiendo una distribución de ley potencial (Price DJ, 1965). Años más tarde publicó otro trabajo en el que ofrecía una explicación a la ley potencial obtenida, por la cual la cantidad de lo que consigues aumenta en proporción a lo que ya tienes, lo que dio en denominar ventaja acumulativa (*cumulative advantage*) (Price DJ, 1976). Aplicó esta idea a las redes de citas, concluyendo que la obtención de nuevas citas por parte de un trabajo debe ser proporcional al número de citas que ya tiene (Newman MEJ, 2003), (van Raan AFJ, 2006a).

El mecanismo de ventaja acumulativa de Price es actualmente aceptado como la explicación más probable a la distribución de grado siguiendo una ley potencial observada no sólo en las redes de citas, sino en un gran número de redes del mundo real. Sin embargo, y quizá debido al desconocimiento de sus trabajos, el concepto más extendido entre los estudios de redes, fundamentalmente en las disciplinas de Física y Matemáticas, es el que años más tarde Barabasi y Albert denominaron vinculación preferente (*preferential attachment*). Para ellos, la incorporación de los nuevos nodos a una red no es aleatoria, como predisponen los estudios de Erdös-Rényi. El crecimiento de las redes está gobernado por la denominada vinculación preferente[29].

Sea cual fuere el término elegido para explicar el comportamiento de las redes de mundo real, es evidente que éstas se rigen por dos leyes: su crecimiento y la preferencia de los nuevos nodos a la hora de seleccionar sus enlaces. Cada red surge como un pequeño núcleo que se expande gracias a la adición de nuevos nodos. Esos nuevos nodos prefieren su vinculación con aquellos predecesores que cuentan con más enlaces, lo que confiere a los enlaces más veteranos mayores posibilidades de atraer a los noveles.

Otro rasgo que distingue a las redes reales es que en muchas de ellas los nodos tienen una vida limitada (redes sociales) o una capacidad limitada de mantenimiento de enlaces (redes de energía o redes de ordenadores). Distintos trabajos han demostrado que la edad de los nodos afecta a la hora de conseguir nuevos enlaces, haciéndoles perder la habilidad para su atracción, hecho que aunque no rompe la ley potencial, reduce la inclinación de su ángulo (Albert R y Barabási AL, 2002), (Dorogovtsev SN y Mendes JFF, 2003), (Nunes Amaral LA et al., 2000).

[29] Tanto la ventaja acumulativa como la vinculación preferente hacen referencia a conceptos tratados en distintas disciplinas y con diferentes denominaciones, todos ellos basados en la idea de la atracción de la popularidad o del "dinero llama a dinero". Entre otros, Merton lo denominó efecto Mateo, y Myrdal lo aplicó a la atracción de innovaciones por parte de las regiones más poderosas frente a las más desfavorecidas (Merton RK, 1969), (Myrdal G, 1964).

Un último aspecto que debe ser considerado en la evolución de redes es la competición interna, o la lucha por la supremacía en el seno de la red. En la mayor parte de las redes la competición interna por atraer nuevos enlaces no supone un impacto sobre la topología de la red. Sin embargo, en otras el ganador puede atraer hacia sí todos los enlaces.

En la primera categoría se encuentran todas aquellas redes en las que a pesar de la dura competencia por conseguir enlaces, la topología de red sin escala pervive. En ellas el nodo más atractivo crecerá más que los demás, pero a él le seguirán otros menores que pueden conseguir casi tantos enlaces como el primero. En la segunda categoría encontramos ganadores que se apoderan de la mayor parte de los enlaces, dejando muy pocos para el resto. Estas redes desarrollan una topología en la que todos los nodos se conectan con el nodo preponderante, y en la que la distribución de grado ya no sigue el patrón de ley potencial (Barabási AL, 2002).

## 5.7. DETECCIÓN, EXTRACCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE COMUNIDADES.

La producción de trabajos de investigación en el campo de redes complejas en los últimos años ha sido tan espectacular como asombrosa. Se han descrito y analizado los rasgos topológicos y dinámicos de redes de tipo social, biológico o tecnológico.

Uno de los aspectos a los que se ha prestado mayor atención ha sido a la existencia de subconjuntos de nodos fuertemente entrelazados, unas veces conectados y otras veces desconectados de la red. En este último caso nos encontramos ante lo que en el apartado de conceptos básicos hemos denominado componentes[30].

[30] Algunos autores, especialmente los dedicados a disciplinas como las Matemáticas o la Física, se refieren al concepto genérico de agrupaciones, se encuentren o no conectadas al resto de la red, como comunidad (*community*). Utilizaremos, por tanto, la noción de detección de comunidades para describir los procedimientos tendentes a la extracción de esas agrupaciones menores existentes en las redes.

Estas comunidades juegan un papel fundamental en las propiedades de las estructuras complejas, por lo que identificar y analizar su naturaleza es una importante tarea que se está llevando a cabo desde campos tan diversos como la Informática o la Sociología, pasando por la Bibliometría o la Bioquímica, con el objeto de revelar la organización informal y la naturaleza de los flujos de información dentro de esos sistemas complejos.

Sin embargo, el concepto de comunidad, entendida como patrón estable de transacciones entre individuos o grupos de individuos, es variable (Monfort N, 2004). Dependiendo de la red motivo de análisis, estas agrupaciones pueden surgir de forma natural como herramienta valiosa para el análisis de su estructura en unos casos, mientras que en otros su extracción debe realizarse de forma artificial (Ichise R et al., 2006).

Las comunidades, por tanto, están compuestas por distintos subconjuntos de nodos en un grafo que están muy relacionados. La extracción de esas comunidades facilita la comprensión de las redes, para lo que se hace necesario:

- El descubrimiento de la comunidad: consiste en la extracción de las distintas comunidades de una red determinada.
- La identificación de la comunidad: se centra en la caracterización de cada uno de los subconjuntos de nodos extraídos de la red original.

### 5.7.1. ALGORITMOS PARA LA EXTRACCIÓN DE COMUNIDADES.

La mayor parte de los algoritmos para la extracción de comunidades emplean técnicas de agrupación jerárquica, que además de mostrar los distintos componentes de la red, permiten extraer su jerarquía. Este tipo de algoritmos trabajan en dos fases, la primera encargada de definir la métrica que representará

la similitud entre los nodos. La segunda emplea métodos de extracción definidos a partir de la métrica que pueden ser de dos tipos (Balakrishnan H y Deo N, 2006):

- **Extracción aglutinadora:** estos algoritmos calculan la similitud entre cada pareja de nodos del grafo para, posteriormente, comenzar la extracción de comunidades, partiendo de la consideración inicial de que cada nodo pertenece a una comunidad individual. A medida que el proceso prosigue, el algoritmo va uniendo aquellos nodos más próximos hasta formar agrupaciones de mayor tamaño.

  Un ejemplo de este tipo de algoritmos es el que transforma la red no dirigida en una red dirigida con enlaces ponderados, donde los nodos que señalan a vecinos comunes se conectarán con un enlace cuya intensidad será proporcional a la suma total de los pesos de los enlaces de los vecinos comunes que les señalan (Capocci A et al., 2005).

  Otro algoritmo para la detección de comunidades combina técnicas espectrales, el análisis de clusters y el concepto de modularidad[31]. Su debilidad radica en el hecho de que es preciso conocer a priori el número máximo de eigenvectores necesarios para alcanzar la modularidad máxima, por lo que el principal reto es la identificación de un criterio sistemático que permita conocer a priori el número de eigenvalores[32] necesarios para optimizar el resultado (Donetti L y Muñoz MA, 2004).

[31] El concepto de modularidad se refiere a que una red completa puede ser dividida en un conjunto de módulos (=comunidades), compuesto cada uno de ellos por una entidad discreta de nodos que desarrollan una tarea identificable y distinta de la del resto de módulos.

[32] Los eigenvectores (del alemán *eigen* = propio) de un operador lineal son los vectores no nulos que, cuando son transformados por el operador, dan lugar a un múltiplo escalar de sí mismos, evitando su cambio de dirección. Este escalar λ recibe el nombre de eigenvalor (*eigenvalue*). Aplicar el eigenvector como medida de centralidad, supone asignar valores relativos a todos los nodos de la red a partir del principio de que las conexiones de uno dado con nodos de mayor grado supondrán mayor puntuación que aquellas conexiones mantenidas con nodos menos "populares".

- **Extracción divisiva:** en este caso, los algoritmos calculan la similitud de los nodos adyacentes y comienzan la extracción de comunidades considerando inicialmente a todos los nodos como miembros de una única comunidad. A medida que el proceso algorítmico transcurre, se eliminan los enlaces entre aquellos pares de nodos menos similares. Así se logra dividir el grafo en comunidades más pequeñas pero muy unidas.

  Uno de los algoritmos divisivos más conocidos es el de Girvan y Newman. El método iterativo que proponen para la extracción de comunidades de una red se basa en la supresión progresiva de aquellos enlaces con mayor intermediación[33], puesto que son los más prominentes en la conexión de las diferentes partes del grafo. De esta manera, su eliminación progresiva permitirá una separación de la red en comunidades (Girvan M y Newman MEJ, 2002). Este método ha demostrado su eficacia en casos donde existe un conocimiento de la estructura de la comunidad dado a priori, pero presenta dos inconvenientes fundamentales: en primer lugar, no indica cuando queda resuelto el agrupamiento y requiere información extra, como el número esperado de grupos. En segundo lugar, su resultado es independiente de la profundidad de la partición del grafo.

  El principal inconveniente de los algoritmos de extracción divisiva es que eliminan enlaces de la red, descomponiéndola de manera artificial en subredes desconectadas (generando componentes).

- **Detección de componentes:** frente a los métodos de extracción tanto divisivos como aglutinadores para hallar comunidades en grandes redes

[33] El algoritmo de Girvan y Newman supone que la intermediación de un enlace en una red viene definido por el número de caminos geodésicos (más cortos) entre parejas de nodos. Si hay dos caminos geodésicos uniendo una pareja de nodos dados, entonces cada uno de ellos cuenta con la mitad del camino, y lo mismo ocurrirá si tienen tres o más. La intermediación del enlace es una generalización de la intermediación nodal de Freeman. El valor de la intermediación de enlaces es elevado en aquellos que actúan como cuellos de botella desde el punto de vista de gestión del tráfico en la red, es decir, si el tráfico desde una parte de la red a la otra tiene que pasar a través de enlaces que conectan ambas partes, entonces la intermediación de esos enlaces aumenta y su eliminación desconectaría la red.

(Donetti L y Muñoz MA, 2004), (Newman MEJ, 2004b), (Newman MEJ, 2004a), (Radicchi F et al., 2004), (Reichardt J y BornHoldt S, 2004), (Wu F y Huberman BA, 2004), sólo útiles si la estructura de comunidad ha de interpretarse en términos de conjuntos de comunidades separadas, existen otros basados no en la extracción sino en la mera localización de las comunidades de la red, para su posterior identificación a través de análisis estadísticos sobre la matriz de datos (Palla G et al., 2005). Profundizaremos en el análisis de este tipo de herramientas de detección de componentes en el capítulo siete de este trabajo, dedicado a los aspectos metodológicos.

## 5.8. REDES DE COLABORACIÓN CIENTÍFICA.

En el segundo capítulo tuvimos ocasión de aproximarnos al concepto polifacético de colaboración científica y la forma en que éste se ha tratado desde una perspectiva bibliométrica. Sin embargo, las redes de colaboración científica también resultan de gran interés para mejorar la comprensión sobre la topología y las leyes dinámicas que gobiernan las redes complejas. Así, la aproximación a este tipo de estudios desde la Física-Estadística se centra en la obtención de grandes redes que tratan de encontrar universalidades tanto en lo que respecta a la topología, como a las dinámicas que gobiernan su evolución. Estos estudios muestran la necesidad de un nuevo conjunto de herramientas que aumenten nuestra capacidad para caracterizar y modelar sistemas interactivos complejos. Las redes de colaboración entre científicos a partir de coautorías son idóneas para ilustrar el poder de estos avances.

La combinación de resultados teóricos y empíricos logrados desde esta perspectiva abren un sinfín de posibilidades de investigación futura que auguran un conjunto de herramientas con aplicación en distintos dominios científicos.

Sirvan como ejemplo los trabajos que utilizan las redes de filiación de científicos no para reconstruir las redes de colaboración completas a partir de datos bibliográficos, sino para determinar los aspectos organizativos e institucionales de la colaboración (Newman MEJ, 2001a), (Newman MEJ, 2001b). Los que analizan las propiedades de mundo pequeño de los grafos de coautorías (Nascimento MA et al., 2003). Los que extraen las propiedades estadísticas que subyacen en las redes de coautoría (Newman MEJ, 2004a). O los que emplean las redes de colaboración como un prototipo de redes en evolución, haciendo hincapié en su dinámica y evolución (Barabási AL et al., 2002).

Entre las cualidades que hacen a las redes de colaboración científica a partir de coautoría especialmente atractivas para el análisis de redes destacan:

- Además de describir los rasgos de la "sociedad académica", son capaces de mostrar la estructura del conocimiento científico.
- Contienen todos los ingredientes necesarios para considerarlas mundos pequeños: cuentan con una reducida distancia media entre nodos, un elevado coeficiente de agrupamiento y la distribución de grado de sus nodos se ajusta a una distribución de ley potencial.
- Se encuentran en constante expansión debido a la adición de nuevos autores a las bases de datos, lo que asegura nuevos nodos que explicitan la evolución dinámica de este tipo de redes.
- La posibilidad que ofrecen de controlar el tiempo en el que los nodos y enlaces se incorporan a la red, resulta determinante para la gestión de su dinámica.

## 5.9. COROLARIO.

El capítulo quinto nos ha aproximado a la teoría de redes. Las redes son consideradas estructuras abiertas que pueden expandirse sin límites integrando en

su seno nuevos nodos en función de las posibilidades de comunicación que existan y siempre que compartan códigos de comunicación.

El recorrido histórico por los planteamientos que la teoría de grafos ha ido desarrollando desde sus inicios a principios del siglo XVIII hasta nuestros días, nos ha transportado hasta el concepto que Price denomino ventaja acumulativa, y que es actualmente aceptado como la explicación más probable para el mecanismo de crecimiento observado en un gran número de redes del mundo real, que distribuyen su grado siguiendo una ley potencial.

Si en el segundo capítulo tuvimos ocasión de aproximarnos al concepto polifacético de colaboración desde una vertiente bibliométrica, la aplicación de la teoría de redes a la colaboración científica resulta fundamental para mejorar la comprensión sobre la topología y las leyes dinámicas que gobiernan las redes complejas. La combinación de resultados teóricos y empíricos que se puedan lograr desde esta otra perspectiva abrirán un sinfín de posibilidades de investigaciones futuras para el desarrollo de herramientas con aplicación en distintos dominios científicos.

# CAPÍTULO 6. MATERIAL

## 6.1. INTRODUCCIÓN.

La mayor parte de los indicadores bibliométricos se recopilan en el nivel nacional (Gómez I et al., 2005), (Moya-Anegón F, 2004a), (Moya-Anegón F, 2005a), (Moya-Anegón F, 2006). En ellos se recogen los datos de los actores del sistema, se analiza la colaboración nacional o se contabilizan el número de citas que obtienen los artículos que se han publicado en el país, región o dominio temático (CINDOC, 2004), (Guerrero-Bote VP y Moya-Anegón F, 2005), (Moya-Anegón F, 2004b), (Moya-Anegón F, 2005b), (Moya-Anegón F, 2005c), (Olmeda Gómez C et al., 2007). Sin embargo, son menos frecuentes los análisis donde aparezcan publicados de forma regular indicadores que examinen la dinámica interna de los sistemas nacionales de ciencia con datos desagregados por centros o incluso departamentos y al mismo tiempo necesarios, por cuanto permiten examinar con detalle esas dinámicas internas de los sistemas nacionales (CINDOC, 2006), (Moya-Anegón F et al., 2005a).

En el apartado dedicado a las medidas de la colaboración constatamos que los artículos científicos cuentan con información valiosa para ser tratada y analizada estadísticamente (Price DJ, 1969), (Ziman JM, 1969). Existe, pues, consenso acerca de que el recuento de la producción científica en forma de artículos es un indicador básico para representar el conocimiento públicamente accesible. El estudio pormenorizado de sus contenidos, permite conocer el impacto (entendido como una medida de visibilidad) y la colaboración, ya que contienen los vínculos existentes entre las personas, las instituciones y las naciones que han intervenido en su publicación. Los indicadores bibliométricos pueden revelar también los movimientos de los autores de unos centros a otros y los lazos que se establecen entre organismos, lo que puede trasladarse a mapas capaces de determinar los flujos de conocimiento ligados a la investigación.

Pese a ello, no pueden capturar todas las características de la producción del conocimiento que se dan en una sociedad. Capturan el significado del archivo escrito de las actividades formales de comunicación científica, el conocimiento codificado y no en toda su integridad. Además capturan mejor los resultados de las instituciones, que como las universidades tienen incentivos para publicar (Olmeda Gómez C et al., 2006).

En este capítulo profundizaremos en el origen de la fuente secundaria de datos elegida, sus limitaciones, las operaciones necesarias para minimizar sus inconvenientes y la codificación final de la base de datos que nos permitirá abordar la parte analítica de este trabajo.

## 6.2. LAS BASES DE DATOS DE THOMSON SCIENTIFIC.

El fundamento informativo para la realización de este trabajo se basa en la información disponible en las distintas bases de datos que componen el *Web of Science*: 1) *Science Citation Index Expanded* (SCI-Expanded), especializada en Ciencias y Medicina, 2) *Social Science Citation Index* (SSCI), especializada en Ciencias Sociales y, 3) *Arts and Humanities Citation Index* (AHCI).

Los análisis bibliométricos no miden todo tipo de publicaciones. Los indicadores se basan normalmente en los datos contenidos en las bases de datos de la empresa norteamericana *Thomson Scientific*, porque representan muy bien los artículos publicados internacionalmente, con elevado impacto, con revisión de pares, públicamente accesibles y que incluyen resultados tecnológicos.

No es la única base de datos que contiene información científica indexada. Existen otras, como *Medline, Chemical Abstract, Biosis o Physics Abstracs*. Sin embargo, las bases de *Thomson Scientific* tienen unas ventajas que las hacen imprescindibles en

trabajos bibliométricos y en particular, de colaboración científica. La elección de esta fuente obedece a distintos motivos:

En primer lugar, son bases de datos multidisciplinares y con un elevado grado de representatividad temática que asegura una buena cobertura de los distintos dominios geográficos y temáticos, lo que permite garantizar un referente muy homogéneo para comparar de forma equilibrada. En este sentido, las bases de datos del *Web of Science,* como fuentes multidisciplinares y con amplia cobertura son ideales para este fin.

Es cierto que en determinados ámbitos científicos y países, la publicación en revistas no es el único instrumento vehicular de comunicación entre científicos, como es el caso de las Ciencias Sociales y las Humanidades, donde las monografías son el principal medio de difusión. Algo similar sucede en las Ingenierías y las disciplinas más aplicadas, donde son importantes y frecuentes los informes técnicos que no siempre culminan en forma de artículo científico (Hicks D, 2004).

Además, en el caso de la producción en Ciencias Sociales y Humanidades en España, predomina la utilización de revistas nacionales españolas como canales formales de comunicación, frente al uso de revistas internacionales con factor de impacto (Gómez I et al., 2004).

Aunque en el transcurso de los años han recibido críticas acerca de la limitada cobertura de títulos de revistas, tanto en términos de disciplinas, de idiomas o países (Andersen H, 2000), (Archambault E y Gagné EV, 2004), los estudios más recientes concluyen que, salvo en el caso de Alemania en Agricultura y de Francia como editor científico, la cobertura del conjunto de revistas incluidas en el *Web o Science* y en el *Journal of Citation Reports*, está equilibrada frente al conjunto de revistas incluidas en el *Ulrich´s Science & Technology*, la base más completa de títulos de revistas, que en la edición de 1998 contaba con más de 220.000 títulos de

revistas (Braun T et al., 2000). En general están sobre-representadas las principales empresas editoras de publicaciones científicas y las revistas en lengua inglesa de Ciencias Sociales y Humanidades pero, en cualquier caso, este fenómeno no afecta a los objetivos fundamentales de este estudio.

En segundo lugar, las bases de datos empleadas en el estudio tienen una estructura diferente a otras similares. La diferencia fundamental estriba en la atención que se presta a la información sobre filiación institucional de los autores que firman los trabajos, que hace posible, entre otros temas, el análisis de la colaboración científica. Es la única base de datos multidisciplinar e internacional que ofrece información institucional de todos los autores. En otras bases, sólo aparecen los datos del primer firmante (*Medline*). Si no aparecen todas las direcciones de los autores en los artículos, los análisis de la colaboración son imposibles.

Hay una tercera razón que justifica la selección de estas fuentes. Las bases seleccionadas contienen las referencias bibliográficas de los artículos. Esta característica hace un tanto especiales a los productos de *Thomson Scientific*, ya que esta información es el origen del cálculo de indicadores bibliométricos fundamentales en los procesos evaluativos, como son los relacionados con la colaboración y la visibilidad de la literatura científica (Moed HF, 2005).

Además, se ha tomado información complementaria relativa a las revistas a partir de la base de datos *Journal Citation Report* (JCR). El JCR aporta información relativa a las revistas que forman parte de los *Citation Indexes* (versiones SCI y SSCI). El JCR es una base de datos interesante, no sólo porque brinda información relativa a las revistas que forman parte de los *Citation Indexes*, sino también porque presenta indicadores de visibilidad de esas revistas, como el ampliamente conocido y extendido factor de impacto.

Para el caso español, la selección de esta fuente es coherente con la normativa actual vigente[34] que estable los criterios para la evaluación de los investigadores en todas las disciplinas científicas salvo Derecho, Historia, Arte, Filosofía, Filología y Lingüística. A ello se une el hecho de que la Comisión Nacional Evaluadora de la Actividad Investigadora (CNEAI) señale a las publicaciones recogidas por las bases de datos de *Thomson Scientific* como el referente en los procesos evaluadores para la concesión de incentivos a la investigación (Jiménez Contreras E et al., 2003).

Por todo ello, y pese a sus inconvenientes, los productos *Thomson Scientific* presentan innumerables ventajas como fuente de información, suministrando datos consistentes sobre la investigación nacional con visibilidad internacional, facilitando la comparación entre agregados y la obtención de representaciones gráficas y análisis estructurales de la misma, especialmente los referidos a colaboración científica e impacto (Chinchilla-Rodríguez Z, 2006), (Vargas-Quesada B y Moya-Anegón F, 2007).

## 6.3. EXTRACCIÓN DE LOS DATOS.

Respecto a la estructura de datos y su representación relacional, han surgido en los últimos años en la literatura de la especialidad distintas descripciones de proyectos o sistemas pilotos con el objeto de integrar varias técnicas en diversos tipos de sistemas de información. Con relación a la inclusión de indicadores bibliométricos, encontramos varios trabajos sobre experiencias desarrolladas en instituciones como el CINDOC (Fernández MT et al., 1993) o el SPRU británico (Katz JS et al., 1995).

Con fines investigadores se han descargado todos los registros de la producción científica nacional publicados desde 1990, es decir, de aquellos documentos en los

34 Real Decreto 1325/2002, de 13 de diciembre, por el que se modifica y completa el Real Decreto 1086/1989, de 28 de agosto, sobre retribuciones del profesorado universitario.

que apareciera *Spain* en el campo *Address*. Como resultado se ha construido un sistema de bases de datos que integra de forma relacional toda la información obtenida. Para ello, se ha utilizado un software desarrollado específicamente para las cargas, modelado y tratamiento de información de *Thomson Scientific*. Con posterioridad, se ha trabajado con el subconjunto de documentos pertenecientes a la Universidad Carlos III de Madrid (en adelante UC3M).

La información obtenida está compuesta por: autores, dirección del lugar de trabajo, título de la publicación, información sobre la fuente de datos (título de revista, año de publicación, volumen, número, páginas de inicio y final, tipo de publicación), y las referencias bibliográficas incluidas en cada publicación. Esta ordenación estructurada de los datos en campos normalizados, permite una gran variedad de elementos de recuperación e índices sobre los que aplicar los parámetros o indicadores con suficientes garantías de fiabilidad (Chinchilla-Rodríguez Z, 2006).

## 6.4. NORMALIZACIÓN Y DEPURACIÓN DE LOS DATOS.

Las bases de datos bibliográficas constituyen una fuente de problemas cuando se utilizan para propósitos bibliométricos, y son especialmente reseñables los errores y falta de consistencia de los datos que presentan. Esta dificultad aumenta cuando esas bases de datos se utilizan para construir indicadores a partir de la combinación de bases de datos con distintas normas, estructuras, o abreviaturas (Braun T et al., 1995). El control de calidad, dentro de las propias bases de datos, amén de cuando se combinan con otras, es un aspecto fundamental recurrentemente aludido, pero aún hoy no resuelto. La construcción de bases de datos para estudios bibliométricos supone los siguientes pasos: extracción, procesamiento, normalización y codificación de la información. Tanto para los productores de las bases de datos, como para los investigadores que descargan los datos con fines científicos, la falta de normalización y los errores suponen la pérdida de

información que obliga al desarrollo de sistemas correctores, casi siempre personalizados, que garanticen el rigor de la investigación, tan dependiente de la calidad de los datos (Gálvez C y Moya-Anegón F, 2006), (Gálvez C y Moya-Anegón F, 2007b).

La importancia de la normalización de los datos de fuentes institucionales radica en el progresivo aumento de los trabajos sobre dominios institucionales. Por tanto, las imprecisiones en los nombres de las organizaciones en las publicaciones científicas pueden distorsionar los resultados de los análisis bibliométricos (variantes ortográficas, errores tipográficos, incorrecto uso de mayúsculas, abuso de iniciales o abreviaturas, o deslices en las transliteraciones), especialmente en los análisis micro, y su rectificación y unificación se traduce en procedimientos manuales muy costosos.

Los datos institucionales son especialmente útiles en:

- Indicadores de colaboración: los datos de filiación de autores se utilizan a menudo como indicadores de colaboración científica, a partir del análisis de las direcciones de los trabajos publicados por una institución. En estos casos, la estructura de las direcciones hace posible el estudio de la coautoría a través de la organización principal, la ciudad y país, y las unidades menores de investigación. Los estudios bibliométricos sobre colaboración científica analizan la cooperación en o entre grupos de investigación, instituciones o países, por lo que la unificación de las direcciones relativas a centros, ciudades, países y unidades de investigación es extremadamente importante.

- Delimitación de especialidades: los datos de filiación institucional pueden utilizarse también para delimitar el campo y/o subcampos científicos para la posterior construcción de mapas a partir de concurrencia de términos (De

Bruin RE y Moed HF, 1993). Los problemas surgen cuando aparecen incongruencias entre el nombre del departamento o la ausencia de correspondencia entre el sitio de trabajo real de los autores (Bourke P y Butler L, 1998).

- Aspectos dinámicos del trabajo investigador: los indicadores bibliométricos también pueden utilizarse para describir el desarrollo investigador de organizaciones en distintos niveles de agregación (Moed HF y van Raan AFJ, 1988). La evaluación de organizaciones ofrece nuevas posibilidades para la utilización de las direcciones a la hora de representar aspectos dinámicos de la investigación científica, como mapas de la ciencia y análisis de redes (Mählck P y Persson O, 2000), (Noyons ECM et al., 1999), (Shrum W y Mullins N, 1988). Al mismo tiempo, el desarrollo de nuevas herramientas basadas en el uso combinado de metodologías (análisis multivariable, redes neuronales artificiales y análisis de redes), hace posible representar la investigación de un determinado dominio en forma de mapas dinámicos y atlas de la ciencia.

Los errores e inconsistencias en las direcciones pueden afectar no sólo al estudio de coautorías, la evaluación de las conexiones internacionales en colaboración y la delimitación de los campos científicos, sino también a la visibilidad de las instituciones y las clasificaciones de organizaciones (Gálvez C y Moya-Anegón F, 2006), (van Raan AFJ, 2006b).

### 6.4.1. Falta de Consistencia de los Datos Institucionales.

Una conocida limitación de la fuente utilizada para este trabajo es la falta de normalización del campo referido a la filiación institucional, especialmente en trabajos de países donde el inglés no es la *lingua franca* (Russell, 1998). La estructura del campo institucional suele constar de información en cuatro niveles

(Melin G y Persson O, 1996): la organización principal, un departamento de la organización, la ciudad y el país. En muchos casos, sólo hay tres niveles, excluyendo el nivel departamental o el institucional.

El país suele estar bien normalizado y la ciudad puede normalizarse a partir de los códigos postales. En todos estos niveles podemos encontrar un gran número de variaciones:

- Variaciones aceptables: variantes correctas de nombres, causadas por la permuta del orden de las palabras, distinto formato sintáctico para referirse a un mismo nombre, separación de palabras, acrónimos, direcciones abreviadas, inclusión o exclusión de códigos postales, nombre de regiones o países, inclusión o no de la organización principal o del grupo de investigación. En resumen, direcciones que pueden ser intercambiables en contextos específicos sin que cambien o pierdan su significado.

Tabla 6.1. Variaciones aceptables del Dpto. Economía de la UC3M

| |
|---|
| UNIV CARLOS III MADRID,DEPT ECON,CALLE MADRID 126,E-28903 GETAFE MADRID,SPAIN |
| UNIV CARLOS III MADRID,DEPT ECON,CALLE MADRID 126,E-28903 GETAFE,MADRID,SPAIN |
| UNIV CARLOS III MADRID,DEPT ECON,CALLE MADRID 126,E-28903 GETAFE,SPAIN |
| UNIV CARLOS III MADRID,DEPT ECON,CALLE MADRID 126,GETAFE 28903,MADRID,SPAIN |
| UNIV CARLOS III MADRID,DEPT ECON,E-28093 GETAFE,SPAIN |
| UNIV CARLOS III MADRID,DEPT ECON,E-28903 GETAFE,MADRID,SPAIN |
| UNIV CARLOS III MADRID,DEPT ECON,E-28903 GETAFE,SPAIN |
| UNIV CARLOS III MADRID,DEPT ECON,MADRID,SPAIN |

Tabla 6.2. Variaciones inaceptables de la Escuela Politécnica de Leganés

| |
|---|
| Univ Carlos III Madrid, C Butarque 15, Legeanes 28911, Madrid, Spain |
| UNIV CARLOS III,ESCUELA POLITECN SUPER,DEPT INGN,E-28911 LEGENES,SPAIN |
| Univ Carlos III Madrid, Legeanes 28911, Madrid, Spain |

- Variaciones inaceptables: variantes incorrectas o no válidas de direcciones, provocadas fundamentalmente por palabras o letras perdidas o erróneas y traducciones imprecisas.

El desarrollo de una aplicación personalizada del grupo SCImago ha permitido la normalización de las 1740 direcciones distintas extraídas de los documentos firmados por la UC3M.

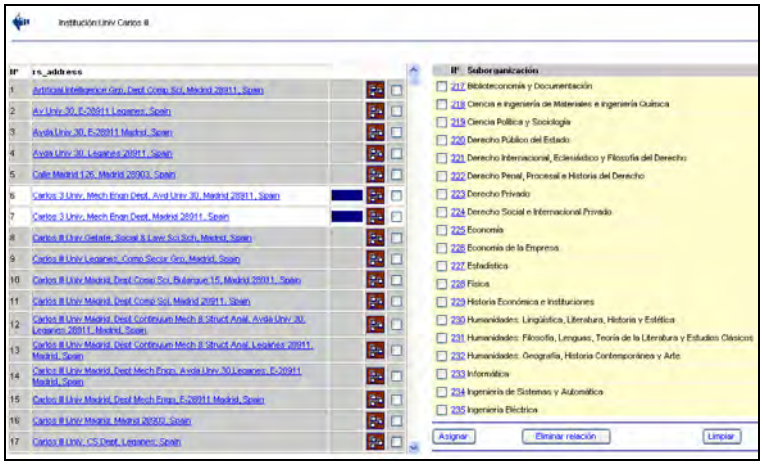



Figura 6.1. Software *ad hoc* SCImago de normalización de instituciones

### 6.4.2. Falta de Consistencia de los Datos de Autores Personales.

Una vez abordados el tratamiento y la normalización de las direcciones institucionales, surge a continuación un nuevo inconveniente al que enfrentarnos provocado por la falta de control de autoridades por parte de *Thomson Scientific*: la normalización del conjunto de autores que han participado en la producción institucional de la UC3M. Este problema, de mayor envergadura que la normalización institucional, al menos desde el punto de vista de la carga de trabajo que supone su asunción, ha requerido más tiempo y recursos.

La identificación de nombres personales afecta a diversas áreas que van desde el procesamiento del lenguaje natural a la recuperación de información. Los nombres personales se incluyen en la categoría de nombres propios, encargados de

identificar personas. En muchos casos, esa identidad debe ser extraída del contexto porque problemas como la homonimia (dos autores con el mismo nombre), pueden generar ambigüedades en la relación de referencia individuo-nombre (Calero C et al., 2006), (Gálvez C y Moya-Anegón F, 2006), (Soler JM, 2007).

Esa relación de referencia ambigua de los nombres de personas es uno de los principales problemas en recuperación de información y, por tanto, en trabajos bibliométricos realizados a través, precisamente, de la prospección de bases de datos como las de *Thomson Scientific*. Evitar esa ambigüedad y clarificar aquellos nombres coincidentes a partir de métodos capaces de discernir los contextos en los que los individuos aparecen, se convierte en una exigencia en aras de garantizar la precisión de los análisis y sus resultados.

Las variantes de nombres para referirse a un mismo autor, tanto en la recuperación de trabajos científicos, como en sus citas, pueden ser numerosas. En este caso nos encontramos ante un nuevo problema, la sinonimia (distintas variantes de nombre referidas a un único autor). Estas inconsistencias pueden ser el origen de graves problemas en cualquier tipo de recuento bibliométrico, por lo que los especialistas en este tipo de estudios deben realizar esfuerzos, en ocasiones extraordinarios, para asegurar la precisión de los datos de sus estudios (Gálvez C y Moya-Anegón F, 2007a).

Las variaciones de nombres, al igual que en el caso de las instituciones, pueden clasificarse en:

- Variaciones no válidas: provocadas fundamentalmente por errores ortográficos, fonéticos o tipográficos; uso incorrecto de mayúsculas, apodos o abreviaturas; o problemas de acentuación o transliteración de otros idiomas.

- Variaciones válidas: causadas por la permuta del orden de las palabras; separación de palabras; uso o ausencia de signos de puntuación; uso de iniciales o ausencia de alguna de las partes del nombre.

Tabla 6.3. Ejemplo de fichero de autoridad para evitar la sinonimia de autores

| | |
|---|---|
| Prado-Cumplido, M | Sinónimo 1 |
| de-Prado-Cumplido, M | Sinónimo 2 |
| DePrado-Cumplido, M | Sinónimo 3 |
| Prado Cumplido, Mario de | Aceptada |

La identificación de las variantes de nombres de personas es un problema recurrente en la literatura sobre recuperación de información a partir de catálogos en línea y bases de datos bibliográficas. Generalmente, las técnicas para la identificación de las variantes se incluyen bajo el nombre genérico de ficheros de autoridad, que son los encargados de establecer las correspondencias entre todas las formas permitidas de una secuencia (aceptadas), y cualquier forma equivalente dentro del fichero bibliográfico (sinónimas o no aceptadas).

Así, para evitar la homonimia hemos utilizado la combinación autor-departamento, operación que nos ha permitido aislar a los distintos autores en sus respectivos contextos, reduciendo al máximo los homónimos y facilitando la detección de los persistentes.

Una vez resuelta la homonimia, la solución a la sinonimia es sencilla, aunque costosa en recursos. Se ha elaborado un fichero de autoridades a partir de la combinación autor-documento, para establecer las correspondencias oportunas entre la forma aceptada y las formas equivalentes no permitidas. Ambos métodos han supuesto la normalización, y unificación de 5516 autores.

## 6.5. CODIFICACIÓN Y GENERACIÓN DE LA FUENTE SECUNDARIA.

Detectados y minimizados al máximo los problemas relacionados con la inconsistencia de los datos originales, el último paso ha consistido en la generación de la fuente secundaria que será el origen del desarrollo aplicado de este trabajo.

La información bibliográfica ha sido almacenada de forma distribuida en un sistema de bases de datos con toda la información integrada y de forma relacionada construida con *Microsoft Access*.

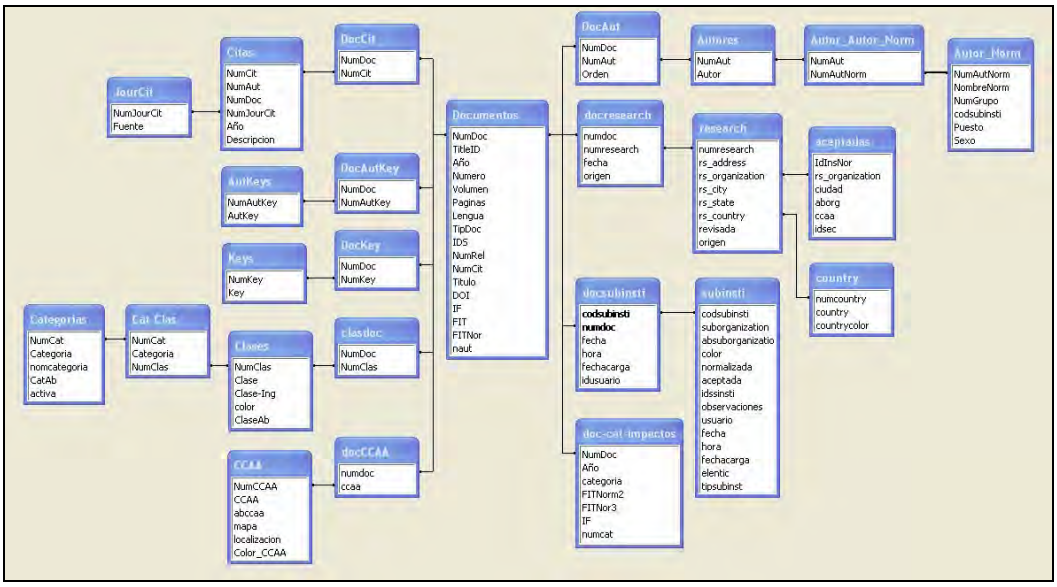



Figura 6.2. Estructura final de la base de datos relacional

El resultado ha sido una base de datos relacional, con la información integrada y estructurada de todos los documentos y con relaciones establecidas a priori.

## 6.6. COROLARIO.

En este capítulo se han mostrado los problemas que presentan las bases de datos bibliográficas cuando se emplean en propósitos bibliométricos, y que pueden condersarse en errores e inconsistencias que afectan tanto a las direcciones

institucionales de los investigadores, como a sus nombres propios. Se hace, por tanto, necesario un estricto control de calidad que garantice el máximo rigor de las investigaciones y de los resultados de ellas derivados.

Para reducir las limitaciones que afectan a las filiaciones institucionales y los nombres personales, se han propuesto tres métodos: una plataforma de normalización para las primeras, y correspondencias autor-departamento y autor-documento para las segundas, y paliar así sus efectos.

# CAPÍTULO 7. METODOLOGÍA

## 7.1. INTRODUCCIÓN.

En este capítulo dedicado a los aspectos metodológicos realizaremos una primera aproximación a diversas metodologías empleadas hasta la fecha para objetivos de investigación diferentes pero cuya convergencia no sólo es posible sino que se hace necesaria en el que nos ocupa: la elaboración de mapas de la ciencia, la visualización de dominios científicos y la teoría de redes.

El desarrollo de las tecnologías de la información y las comunicaciones, y las técnicas cada vez más depuradas para el tratamiento y representación de la información hacen que las fronteras entre estas tres aproximaciones sean muy difusas.

Recopilamos a continuación de forma simplificada los distintos procedimientos propuestos por cada una de ellas:

La primera de las metodologías describe el proceso de análisis para la elaboración de mapas de la ciencia. En su versión original se aplicaba a la elaboración de este tipo de mapas a partir del análisis de cocitación de autores, pero puede ser extrapolada a cualquier análisis basado en coocurrencias (McCain KW, 1990):

- Selección de la muestra: el análisis comienza con la selección de la muestra y la preparación de la base de datos encargada de recoger toda la información necesaria para definir el paisaje académico que se quiere representar.

- Recuento de frecuencias: será el paso previo a la creación de la matriz de datos brutos. En esta fase se recuentan todos los documentos que contienen al menos una referencia en la que coocurren parejas de elementos (autores, títulos de revistas, categorías temáticas, etc.).

- Creación de la matriz de datos brutos: recoge todos los datos de los recuentos de parejas de elementos. Se caracteriza por ser simétrica, con el mismo número de filas y columnas.

- Conversión y normalización de la matriz: previa a la obtención de resultados, se realizan una serie de operaciones sobre la matriz de datos brutos. Son frecuentes, su normalización a través de procedimientos como la correlación de Pearson o la función del coseno, o el tratamiento de su diagonal principal.

- Análisis multivariante: los datos de la matriz, una vez normalizados, pueden utilizarse como valores de proximidad entre elementos. Cuanto mayor es la correlación, mayor es el parecido entre ellos. Dentro de las técnicas empleadas para explotar los datos de proximidad se encuentran: el Análisis de Clusters, el Escalamiento Multidimensional (MDS) y el Análisis Factorial.

- Interpretación y validación de resultados: es la fase final del proceso, encargada de establecer las relaciones entre los elementos y las agrupaciones obtenidas en la fase de análisis multivariante para, posteriormente, validar los resultados mediante consultas a especialistas o validaciones estadísticas.

La segunda metodología se centra en el proceso que debe seguir el diseño de un estudio de redes. Aunque aplicado originalmente a redes sociales, como en el caso anterior, puede hacerse extensivo a cualquier estudio de redes, con independencia de su tipología (Marsden PV, 1990):

- Nivel de análisis: permite la obtención de los datos para la construcción de las representaciones de enlaces entre los elementos de la comunidad estudiada.

- Límites del análisis: en esta fase se determina el conjunto de unidades que serán incluidas en el estudio. Resulta de especial importancia en los análisis de redes porque éstos se centran en las interdependencias explícitas entre esas unidades. La omisión de los elementos que conformarán el análisis o la delineación arbitraria de sus límites pueden derivar en resultados engañosos o erróneos.

- Muestra de red: entre los métodos propuestos se encuentra la enumeración completa de todos los nodos que la conforman, o los procedimientos aleatorios para seleccionar sólo algunos de ellos.

- Fuente de datos: entre los métodos para la obtención de datos encontramos las encuestas y formularios, los experimentos sociales, los archivos y las bases de datos.

- Calidad de los datos: cuando la recopilación de datos se realiza a través de encuestas, y para reducir la subjetividad, es preciso realizar procesos que garanticen la calidad de los datos obtenidos.

- Interpretación: la interpretación de los resultados debe basarse en medidas de la propia red, como su tamaño, los datos de centralidad de sus nodos y de centralización de la red, o el tamaño de sus enlaces.

La tercera de las metodologías recoge los pasos necesarios para la obtención de herramientas de visualización de dominios (Börner K et al., 2003):

- Extracción de los datos: a partir de la información de artículos de revistas recogida en bases de datos (*ISI*, *Inspec*, *Medline*), de patentes, de monografías, de proyectos de investigación, etc.

- Unidad de análisis: debe seleccionarse en función de la pregunta de investigación que se pretende resolver. Las más habituales son: revistas, autores, términos y códigos de clasificación.

- Unidad de medida: íntimamente ligada a la fase anterior, y dependiendo de ella han de seleccionarse las medidas, cuyas ocurrencias o coocurrencias, facilitarán la obtención de las matrices que darán origen y sentido a las visualizaciones posteriores.

- Reducción espacial: se completa el listado de herramientas propuesto por McCain con técnicas conexionistas (mapas autoorganizados) y con redes obtenidas a través de podas con el algoritmo *Pathfinder*.

- Visualización de información: el diseño de las visualizaciones de los datos obtenidos debe aplicar técnicas que permitan la interacción del usuario con los mapas a través de filtros, vistas panorámicas, aproximaciones o distorsiones que faciliten la búsqueda en los nuevos espacios de información.

Los mapas de la ciencia son herramientas ideales para conocer y comprender mejor los detalles de las asociaciones y los flujos de comunicación científica a partir de sus resultados de investigación, de la misma manera que en el mundo real, los mapas nos ayudan a conocer mejor nuestro entorno, dónde nos encontramos y qué nos rodea. El conocimiento de nuestro entorno aporta información que puede ayudarnos a predecir o anticipar cambios futuros, especialmente aquellos que se producen en nuestro ambiente más cercano (Boyack KW et al., 2005).

Nuestro objetivo a la hora de realizar mapas disciplinares es ayudar a los investigadores a conocer mejor su contexto de trabajo, permitiéndoles la posibilidad de navegar y desplazarse por él. Puesto que la mayor parte de las instituciones científicas se organizan en departamentos, la extracción de los mapas disciplinares de estas unidades administrativas de investigación serán el objetivo principal (junto con los autores que las configuran) de este trabajo.

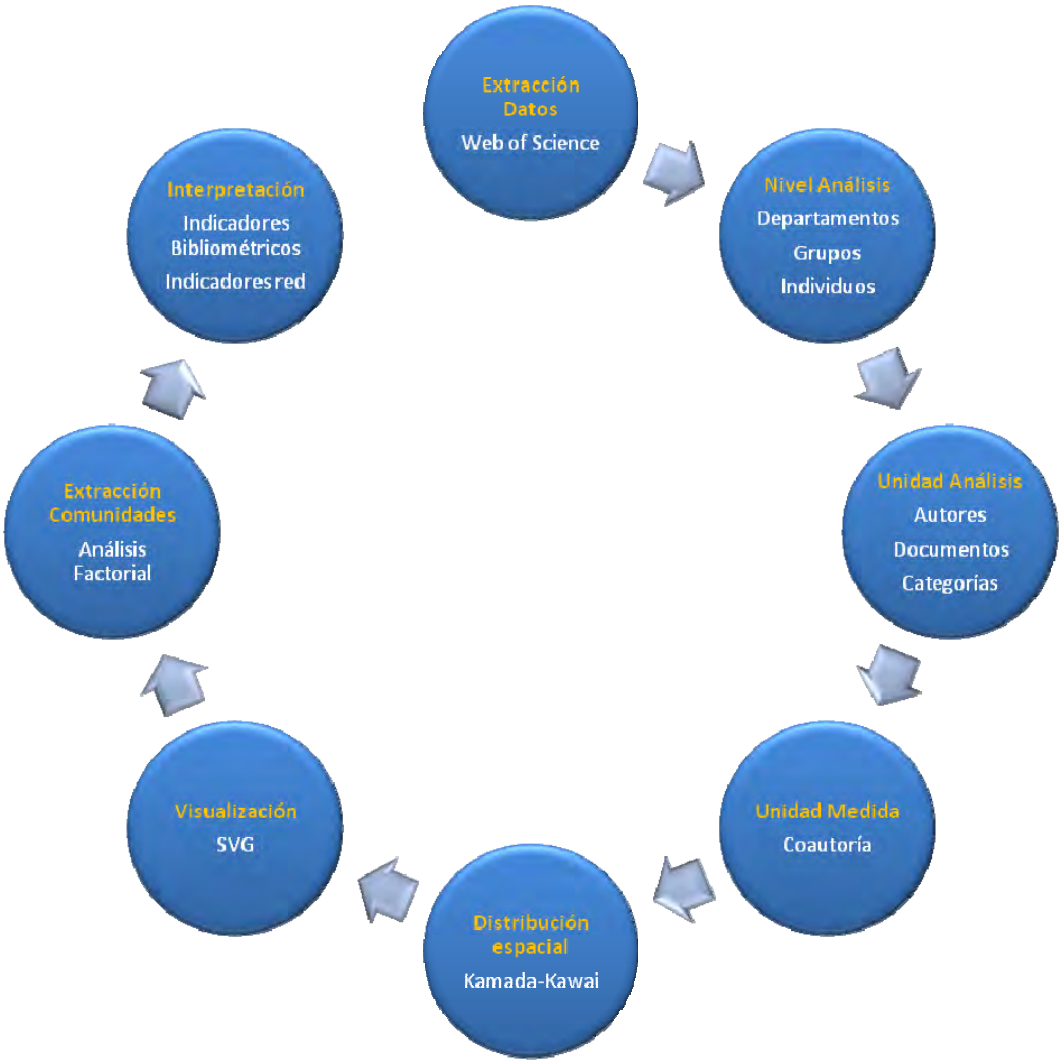



Figura 7.1. Nueva Metodología para la Visualización de Redes de Coautoría

Una vez descritos los métodos previos con aspectos parcialmente involucrados en el trabajo que pretendemos abordar, se hace necesaria la formulación de uno

capaz de englobar los tres enfoques precedentes, para lo cual proponemos el desarrollo de una nueva metodología convergente esquematizada en la figura 7.1.

## 7.2. NIVEL DE ANÁLISIS.

Los estudios basados tanto en redes, como en recuentos bibliométricos, pueden realizarse en diversos niveles de análisis (macro, meso, micro). Incluso estas aproximaciones, estructural y bibliométrica, se contemplan como una estrategia prometedora para la elaboración de investigaciones transversales en esos tres niveles. Por tanto, es preciso definir las estructuras sobre las que se realizará la comparación (individuos, grupos, instituciones, regiones). De esta manera, se hace explícita la necesidad de datos que contengan toda la información de los enlaces existentes entre los elementos de la comunidad analizada. Además, la enumeración detallada de la población es esencial para la aplicación de las técnicas analíticas que hacen uso de información relacional entre sus actores (Marsden PV, 1990).

Nuestro trabajo se centrará en el desarrollo de un análisis en el nivel micro, estrato en el que la obtención de indicadores bibliométricos se convierte en una tarea compleja que requiere grandes esfuerzos y que conlleva la máxima atención durante la extracción y normalización de los datos, el cálculo de los indicadores y la interpretación final de los resultados con el fin de garantizar su fiabilidad y credibilidad (Costas R y Bordons M, 2005).

Además, la descomposición de la estructura de una organización investigadora en términos de unidades reales, como departamentos o grupos de investigación, resulta a menudo problemática debido a que supone la comparación de datos bibliométricos (externos), con la estructura real (interna) de las distintas organizaciones. Para poder realizar esta comparación, son necesarios unos datos muy precisos de la composición interna de cada institución. A éstos problemas se unen los derivados de la propia dinámica de las unidades de investigación con el

transcurso de los años: creación, fusión o desaparición de departamentos o grupos, la incorporación de investigadores o su marcha a otros centros, etc. (van Raan AFJ, 2004).

En el capítulo anterior, dedicado a los materiales utilizados, hemos descrito las dificultades que supone, por ejemplo, la correcta identificación de los científicos en las publicaciones debido a la ausencia de normalización en los nombres de autores y centros.

## 7.3. UNIDAD DE ANÁLISIS.

Las unidades de análisis más habituales en la representación de dominios científicos son, tal y como hemos señalado en el apartado introductorio, documentos, autores, revistas, términos y categorías, aunque también pueden tomarse otras agregaciones superiores como regiones, países, agrupaciones temáticas o instituciones.

La elección de la unidad de análisis vendrá determinada por la profundidad que se pretenda lograr. Esa unidad de análisis también condicionará las distintas facetas de la representación del dominio, facilitando distintos tipos de análisis y formas de acceso a la misma (Vargas-Quesada B y Moya-Anegón F, 2007).

Aunque hasta ahora no han sido frecuentes las visualizaciones de dominios que conjugan de forma simultánea distintas unidades de análisis, comprobaremos que su elaboración es factible. Sí son habituales, en cambio, las sucesiones de visualizaciones de un mismo dominio, pero generadas a partir de distintas unidades de análisis. En este caso, las unidades con mayor capacidad de agregación se encargan de representar las estructuras generales de ese dominio, correspondiendo a las unidades con menor potencial aglutinador la elaboración de los niveles inferiores que poseen mayor grado de detalle (Grupo SCImago, 2004).

Un aspecto relacionado con las unidades de análisis que no debemos perder de vista es la cantidad de información disponible para la representación del dominio, puesto que la visualización de información en espacios reducidos y con baja resolución (por ejemplo la pantalla de un ordenador) presenta evidentes limitaciones físicas. Si el número de variables es reducido, tendremos ocasión de elaborar representaciones a partir de unidades menores como términos o descriptores. A medida que el número de variables aumenta, y dada la limitación física, habrá de tenerse en cuenta la utilización de unidades con mayor nivel de agregación: autores, documentos, revistas, categorías, regiones, países, etc. (Tufte ER, 1991), (Tufte ER, 1995).

## 7.4. UNIDAD DE MEDIDA.

La unidad de medida tiene por objeto la cuantificación de las relaciones existentes entre cada uno de los componentes de la unidad de análisis seleccionada, y el resto de miembros de su comunidad. El resultado, como veremos más adelante, supondrá la obtención de matrices de datos que serán las encargadas de revelar la topología de esas relaciones.

Son diversas las unidades de medida empleadas en los trabajos de visualización de información para revelar dicha topología de relaciones entre actores (siempre a partir de la base que otorgan las unidades de análisis sobre las que se trabaja), con el fin de poner de manifiesto la estructura intelectual o cognitiva que conforman: citación, emparejamiento bibliográfico, cocitación, o coautoría, entre otras. Esta última será la unidad de medida que emplearemos para revelar las estructuras subyacentes al conjunto de datos recopilado, y cuyo procedimiento hemos descrito en el capítulo anterior.

### 7.4.1. LA COAUTORÍA.

Por autor de un trabajo científico se entiende al creador de la información y del documento escrito. Por tanto, la creatividad intelectual y la originalidad son la base de la autoría científica.

Un documento científico se dice que está cofirmado si tiene más de un autor. Y será cofirmado institucionalmente si tiene más de un autor y cada uno de ellos pertenece a distinta institución, departamento, o cualquier otra unidad que se determine. Sin embargo, es necesario matizar aún más el significado de coautoría, entendiéndose por tal no sólo la aparición en el listado de los autores de una comunicación de resultados, sino la responsabilidad personal y compartida por cada uno de ellos respecto del contenido publicado. Debe, pues, deslindarse del concepto de multiautoría, en muchas ocasiones utilizada como sinónimo de coautoría, que no tiene la connotación de responsabilidad compartida (Vuckovic-Dekic L, 2003).

Durante años, las publicaciones con coautorías han sido empleadas como medida para conocer la actividad colaboradora (Okubo Y et al., 1992). Ziman observó el aumento de la incidencia de los documentos con varios autores y sugirió que esos documentos podían ser utilizados como medida de poder entre grupos de investigadores (Ziman JM, 1994).

La magnitud y naturaleza precisas de la colaboración no pueden determinarse fácilmente a partir de los métodos habituales (observación, entrevistas o cuestionarios), debido a la naturaleza compleja de la interacción humana que tiene lugar entre colaboradores a lo largo de un período de tiempo. Tanto la naturaleza como la magnitud de la contribución de cada colaborador pueden cambiar durante el transcurso del proyecto de investigación. Además, sólo pueden ser cuantificados algunos de los aspectos tangibles del trabajo en colaboración. A ello se une la

dificultad de realizar una evaluación cualitativa de la colaboración, debido a la relación indeterminada entre actividades cuantificables y contribuciones intangibles (Subramanyam K, 1983).

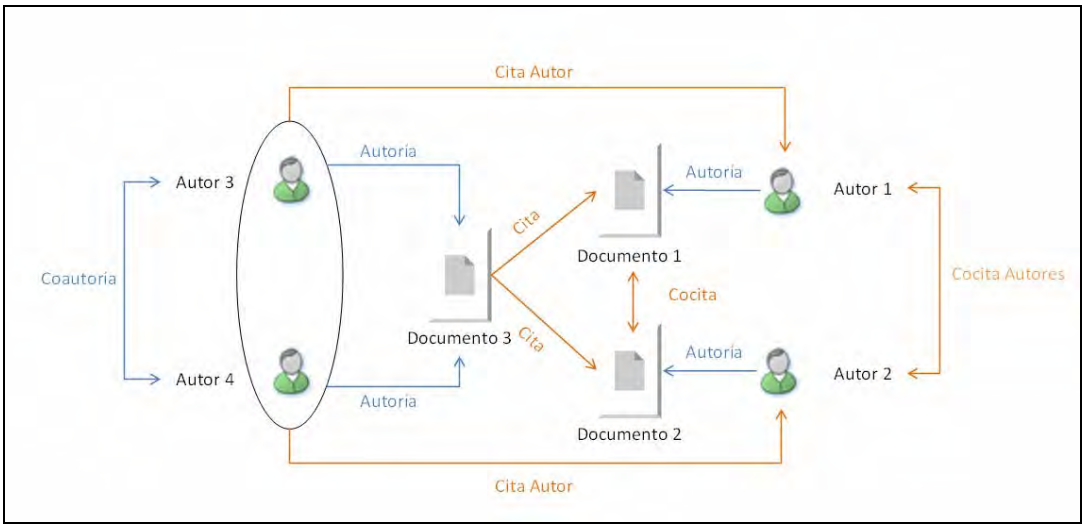



Figura 7.2. Esquema de redes simultáneas de autores y documentos

La utilización de la coautoría como indicador de colaboración científica requiere el establecimiento de una serie de cuestiones relativas a su validez. Por ejemplo, debemos tener presente que la colaboración no se da únicamente en artículos cofirmados, sino que puede traducirse en otro tipo de resultados como patentes, monografías, proyectos conjuntos, contratos de investigación o estancias en otros centros. Además, son diversas las formas de colaboración científica que un trabajo bibliométrico no es capaz de revelar, y para las cuales se hacen necesarias otras fuentes de información al margen de las empleadas habitualmente.

Por tanto, cuando inferimos colaboración a partir de coautoría, corremos el riesgo de olvidar otros tipos de colaboraciones o de establecer razones para la coautoría poco precisas. Consecuentemente, deberíamos emplear los datos de coautoría como un indicador genérico de colaboración, pero intentando recopilar otro tipo de datos que reduzcan la incertidumbre de sus conclusiones. En la práctica, no obstante, es difícil estimar la influencia de factores diversos que actúan sobre la

gran cantidad de artículos cofirmados con los que se trabaja, debiendo aceptar cierto nivel de incertidumbre en los resultados (Melin G y Persson O, 1996).

También existe un presupuesto generalizado por el cual el crecimiento observado de los trabajos con varios autores es una prueba del aumento de la colaboración científica. Sin embargo, la suposición de que todos los autores que firman un trabajo lo son es para varios investigadores discutible. En algunos casos la aparición conjunta se da exclusivamente por razones sociales, y no porque los autores sean responsables de alguna parte del trabajo[35].

La naturaleza compleja de la colaboración hace que el análisis bibliométrico de documentos con autoría múltiple deba ser utilizado sólo como indicador parcial de la actividad colaboradora. Por tanto, necesitamos ser conscientes de las limitaciones que supone el uso de coautoría para la evaluación de la colaboración, y tener siempre presentes al menos cuatro de estos inconvenientes:

- La coautoría sólo puede emplearse en aquellos trabajos que hayan sido publicados y en los que los autores incluyan sus nombres.

- Aunque esos documentos pueden utilizarse como medida de proximidad entre grupos de investigación a la hora de analizar la colaboración, sus resultados no ofrecen una descripción completa de la dinámica y actividades de las relaciones de colaboración.

- Las medidas bibliométricas tienen limitaciones en determinadas áreas científicas, debido al origen de los datos que se utilizan para su estudio. En el capítulo anterior hemos abordado algunos de los problemas de las bases

[35] La coautoría asume que todos los autores que aparecen en un artículo realmente lo son porque han formado parte del proceso investigador. Para algunos autores esto no siempre es así, puesto que en muchas ocasiones las firmas se incorporan a título honorífico o a través de los denominados autores fantasma, que se atribuyen el mérito de un trabajo en el que no han participado, mientras que los verdaderos autores ni siquiera aparecen (Laudel G, 2002), (Vuckovic-Dekic L, 2003). Estas situaciones vulnerarían, sin duda, las buenas prácticas científicas que deben regir el proceso investigador (European Science Foundation, 2000).

de datos utilizadas en este trabajo, sus ventajas respecto a otras, y las precauciones a la hora de extraer conclusiones a partir de los resultados que a partir de ellas se obtienen.

- Las técnicas bibliométricas tampoco son capaces de capturar otras formas de colaboración institucional distintas de las conseguidas en forma de resultados o logros científicos (artículos, monografías, premios, estancias, contratos, patentes, proyectos).

A pesar de las limitaciones de las medidas basadas en coautoría, muchos estudios han utilizado esta unidad para determinar la estructura de la colaboración científica y el estatus o la posición de los investigadores en el nivel individual. La coautoría supone vínculos sociales más fuertes que los basados en recuento de citas, puesto que implica el conocimiento mutuo de los autores y su coincidencia en el tiempo, por lo que sus relaciones tienen lugar en el ámbito del análisis de redes (Liu X et al., 2005).

Aunque la medición de la colaboración mediante coautoría no es perfecta, presenta numerosas ventajas: es invariable y verificable, puesto que permite el acceso al mismo conjunto de documentos a otros investigadores, facilitando la reproducción de resultados; es un método práctico y no muy costoso para cuantificar la colaboración; el tamaño de las muestras puede ser muy grande, permitiendo la obtención de resultados estadísticamente más significativos (Katz JS, 1992), (Katz JS y Martin BR, 1997), (Smith D y Katz JS, 2000).

La coautoría, además, cumple los requisitos expuestos por Klavans y Boyack como unidad de medida válida para la identificación de relaciones en mapas de la ciencia (Klavans R y Boyack KW, 2006):

- **Precisión:** se refiere a la habilidad de la medida para identificar correctamente las relaciones entre los distintos actores (en nuestro caso documentos, autores, y categorías). El concepto de precisión aplicado a las medidas para la detección de redes es idéntico al que se utiliza en recuperación de información. La evaluación de esa precisión puede realizarse localmente (la necesidad de que los nodos más parecidos se encuentren próximos), o de forma global (la necesidad de que los grupos de nodos similares se encuentren cercanos en el espacio físico compartido).

- **Cobertura:** es el porcentaje de actores representados en un umbral determinado (concepto similar al de exhaustividad en recuperación de información). La cobertura, por tanto, está relacionada con la aplicación de umbrales y su efecto sobre la precisión. Estos umbrales se utilizan para identificar las relaciones que existen en un determinado nivel de precisión. Los umbrales altos tienden a identificar las relaciones entre un número menor de actores, los umbrales bajos, en cambio, suelen incluir mayor número de actores pero suponen pérdida de precisión.

- **Escalabilidad:** referida a la propiedad de la medida para ser aplicada a un conjunto de datos con independencia de su tamaño. Algunas medidas no pueden utilizarse para analizar grandes volúmenes de datos o su coste de cálculo desde el punto de vista temporal es inaceptable.

- **Robustez:** cualidad de la medida para mantener la precisión una vez tratada con los algoritmos de visualización. Estos algoritmos se encargan de reducir la dimensión de los datos pudiendo afectar a la precisión de los mismos. Aunque las visualizaciones facilitan al usuario la extracción de conocimiento a partir de la estructura subyacente, esas abstracciones deben ser evaluadas para conocer el volumen de pérdida de precisión.

- **Validez:** para establecer la validez de los resultados relacionados con las técnicas de agrupación pueden emplearse dos técnicas. La primera se basa en el juicio de expertos en el área o disciplina estudiadas. La segunda emplea técnicas basadas en la similitud de los términos empleados o de las categorías temáticas en las que publican o las que citan los autores analizados.

### 7.4.2. TIPOS DE RECUENTO.

Para determinar cuantitativamente las contribuciones de los diferentes actores (autores, departamentos, instituciones, países) al sistema global, es necesaria la obtención de información que permita conocer la evolución de ese sistema. Para ello, es preciso el establecimiento de un método de recuento que facilite la obtención de la información para tal fin. Esa obtención de información sería muy sencilla si los resultados que se obtuvieran, con independencia del método de recuento elegido, fueran los mismos. La realidad, sin embargo, demuestra que los distintos métodos de recuento ofrecen resultados dispares. Por tanto, cualquier procedimiento de recuento debe considerarse una estimación de la contribución real de cada coautor (Egghe L et al., 2000).

Entre los procedimientos para el recuento de la coautoría, existen diversos métodos (Bassecoulard E et al., 2000), (Burrell QL y Rousseau R, 1995), (Egghe L et al., 2000), (Egghe L y Rousseau R, 1990), (Lee S y Bozeman B, 2005), (Rousseau R, 1992), (van Hooydonk G, 1997):

- **Recuento directo[36]:** este sistema sólo tiene en cuenta al primer autor, que es el que recibirá todo el crédito del documento.

[36] Este tipo de recuento también se denomina recuento del primer autor.

- **Recuento completo**[37]**:** número de autores (o cualquier otro tipo de agregado) que participan como coautores en publicaciones científicas. En el caso de un documento con cuatro autores, dos pertenecientes a una institución y otros dos a otras dos independientes, el recuento completo asignará 2, 1 y 1 documentos respectivamente a cada una de las tres instituciones participantes.

- **Recuento fraccionado**[38]**:** este método asigna la autoría dividiendo por el número de autores participantes (o cualquier otro tipo de agregado). En el caso de un documento con cinco autores, corresponderá a cada uno de ellos un 1/5 de la autoría.

- **Recuento ponderado**[39]**:** presupone que el orden de los autores refleja el nivel o grado de importancia de sus contribuciones, por lo que la mayor parte del crédito recae en el primer autor. El resto recibe su valor ponderado de manera descendente hasta el último de los firmantes. Siendo *R* la posición del autor y *A* el número total de colaboradores:

$$\frac{2}{A}\left(1-\frac{R}{A+1}\right)$$

- **Recuento geométrico puro:** este método también tiene en cuenta la posición de los coautores para estimar su contribución al trabajo:

$$\frac{2^{A-R}}{2^{A}-1}$$

[37] Puede aparecer en la literatura como directo, normal o íntegro.

[38] También recibe el nombre de recuento completo de tipo II. En el caso de un documento con cuatro autores, dos pertenecientes a una institución y otros dos a otras dos distintas, este tipo de recuento asignaría 1 documento a cada una de las instituciones firmantes, por lo que no tendría en cuenta el número de autores de cada una de ellas, sino únicamente el número de centros que participan (Matia K et al., 2005).

[39] Otros autores se refieren a él como recuento proporcional.

- **Noblesse obligue:** en este caso, el autor más importante es el que cierra la lista, y recibirá el 0.5 de la contribución total. El resto de autores recibirán un 1/(2(*A*-1)) por su contribución al trabajo.

Aunque es difícil encontrar consenso a la hora de aplicar un tipo de recuento de manera universal, y dado que la aplicación de un procedimiento no garantiza la verdad absoluta sobre la importancia relativa de los actores que conforman el sistema, es preferible el recuento completo por varias razones. En primer lugar, resulta más claro de interpretar desde el punto de vista del usuario. Por ejemplo, si el porcentaje de colaboración de un autor con otros extranjeros es del 10%, significa que de cada 100 artículos producidos por ese autor, 10 son firmados con autores de otros países. Por el contrario, resulta más difícil de comprender que según el método fraccionado, un autor tenga esa misma cantidad de artículos con colaboración internacional, ya que será el resultado de sumar un número indeterminado de trabajos.

Hay una segunda razón más importante. Al realizar el recuento de los trabajos por el método fraccionado, los coautores pierden valor a medida que aumenta el número de firmantes, adjudicándoles menor crédito (penalización de la colaboración).

Sin embargo, el recuento completo no está exento de inconvenientes. Su uso supone la duplicación de documentos, que hacen que los sumatorios sean superiores al total real de documentos. Aunque esas diferencias en los agregados respecto del total de documentos reales no son importantes, se aclarará esa circunstancia en caso necesario.

En definitiva, los resultados obtenidos mediante el procedimiento de recuento fraccionado son menos precisos que los que se obtienen a través del recuento

completo, precisión que desciende de manera proporcional al aumento del volumen de datos manejados (Braun T et al., 1985), (Okubo Y, 1997).

### 7.4.3. Obtención de los Valores de Coautoría y Generación de Matrices.

El cálculo de la coautoría, a partir de la base de datos generada como fuente secundaria para este trabajo, supone la obtención de una matriz de valores cuadrada o simétrica, es decir, con el mismo número de filas y columnas. Cada una de esas filas y columnas se encabeza con los nombres de los autores recuperados en las consultas correspondientes, produciendo una coincidencia recíproca y no direccional entre todos ellos.

La matriz resultante tendrá un tamaño de N por N, donde N es el número de autores que participan en la producción en colaboración de un determinado agregado (grupo, departamento, institución, región, país, etc.). Para evitar posibles desequilibrios provocados por los denominados bucles, o repetición del nombre de cada autor en el mismo trabajo, será necesaria la eliminación de los valores de la diagonal principal.

Para el desarrollo del resto de cálculos, análisis y visualizaciones emplearemos los valores absolutos de coautoría que garantizan la robustez de la medida. A este respecto son varios los autores que postulan que la incorporación de medidas de normalización (correlación de Pearson, función del coseno, etc.) produce distorsiones a la hora de distribuir la información en los espacios de información (Vargas-Quesada B y Moya-Anegón F, 2007), (White HD, 2003).

Leydesdorff es explícito en este sentido. Las medidas de similitud como el coeficiente de correlación de Pearson o la fórmula del coseno no deben aplicarse a matrices de coocurrencia simétricas, aunque sí son necesarias en el caso de matrices simétricas de ocurrencias para extraer los valores de proximidad que

permitan la aplicación posterior de técnicas de reducción espacial (Leydesdorff L y Vaughan L, 2006).

Por tanto, las medidas de normalización deben utilizarse sólo cuando las matrices sean asimétricas. Su aplicación a matrices simétricas, en cambio, resulta problemática. Esas medidas normalizadoras se emplearán para construir la matriz de proximidad en el caso de aquellos datos que no son medidas de proximidad. Puesto que una matriz de coocurrencias es ya de por sí una matriz de proximidad, no requiere ningún tipo de tratamiento que, de ser aplicado, lo único que producirá será la distorsión de los datos, de sus análisis y de sus representaciones.

## 7.5. TÉCNICAS DE ESQUEMATIZACIÓN.

Un paso previo a la distribución espacial de la información, que ha sido excluido a propósito de la metodología de convergencia expuesta, es la esquematización. El motivo de su descarte no es arbitrario, sino que obedece al tipo de redes, en función de su tamaño y densidad, empleadas en este estudio. Todas las que serán representadas contienen un máximo de 400 nodos, recibiendo la consideración de redes de tamaño medio (Börner K et al., 2007).

Este tipo de redes, como ya hemos señalado en el apartado dedicado a los Tipos de Redes, permiten representar la totalidad de sus nodos, de sus atributos y de sus etiquetas. Tampoco suelen presentar especiales problemas de visualización a la hora de mostrar todos sus enlaces, por lo que no requieren de métodos para la reducción de su número.

Sin embargo, no obviamos la necesidad de emplear estas técnicas de esquematización, centradas fundamentalmente en la disminución del número de enlaces de forma adecuada, para mostrar y preservar las principales relaciones entre los actores de la red, en redes cuya abundancia y tupición de enlaces

imposibilitan cualquier tipo de representación comprensible, con independencia del algoritmo de distribución espacial que se emplee.

En definitiva, las técnicas y algoritmos para la simplificación de información (entre ellos los más conocidos y utilizados son el algoritmo *Pathfinder Network* o PFnet[40] y el *Minimun Spanning Tree* o MST[41]), deberán ser incluidos en la metodología cuando su aplicación sea imprescindible en visualizaciones cuya densidad de enlaces sea tal, que resulten incapaces de cumplir los objetivos para los que han sido diseñadas.

[40] Sucintamente definido, el algoritmo PFnet es un método para la obtención de grafos a partir de datos de proximidad. Una red PFnet se obtiene eliminando las conexiones que sean mayores a la distancia mínima posible entre dos nodos, considerando todos los caminos que pasan por el resto de nodos. Esto reduce la red completa, que incluye todas las conexiones posibles, a una red con menos conexiones, pero mucho más informativa (sólo permanecen los nodos que son responsables de los caminos más económicos). Para evaluar la distancia entre nodos, en primer lugar es preciso recoger información acerca de las distancias/disimilitudes entre cada par. Para ello se emplean procedimientos de juicio de similitudes entre objetos, medición de las intersecciones entre grupos, o mediante el cálculo de diferencias entre pares de objetos. A continuación, es posible realizar transformaciones que conviertan datos de similitudes a distancias en caso necesario. En segundo lugar, la distancia entre dos nodos siguiendo un camino distinto al directo, se calcula atendiendo al parámetro denominado *r*. Así el peso de un camino con pesos $w_1, w_2, \ldots, w_k$ es:

$$W(P) = \left[ \sum_{i=1}^{k} w_i^r \right] \frac{1}{r}$$

Esta fórmula especifica la métrica *r* de distancias de Minkowsky. Un valor $r=1$ supone que la distancia de los caminos sea igual a la suma de los pesos entre pares. Un valor $r=2$ corresponde al cálculo de las distancias euclídeas. Para $r=\infty$, el peso del camino es igual al peso máximo asociado con cualquier conexión a lo largo del camino. Por su parte, el número de conexiones entre nodos se controla mediante el parámetro *q*. Este parámetro es un límite al número de conexiones que garantiza que la desigualdad triangular se mantiene en la red resultante. A medida que este valor asciende, el número de conexiones tiende a reducirse al irse produciendo más casos en los que esta igualdad no se cumple. Estos dos parámetros controlan indirectamente la densidad de las redes resultantes. Puesto que a *r* se le suele asignar un valor de $\infty$ y a *q* un valor $n-1$, en donde *n* es el conjunto de objetos o nodos, las redes resultantes sólo mantienen aquellas conexiones en las que los caminos no directos no contienen ningún peso superior al que conecta dos nodos directamente, es decir, la desigualdad triangular se cumple para todos los nodos. (Schvaneveldt RW, 1990), (Schvaneveldt RW et al., 1989).

[41] Dado un grafo conectado y no dirigido, su *Spanning Tree* (ST) será aquel subgrafo que cumpla la condición de "árbol" (ver apartado 5.3). Si bien un grafo puede contener distintos ST, mediante la asignación de pesos a los enlaces es posible obtener el MST. Su extracción en una red de *N* nodos consistirá en reducir el número de enlaces a $N-1$. En consecuencia, una red PFnet sería el equivalente al conjunto unión de todos los posibles MST de una red original (Chen C y Morris S, 2003).

## 7.6. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL.

Como acabamos de comprobar, las matrices de coocurrencias llevan implícita la carga de proximidad que garantiza su empleo para la elaboración de visualizaciones de información sin necesidad de aplicar medidas normalizadoras que corrijan las deficiencias en ese sentido. De la misma manera, tampoco precisan la aplicación de técnicas de esquematización para su posterior ubicación en espacios comprensibles y visibles al ojo humano.

Dicho de otro modo, las nuevas técnicas de visualización basadas en análisis de redes no analizan los atributos de las variables de los casos, sino que estudian los enlaces y la posición de los distintos actores en el espacio en función de esos enlaces. Hasta la llegada del análisis de redes, la complejidad de los fenómenos que rodean el trabajo científico obligaban a los investigadores a recoger gran cantidad de datos y medidas para intentar capturar esa naturaleza polifacética. Esto supuso la aplicación de métodos multivariantes[42] (o multivariables), con el fin de poder analizar esos amplios conjuntos de datos y resumirlos en formas y formatos comprensibles.

Las técnicas de visualización basadas en análisis de redes utilizan las matrices de similitud o distancia entre variables para representar y generar mapas en dos o tres dimensiones, en las que los nodos más parecidos aparecerán próximos, mientras que aquellos con menor relación se ubicarán a mayor distancia.

Aunque no existe normalización a la hora de aplicar estas técnicas de ordenación para la generación automática de representaciones gráficas, sí se han definido dos principios básicos para la distribución de las variables. El primero de ellos establece que es necesario reducir el número de cruces entre los enlaces. Cuanto menor sea

[42] Conjunto de métodos para el análisis de las relaciones existentes entre un gran número de medidas (atributos) de cada uno de los objetos o sujetos que conforman la muestra.

el número de cruces mayor será la calidad y claridad del grafo (Moreno JL, 1953). El segundo establece que la distribución de variables y enlaces debe distribuirse uniformemente en el espacio disponible. Pero, como podemos comprobar, ambos principios pueden considerarse inversamente proporcionales, es decir, la aplicación rigurosa del primero puede suponer la imposibilidad de aplicación del segundo, y viceversa. En definitiva, es necesario encontrar el equilibrio entre ambos principios en aras de garantizar una uniformidad suficiente que permita la comprensión de la visualización generada.

Los métodos para la generación automática de grafos son diversos: distribución en forma de árbol, grafos acíclicos dirigidos o distribuciones autoorganizadas. Sin embargo, los algoritmos más flexibles para la representación de grafos simples no dirigidos, utilizados preferentemente en estudios como el que nos ocupa, pertenecen a la clase denominada algoritmos de fuerza dirigida (*force-directed placement*) o muelles virtuales (*spring embedders*). Ambas son herramientas muy potentes para la generación automática de grafos.

Estos algoritmos calculan la distribución del grafo mediante la información contenida en su propia estructura. Así, definen funciones de energía (atracción y repulsión) de tal forma que las tensiones menores corresponderán a nodos adyacentes, situados a corta distancia los unos de los otros, y los nodos no adyacentes se situarán más alejados.

Tienen por objeto la elaboración de representaciones atractivas partiendo de los dos principios estéticos anteriormente definidos encargados de mejorar la comprensión sobre el grafo. Para la distribución de las posiciones en el espacio, estos algoritmos consideran a los nodos de la red conectados mediante muelles virtuales, cuya fuerza es igual a la suma de los enlaces existentes en todo el sistema (Baumgartner J et al., 2002). Tratan de reducir la tensión global de la red mediante

un proceso iterativo de posicionamiento de los nodos, hasta lograr la ubicación óptima y equilibrada de todos ellos (Leydesdorff L y Vaughan L, 2006).

Describiremos a continuación los dos algoritmos más conocidos y empleados para la distribución y visualización de información.

### 7.6.1. FRUCHTERMAN-REINGOLD.

Este algoritmo se basa en la aproximación empírica de fuerza dirigida para la ubicación de los nodos. Su idea básica consiste en calcular las fuerzas de atracción y repulsión de cada nodo de manera independiente, actualizándola de forma iterativa para todos ellos. Equipara el grafo a un sistema mecánico en el que los nodos son anillos cargados eléctricamente y los enlaces son las fuerzas de atracción y repulsión encargadas de posicionarlos. Los nodos similares serán atraídos, mientras que los más disímiles se posicionarán a mayor distancia. El cálculo iterado de esas fuerzas concluirá cuando el sistema logre su reducción máxima (Fruchterman TMJ y Reingold EM, 1991):

$$f_a(x) = \frac{x^2}{k}$$

Fuerza de atracción

$$f_r(x) = \frac{k^2}{x}$$

Fuerza de repulsión

Donde $k = \sqrt{\frac{area}{|V|}}$

### 7.6.2. KAMADA-KAWAI.

Este algoritmo no restringe la posición de los vértices unidos mediante enlaces en forma de línea recta. Por tanto, su propósito es el cálculo de la posición apropiada para cada vértice dentro del sistema.

Frente al anterior, el algoritmo Kamada-Kawai considera también a los nodos como anillos, pero esta vez la fuerza que controla los enlaces utiliza no la metáfora de atracción-repulsión, sino la de un sistema virtual de muelles. Como en el caso anterior, también se calcula la evolución individual de cada nodo. Inicialmente se toma como referencia el vértice que más energía acumula, dejando evolucionar a su alrededor al resto. La repetición recurrente de esta operación se realiza hasta que todos los nodos se encuentran en la posición óptima que garantiza la tensión mínima entre todos los muelles del sistema, y por tanto el equilibrio de fuerzas de todo el conjunto (Kamada T y Kawai S, 1989):

$$E = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^{n} \frac{1}{2} k_{i,j} \left( \left| p_i - p_j \right| - l_{ij} \right)^2$$

Donde p es la posición de cada vértice, $l_{ij}$ es la longitud más corta deseable entre los dos vértices (L) y $d_{ij}$ la distancia entre ellos: $l_{ij} = L \times d_{ij}$

### 7.6.3. Selección del Algoritmo.

Puesto que ambos algoritmos producen estructuras visuales similares, la elección de uno u otro debe basarse en criterios estéticos. En este sentido, la simetría, la distribución uniforme de nodos, la longitud homogénea de enlaces, así como la reducción de cruces entre estos últimos, resultan fundamentales para lograr grafos visualmente atractivos y comprensibles.

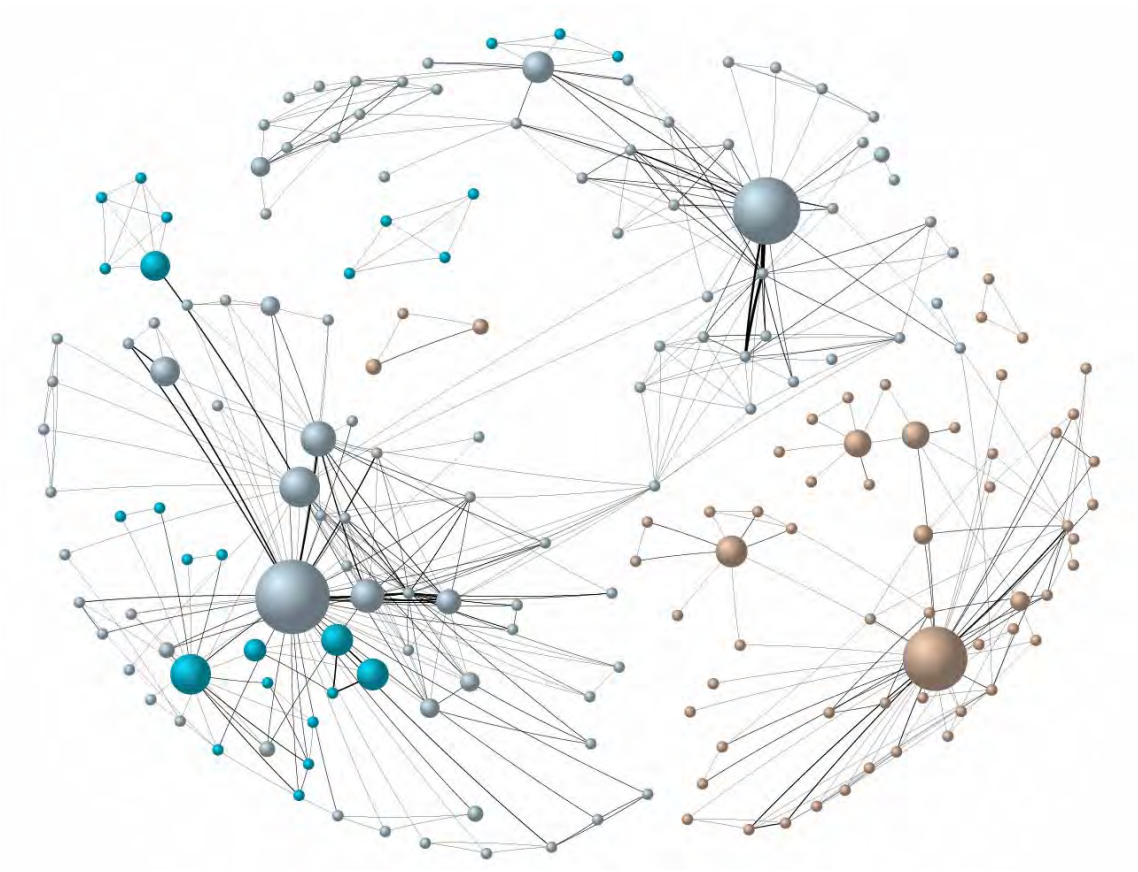


Figura 7.3. Red departamental con algoritmo Fruchterman-Reingold

Las figuras 7.3, y 7.4 muestran la misma estructura departamental. Ambas cumplen los principios y requisitos establecidos para la correcta representación de información, e incluyen variaciones relativas a tamaños, colores y grosores de enlaces. Sin embargo, la realizada con el algoritmo Fruchterman-Reingold presenta una visualización elíptica con distribución radial de nodos, donde aquellos con mayores relaciones ocupan la parte central de la representación, mientras que los menos vinculados lo hacen en la periferia. En representaciones como las de la muestra, en la que son pocos los nodos muy enlazados y muchos los poco vinculados, se produce un desequilibrio espacial entre el vacío central y la aglomeración periférica.

La representación realizada mediante el algoritmo Kamada-Kawai, por su parte, presenta una red extendida en el plano, que aprovecha mejor el espacio

disponible, con mejor legibilidad y en la que es más fácil evitar los solapamientos de nodos o los cruces entre enlaces.

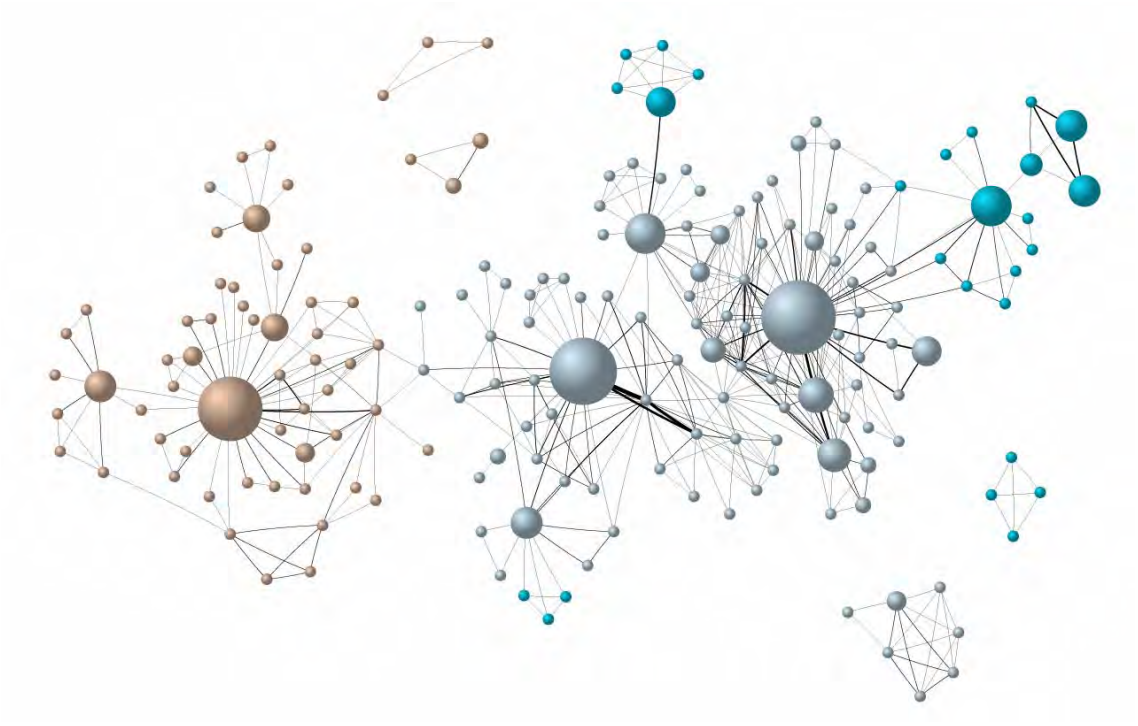


Figura 7.4. Red departamental con algoritmo Kamada-Kawai

Como acabamos de comprobar gráfica y visualmente, la aplicación del algoritmo Kamada-Kawai suele ofrecer representaciones más claras y fáciles de comprender, erigiéndole como el algoritmo predilecto para la realización de visualizaciones de dominios científicos (Börner K et al., 2003).

Además, entre sus cualidades destacan su comportamiento ante mínimos locales, su tendencia a minimizar las diferencias con las distancias teóricas y la reducción de los tiempos necesarios para su cómputo (Vargas-Quesada B y Moya-Anegón F, 2007):

- Es un algoritmo sencillo pero apropiado para la generación automática de grafos con un coste computacional bajo.

- Obtiene buenos resultados en grafos con cientos de vértices en un tiempo razonable.

- La distribución de vértices en el espacio sitúa más próximos a los más similares, ubicando a los que no lo son a mayor distancia.

- Permite la incorporación de variaciones: el volumen de los nodos, el grosor de los enlaces o su longitud, entre otras.

La primera de las variaciones posibles está relacionada con el tamaño de los nodos. A cada uno de ellos le corresponde un tamaño proporcional al volumen de producción en el dominio representado. De esta manera es fácil interpretar a simple vista que los nodos con mayor producción se corresponden con las figuras de mayor tamaño, y viceversa.

La segunda variación afecta al grosor de los enlaces. Con esta modificación se aumenta la capacidad informativa de las representaciones. En este caso la interpretación a simple vista permitirá detectar el grado de relación entre actores en función del espesor del enlace, siendo más ancho y oscuro cuanto mayor sea esa relación.

La tercera variación concierne al color de los nodos. En función de la partición (departamento, posición académica, categoría temática, sexo) en la que se encuentre el usuario, el color ayudará a distinguir a primera vista los nodos pertenecientes a una u otra división.

Todas estas variaciones tratan de cubrir los preceptos necesarios para la correcta construcción de grafos (Moreno JL, 1953):

- Uso del color para diferenciar a los actores.

- Empleo de formas o tamaños variados de los nodos para facilitar la comunicación de características propias de cada actor.

- La posición de los vértices y el tamaño de los enlaces informará acerca de su importancia estructural.

Las ventajas del algoritmo y las modificaciones añadidas permiten la obtención de representaciones claras, legibles, atractivas y comprensibles.

## 7.7. GENERACIÓN DE VISUALIZACIONES DE INFORMACIÓN.

Una vez obtenidas las representaciones gráficas de las matrices de coocurrencias, la siguiente etapa de esta metodología se centra en la generación de visualizaciones fácilmente comprensibles, intuitivas, eficaces y adecuadas a la realidad, y siempre teniendo en cuenta el usuario al que se dirigen, por lo que es preciso conocer aspectos como (Börner K et al., 2007):

- Quiénes son nuestros usuarios (profesión, ubicación, sexo, edad).
- Cuál es su nivel de conocimientos técnicos.
- Cuál es el contexto en el que se aplica la visualización: contexto social y físico de los usuarios. Deben tenerse en cuenta cuestiones como el tamaño y resolución de las pantallas, la calidad del color, las plataformas que utilizan, etc.
- Cuáles son los escenarios de uso de la visualización.
- Cuáles son las necesidades de los usuarios (conocimiento, descubrimientos, comunicación) que deben ser cubiertas por la visualización.

Tal y como hemos señalado en el apartado dedicado a Visualización de Información, ésta, como acto de transferencia de conocimiento en respuesta a un

mundo real multifacético, tiene la capacidad de mejorar la interacción del ser humano con ingentes volúmenes de información y ayudar a los investigadores a detectar las estructuras que subyacen en las distintas disciplinas.

Surge, por tanto, el desafío de realizar esa transferencia de forma adecuada y para la que no existe un formato de presentación predominante en los estudios clásicos dedicados a la visualización de información. El repertorio de formatos es muy variado: GIF, JPEG, Postcript, VRML, PDF. Puesto que hemos de tener presentes todos los requisitos sugeridos en el capítulo cuatro, para la obtención de representaciones de calidad con reducido tamaño en bytes que faciliten su rápido transporte por la red y contengan los mecanismos de animación suficientes, los gráficos vectoriales son la solución más adecuada.

### 7.7.1. Los Gráficos Vectoriales.

Los gráficos vectoriales, también conocidos como gráficos orientados a objetos, almacenan y representan las imágenes por medio de trazos geométricos controlados a través de cálculos y fórmulas matemáticas. Por lo tanto, no construyen las imágenes píxel a píxel, sino que las forman a partir de objetos formados por una serie de puntos y líneas rectas o curvas definidas matemáticamente (vectores). Debido a su naturaleza matemática, al modificar la escala de un gráfico vectorial, bien sea por su ampliación o bien por su reducción, su calidad (resolución) no se ve afectada, puesto que las ecuaciones que lo describen son nuevamente calculadas de forma automática para evitar distorsiones.

### 7.7.2. Scalable Vector Graphics.

De los distintos formatos de gráficos vectoriales disponibles, el auspiciado por el *World Wide Web Consortium*, y conocido como *Scalable Vector Graphics* (SVG), es

el que presenta mayores ventajas frente al resto, fundamentalmente basadas en su independencia de intereses (respecto a formatos propietarios como el *Flash* de *Macromedia*), y su perfecta integración en el entorno Web, al tratarse de una aplicación del *eXtensible Markup Language* (XML).

La especificación SVG 1.2 de abril de 2005 ofrece las mismas funcionalidades gráficas y de animación que cualquier otro sistema propietario, además de incluir características adicionales enriquecidas por su parentesco con XML. Si a ello unimos la independencia de plataforma que supone su uso, es fácil de entender el apoyo que ha recibido por parte de las principales compañías del sector (*Adobe*, *Canon*, *France Telecom*, *Nokia*, *Sharp* o *Sun Microsystems*, entre otras) para su desarrollo, implementación, mejora y actualización (W3C, 2005).

Los desarrollos SVG se aplican: a tecnologías de telefonía móvil, como formato gráfico para el intercambio de mensajes multimedia en los terminales de tercera generación; en imprenta, para elaborar un formato de impresión similar al Postcript o al PDF (*SVG Print*); en aplicaciones Web, para el desarrollo de plataformas, aplicaciones gráficas e interfaces de usuario; como formato de intercambio entre aplicaciones gráficas de diseño asistido por ordenador (CAD); o en sistemas de información geográfica (SIG) como complemento a los formatos del *Open Geospatial Consortium* (OGC).

Entre las ventajas que presenta el formato SVG, frente a otros formatos gráficos, vectoriales o de mapas de bits, cabe destacar (Rathert NA, 2005):

- Su origen XML, permite la compatibilidad con cualquier programa que reconozca este lenguaje de marcas.

- El tamaño de este tipo de ficheros es menor que sus equivalentes codificados en mapas de bits.

- Permite representar gráficos vectoriales, imágenes y texto.

- Permite modificar el tamaño de las imágenes y de sus objetos sin que se produzca pérdida de información, pues actualiza de forma matemática las nuevas relaciones y posiciones de los elementos geométricos que lo componen. Con ello, los cambios de tamaño de las imágenes vectoriales no afectan a la calidad de las mismas, apareciendo siempre con la misma nitidez.

- Es posible un control independiente del color, tanto del contorno como del relleno, admitiendo la aplicación de texturas, degradados o transparencias.

- Permiten un manejo avanzado de textos, ya que admiten fuentes TrueType, que también son objetos vectoriales. Además, las letras se pueden convertir en imágenes digitales mediante la descomposición del texto en los objetos vectoriales que lo constituyen. Una vez convertidas las letras en objetos, ya no hará falta tener instalada la fuente para seguir editando los contornos, porque ya no serán letras, sino objetos dentro del gráfico vectorial, pudiendo ser modificadas como tales.

- Pueden generarse de forma dinámica en un servidor Web como respuesta a instrucciones en distintos lenguajes: Java, JavaScript, Perl, ASP, PHP, etc.

### 7.7.3. VISUALIZACIONES INTERACTIVAS.

El formato SVG presenta las soluciones necesarias a los retos de innovación planteados por Latour en el apartado dedicado al concepto de visualización. Este formato vectorial nos permite generar representaciones móviles, inmutables,

capaces de ser dominadas en el plano, escalables, reproducibles, combinables y que pueden incorporarse al texto escrito.

Pero también permite solucionar las cuestiones relativas a la manipulación, el tratamiento y la gestión de las visualizaciones (manipulación directa, desplazamiento, rotación y ampliación o reducción).

La metáfora elegida, a modo de mapa estelar, las ayudas en forma de colores, formas, grosores y tamaños, la incorporación de etiquetas, leyendas y pequeñas explicaciones, la distribución ordenada de la información en el espacio disponible, las posibilidades de navegación e interacción mediante zoom, filtros o demanda de detalles a medida, la elaboración de distintas particiones, y el empleo de distintas ventanas temporales; garantizan la credibilidad de la información presentada, la facilidad de búsqueda, la obtención de distintas perspectivas de una misma realidad, el control sobre la evolución temporal, la eliminación de las distorsiones de los datos originales, la presentación de gran cantidad de información coherente en un espacio limitado y la navegación por distintos niveles de detalle.

## 7.8. EXTRACCIÓN DE COMUNIDADES.

En el apartado dedicado a la detección de comunidades hemos realizado una exhaustiva revisión de la literatura referida a las técnicas y herramientas utilizadas para la localización de subconjuntos de nodos fuertemente entrelazados entre sí, las denominadas comunidades. Estos procesos tienen por objeto el análisis de las propiedades de esas estructuras para revelar y conocer con el mayor grado de detalle posible sus formas de organización, la naturaleza de sus flujos de información y sus funciones internas dentro del sistema complejo del que forman parte, pero también para su comparación con otros similares.

Los métodos existentes para hallar comunidades en grandes redes son útiles si la estructura de comunidad ha de interpretarse en términos de conjuntos de comunidades separadas. Sin embargo, la mayor parte de las redes del mundo real se caracterizan por contener comunidades muy entrelazadas y solapadas. Además, los miembros de esas comunidades tienen a su vez las suyas propias, configurando una intrincada red entre todos ellos (Palla G et al., 2005).

Estos métodos y algoritmos, por tanto, tratan de detectar o extraer esas comunidades para que, posteriormente, puedan ser identificadas y caracterizadas. La mayor parte de ellos proceden de campos como la Física o las Matemáticas y realizan la extracción mediante técnicas automáticas que se han mostrado poco eficaces hasta la fecha, ya que en unos casos, requieren el conocimiento de determinados valores a priori, mientras que en otros, es preciso indicar cuando debe detenerse la extracción. Muchos de ellos son tremendamente invasivos, transformando la apariencia de la red original, bien por convertirla en un grafo distinto, bien por la eliminación sistemática de enlaces. Además, suelen forzar la pertenencia de las variables a un único factor.

Aunque los avances para la resolución de estos inconvenientes son constantes, y su utilización futura augura resultados excelentes, en este trabajo hemos optado por un análisis procedente de las Ciencias Sociales, muy contrastado y que ofrece resultados extraordinarios: el Análisis Factorial.

La justificación de su uso para la identificación de comunidades radica en que es posible definir los subgrupos en función de la estructura de elección de sus enlaces, o lo que es lo mismo, basándonos en la premisa de que los miembros de cada uno de ellos tienden a elegir a los mismos colaboradores y a ser elegidos por los mismos autores. Por tanto, la pertenencia a un subgrupo se establecerá en función de las similitudes de elección dadas y recibidas por cada autor. Estas condiciones hacen que las elecciones muestren tendencia a la reciprocidad, y que los factores

obtenidos y rotados permitan obtener una estructura simple. Debemos enfatizar, por tanto, que la noción de subgrupo propuesta no es un espacio único común en el que todos los participantes se alcanzan los unos a los otros. Los miembros de cada subgrupo compartirán una estructura perceptiva distintiva respecto de su trabajo, que se corresponderá con una dimensión diferente en el espacio factorial en cada una de las comunidades resultantes (MacRae D, 1960).

En resumen, el análisis factorial permite la localización de las distintas comunidades de la red a través del análisis de los componentes de la matriz original en redes no dirigidas y sin enlaces ponderados. Posteriormente, será posible identificar y agregar los subgrupos en función de características comunes. En este sentido, es importante enfatizar el hecho de que si una determinada característica (el trabajo en una misma especialidad, por ejemplo), es relevante en la elección de autorías, no hay ningún impedimento para que existan dos o más subgrupos en torno a esa característica común, pero en factores distintos.

### 7.8.1. Definición de Análisis Factorial.

El análisis factorial tiene como objeto la simplificación de las múltiples y complejas relaciones que puedan existir entre un conjunto de variables observadas. Para ello trata de encontrar las dimensiones comunes o factores que pongan en relación a esas variables aparentemente no relacionadas. Concretamente, trata de encontrar un conjunto de factores latentes o no directamente observables, que expliquen suficientemente las variables observadas con el mínimo de información posible, de modo que sean fácilmente interpretables (principio de interpretación) y que sean los menos posibles (principio de parsimonia). Además, los factores han de extraerse de forma que resulten independientes entre sí, es decir, que sean ortogonales. En consecuencia, el análisis factorial es una técnica de reducción de datos que examina la interdependencia de variables y proporciona conocimiento

acerca de la estructura subyacente de los datos (Peña-Sánchez D, 2002), (Pérez López C, 2005).

Por tanto, la razón fundamental para la utilización del análisis factorial es la necesidad de conocer qué construcciones pueden usarse para explicar las correlaciones entre el conjunto de variables de que se dispone (Visauta Vinacua B y Martori i Cañas JC, 2003).

Las distintas fases del análisis factorial son:

i) Selección de las variables.
ii) Cálculo de la matriz de correlaciones entre las variables.
iii) Extracción de los factores.
iv) Rotación de los factores para su mejor comprensión.
v) Interpretación de la matriz de factores rotados.

### 7.8.2. CÁLCULO DE LA MATRIZ DE CORRELACIONES.

El análisis factorial propiamente dicho comienza con una matriz de coeficientes de correlación entre las variables de datos previamente seleccionadas que pretendemos analizar.

Cuando la matriz contiene coeficientes de correlación sustanciales, nos encontramos ante el hecho de que las variables implicadas están relacionadas mutuamente. El análisis factorial proporciona un medio para estudiar estas interrelaciones postulando la existencia de factores subyacentes o construcciones factoriales que explican los valores que aparecen en la matriz de correlaciones entre las variables. Estas construcciones factoriales son variables que suelen resultar más útiles que las originales de las que han sido derivadas (Comrey AL, 1985).

### 7.8.3. EXTRACCIÓN DE LOS FACTORES.

Una vez calculada la matriz de correlaciones, el paso siguiente consiste en determinar cuántas construcciones factoriales se necesitan para explicar la estructura de los valores hallados en la matriz. Para ello se realiza un proceso denominado extracción factorial, que constituye el tercer paso importante en el análisis factorial. Este proceso implica un procedimiento numérico que usa la totalidad de los coeficientes de la matriz para producir una columna de coeficientes que relacionan las variables incluidas en el análisis factorial con una construcción factorial hipotética. El procedimiento usual seguido consiste en extraer factores de la matriz de correlaciones hasta que no exista varianza apreciable, esto es, hasta que las correlaciones residuales sean todas tan próximas a cero que se presuma que poseen un significado despreciable.

En nuestro caso utilizaremos el denominado método de Componentes Principales, que consiste en llevar a cabo una combinación lineal de todas las variables de modo que el primer componente principal sea una combinación que explique la mayor proporción de varianza total de la muestra, el segundo la segunda mayor y que a su vez carezca de correlación con el primero, y así sucesivamente hasta tantos componentes como variables existan. O lo que es lo mismo, reducir un número de variables con correlación inicial a un número inferior de factores no correlacionados que las agrupen y que tengan sentido y significado por sí mismos.

Su diferencia fundamental respecto al análisis factorial radica en que éste último trata de encontrar variables sintéticas latentes, que no pueden ser observadas y aún no medidas, cuya existencia puede intuirse a priori a partir de las variables originales y que permanecen a la espera de ser halladas. Por su parte, el análisis de componentes principales obtiene variables sintéticas que son combinación de las

originales y cuyo cálculo es posible basándose en aspectos matemáticos independientes de su interpretación práctica.

Los coeficientes utilizados para expresar cada variable se conocen también con el nombre de pesos, cargas, ponderaciones o saturaciones factoriales ya que nos indican la carga de cada variable en cada factor, de modo que los factores con unos pesos factoriales más elevados en términos absolutos, nos indican una relación mayor con las variables. El modelo ideal desde el punto de vista del análisis factorial es aquel en el que todas las variables saturan en algún factor, es decir, que sus pesos factoriales son altos en uno y bajos en el resto (Visauta Vinacua B y Martori i Cañas JC, 2003).

### 7.8.4. Rotación de los Factores.

Una vez extraídos los factores que se necesitan para dar cuenta de las correlaciones de la matriz, los valores son ordenados en una tabla a la que se denomina matriz de pesos no rotados. Sin embargo, el análisis factorial no termina con la extracción de los factores y la preparación de una tabla de pesos factoriales. Aunque esta tabla da una solución basada en construcciones factoriales aceptables desde el punto de vista matemático, estas construcciones no suelen utilizarse porque la mayor parte de los métodos de extracción están diseñados para extraer la mayor varianza posible con cada factor sucesivo, lo que da lugar a una fuerte disminución de la magnitud de los factores desde el primero hasta el último, derivando en construcciones factoriales altamente complejas.

El análisis factorial persigue que los factores comunes tengan una interpretación clara, porque de esa forma se analizan mejor las interrelaciones existentes entre las variables originales. Sin embargo, en muy pocas ocasiones resulta fácil encontrar una interpretación adecuada de los factores iniciales, con independencia del método que se haya utilizado para su extracción. Afortunadamente, es posible la

rotación de la matriz factorial a otra forma equivalente matemáticamente de la matriz original no rotada. Estos procedimientos de rotación de factores se han ideado para obtener, a partir de la solución inicial, unos factores que sean fácilmente interpretables.

Dentro de los procedimientos ortogonales, el más utilizado, y por el que hemos optado, es el *VARIMAX*, que trata de minimizar el número de variables con pesos o saturaciones elevadas en cada factor. En este sentido, facilita la interpretación de los factores si los que afectan a algunas variables no lo hacen a otras, y viceversa. Este objetivo conduce al criterio de maximizar la varianza de los coeficientes que definen los efectos de cada factor sobre las variables observadas. O dicho de otro modo, es un método de rotación ortogonal que minimiza el número de variables que tienen saturaciones altas en cada factor, simplificando, así, su interpretación.

### 7.8.5. INTERPRETACIÓN DE LOS FACTORES.

El último paso, tras el cálculo de las correlaciones, la extracción de los factores no rotados y la rotación de los factores, es la interpretación del significado de esos factores a partir de los conocimientos existentes sobre las variables y cualquier otra información pertinente de la que se disponga, con el objetivo de hallar el nombre apropiado para cada factor identificado.

El número total de factores que es posible extraer es igual al número de variables de la muestra. Pero, debido a la necesidad de reducir el número de dimensiones para poder dotar de significado a la información obtenida, sólo se tendrán en cuenta aquellos factores que superen un determinado umbral de corte. Este valor expresará el porcentaje de varianza acumulada por cada factor (eigenvalue) respecto del total. Es habitual que los primeros factores acumulen mayor porcentaje de varianza, tal y como hemos descrito en el método de componentes principales, lo que significa que son capaces de representar por sí solos la totalidad

del espacio n-dimensional. El resto de factores residuales acumulan varianzas muy bajas por lo que pueden ser desestimados, aunque ello suponga cierta pérdida de información. En la tabla 7.2 se recogen los umbrales de varianza acumulada y su validez para la interpretación de los resultados:

Tabla 7.1. Umbrales de varianza acumulada (Visauta, 2003)

| **Porcentaje de varianza acumulada** | **Validez de interpretación** |
|---|---|
| Entre 100 y 90% | Excelente |
| Entre 89 y 80% | Buena |
| Entre 79 y 70% | Aceptable |
| Entre 69 y 60% | Regular |
| Entre 69 y 50% | Mala |
| Menores del 50% | Inaceptable |

### 7.8.6. Objetivos y Usos del Análisis Factorial.

El análisis factorial ha sido frecuentemente utilizado como herramienta para la representación de información (Chen C et al., 2001), (Chen C y Carr L, 1999b), (Chen C y Carr L, 1999a), (Chen C y Paul RJ, 2001), (Ding Y et al., 2000), (McCain KW, 1990), (White HD y McCain KW, 1997). En el caso que nos ocupa, se empleará, desde el punto de vista de la visualización de dominios, para la detección e identificación de especialidades de investigación de las distintas comunidades analizadas (Moya-Anegón F et al., 1998), (Vargas-Quesada B y Moya-Anegón F, 2007).

## 7.9. Interpretación de Resultados.

En este trabajo utilizaremos un conjunto de indicadores que pueden agruparse en cuatro grandes bloques:

- Indicadores para la dimensión cuantitativa de la producción científica.
- Indicadores para la dimensión cualitativa de la producción científica.

- Indicadores de colaboración.
- Indicadores para la dimensión estructural y de redes.

Tabla 7.2. Listado de indicadores para la interpretación de resultados

| **Indicadores para la Dimensión Cuantitativa de la Producción Científica** | |
|---|---|
| Ndoc | Número de Publicaciones (de cualquier tipo) |
| Artículos | Número de Artículos Científicos (producción primaria) |
| **Indicadores para Dimensión Cualitativa de la Producción Científica** | |
| FITN | Factor de Impacto Tipificado Normalizado |
| PI | Potencial Investigador |
| Citas | Número de Citas Observadas |
| **Indicadores de Colaboración Científica** | |
| Ndoc en col | Publicaciones en Colaboración |
| Ind. Coaut | Índice de Coautoría |
| Ndoc Internacional | Publicaciones en Colaboración Internacional |
| **Indicadores para la Dimensión Estructural y de Redes** | |
| Medidas de Centralidad y Centralización | |
| Densidad | |
| Coeficiente de Agrupamiento | |
| Índice de Popularidad | |
| Índice de Prestigio | |

### 7.9.1. INDICADORES PARA LA DIMENSIÓN CUANTITATIVA DE LA PRODUCCIÓN CIENTÍFICA.

El conjunto de indicadores para conocer los aspectos cuantitativos de los resultados científicos de la producción de la UC3M, se basan en el recuento de publicaciones. Partimos del principio de que en circunstancias equivalentes, un mayor número de trabajos publicados en un agregado implica una mayor cantidad de resultados científicos.

#### 7.9.1.1. Indicador Ndoc.

Señala el número de documentos de cualquier tipo, en los que interviene un autor perteneciente al agregado analizado, recogidos en las bases de datos del *Web of*

*Science*: *Science Citation Index* (SCI), *Social Science Citation Index* (SSCI) y *Arts & Humanities Citation Index* (A&HCI).

Con este indicador se mide, desde una perspectiva general, el volumen de producción institucional con visibilidad internacional. No son recomendables las comparaciones cuando se realiza una segregación de este indicador por distintas áreas temáticas, facultades o departamentos, ya que cada una de ellas tiene sus propias características en cuanto a sus ciclos productivos, hecho que afecta de forma considerable a los resultados finales obtenidos.

$$Ndoc = doc_1 + doc_2 + ... + doc_n$$

#### 7.9.1.2. Indicador Artículos.

Este indicador sólo tendrá en cuenta aquellos documentos cuyo tipo documental sea el de artículo científico[43], es decir aquel cuyo propósito principal es la presentación o discusión de datos científicos, teorías, métodos, aparatos o experimentos. Este conjunto de documentos comparte la característica de ser el modo básico de expresión para transmitir el nuevo conocimiento (Okubo Y, 1997).

### 7.9.2. Indicadores para la Dimensión Cualitativa de la Producción Científica.

La calidad científica es una dimensión con múltiples facetas, aspectos y atributos y, además, muy controvertida a la hora de ser medida mediante indicadores. En este trabajo entendemos por calidad, el impacto esperado de un trabajo, heredado del impacto asignado a la revista en la que es publicado, y el impacto observado, obtenido a partir del recuento total de citas recibidas por ese trabajo.

[43] Diversos autores se refieren a este indicador como documentos de primer orden, producción primaria, documentos relevantes, literatura citable, o producción citable (Moya-Anegón F, 2004a), (Schubert A et al., 1988).

#### 7.9.2.1. Indicador FITN.

El impacto esperado se obtiene a partir del Factor de Impacto (FI), valor que se obtiene de dividir el total de citas recibidas por los artículos publicados en una revista recogida en las bases del *Web of Science* durante dos años, entre el número de artículos publicados en esa revista en el mismo período. Es decir, es el número medio de citas recibidas por año para los artículos publicados en una revista dada durante los dos años anteriores. Se recopila para cada publicación en el denominado *Journal Citation Report* (JCR).

Utilizaremos el factor de impacto como indicador partiendo de las siguientes premisas (Chinchilla-Rodríguez Z, 2006):

- Cada trabajo científico producido por los autores hereda directamente el FI de la revista en la que se publica, según el JCR.

- A la hora de asignar el FI correspondiente a cada trabajo, se ha optado por elegir el del mismo año de publicación del trabajo, y en su defecto el año más cercano.

- Posteriormente se transforma mediante un procedimiento de normalización que permite operar en términos comparativos. La elección del FI se debe principalmente a su facilidad de obtención y a que recoge una sólida y abundante tradición en el campo de la evaluación científica demostrada en la bibliografía, desde la aparición del indicador (Garfield E, 1976), (Garfield E y Sher IH, 1963).

Utilizando un procedimiento de normalización basado en una función de tipificación (Braun T et al., 1985), logramos generar valores de FI que conservan la variabilidad, al tiempo que homogeneizan las escalas de las distintas categorías

temáticas. Ello nos permite obtener un punto de referencia óptimo para situar la posición del dominio analizado, frente a otros cálculos en los que el valor resultante se sitúa en un rango.

De modo que el FITN se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$FITN_{jc} = \frac{FI_{jc} / FI_c}{\sigma FI_c}$$

Siendo el $FITN_{jc}$ el factor de impacto normalizado de una revista *j*, en una categoría *c*, y $FI_{jc}$ el factor de impacto de una revista *j*, en una categoría *c*. Los valores resultantes de esta función pueden ser positivos o negativos, así que sumamos una constante *k* para marcar un punto de referencia. En nuestro caso, *k=3*. De esta manera, la media de la distribución de los FI pasa a ser 1. Los valores por encima de uno indican un impacto por encima de la media. El uso de la constante *k=3* asegura el signo positivo del indicador, cuya lectura debe servir para cuantificar la distancia a la media, y en ningún caso como visibilidad negativa, puesto que la visibilidad siempre es positiva.

**7.9.2.2. Indicador PI.**

Para establecer las fortalezas y debilidades de la producción universitaria partiendo del FITN que posean los documentos producidos por las unidades de investigación, hemos calculado el Potencial Investigador (PI). Este indicador pondera el valor del FITN en función del número de documentos en cada una de las revistas en las que publican los agregados. En definitiva, se trata de establecer una relación entre el FITN de una revista (heredado por sus documentos) y el número de trabajos publicados en ella durante el período, por la Universidad. El PI se calcula a partir de la siguiente función (Moya-Anegón F, 2004a):

$$PI = \sum (Ndocc \times FITN)$$

#### 7.9.2.3. Número de Citas Observadas.

El número de citas observadas recoge el número de documentos que citan la producción del agregado analizado (individuo, departamento, etc.).

Este indicador nos permite conocer la visibilidad real de los documentos producidos, entendida como la utilidad de los mismos para la comunidad científica internacional. Al igual que en el caso de la producción absoluta, no debemos utilizar el número de citas para la realización de comparaciones entre agregados que pertenezcan a dominios científicos diferentes, puesto que las distintas idiosincrasias en los hábitos de comunicación y de citación sesgarán los resultados finales obtenidos.

### 7.9.3. INDICADORES DE COLABORACIÓN CIENTÍFICA.

Se utilizarán métodos bibliométricos basados en el principio de coocurrencia para la elaboración, tanto de la imagen de la estructura y de las relaciones producidas de forma consciente por parte de los agentes productores de la literatura científica analizada, como para mostrar las relaciones que se establecen entre sus contenidos temáticos. Cuando este principio se aplica a los autores, en cualquiera de sus niveles o unidades, proporciona un conjunto de indicadores que miden la colaboración y, cuando se refiere a elementos de la publicación que caracterizan de algún modo sus contenidos informativos, obtiene un grupo de indicadores que miden las relaciones estructurales entre los distintos agregados.

#### 7.9.3.1. Ndoc en col.

Este indicador se basa en el recuento de coautorías. Es un parámetro útil para conocer la capacidad de la producción institucional de materializar nuevos vínculos, para analizarlos posteriormente desde una perspectiva temporal.

El aumento de la colaboración es uno de los fenómenos más visibles de los que han conformado la transformación que la ciencia ha experimentado a lo largo de la historia. Desde los estudios de Price hasta nuestros días, la colaboración científica se ha convertido en la norma y no en la anomalía (Price DJ, 1965), si bien esta afirmación está condicionada por factores tales como el país, la disciplina, la edad, las situaciones profesionales o las distancias sociales (Katz JS y Martin BR, 1997).

El análisis de la coautoría se realizará a partir del número de autores firmantes de todos los tipos documentales para conocer su grado de interrelación.

En este sentido, los niveles de colaboración se han subdividido en cinco: el primero de ellos es el indicador de trabajos sin colaboración, o documentos firmados por un único autor personal e institucional. Por su parte, la autoría múltiple de autores de la misma institución ha sido desagregada en colaboración departamental, aquella en la que intervienen miembros de un mismo departamento en exclusiva, y colaboración interdepartamental, aquellos documentos que cuentan sólo con autores de más de un departamento. En cuarto lugar, la colaboración nacional mostrará la producción de trabajos departamentales en los que interviene al menos una institución española. Por último, para el cálculo del quinto, referido a la colaboración internacional, se han identificado aquellos documentos en los que además de algún autor institucional, interviene al menos otro con filiación extranjera.

#### 7.9.3.2. Índice de Coautoría.

Es el número medio de autores por documento. La colaboración entre los autores es un aspecto importante a tener en cuenta, ya que refleja la tendencia de los grupos de investigación a aumentar la eficiencia de los recursos disponibles, incrementando la cantidad y visibilidad de los documentos que publican mediante la búsqueda de una colaboración más intensa con otros científicos o grupos de colaboración. Hay trabajos que asocian un mayor índice de coautoría con un mayor impacto y visibilidad de los trabajos, y con una mayor productividad de los autores. Por todo ello, los grupos de investigación de la mayoría de las disciplinas científicas tienden a aumentar el número de sus componentes (Katz JS y Martin BR, 1997), (Smith D y Katz JS, 2000).

### 7.9.4 INDICADORES PARA LA DIMENSIÓN ESTRUCTURAL Y DE REDES.

Debido a la naturaleza compleja de los datos obtenidos a partir de los estudios métricos, éstos deben ser transformados en representaciones gráficas para facilitar su comprensión. Como ya hemos visto, esta circunstancia es inherente en muchos estudios a las unidades de medida empleadas (como la cocitación o la coautoría), que expresan por sí mismas relaciones de similitud entre los documentos contenidos en las bases de datos, que pueden ser transformadas en distancias.

#### 7.9.4.1. Medidas de Centralidad y Centralización.

Una de las funciones principales del análisis de redes es la identificación de los actores más importantes de la red o estructura social, es decir, aquellos que destacan más y ocupan posiciones de mayor relevancia, popularidad, prestigio o poder (Wasserman S y Faust K, 1994).

Una de las ideas que guiaron los primeros estudios en análisis de redes fue la de la centralidad (*centrality*) de los distintos actores sociales en las redes de las que forman parte. Aunque el concepto de centralidad se asocia principalmente con la centralidad de los puntos de un grafo (*point centrality*), también alude en ocasiones a otro problema completamente distinto, el del grado de centralización (*centralization*) del grafo en su conjunto (Nooy W et al., 2005).

La idea de centralidad no hace referencia a la posición de un actor, sino a su grado de integración o cohesión en la red. Un actor será localmente central cuando tenga un número elevado de enlaces con los actores de su entorno inmediato, y será central globalmente si ocupa una posición estratégica en la estructura de la red (Rodríguez JA, 1995).

La noción de centralidad de los actores es un concepto multidimensional. Los conceptos más utilizados de centralidad pueden definirse y hacerse operativos al menos de tres formas: grado, cercanía e intermediación, que a su vez pueden ser analizadas desde un punto de vista local o global (Freeman L, 1979).

**Grado:** el grado (*degree*) es la forma más simple e intuitiva de medir la centralidad de los puntos del grafo. Se define como el número de actores con los cuales está directamente vinculado un actor. Esta medida de centralidad organiza a los actores por el número efectivo de sus relaciones directas en el conjunto de la red. Aquellos actores que tienen mayor número de vínculos con otros pueden tener posiciones ventajosas. Esos contactos les permiten tener formas alternativas de satisfacer necesidades y por tanto son menos dependientes de otros individuos. Además, dado que disponen de muchos vínculos, pueden tener acceso y conseguir más del conjunto de recursos de la red. Sin embargo, esta medida se limita a mostrar la centralidad local de un actor con respecto a los actores cercanos, pero dice poco sobre la importancia de ese actor en la red completa, y es muy sensible a variables

como el tamaño del grafo (Degenne A y Forsé M, 1999), (Hanneman RA, 2000), (Herrero R, 2000), (Mrvar A, 2000), (Rogers EM y Kincaid DL, 1981).

$$C_g(n_i) = \frac{g(n_i)}{N-1}$$

Donde $g(n_i)$ es el grado del actor y N el número total de nodos de la red.

**Cercanía:** la centralidad vista como cercanía (*closeness*) analiza las relaciones de los actores con otros miembros (no solamente sus vecinos) a través de un pequeño número de pasos en la red. Esta medida de cercanía permite describir mejor la centralidad general del actor en la red. En este caso los actores son valorados por su distancia medida en pasos a todos los demás nodos de la red. Serán tanto más centrales cuanto mayor sea el valor de su cercanía, es decir, menor es el número de pasos que deben darse a través de la red para relacionarse con el resto de vértices. Dependiendo del contexto, la cercanía mide la independencia o autonomía del actor respecto de los otros y puede servir para precisar o matizar el valor del grado (Mrvar A, 2000), (Sanz Menéndez L, 2001).

$$C_c(n_i) = \left[ \sum_{j=1}^{N} d(n_i, n_j) \right]^{-1}$$

Donde $d(n_i, n_j)$ es la longitud del camino más corto entre i y j.

**Intermediación:** la centralidad vista como intermediación (*betweenness*) se define como la frecuencia con que un nodo aparece en el camino más corto (geodésica) que conecta a otros dos nodos. La intermediación permite a los actores controlar los flujos relacionales en el conjunto de la red, o mantener separadas distintas partes de la misma. Suelen tener valores altos de intermediación los actores más

centrales de la red según su cercanía, o aquellos que vinculan subgrupos diferentes y que son los puntos de corte entre ellos (Mrvar A, 2000), (Sanz Menéndez L, 2001).

$$C_I(n_i) = \frac{\sum_{j<k} g_{jk}(n_i)}{g_{jk}}$$

Donde $g_{jk}(n_i)$ son los caminos más cortos entre j y k a través de i y $g_{jk}$ el número más corto de caminos de entre j y k.

**Centralidad global:** igual que es posible estudiar el problema de la centralidad referido a los puntos, también se puede intentar establecer hasta qué punto el grafo es en sí mismo una estructura centralizada. Los conceptos de densidad (*density*) y de centralización hacen referencia a distintos aspectos que tienen que ver con la compactibilidad (*compactness*) de un grafo.

También existen medidas diferentes de centralización que sirven para averiguar en qué medida un grafo está o no organizado en torno a sus puntos más centrales, aunque no indican si esos puntos están dispersos por el grafo o, por el contrario, forman un conglomerado en una parte concreta del mismo. De ser así nos encontraríamos ante un centro estructural (*structural centre*), es decir, ante un punto o un conglomerado de puntos sobre los que descansa la organización del grafo completo.

Una red puede tener un actor con un alto grado en sus medidas de centralidad y por tanto, en su conjunto, ser una red con un alto nivel de centralización, o bien, que las medidas de centralidad de sus actores no difieran significativamente unas de otras, con lo que tendrá un bajo nivel de centralización (Batagelj V y Mrvar A, 2003).

Es posible extender el análisis de la centralización para considerar la posibilidad de que pudiera existir un centro absoluto (*absolute centre*), es decir, un punto en torno al cual se estructura el grafo (PECAR, 2004).

Los distintos tipos de medidas de centralidad obtenidos para los actores de la red, pueden ser utilizados en la comparación con los de otras redes, y poder hablar así de nivel o grado de centralización de una red con respecto a otra en lo referente al grado, la cercanía y/o intermediación.

Mediante el índice general de Freeman es posible calcular el nivel de centralización de una red (Freeman L, 1977), (Freeman L, 1979):

$$C_A = \frac{\sum_{x \in g} (C_A^* - C_A(x))}{\max \sum_{x \in g} (C_A^* - C_A(x))}$$

Donde $C_A^*$ es el valor más alto de la medida de centralidad seleccionada en el conjunto de actores de la red $C_A(x)$.

**7.9.4.2. Densidad.**

Otro índice muy utilizado para conocer el grado de cohesión es la densidad, que se define como la relación entre el número de enlaces existentes y el número de enlaces posibles de la red dada. Por tanto, depende del número de actores que la componen y del grado de los mismos. Su valor oscilará entre 0, gráfico sin vínculos, y 1, todos los vínculos posibles (Wasserman S y Faust K, 1994):

$$D = \frac{2L}{N(N-1)}$$

Donde L es el número total de enlaces que tiene la red, y N el número total de nodos.

### 7.9.4.3. Índices de Popularidad y Prestigio.

Para conseguir pruebas de la forma de red de la colaboración científica se necesita una medida de agrupación. Watts y Strogatz introdujeron lo que dieron en llamar coeficiente de agrupamiento (*clustering coefficient*). Lo explicaremos con un ejemplo sencillo: si colaboro con cuatro autores, y todos ellos a su vez han trabajado también juntos, es posible conectar a cada uno de ellos mediante un enlace, obteniendo seis lazos de unión. Supongamos ahora que alguno de mis colaboradores no lo es de los demás. Entonces el número de enlaces será menor de seis. En este caso el coeficiente de agrupamiento de mi círculo de colaboradores se obtendrá dividiendo el número real de enlaces entre el total de enlaces posibles.

El coeficiente de agrupamiento nos indica cómo de densas son las relaciones entre el círculo de colaboradores de un nodo determinado. Los valores cercanos a uno muestran elevada tasa de relaciones entre sus colaboradores. Los cercanos a cero indican, sin embargo, que el nodo es el único vínculo de unión entre los colaboradores (Barabási AL, 2002). Para su cálculo empleamos las siguientes fórmulas (Batagelj V y Mrvar A, 2004), (Nooy W et al., 2005):

$$CA(v) = \frac{|E(G_1(v))|}{|E(G_2(v))|} \qquad CA'(v) = \frac{gra(v)}{MaxGra} CA(v)$$

Donde gra(v) es el grado del vértice v, $|E(G_1(v))|$ es el número de enlaces entre los vértices en el vecindario 1 del vértice v, MaxGra es el grado máximo del vértice en la red y $|E(G_2(v))|$ el número de líneas entre los vértices en los vecindarios 1 y 2 del vértice v. Si gra(v) es menor o igual a uno, todos los coeficientes de ese vértice serán iguales a cero.

Tal como hemos visto en el capítulo quinto, la mayor parte de los nodos de redes reales muestran preferencias a la hora de conectarse. Así, una nueva página Web incluirá enlaces a documentos o páginas muy populares. Este ejemplo ilustra que la probabilidad de que un nuevo nodo se conecte con otros existentes no es uniforme, sino que existe mayor probabilidad de que se una a nodos con mayor número de enlaces, reflejado a través de las medidas de centralidad (grado, cercanía e intermediación). Pero esa popularidad también puede entenderse no como la predilección por nodos con mayor número de enlaces, sino como la elección de aquellos con mayor tamaño. En el caso de las redes de coautoría el volumen del nodo vendrá determinado por el número de documentos en colaboración. Tanto los indicadores de centralidad provenientes del análisis de redes, como el indicador de producción derivado del análisis bibliométrico son entendidos, pues, como medidas de prominencia o popularidad.

Pero esa prominencia o popularidad debe ser graduada o complementada con indicadores que reflejen y distingan unos nodos populares de otros. En este sentido, otra serie de indicadores bibliométricos juegan un papel decisivo para valorar las distintas aportaciones no en función de la cantidad, sino de su visibilidad o utilidad para la comunidad científica. De entre todos ellos, sin duda es el recuento de citas el más destacado, especialmente si éstas son observadas (reales), mejor que si son esperadas (estimadas) (Aksnes DW y Sivertsen G, 2004), (Molas-Gallart J y Salter A, 2002), (Tijssen RJW et al., 2002), salvando los problemas inherentes al recuento agregado de citas (Olmeda Gómez C et al., 2005). Así, podemos entender a los indicadores encargados de matizar la popularidad como medidas de prestigio (Bollen J et al., 2006).

A este respecto, Mählck y Persson señalan que resultaría extremadamente enriquecedor para el análisis de las visualizaciones de información, el hallazgo de una combinación adecuada de magnitudes bibliométricas y estructurales capaces

de caracterizar y relativizar las observaciones sobre los actores de las representaciones obtenidas, siempre complementarios a los ya existentes (Mählck P y Persson O, 2000). Para ello, realizamos una propuesta innovadora de combinación y síntesis de indicadores estructurales y bibliométricos conocidos: el coeficiente de agrupamiento del nodo, su producción y el número de citas recibidas por esa producción:

| | |
|---|---|
| $CA^{'}(v) \times ndoc(v)$ | $CA^{'}(v) \times ncitas(v)$ |
| Índice de Popularidad | Índice de Prestigio |

La elección del coeficiente de agrupamiento obedece a que es un indicador que atesora en su cálculo connotaciones locales de grado (se calcula a partir del número de enlaces), densidad (compara los vínculos reales respecto de los posibles) e intermediación (tiene en cuenta la relación del actor con su vecindario, pero también de su vecindario al margen del propio actor).

## 7.10. COROLARIO.

El capítulo metodológico ha sentado las bases para el desarrollo posterior de nuestro trabajo sobre la producción científica en colaboración de la UC3M.

Al desarrollo de una nueva metodología de convergencia entre los postulados de la teoría de redes y la visualización de dominios temáticos, para la consecución de una herramienta capaz de representar las redes de coautoría en el nivel micro, unimos el examen detallado de sus fases sucesivas: extracción de datos, nivel de análisis, unidad de análisis, unidad de medida, distribución espacial, visualización de información, extracción de comunidades e interpretación de resultados.

Además del empleo de la coautoría, o la elección del algoritmo Kamada-Kawai para la distribución espacial de la información, cabe destacar el uso dado al análisis

factorial como herramienta para la extracción de comunidades, o lo que es lo mismo, para la simplificación ordenada de un número determinado de medidas interrelacionadas, a través de la identificación y la clasificación de atributos de los nodos participantes en cada una de las redes como un intento de hacer este tipo de estudios más inteligibles y familiares.

Por su parte, la elección del formato SVG como tecnología para la visualización y la definición de una interfaz gráfica, asegura la superación de uno de los retos más interesantes de este tipo de procesos, logrando la creación de las denominadas visualizaciones manipulables, muy fáciles de utilizar por cualquier tipo de usuario.

Para concluir, y por lo que respecta a la interpretación de resultados, realizamos una novedosa aportación con la introducción de dos nuevas medidas: los índices de popularidad y prestigio, basados en indicadores procedentes del análisis de redes (el coeficiente de agrupamiento), y su combinación con indicadores bibliométricos (el número de trabajos en colaboración y el número de citas recibidas por cada agregado) con el fin de aumentar las garantías de fiabilidad y credibilidad de los resultados obtenidos.

# CAPÍTULO 8. RESULTADOS

## 8.1 INTRODUCCIÓN.

En este capítulo, dedicado a los resultados obtenidos, se aplicará empíricamente la metodología descrita en el capítulo anterior con el fin de alcanzar los objetivos propuestos. Su objeto, pues, no es otro que la descripción de los patrones de colaboración en los diversos departamentos motivo de análisis desde una visión caleidoscópica que incluye colaboración internacional, colaboración nacional y colaboración departamental. Dentro de esta última se ha desglosado la actividad colaboradora en colaboración interdepartamental, colaboración según categoría temática, colaboración por sexo de los autores y colaboración según la posición administrativa de los actores. Finalmente, se ha determinado la evolución de los patrones topológicos y estructurales de las redes globales, y se ha realizado un análisis de la popularidad y del prestigio de los nodos más destacados de cada departamento.

La obtención de información sobre la forma de la colaboración departamental en la UC3M permitirá una aproximación a sus hábitos de trabajo, la importancia de la proximidad geográfica, la influencia de la colaboración nacional e internacional en la producción y el impacto, la situación de la mujer en la investigación institucional, la formación de grupos según especialidades comunes o la composición de esos grupos a partir de la posición administrativa de sus integrantes, además de establecer las posibles variaciones de los patrones de asociación en función de la disciplina científica descrita.

## 8.2. CASO DE ESTUDIO.

La UC3M ofrece un interesante caso de estudio por diversas razones. En primer lugar, es una de las universidades españolas más jóvenes. Fundada en 1989 con las titulaciones de Derecho y Economía, actualmente cuenta con 3 facultades, 27 departamentos, 20 institutos y 2 unidades asociadas a centros de investigación del

Consejo Superior de Investigaciones Científicas. La ventana cronológica seleccionada para este trabajo nos permitirá trabajar, por tanto, con la producción total de la Universidad desde su creación hasta la actualidad.

Tabla 8.1. Producción absoluta por departamentos. UC3M (1990-2004)

| Departamento | Ndoc |
|---|---|
| Biblioteconomía y Documentación | 19 |
| Ciencia e Ingeniería de Materiales e Ingeniería Química | 202 |
| Ciencia Política y Sociología | 16 |
| Derecho Público del Estado | 1 |
| Derecho Internacional, Eclesiástico y Filosofía del Derecho | 3 |
| Economía | 229 |
| Economía de la Empresa | 93 |
| Estadística | 212 |
| Física | 287 |
| Historia Económica e Instituciones | 26 |
| Humanidades: Lingüística, Literatura, Historia y Estética | 24 |
| Humanidades: Filosofía, Lenguas, Teoría de la Literatura y Estudios Clásicos | 6 |
| Humanidades: Geografía, Historia Contemporánea y Arte | 1 |
| Informática | 180 |
| Ingeniería de Sistemas y Automática | 23 |
| Ingeniería Eléctrica | 14 |
| Ingeniería Mecánica | 42 |
| Ingeniería Telemática | 49 |
| Ingeniería Térmica y de Fluidos | 43 |
| Matemáticas | 491 |
| Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras | 28 |
| Periodismo y Comunicación Audiovisual | 2 |
| Teoría de la Señal y Comunicaciones | 105 |
| Tecnología Electrónica | 82 |
| Instituto de Derechos Humanos Bartolomé de las Casas | 1 |
| Instituto Flores de Lemus | 1 |
| Instituto Laureano Figuerola de Historia Económica e Instituciones | 2 |
| Instituto Tecnológico de Química y Materiales Álvaro Alonso Barba | 19 |
| Otros servicios | 2 |
| U.A. Investigación Energía y Medio Ambiente | 4 |
| U.A. Instituto Ciencia Materiales | 2 |

En segundo lugar, a pesar de su juventud, es una institución que ha tenido un rápido crecimiento, por lo que respecta a su producción absoluta de trabajos científicos con visibilidad internacional. En sus 15 primeros años de vida ha sido capaz de situarse como décimo tercera institución en la lista ordenada de centros madrileños de investigación en el período 1990-2003 (Olmeda Gómez C et al., 2007), vigésimo novena de las universidades españolas en el período 2001-2004 (Olmeda Gómez C et al., 2006), y cuadragésimo tercera y octogésima entre las

instituciones nacionales e iberoamericanas de investigación, respectivamente, en el período 1990-2004 (Grupo SCImago, 2006).

En tercer lugar, y derivado del anterior, ese extraordinario dinamismo del crecimiento de la producción con visibilidad internacional la convierte en una excelente candidata para el análisis de la colaboración investigadora, hecho que facilita el estudio de este aspecto fundamental del trabajo científico.

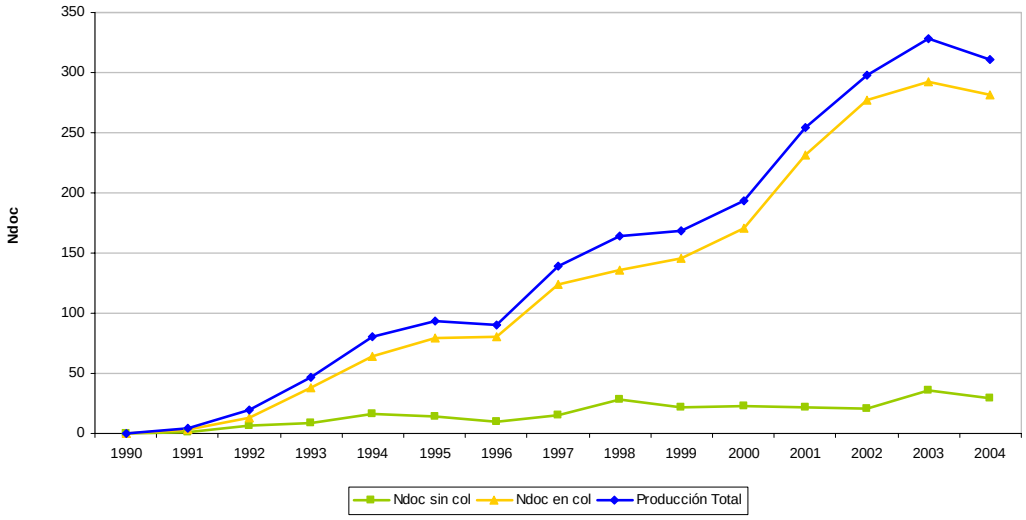



Figura 8.1. Evolución de la producción absoluta. UC3M (1990-2004)

La figura 8.1 representa el crecimiento de la producción absoluta de la UC3M en el período. Destacan, por un lado, el aumento en paralelo de producción total y producción en colaboración y, por otro, el reducido número de trabajos sin colaboración.

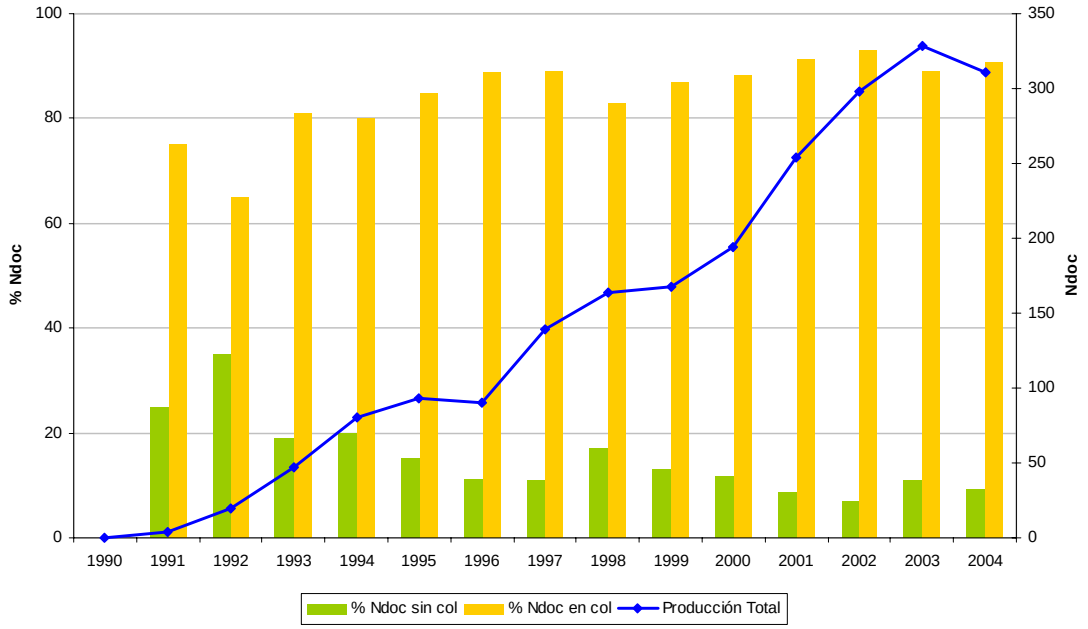



Figura 8.2. Producción en colaboración en %. UC3M (1990-2004)

La figura 8.2 ejemplifica la tendencia de crecimiento de la producción en colaboración, estabilizada en torno al 90%, mientras que la producción de trabajos en solitario se reduce al 10%.

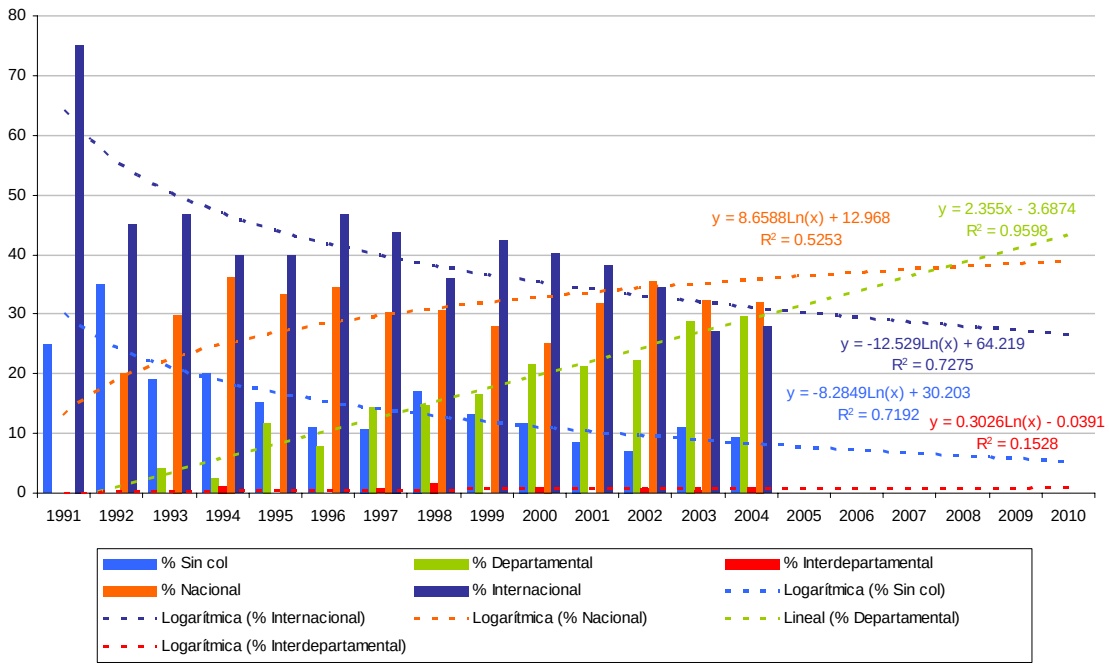



Figura 8.3. Tendencias de producción por tipos de colaboración en %. UC3M (1991-2010)

La figura 8.3 muestra las tendencias de la producción universitaria por tipos de colaboración. En ella se observan dos hechos destacados. El primero de ellos es el descenso de los documentos sin colaboración y de los realizados en colaboración internacional. El segundo es el aumento de la colaboración con instituciones nacionales y, sobre todo, el de la colaboración departamental.

La explicación más plausible para esta evolución de los tipos de colaboración (figura 8.4), es el aumento de la producción como elemento estabilizador de los porcentajes de cada uno de los tipos. Los datos anteriores a 1993 están fuertemente sesgados por una baja producción con un marcado carácter internacional procedente de las facultades de Ciencias Sociales y Jurídicas, y Humanidades, Comunicación y Documentación. A medida que aumenta el número de trabajos y de departamentos que suman su producción al total institucional, y en especial con la incorporación de la Escuela Politécnica Superior, se aprecian los cambios, provocados por los distintos hábitos colaboradores según las disciplinas. En cualquier caso, resultan destacables los porcentajes de colaboración internacional, en la parte positiva, y los escasísimos trabajos en colaboración interdepartamental, en la negativa.

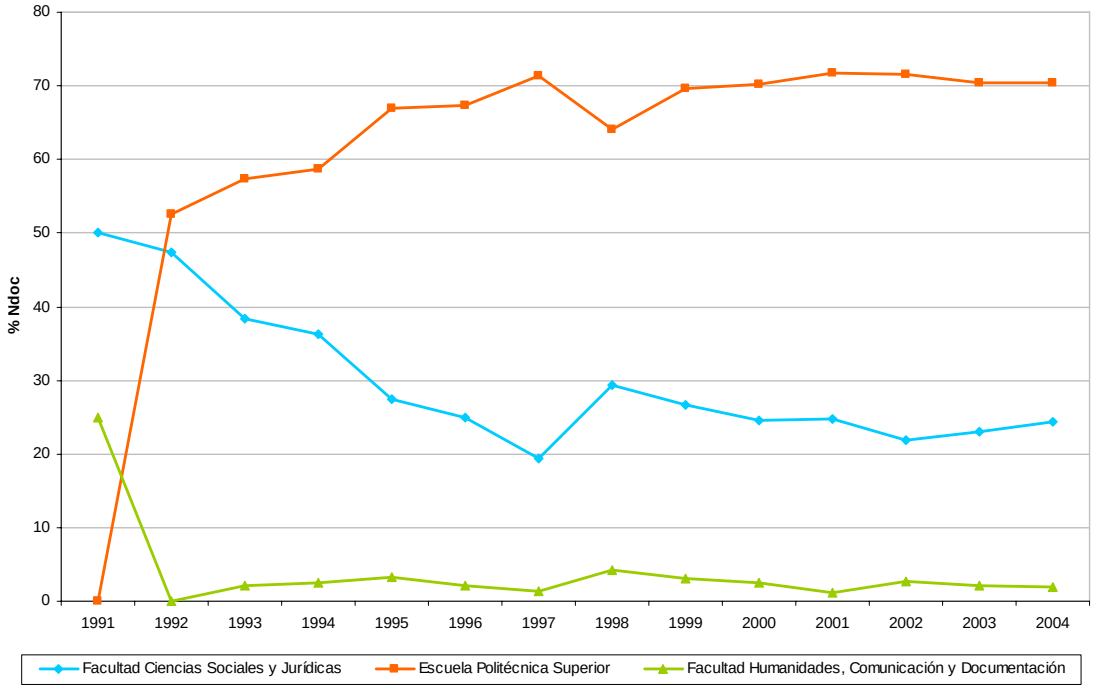



Figura 8.4. Producción absoluta por facultades en %. UC3M (1990-2004)

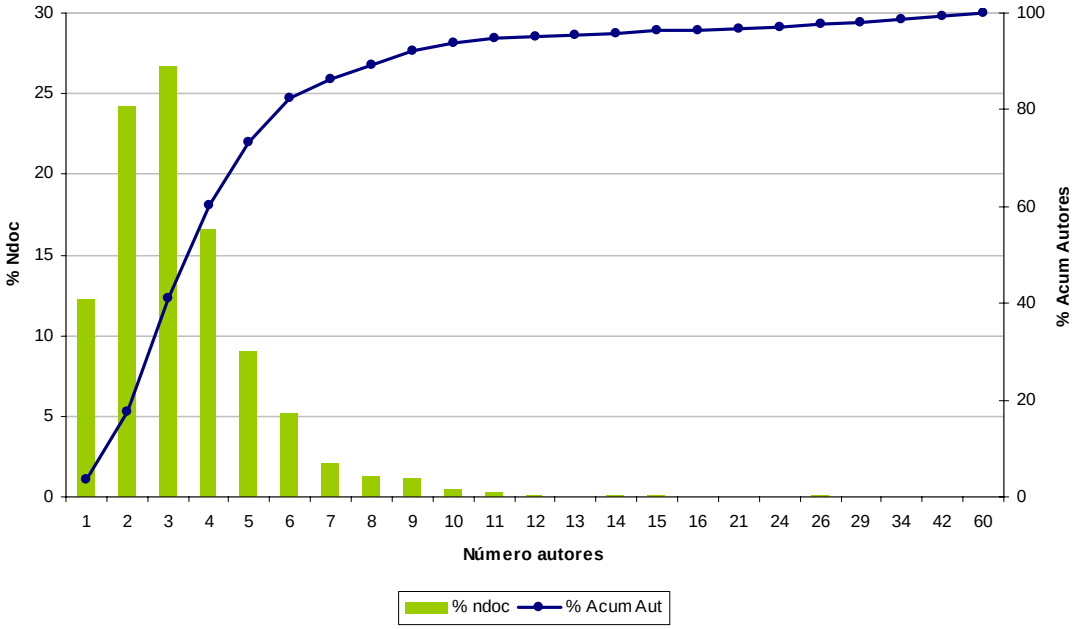



Figura 8.5. Distribución de la coautoría en %. UC3M (1990-2004)

La figura 8.5, distribución porcentual del número de autores por documento, muestra que la mitad de la producción de la Universidad está firmada por entre

tres y cuatro autores. El 12% tiene un único autor, mientras que la producción de trabajos con más de 10 autores tan sólo representa el 1.6%.

En cuarto lugar, el modelo de universidad moderna y flexible se ha traducido en un conglomerado de estudios multidisciplinares ideales para conocer el desarrollo, el comportamiento y la evolución de las redes de colaboración científica en el seno de departamentos de ramas tan dispares como las Ciencias Puras, las Ingenierías o las Ciencias Sociales.

### 8.2.1. SELECCIÓN DE LOS DEPARTAMENTOS.

Para el análisis de las redes de colaboración científica y coautoría se han seleccionado los nueve departamentos con producciones iguales o superiores a 80 documentos en el período[44]. La producción absoluta de este subconjunto departamental asciende a más del 86% del total de documentos con visibilidad internacional publicados por la UC3M, y aparecen destacados en la tabla 8.2.

Tabla 8.2. Producción de departamentos con más de 10 documentos (1990-2004)

| Departamento | Ndoc | % Ndoc |
|---|---|---|
| Matemáticas | 491 | 22.48 |
| Física | 287 | 13.14 |
| Economía | 229 | 10.49 |
| Estadística | 212 | 9.71 |
| Ciencia e Ingeniería de Materiales e Ingeniería Química | 202 | 9.25 |
| Informática | 180 | 8.24 |
| Teoría de la Señal y Comunicaciones | 105 | 4.81 |
| Economía de la Empresa | 93 | 4.26 |
| Tecnología Electrónica | 82 | 3.75 |
| Ingeniería Telemática | 49 | 2.24 |
| Ingeniería Térmica y de Fluidos | 43 | 1.97 |
| Ingeniería Mecánica | 42 | 1.92 |
| Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras | 28 | 1.28 |
| Historia Económica e Instituciones | 26 | 1.19 |
| Humanidades: Lingüística, Literatura, Historia y Estética | 24 | 1.10 |
| Ingeniería de Sistemas y Automática | 23 | 1.05 |
| Biblioteconomía y Documentación | 19 | 0.87 |
| Instituto Tecnológico de Química y Materiales Álvaro Alonso Barba | 19 | 0.87 |
| Ciencia Política y Sociología | 16 | 0.73 |
| Ingeniería Eléctrica | 14 | 0.64 |

[44] Un volumen inferior de documentos dificulta la obtención de redes suficientemente informativas.

La figura 8.6 presenta la evolución de la producción absoluta de los nueve departamentos seleccionados a lo largo del período.

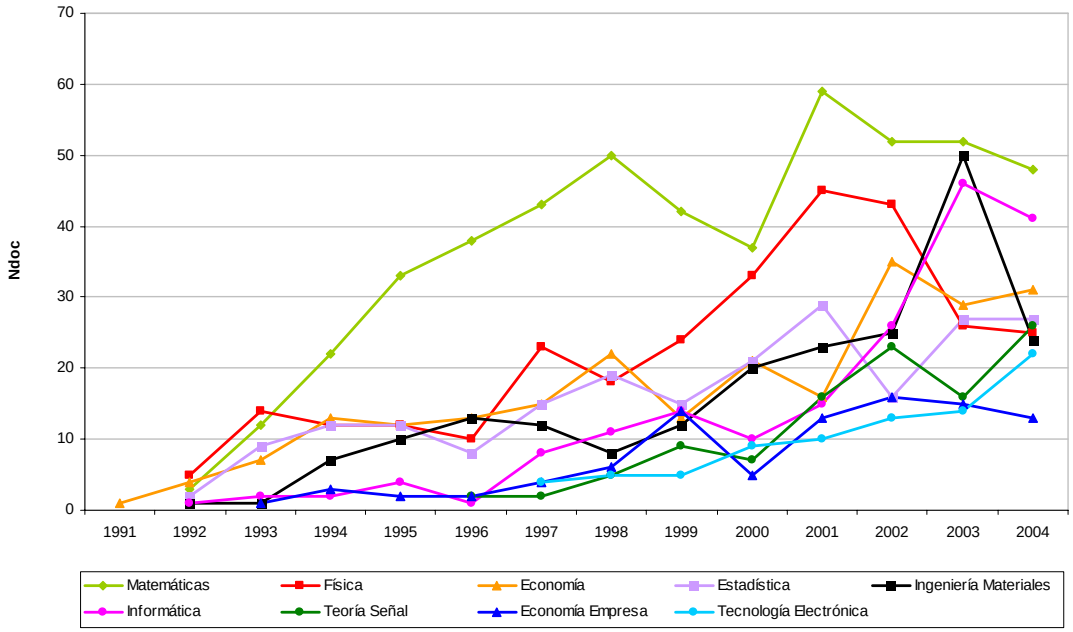



Figura 8.6. Evolución de la producción por departamentos (1991-2004)

Aunque en apartados posteriores se tratará con mayor detenimiento y grado de detalle, resulta reseñable el importante papel de los departamentos de Ciencias Sociales, especialmente los relacionados con Economía y Estadística, que junto con seis departamentos de la Escuela Politécnica Superior configuran el núcleo de análisis de este estudio.

## 8.3. DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA.

### 8.3.1. DATOS GENERALES DE COLABORACIÓN.

El primer documento del departamento de Informática con visibilidad internacional data del año 1992, pero no será hasta 1997 cuando asiente su práctica de publicación, siempre creciente salvo los leves descensos de 2000 y 2004.

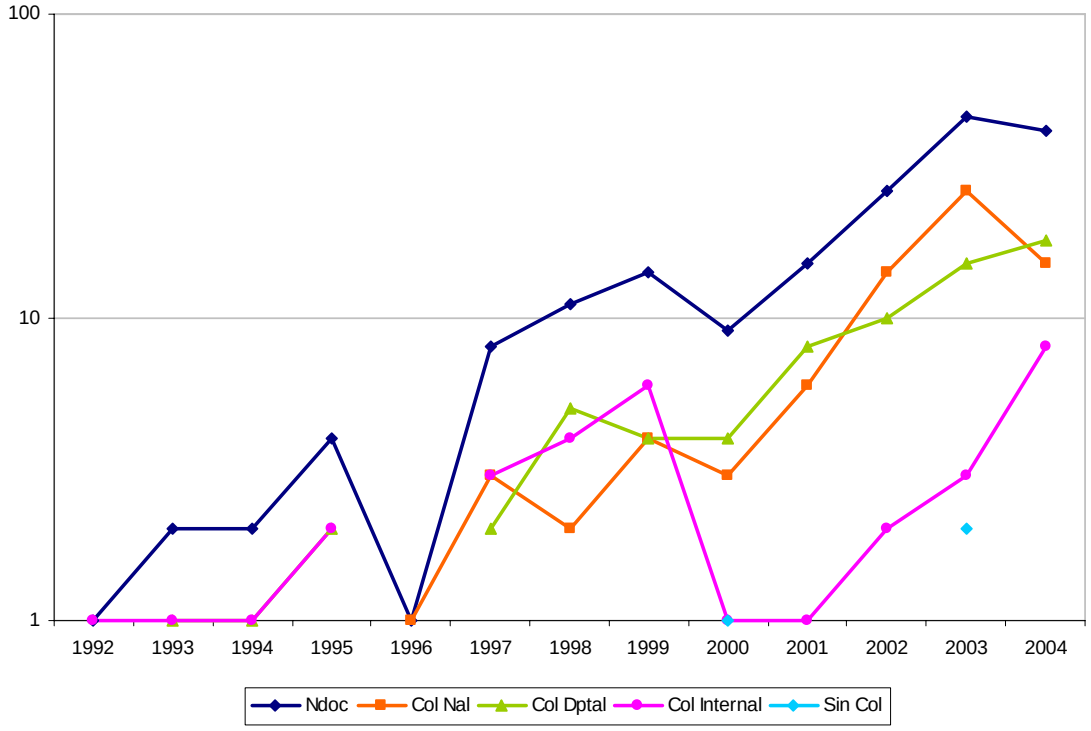



Figura 8.7. Evolución de la producción por tipos colaboración. Informática

Por lo que respecta a sus hábitos de colaboración, las figuras 8.7 y 8.8 muestran la evolución absoluta y porcentual, respectivamente. Centrándonos en esta última, se aprecia un drástico descenso de la colaboración internacional a lo largo del período (18.3% de media), una mayor predisposición al trabajo con instituciones nacionales y con compañeros del mismo departamento (41.1% y 39%), y la escasa producción de trabajos elaborados en solitario (1.7%).

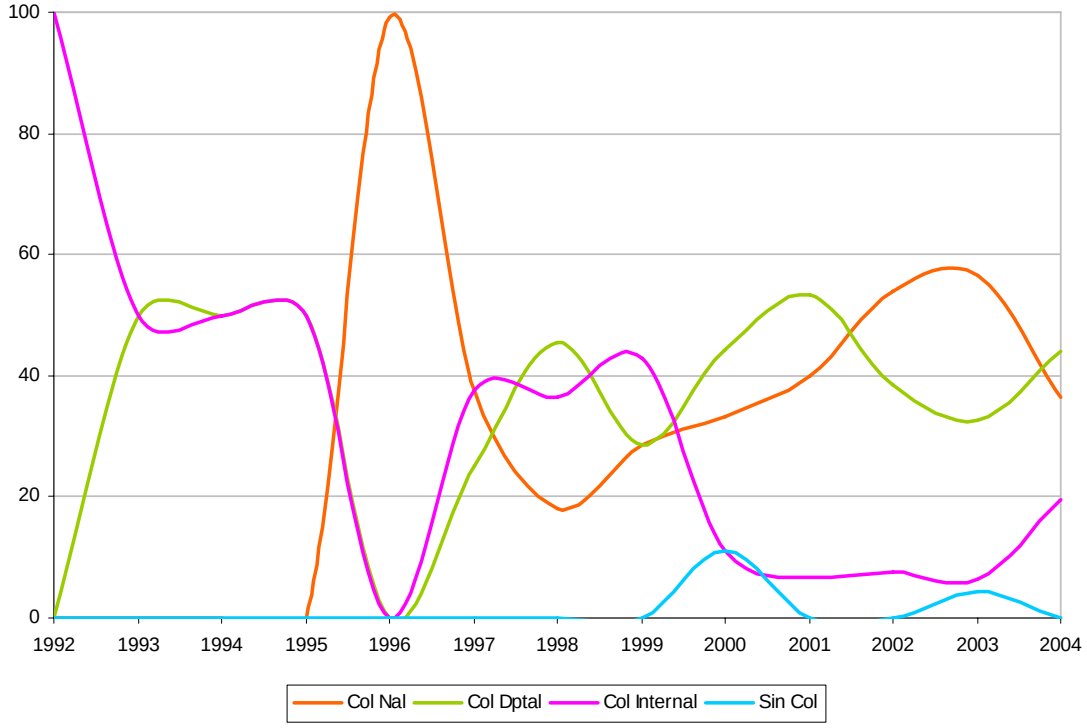



Figura 8.8. Evolución de la producción por tipos colaboración en %. Informática

### 8.3.2. COLABORACIÓN INTERNACIONAL.

La figura 8.9 representa la red de países con los que colaboran los profesores del departamento de Informática. El tamaño de los nodos representa el número de trabajos en colaboración, y su color señala el área geográfica a la que pertenecen. La distancia al departamento (nodo central) es inversamente proporcional al impacto esperado de la publicación, o lo que es lo mismo, aparecen más próximas al centro aquellas colaboraciones que alcanzan mayor impacto esperado.

Las áreas elipsoidales representan los impactos medios logrados por la producción institucional (en letra azul), y por la producción del departamento (en letra roja). A este respecto, es preciso señalar que el impacto medio de la producción española, la madrileña y la institucional varían entre sí en pocas centésimas, por lo que hemos optado por redondear el valor a la décima con el fin de que esa medida nos permita la comparación de los resultados obtenidos no sólo con el promedio de impacto esperado institucional, sino también con el regional y el nacional.

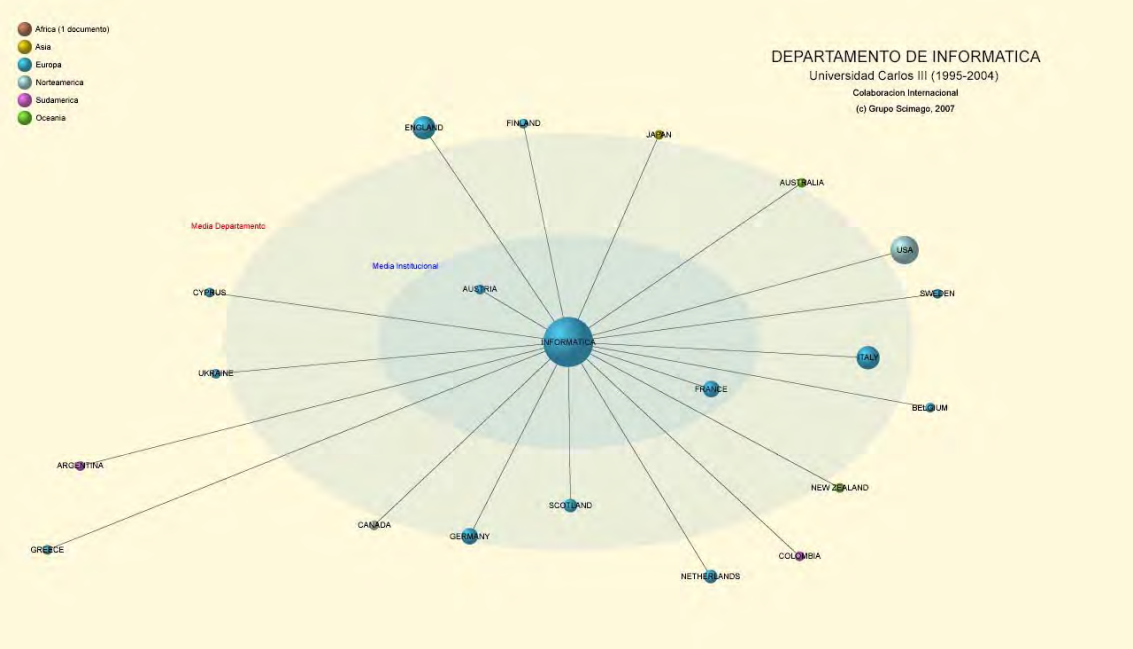



Figura 8.9. Heliocéntrico de colaboración internacional. Informática (1995-2004)

Una vez aclarados todos los parámetros, es fácil observar, desde el punto de vista de la producción, que el mayor volumen de trabajos en colaboración del departamento se da con los Estados Unidos y con varios países de la Unión Europea (Inglaterra, Italia, Alemania y Francia, entre los más destacados).

Por otro lado, y desde el punto de vista del impacto, los trabajos con mayor visibilidad esperada, obtenida a partir del factor de impacto tipificado normalizado de la revista editora, corresponden a las colaboraciones con instituciones austriacas y francesas, superando las medias nacional, regional e institucional. El resto de asociaciones internacionales, se sitúan a mucha distancia del valor medio de referencia, y sólo Escocia, Italia y Alemania superan el impacto esperado de la producción departamental.

### 8.3.3. COLABORACIÓN NACIONAL.

Por lo que respecta a la colaboración con instituciones nacionales, la figura 8.10 nos muestra la red resultante para el departamento de Informática. El color de los

nodos, en este caso, representa la Comunidad Autónoma a la que se adscriben los distintos centros colaboradores y permite de un rápido vistazo observar el grado de proximidad geográfica entre el nodo analizado y las instituciones con las que colabora.

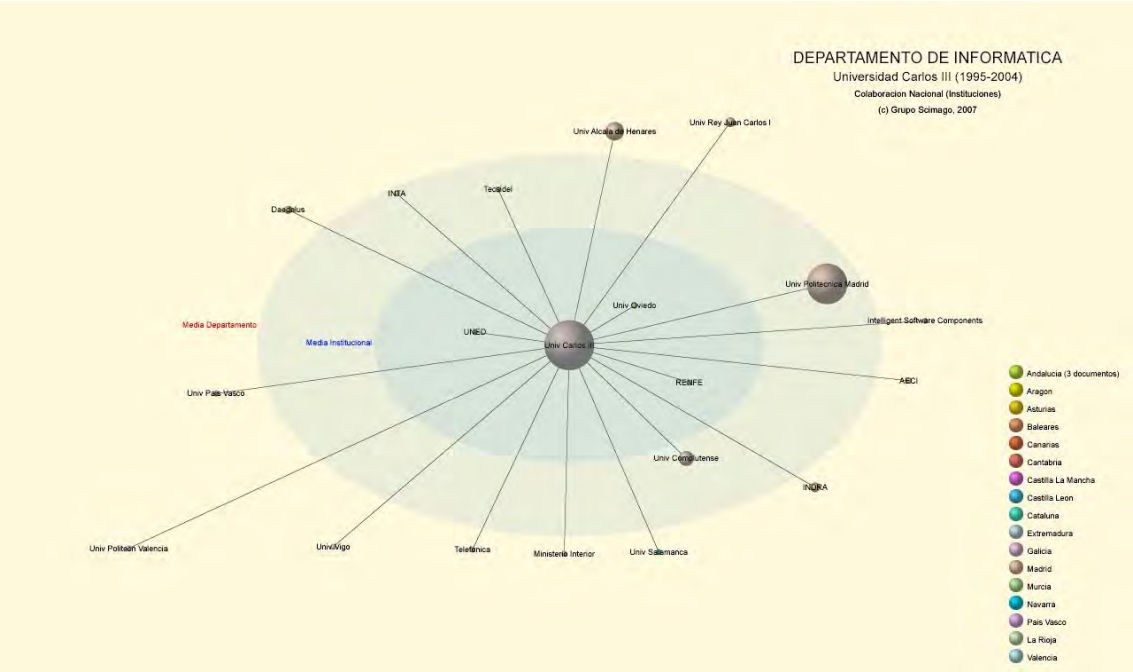



Figura 8.10. Heliocéntrico de colaboración nacional. Informática (1995-2004)

Como en el caso de la colaboración internacional, observaremos la red desde una doble perspectiva. Por un lado, desde el punto de vista del volumen de producción. Así, la Universidad Politécnica de Madrid se erige como el principal socio colaborador, seguido de la Universidad de Alcalá de Henares y la Universidad Complutense. De las 19 instituciones que participan en la producción del departamento de Informática, 15 pertenecen a la Comunidad de Madrid, indicador de la influencia de la proximidad geográfica en la colaboración científica.

Por otro lado, desde el punto de vista del impacto esperado, observamos nuevamente la gran distancia entre el promedio institucional (1.1) y el departamental (0.98). Entre las colaboraciones que obtienen mayor visibilidad destacan las realizadas con la Universidad de Oviedo, la Universidad de Educación a

Distancia, y RENFE, todas ellas por encima del promedio institucional-regional-nacional. En un segundo grupo, con valores entre el promedio institucional y el departamental se encuentran la Universidad Complutense, Tecsidel, la Universidad Politécnica de Madrid y el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial.

### 8.3.4. COLABORACIÓN INSTITUCIONAL A PARTIR DE REDES DE COAUTORÍA.

El descenso al último escalón del análisis institucional, es decir, la elaboración de redes de coautoría a partir de las premisas planteadas en el capítulo metodológico, nos ayudará a conocer con mayor detalle el comportamiento y evolución de la colaboración en cada uno de los departamentos estudiados. Con el fin de obtener períodos cronológicos homogéneos, hemos optado por subdividir la ventana temporal en los dos últimos lustros. Esta variable temporal nos permitirá observar los cambios en el seno de los departamentos y los movimientos que realizan algunos de sus autores. A continuación presentamos los resultados para el departamento de Informática.

La figura 8.11 muestra la red de autores en el período 1995-1999. El tamaño del nodo se establece en función de su volumen de producción, el círculo concéntrico interior muestra el volumen de producción en colaboración. El color de los nodos muestra su pertenencia a los distintos departamentos de la Universidad, recogidos en la leyenda de la esquina superior izquierda. El tamaño y color de los enlaces se muestra más grueso y oscuro cuanto mayor es el número de trabajos que unen a los coautores. Para facilitar la comprensión, se han ocultado aquellos autores no pertenecientes a la UC3M.

Existe colaboración interdepartamental con los departamentos de Ciencia de Materiales, Derecho Social, Humanidades-Filosofía, Matemáticas y Teoría de la Señal.

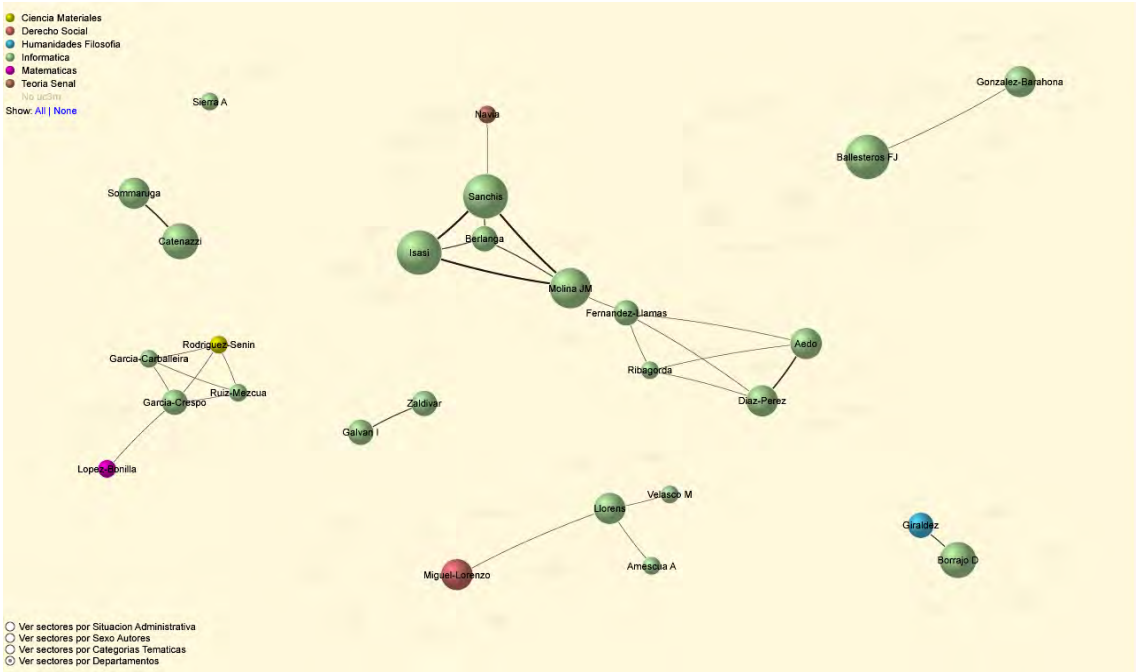



Figura 8.11. Red de coautoría. Colaboración departamental. Informática (1995-1999)

La figura 8.12 representa la red de autores en el siguiente lustro, 2000-2004. Observamos como el número de departamentos con los que colaboran los profesores de Informática asciende de cinco a nueve (curiosamente ninguno de los socios originales repite en el segundo período), si bien esas colaboraciones no dejan de ser esporádicas y coyunturales en ambas visualizaciones, como puede apreciarse en el detalle de la figura 8.13.

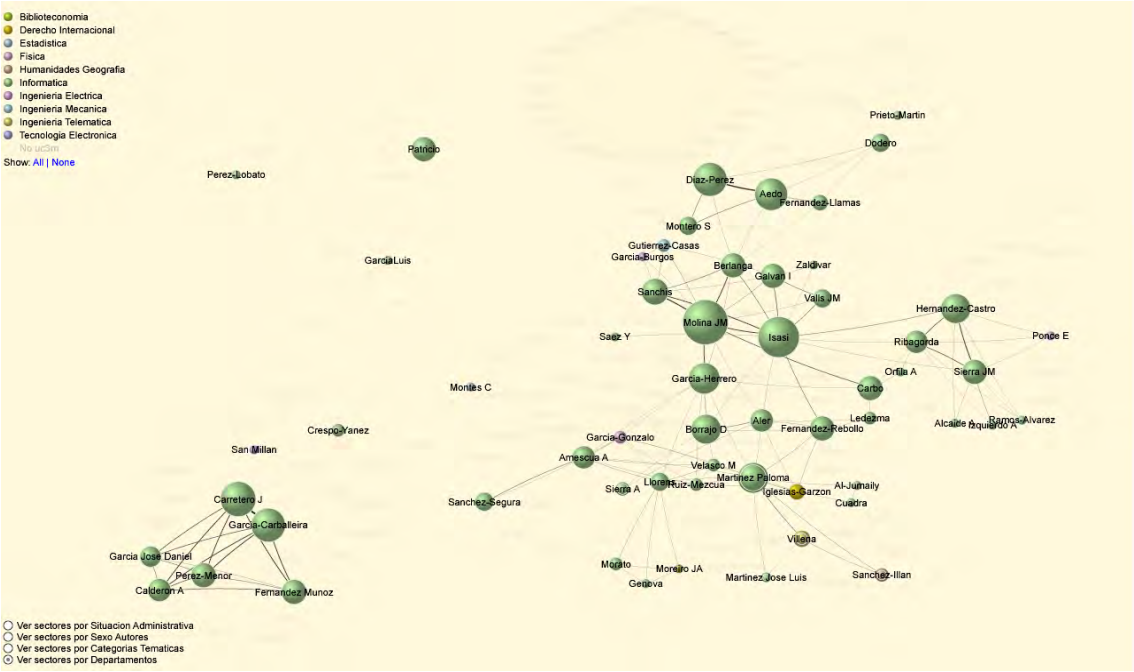



Figura 8.12. Red de coautoría. Colaboración departamental. Informática (2000-2004)

Figura 8.13. Detalle de colaboración interdepartamental. Informática (2000-2004)

### 8.3.5. Análisis Temático de las Redes de Coautoría.

Como hemos podido comprobar en el capítulo dedicado a la visualización de información, el color es una poderosa herramienta en este tipo de representaciones. La simple variación del mismo sobre los nodos nos aporta una nueva cualidad que permite explorar otra vertiente del trabajo de los investigadores individualmente.

Sin embargo, la obtención del color correspondiente a cada nodo, desde el punto de vista de la especialidad a la que pertenece, no es tan sencilla. Es en este momento cuando recurrimos al Análisis Factorial para simplificar las múltiples relaciones complejas de cada una de las redes analizadas, y extraer de ellas información no directamente observable. Siguiendo el procedimiento minuciosamente descrito en el apartado metodológico, mostraremos los resultados obtenidos para cada representación.

Tabla 8.3. Eigenvalues. Informática (1995-2004)

| 1995-1999 | | | | | 2000-2004 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Factor** | **Eigenvalue** | **% Varianza** | **% Acum** | **Ratio** | **Factor** | **Eigenvalue** | **% Varianza** | **% Acum** | **Ratio** |
| 1 | 7.91 | 10.3 | 10.3 | 1.24 | 1 | 24.96 | 13.9 | 13.9 | 2.11 |
| 2 | 6.39 | 8.3 | 18.6 | 1.15 | 2 | 11.81 | 6.6 | 20.5 | 1.20 |
| 3 | 5.58 | 7.2 | 25.8 | 1.14 | 3 | 9.87 | 5.5 | 26.1 | 1.14 |
| 4 | 4.90 | 6.4 | 32.2 | 1.22 | 4 | 8.67 | 4.8 | 30.9 | 1.12 |
| 5 | 4.02 | 5.2 | 37.4 | 1.16 | 5 | 7.75 | 4.3 | 35.2 | 1.11 |
| 6 | 3.45 | 4.5 | 41.9 | 1.07 | 6 | 6.95 | 3.9 | 39.1 | 1.10 |
| 7 | 3.23 | 4.2 | 46.1 | 1.10 | 7 | 6.33 | 3.5 | 42.6 | 1.15 |
| 8 | 2.93 | 3.8 | 49.9 | 1.10 | 8 | 5.51 | 3.1 | 45.7 | 1.05 |
| 9 | 2.67 | 3.5 | 53.3 | 1.35 | 9 | 5.26 | 2.9 | 48.7 | 1.10 |
| 10 | 1.98 | 2.6 | 55.9 | 1.06 | 10 | 4.76 | 2.7 | 51.3 | 1.05 |
| 11 | 1.86 | 2.4 | 58.3 | 1.05 | 11 | 4.54 | 2.5 | 53.9 | 1.07 |
| 12 | 1.77 | 2.3 | 60.6 | 1.04 | 12 | 4.23 | 2.4 | 56.2 | 1.17 |
| 13 | 1.71 | 2.2 | 62.8 | 1.09 | 13 | 3.64 | 2 | 58.3 | 1.21 |
| 14 | 1.56 | 2 | 64.9 | 1.16 | 14 | 3.01 | 1.7 | 59.9 | 1.04 |
| 15 | 1.34 | 1.7 | 66.6 | 1.04 | 15 | 2.90 | 1.6 | 61.6 | 1.10 |
| 16 | 1.30 | 1.7 | 68.3 | 1.05 | 16 | 2.64 | 1.5 | 63 | 1.06 |
| 17 | 1.24 | 1.6 | 69.9 | 1.16 | 17 | 2.48 | 1.4 | 64.4 | 1.08 |
| 18 | 1.07 | 1.4 | 71.3 | 1.05 | 18 | 2.31 | 1.3 | 65.7 | 1.09 |
| 19 | 1.02 | 1.3 | 72.6 | 1.01 | 19 | 2.12 | 1.2 | 66.9 | 1.03 |
| 20 | 1.01 | 1.3 | 73.9 | 1.00 | 20 | 2.07 | 1.2 | 68 | 1.04 |
| 21 | 1.01 | 1.3 | 75.2 | 1.00 | 21 | 1.99 | 1.1 | 69.2 | 1.03 |
| 22 | 1.01 | 1.3 | 76.5 | 1.01 | 22 | 1.94 | 1.1 | 70.2 | 1.02 |
| 23 | 1.01 | 1.3 | 77.9 | 1.08 | 23 | 1.90 | 1.1 | 71.3 | 1.06 |
| 24 | 0.93 | 1.2 | 79.1 | 1.24 | 24 | 1.80 | 1 | 72.3 | 1.04 |
| 25 | 0.75 | 1 | 80 | 1.05 | 25 | 1.73 | 1 | 73.3 | 1.07 |

El criterio empleado para limitar la extracción de factores ha sido la obtención de un eigenvalue con valor igual o superior a 1 (Ding Y et al., 2000). La tabla 8.3 contiene los 25 primeros factores de ambos períodos. Los que obtienen eigenvalues iguales o superiores a uno acumulan el 78% y el 82% de la varianza

respectivamente, por lo que nos permiten obtener resultados entre aceptables y buenos (Visauta Vinacua B y Martori i Cañas JC, 2003).

Para la extracción y categorización de cada uno de esos veinticinco factores en ambos períodos, se han ordenado los autores de forma decreciente según su carga factorial, estableciendo como límite de pertenencia a ese factor un valor mayor o igual a 0.5, aunque para determinar la caracterización de la agrupación sólo se tendrán en cuenta aquellos autores con valores iguales o superiores a 0.7 (Moya-Anegón F et al., 1998).

Tabla 8.4. Muestra de factores con valor ≥ 0.5. Informática (2000-2004)

| Factor | 1 | Factor | 2 |
|---|---|---|---|
| Arroyo L | 0.97 | Calderon | 0.91 |
| Brusilovsky | 0.97 | Prete | 0.91 |
| Dicheva | 0.97 | Cotaina | 0.91 |
| Dimitrova | 0.97 | Lozano | 0.91 |
| Duval | 0.97 | Cardona | 0.91 |
| Hirashima | 0.97 | Perez JM | 0.91 |
| Hoppe | 0.97 | Garcia JD | 0.91 |
| Houben | 0.97 | Fernandez-Munoz | 0.89 |
| Ikeda | 0.97 | Menor | 0.87 |
| Kay | 0.97 | Carretero | 0.81 |
| Kinshuk | 0.97 | Escolar | 0.80 |
| Melis | 0.97 | Garcia-Carballeira | 0.78 |
| Mitrovic | 0.97 | Choudhary | 0.59 |
| Naeve | 0.97 | **Factor** | **3** |
| Nykanen | 0.97 | Casar | 0.84 |
| Paquette | 0.97 | Jimenez FJ | 0.81 |
| Retalis | 0.97 | Herrero | 0.78 |
| Sinitsa | 0.97 | Besada | 0.77 |
| Soller | 0.97 | Portillo | 0.76 |
| Staab | 0.97 | De Diego | 0.70 |
| Vassileva | 0.97 | Carbo | 0.66 |
| Verdejo | 0.97 | Garcia-Herrero | 0.65 |
| Greer | 0.97 | Berlanga | 0.63 |
| Sampson | 0.92 | Sanchis | 0.63 |
| Wagner | 0.92 | Davila | 0.57 |

Por último, sólo queda otorgar un nombre que caracterice a cada uno de los factores. Para ello se han tenido en cuenta las categorías temáticas a las que están

adscritas las distintas fuentes reseñadas en las referencias bibliográficas de los trabajos de los autores que conforman el factor[45].

En el caso del departamento de Informática, han sido seis las categorías detectadas: Teoría Informática, Inteligencia Artificial, Software, Sistemas de Información, Educación e Ingeniería Química.

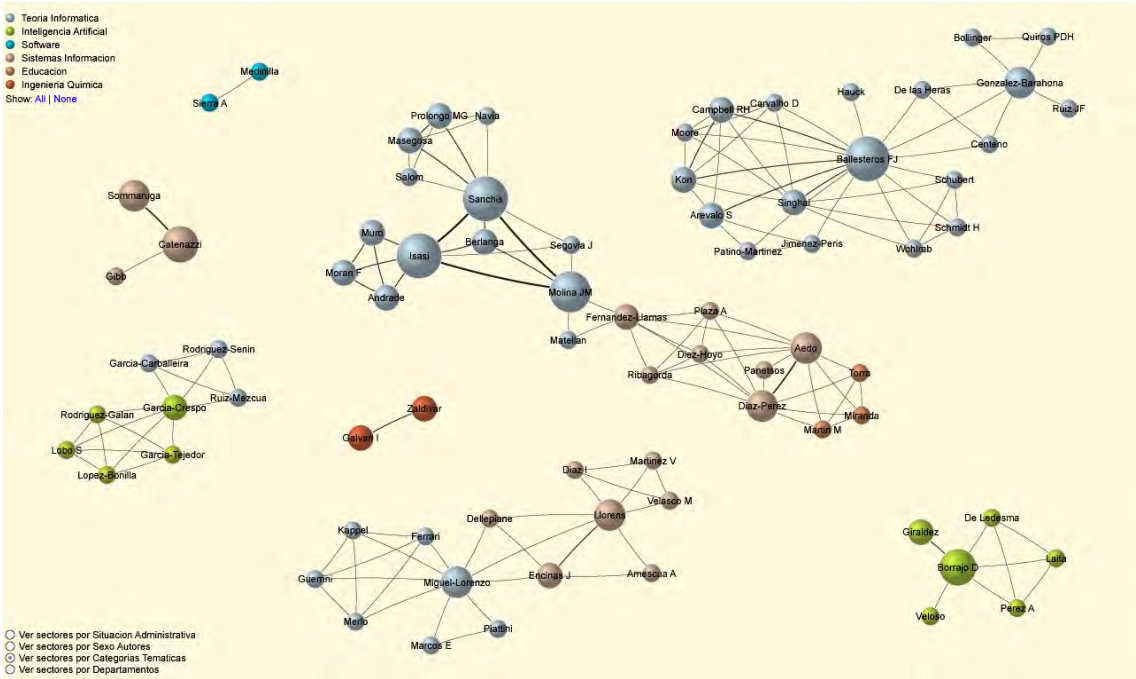



Figura 8.14. Red de coautoría. Análisis temático. Informática (1995-1999)

Aunque las categorías han permanecido invariables a lo largo del tiempo salvo la desaparición de Ingeniería Química, puede apreciarse como el peso inicial de la Teoría Informática en el período 1995-1999 (predominio de nodos azules en la figura 8.14), ha dejado paso a un equilibrio entre ésta y la Inteligencia Artificial en la producción posterior (equilibrio entre nodos azules y verdes en la figura 8.15). Ello pone de manifiesto que las especialidades de investigación departamentales no se han diversificado, pero sí ha crecido la especialización en uno de ellos,

[45] Es una aproximación al concepto de frente de investigación entendido como la forma en la que los investigadores citan una pequeña y selecta parte de la literatura científica. Aunque la unidad más valiosa para la detección de frentes de investigación es la cocitación, también es posible emplear las referencias con temática común para conformar la base intelectual de las disciplinas (Braam RR et al., 1991b), (Jarneving B, 2005), (Persson O, 1994).

concentrando y orientando cada vez más esfuerzos hacia la Inteligencia Artificial que, además, toma las posiciones centrales del componente principal confiriéndole el privilegio de la vertebración departamental, y relegando a la Teoría Informática a la periferia.

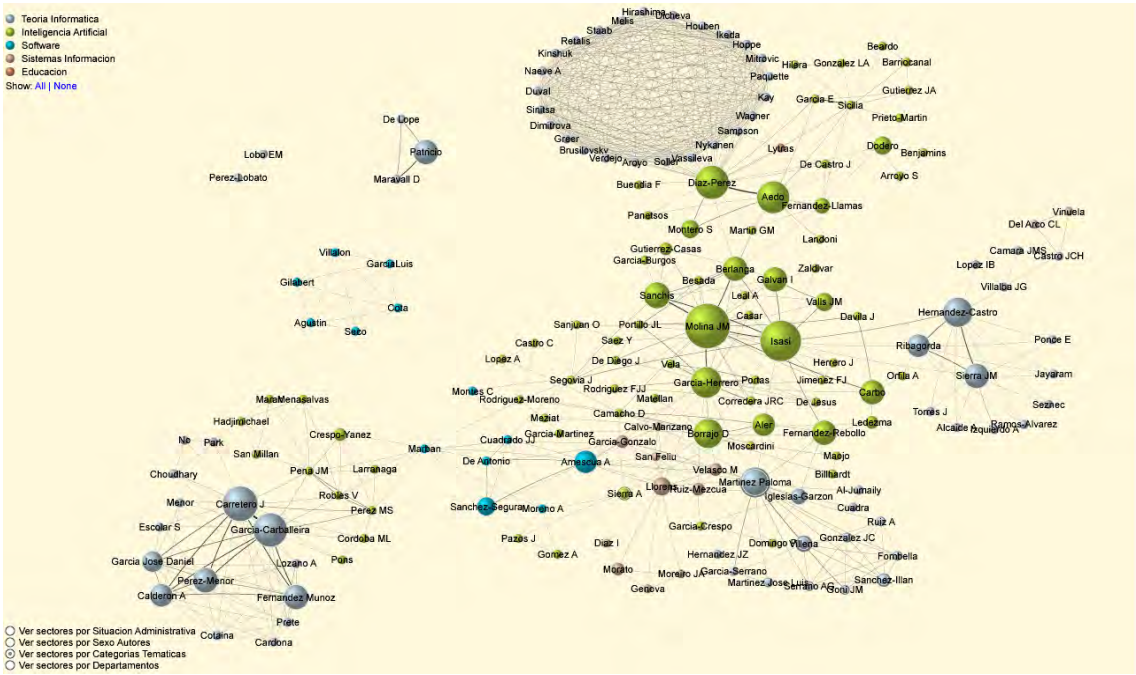



Figura 8.15. Red de coautoría. Análisis temático. Informática (2000-2004)

### 8.3.6. ANÁLISIS POR SEXO DE LAS REDES DE COAUTORÍA.

El estudio detallado de los investigadores de cada uno de los departamentos de la UC3M, permite elaborar una tercera división sobre las redes de coautoría: por sexo de los autores. Este tipo de estudios son cada vez más frecuentes y constituyen una magnífica fuente de financiación de trabajos de investigación, y concentrando gran atención por parte de los científicos, los gestores y la opinión pública en general (Bordons M et al., 2003), (Lee S y Bozeman B, 2005), (Mählck P, 2001), (Mauleón E y Bordons M, 2006).

Los estudios bibliométricos permiten extraer datos fiables de producción y visibilidad. Por su parte, desde el punto de vista estructural, la incorporación de

variables tanto egocéntricas (propiedades de las relaciones de un determinado autor con el resto en su red personal), como de centralidad (relaciones de un autor con el total de actores que conforman la red, incluyendo aquellos con los que no está directamente conectado) (Ibarra H, 1992), facilitan la obtención de una perspectiva útil e imprescindible para la mejor comprensión de la presencia de la mujer en la ciencia y su promoción en la carrera científica.

Tabla 8.5. Aportación masculina y femenina. Informática (1995-2004)

| | | 1995-1999 | | 2000-2004 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | **Total** | **%** | **Total** | **%** |
| **Individuos** | **Hombres** | 17 | 65.38 | 46 | 77.97 |
| | **Mujeres** | 9 | 34.62 | 13 | 22.03 |
| **Producción** | **Hombres** | 45 | 66.18 | 242 | 79.87 |
| | **Mujeres** | 23 | 33.82 | 61 | 20.13 |
| **Citas** | **Hombres** | 30 | 63.83 | 53 | 71.62 |
| | **Mujeres** | 17 | 36.17 | 21 | 28.38 |

El análisis a partir de los datos absolutos y porcentuales de número de individuos, producción y número de citas recibidas (tabla 8.5), muestra que el crecimiento de la red departamental ha beneficiado en mayor medida al colectivo investigador masculino. Mientras que en el primer período los valores giraban en torno al 65-35% en el binomio hombre-mujer, en el segundo período pasaron al 75-25%.

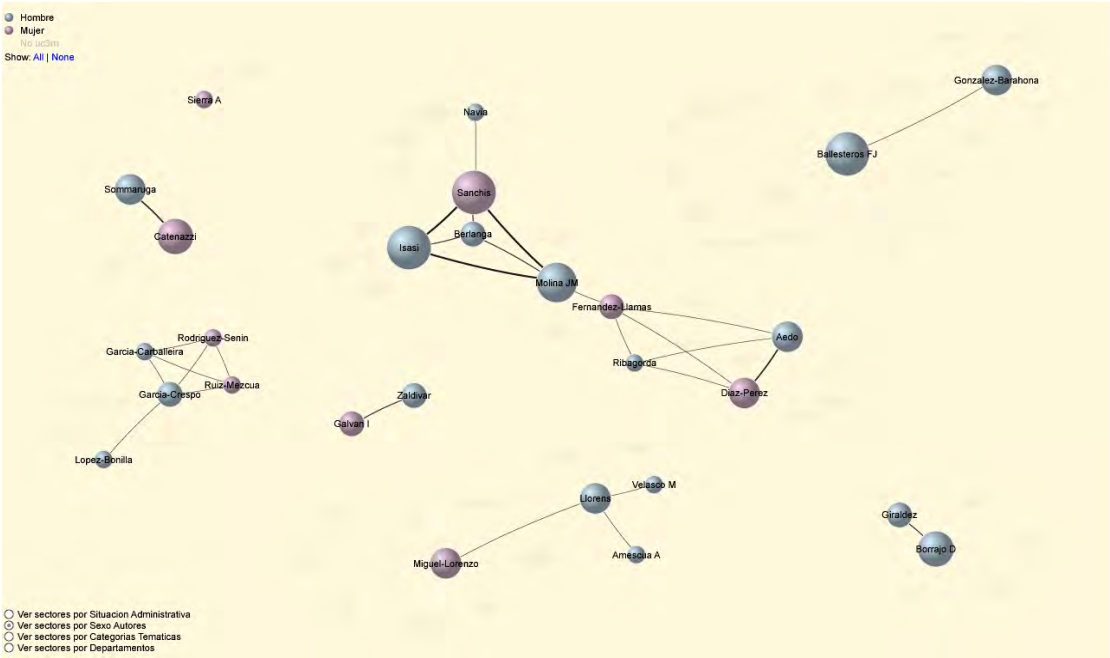



Figura 8.16. Red de coautoría. Análisis por sexo. Informática (1995-1999)

Desde el punto de vista de la posición femenina en la red, sin embargo, se observa una integración perfecta con sus colegas del sexo opuesto en los distintos grupos de investigación que conforman el departamento de Informática (figuras 8.16 y 8.17). Sólo el segundo de los componentes en tamaño de la red del último quinquenio carece de participación femenina.

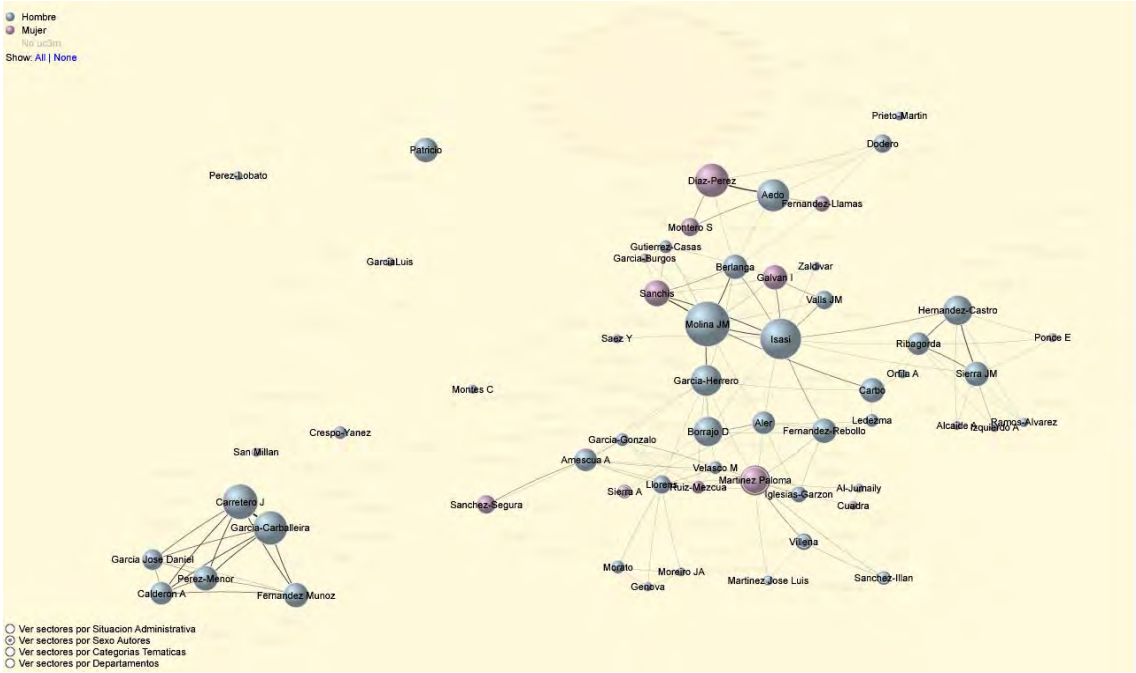



Figura 8.17. Red de coautoría. Análisis por sexo. Informática (2000-2004)

Aunque las agrupaciones científicas entre hombres son más frecuentes, fundamentalmente debidas al predominio masculino, también aumentan los componentes que cuentan con varias mujeres en su seno, como se puede apreciar en el detalle de la figura 8.18.

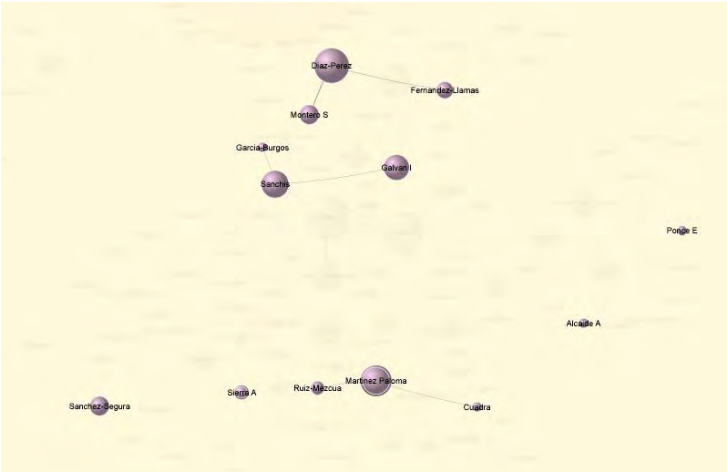



Figura 8.18. Detalle de colaboración femenina. Informática (2000-2004)

### 8.3.7. Análisis de la Situación Administrativa de las Redes de Coautoría.

El último de los aspectos representado en las redes de coautoría es el de relación entre autores y su correspondiente situación administrativa. Puesto que dicha situación administrativa varía a lo largo del tiempo, y es una variable tremendamente compleja de controlar, ésta ha sido determinada a partir de los datos disponibles en 2006 en la mayor parte de los casos, y no por la relación contractual del profesor en el momento de la firma de los trabajos.

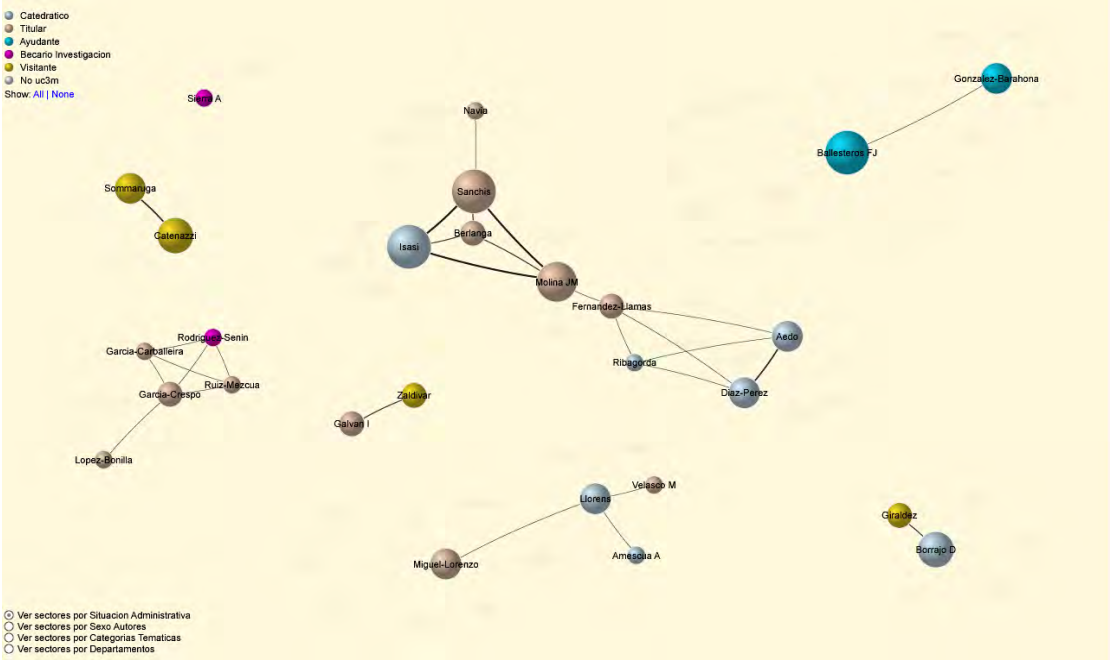



Figura 8.19. Red de coautoría. Relación administrativa. Informática (1995-1999)

Aunque las estructuras de relación arquetípicas suponen el predominio de investigadores veteranos en posiciones centrales, rodeados por colegas menos productivos (habitualmente estudiantes que se inician en labores de investigación), las estructuras resultantes del departamento de Informática varían de este modelo. La figura 8.19 presenta las relaciones entre autores de la Universidad entre 1995 y 1999, en las que predomina la estructura Catedrático-Titular. También la figura 8.20, que muestra la red del segundo quinquenio, presenta la estructura Catedrático-Titular como la relación prevaleciente. Por otro lado, resulta destacable el papel de los profesores asociados, que constituyen en su mayoría núcleos aislados al margen del departamento. Muestra evidente de ello son los tres componentes menores, originados fuera del amparo de la red departamental.

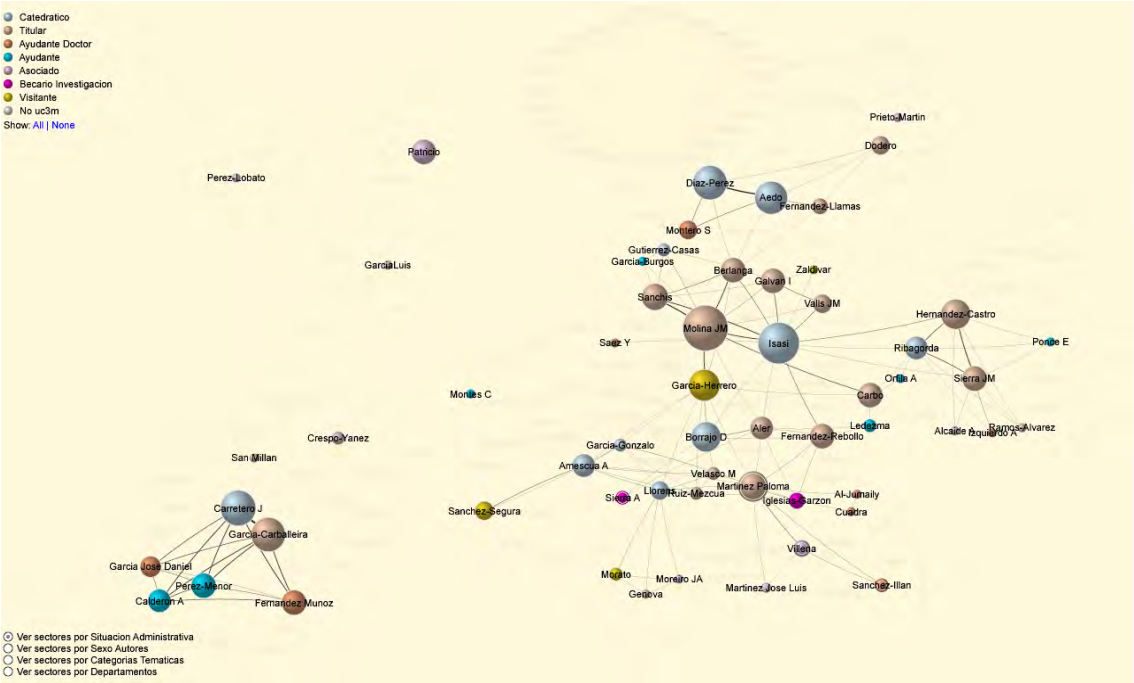



Figura 8.20. Red de coautoría. Relación administrativa. Informática (2000-2004)

### 8.3.8. Evolución y Topología de las Redes de Coautoría.

Los valores generales de cada una de las redes, y sus medidas de centralización, recogidos en la tabla 8.6, muestran la evolución y el crecimiento de la red de un

quinquenio a otro. Así, el aumento de autores participantes en la producción en colaboración del departamento de Informática es considerable (100 autores más en el segundo período, respecto del inicial).

Sin embargo, la densidad de la red, o el número de enlaces reales existentes respecto del máximo posible, permanece constante. Esa densidad cercana al 5% nos revela unas redes con escasa tupición, o lo que es lo mismo con pocas relaciones entre nodos de grupos de investigación distintos.

Algo similar sucede con el grado de centralización de la red. El aumento del número de nodos no lleva aparejado un aumento de las relaciones de éstos, nuevo indicador de la escasa relación entre nodos de diferente grupo.

Tabla 8.6. Valores generales de las redes de Informática (1995-2004)

| Indicadores | 1995-1999 | 2000-2004 |
|---|---|---|
| Número nodos | 77 | 177 |
| Densidad | 0.05 | 0.05 |
| Grado | 0.15 | 0.16 |
| Intermediación | 0.04 | 0.35 |
| Coeficiente agrupamiento | 0.10 | 0.13 |
| Número componentes | 8 | 4 |
| Tamaño componente principal | 23 | 166 |
| Tamaño componente principal (%) | 29.87 | 93.79 |
| Tamaño segundo componente | 19 | 6 |
| Tamaño segundo componente (%) | 24.68 | 3.39 |
| Ndoc col | 38 | 134 |
| Ndoc col (% respecto UC3M) | 6.75 | 10.70 |
| Citas | 11 | 18 |
| Citas (% respecto UC3M) | 2.87 | 4.07 |

Por otro lado, la integración de los autores y su agrupación e imbricación quedan patentes en la reducción a la mitad del número de componentes, la configuración del componente principal que acoge a casi el 94% de los coautores (frente al 30% de la red inicial), y el aumento del coeficiente de agrupamiento. Una consecuencia inmediata de ello, es el aumento significativo del valor de centralización de la intermediación en el segundo período.

Todo ello se traduce en un incremento del número de documentos producidos en el segundo lustro, equivalente al 4% de la producción de la Universidad, y a un aumento de la visibilidad observada, equivalente al 1.2% del total institucional.

Nos encontramos, por tanto, ante el paso de un departamento fraccionado, sustentado por agrupaciones de coautores que trabajan de forma aislada e inconexa, a una estructura más madura, en la que, con independencia de la especialidad en la que se desarrollan los estudios, es capaz de compartir recursos y lograr la integración de todos sus miembros (hemos comprobado en apartados anteriores que los pequeños componentes del segundo período corresponden a profesores asociados), consolidando la unidad departamental.

### 8.3.9. POPULARIDAD Y PRESTIGIO.

La tabla 8.7, ordenada según el número de documentos en colaboración, recoge una selección de indicadores tanto bibliométricos como estructurales de coautores de la red departamental de Informática, excluyendo los no pertenecientes a la Universidad. Incorpora las dos nuevas medidas propuestas en el capítulo metodológico, que, interpretando a Mählck y Persson, combinan de forma adecuada magnitudes bibliométricas (documentos y citas) y estructurales (coeficiente de agrupamiento) para la caracterización de los actores de las visualizaciones obtenidas (Mählck P y Persson O, 2000).

En el primer período el autor con mayor producción en colaboración y con mayor coeficiente de agrupamiento obtiene el valor más alto de popularidad. Sin embargo, su productividad, grado y agrupamiento no son suficientes para lograr el primer valor en prestigio. El segundo valor en coeficiente de agrupamiento y el primer valor en número de citas muestran como los dos autores más prestigiosos se posicionan terceros en popularidad y undécimo y duodécimo en producción colaboradora.

Tabla 8.7. Popularidad y prestigio. Informática (1995-2004)

| 1995-1999 (más de 2 documentos) | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Orden** | **Nombre** | **Puesto** | **Ndoc col** | **Citas** | **FITN** | **Grado** | **Intermediación** | **Coef Cluster** | **Popularidad** | **Prestigio** |
| 1 | Ballesteros FJ | Ayudante | 6 | 3 | 0.93 | 0.20 | 0.0375 | 0.857 | 5.14 | 2.57 |
| 2 | Isasi | Catedrático | 6 | 0 | 0.96 | 0.09 | 0.0201 | 0.187 | 1.12 | 0 |
| 3 | Sanchís | Titular | 6 | 0 | 0.97 | 0.11 | 0.0255 | 0.281 | 1.68 | 0 |
| 4 | Molina JM | Titular | 5 | 5 | 0.94 | 0.08 | 0.0426 | 0.067 | 0.33 | 0.33 |
| 5 | Catenazzi | Visitante | 4 | 2 | 1.06 | 0.03 | 0.0004 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | Borrajo D | Catedrático | 4 | 6 | 1.06 | 0.07 | 0.0025 | 0.333 | 1.33 | 2 |
| 7 | Llorens | Catedrático | 3 | 1 | 0.74 | 0.09 | 0.0119 | 0.163 | 0.49 | 0.16 |
| 8 | Sommaruga | Visitante | 3 | 2 | 1.07 | 0.01 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | González-Barahona | Ayudante | 3 | 1 | 1.06 | 0.08 | 0.0165 | 0.043 | 0.13 | 0.04 |
| 10 | Miguel-Lorenzo | Titular | 3 | 0 | 0.88 | 0.12 | 0.0175 | 0.333 | 1 | 0 |
| 11 | Díaz-Pérez | Catedrático | 3 | 8 | 1.10 | 0.12 | 0.0125 | 0.510 | 1.53 | 4.08 |
| 12 | Aedo | Catedrático | 3 | 8 | 1.10 | 0.12 | 0.0125 | 0.510 | 1.53 | 4.08 |
| **2000-2004 (más de 6 documentos)** | | | | | | | | | | |
| **Orden** | **Nombre** | **Puesto** | **Ndoc col** | **Citas** | **FITN** | **Grado** | **Intermediación** | **Coef Cluster** | **Popularidad** | **Prestigio** |
| 1 | Molina JM | Titular | 23 | 3 | 0.81 | 0.15 | 0.172 | 0.234 | 5.387 | 0.703 |
| 2 | Isasi | Catedrático | 19 | 3 | 0.85 | 0.09 | 0.226 | 0.060 | 1.139 | 0.180 |
| 3 | Carretero J | Catedrático | 14 | 1 | 0.93 | 0.11 | 0.075 | 0.365 | 5.110 | 0.365 |
| 4 | Díaz-Pérez | Catedrático | 13 | 13 | 0.83 | 0.21 | 0.288 | 0.899 | 11.682 | 11.682 |
| 5 | García-Carballeira | Titular | 13 | 1 | 0.95 | 0.10 | 0.055 | 0.303 | 3.935 | 0.303 |
| 6 | Aedo | Catedrático | 12 | 13 | 0.88 | 0.06 | 0.054 | 0.013 | 0.159 | 0.172 |
| 7 | García-Herrero | Visitante | 11 | 0 | 0.87 | 0.12 | 0.187 | 0.168 | 1.850 | 0 |
| 8 | Borrajo D | Catedrático | 10 | 6 | 0.88 | 0.07 | 0.068 | 0.034 | 0.336 | 0.201 |
| 9 | Martínez Paloma | Titular | 10 | 0 | 0.86 | 0.13 | 0.137 | 0.239 | 2.388 | 0 |
| 10 | Hernández-Castro | Titular | 10 | 0 | 0.97 | 0.07 | 0.088 | 0.098 | 0.979 | 0 |
| 11 | Sanchís | Titular | 8 | 2 | 0.78 | 0.04 | 0.031 | 0.020 | 0.162 | 0.040 |
| 12 | Berlanga | Titular | 7 | 4 | 0.81 | 0.06 | 0.360 | 0.012 | 0.083 | 0.047 |
| 13 | Carbo | Titular | 7 | 2 | 0.84 | 0.03 | 0.020 | 0.004 | 0.025 | 0.007 |
| 14 | Sierra JM | Titular | 7 | 0 | 0.91 | 0.06 | 0.026 | 0.078 | 0.546 | 0 |
| 15 | Galván I | Titular | 7 | 1 | 0.80 | 0.04 | 0.002 | 0.022 | 0.152 | 0.022 |
| 16 | Patricio | Asociado | 7 | 0 | 0.84 | 0.01 | 0 | 0.054 | 0.378 | 0 |
| 17 | Fernández Muñoz | Ayudante Doctor | 7 | 1 | 0.99 | 0.06 | 0.0002 | 0.186 | 1.305 | 0.186 |
| 18 | Pérez-Menor | Ayudante | 7 | 1 | 1.06 | 0.06 | 0.0001 | 0.155 | 1.085 | 0.155 |
| 19 | Fernández-Rebollo | Titular | 7 | 1 | 0.81 | 0.03 | 0.021 | 0.008 | 0.057 | 0.008 |
| | | | | 1º valor | 2º valor | 3º valor | | | | |

En el segundo período, se repite el patrón que relega al autor con más producción cooperativa al segundo valor en prestigio, pero esta vez también en popularidad. El valor más alto en número de citas y coeficiente de agrupamiento aseguran el primer valor de prestigio y popularidad al cuarto autor en volumen absoluto de producción.

## 8.4. DEPARTAMENTO DE ECONOMÍA.

### 8.4.1. DATOS GENERALES DE COLABORACIÓN.

El departamento de Economía, con producción desde 1991, es uno de los pioneros en la publicación de trabajos con visibilidad internacional. Su línea de producción absoluta puede dividirse en cuatro fases, una primera de crecimiento moderado y paulatino (hasta 1994), una segunda de estabilización (hasta 1997), una tercera irregular, con alternancia de aumentos y descensos (hasta 2002), y una fase final que recupera la estabilidad.

En cuanto a sus hábitos de colaboración (figura 8.20), se aprecia una marcada tendencia a la colaboración con socios extranjeros, un importante número de trabajos firmados en solitario, una creciente colaboración con instituciones nacionales, y una escasa participación entre profesores del mismo departamento.

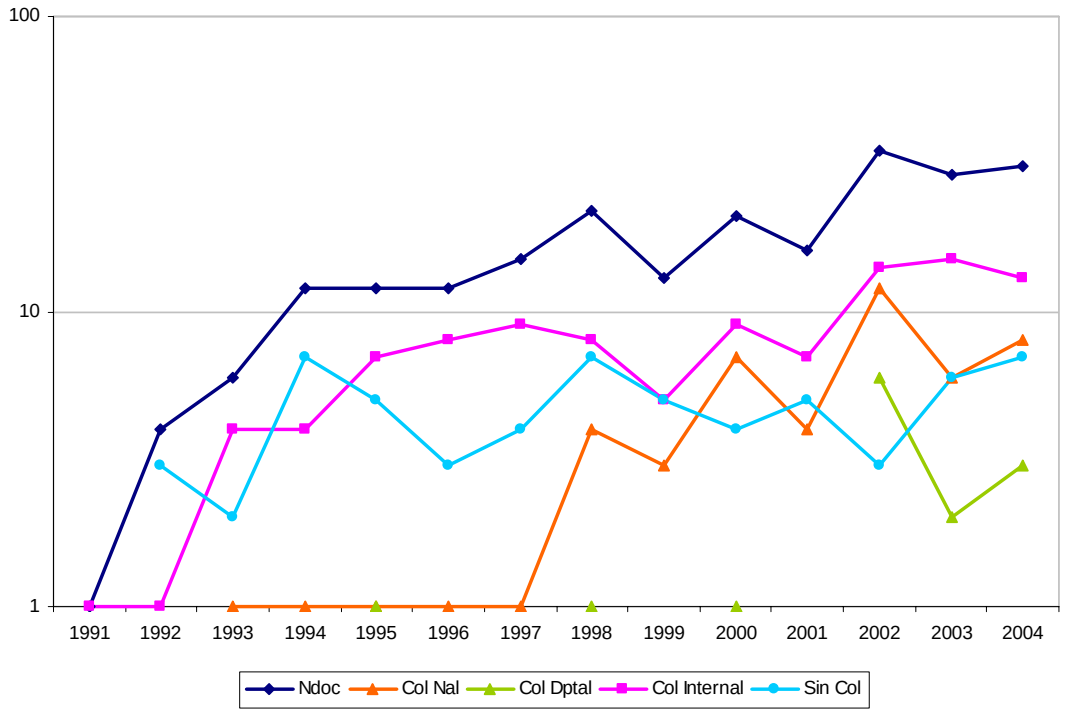



Figura 8.21. Evolución de la producción por tipos de colaboración. Economía

La evolución de la producción en valores porcentuales (figura 8.21) nos muestra como la colaboración internacional ha sufrido un importante descenso a finales de los noventa, recuperando importancia a principios de siglo, logrando un valor medio del 46%. La evolución de la producción sin colaboración ha seguido un patrón antagónico al de la internacional, tendiendo al descenso (26% de media). La aparición de la colaboración nacional, y su tendencia general al aumento (21.5% de media en el período), sustituye la bipolaridad inicial internacional-sin colaboración por nacional-sin colaboración o, dicho de otro modo, la evolución de la colaboración internacional en los últimos años se muestra independiente de cualquier otro tipo de colaboración. Como último aspecto, destaca la escasa colaboración entre compañeros del mismo departamento, hecho que contrasta, como veremos más adelante, con la homogeneidad en la temática de la investigación.

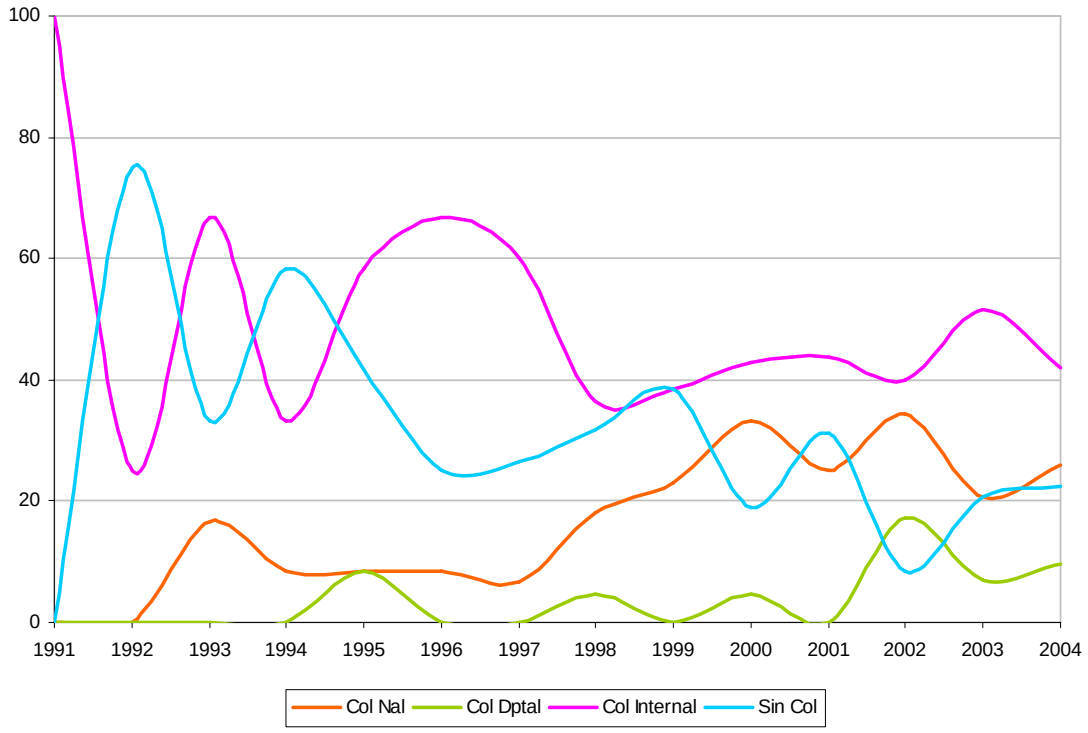



Figura 8.22. Evolución de la producción por tipos de colaboración en %. Economía

### 8.4.2. COLABORACIÓN INTERNACIONAL.

La figura 8.22 muestra la red de países con los que colaboran los miembros del departamento de Economía. El mayor número de trabajos en colaboración se da con Estados Unidos, Inglaterra, Francia e Israel, que son el conjunto de naciones con al menos diez documentos cofirmados en el período.

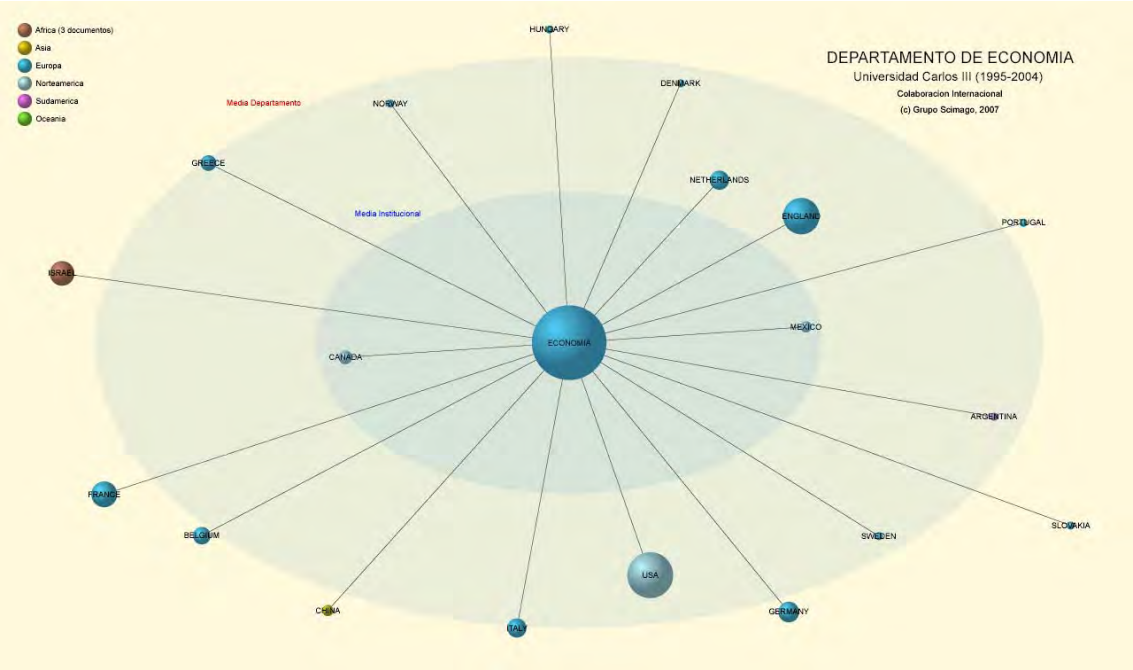



Figura 8.23. Heliocéntrico de colaboración internacional. Economía (1995-2004)

En lo relativo al impacto, los trabajos con mayor visibilidad esperada, en cambio, corresponden a las colaboraciones con instituciones canadienses y mexicanas, superando en ambos casos la media institucional, regional y nacional. Próximas al valor medio de la Universidad se encuentran los trabajos en colaboración con Holanda. Y a mayor distancia, siempre por encima del impacto medio esperado de la producción departamental (1.003), Inglaterra y Estados Unidos. En el caso de Israel, contrasta la elevada producción con el departamento de Economía, y la escasa visibilidad esperada de los resultados de investigación conjuntos (0.94) muy alejada de la media del departamento.

### 8.4.3. COLABORACIÓN NACIONAL.

La figura 8.23 presenta la colaboración de los autores del departamento de Economía con sus colegas del resto de instituciones nacionales. Desde el punto de vista de la producción absoluta, destacan las coautorías, por orden descendente, con la Fundación de Estudios de Economía Aplicada (FEDEA), la Universidad Complutense, la de Alicante y la Pompeu Fabra. De las 31 instituciones que participan en la producción del departamento de Economía, la mitad de ellas son madrileñas, evidenciando la influencia de la proximidad geográfica en la colaboración científica.

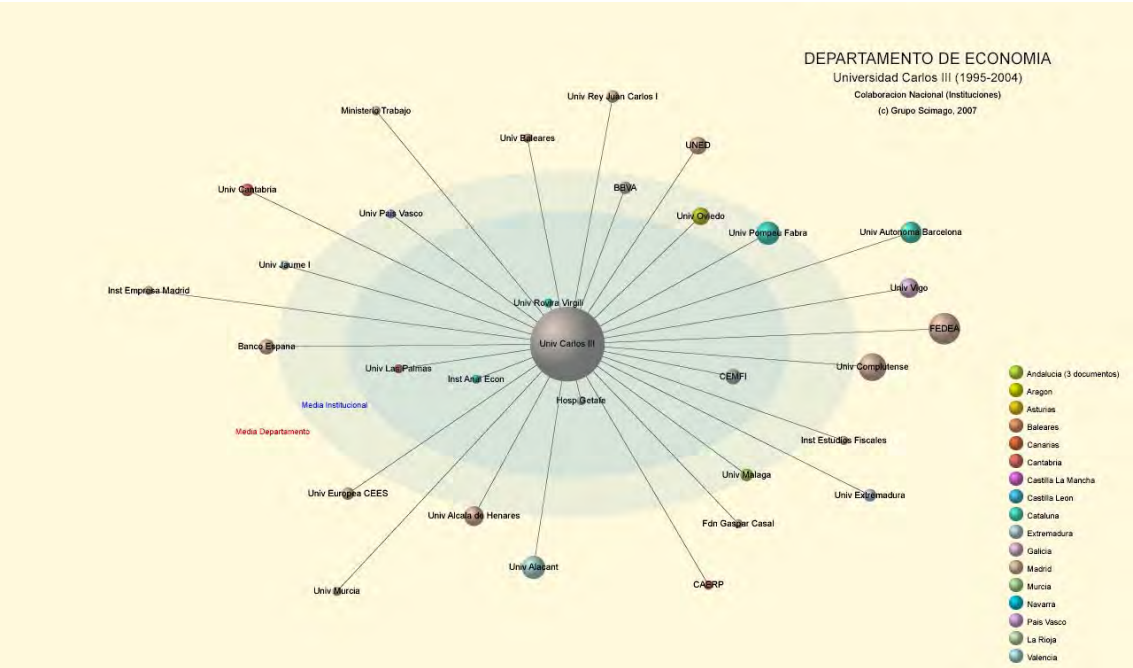



Figura 8.24. Heliocéntrico de colaboración nacional. Economía (1995-2004)

Desde el punto de vista del impacto esperado, destaca la visibilidad que alcanzan los trabajos con socios como la Universidad Rovira i Virgili de Tarragona, el Hospital Universitario de Getafe, El Instituto de Análisis Económico del CSIC, la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria y el Centro de Estudios Monetarios y Económicos (CEMFI), todos ellos por encima del promedio institucional. De las instituciones con

mayor colaboración, sólo la Universidad Pompeu Fabra supera la media del departamento.

Comparando los heliocéntricos de colaboración nacional e internacional, se aprecian valores ostensiblemente mejores de visibilidad esperada cuando los socios científicos son españoles.

### 8.4.4. Colaboración Institucional a partir de Redes de Coautoría.

La figura 8.24 muestra la red de autores del departamento de Economía en el período 1995-1999. El color de los nodos muestra su pertenencia a los distintos departamentos de la Universidad, recogidos en la leyenda de la esquina superior izquierda. Para facilitar la comprensión, se han ocultado aquellos autores no pertenecientes a la UC3M.

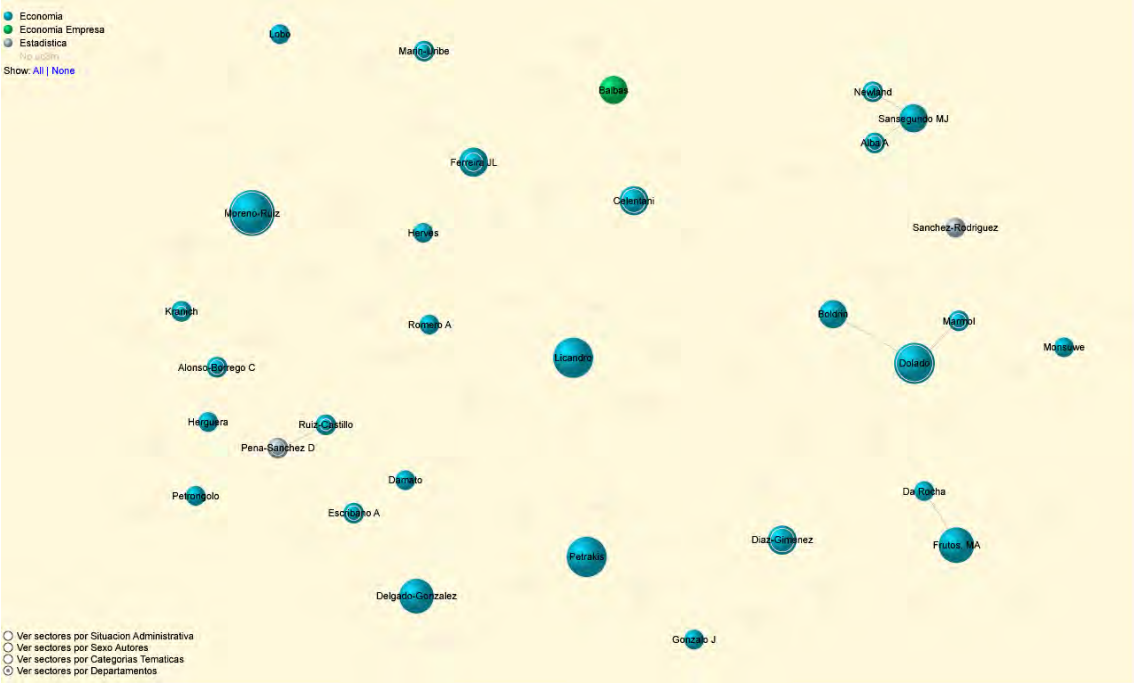



Figura 8.25. Red de coautoría. Colaboración departamental. Economía (1995-1999)

La colaboración interdepartamental es prácticamente inexistente en el primer quinquenio, con sólo tres autores de los departamentos de Economía de la Empresa y Estadística.

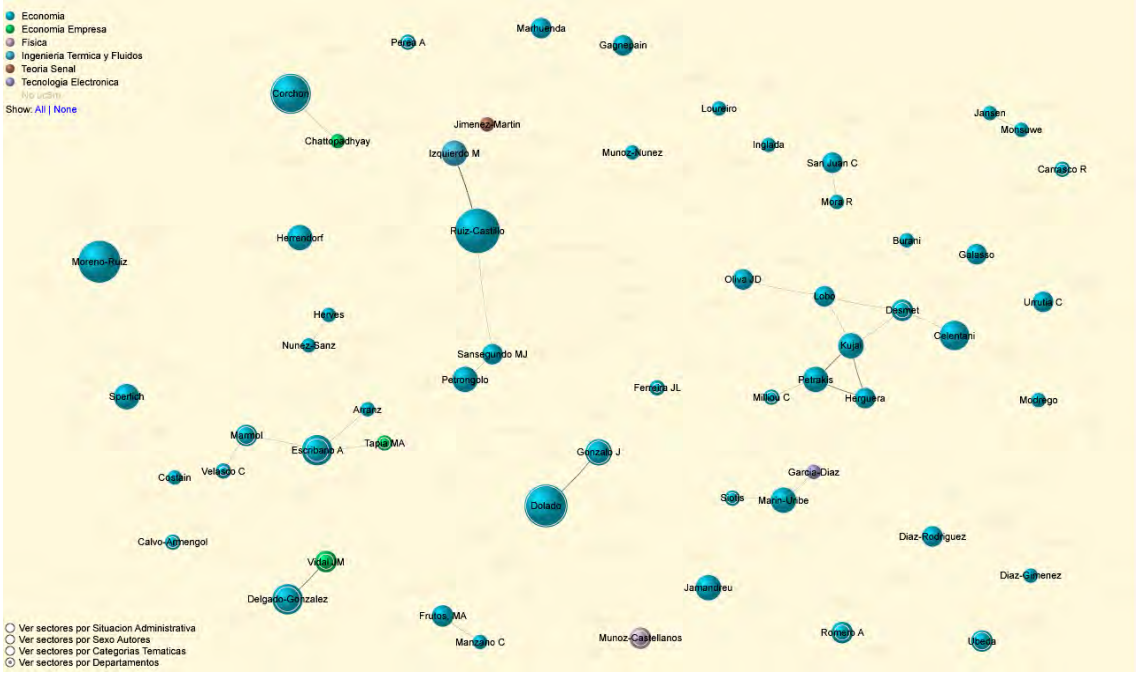



Figura 8.26. Red de coautoría. Colaboración departamental. Economía (2000-2004)

La figura 8.25 presenta la red de autores en el siguiente lustro. El número de departamentos de la Universidad con los que colabora Economía asciende de 2 a 5 (desaparece Estadística y se incorporan Física, Ingeniería Térmica y de Fluidos, Teoría de la Señal y Tecnología Electrónica), pero a pesar del aumento en el número de relaciones interdepartamentales, éstas siguen siendo ocasionales, como indica el detalle de la figura 8.26.

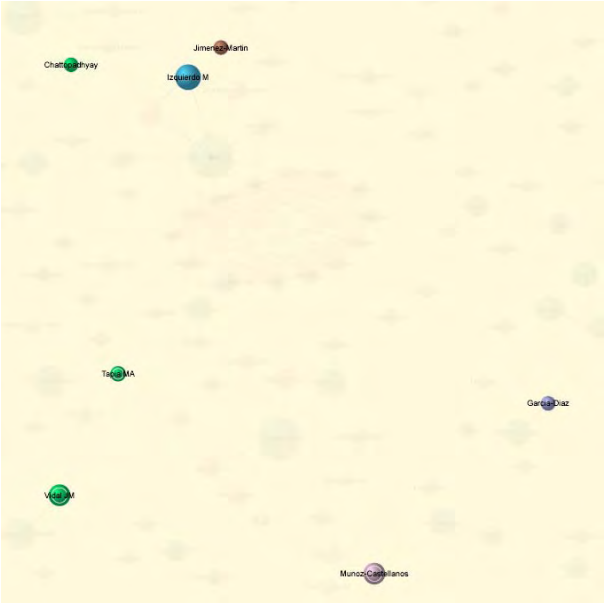



Figura 8.26. Detalle de colaboración interdepartamental. Economía (2000-2004).

## 8.4.5. ANÁLISIS TEMÁTICO DE LAS REDES DE COAUTORÍA.

Tabla 8.8. Eigenvalues. Economía (1995-2004)

| 1995-1999 | | | | | 2000-2004 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Factor | Eigenvalue | % Varianza | % Acum | Ratio | Factor | Eigenvalue | % Varianza | % Acum | Ratio |
| 1 | 5.54 | 6.7 | 6.7 | 1.28 | 1 | 13.74 | 8.2 | 8.2 | 1.90 |
| 2 | 4.31 | 5.2 | 11.9 | 1.26 | 2 | 7.24 | 4.3 | 12.6 | 1.14 |
| 3 | 3.42 | 4.1 | 16 | 1.04 | 3 | 6.36 | 3.8 | 16.4 | 1.51 |
| 4 | 3.28 | 4 | 19.9 | 1.02 | 4 | 4.21 | 2.5 | 18.9 | 1.07 |
| 5 | 3.22 | 3.9 | 23.8 | 1.08 | 5 | 3.95 | 2.4 | 21.3 | 1.08 |
| 6 | 2.97 | 3.6 | 27.4 | 1.20 | 6 | 3.65 | 2.2 | 23.4 | 1.04 |
| 7 | 2.49 | 3 | 30.4 | 1 | 7 | 3.52 | 2.1 | 25.5 | 1.04 |
| 8 | 2.49 | 3 | 33.4 | 1.07 | 8 | 3.40 | 2 | 27.6 | 1.03 |
| 9 | 2.33 | 2.8 | 36.2 | 1.13 | 9 | 3.29 | 2 | 29.6 | 1.01 |
| 10 | 2.05 | 2.5 | 38.7 | 1.00 | 10 | 3.25 | 1.9 | 31.5 | 1.02 |
| 11 | 2.05 | 2.5 | 41.1 | 1.01 | 11 | 3.19 | 1.9 | 33.4 | 1.04 |
| 12 | 2.03 | 2.4 | 43.6 | 1 | 12 | 3.06 | 1.8 | 35.2 | 1.04 |
| 13 | 2.02 | 2.4 | 46 | 1.17 | 13 | 2.95 | 1.8 | 37 | 1.07 |
| 14 | 1.74 | 2.1 | 48.1 | 1.21 | 14 | 2.76 | 1.7 | 38.7 | 1.04 |
| 15 | 1.44 | 1.7 | 49.8 | 1.20 | 15 | 2.66 | 1.6 | 40.2 | 1.03 |
| 16 | 1.20 | 1.4 | 51.3 | 1.03 | 16 | 2.58 | 1.5 | 41.8 | 1.05 |
| 17 | 1.17 | 1.4 | 52.7 | 1.05 | 17 | 2.46 | 1.5 | 43.3 | 1.05 |
| 18 | 1.12 | 1.3 | 54 | 1.02 | 18 | 2.34 | 1.4 | 44.7 | 1.00 |
| 19 | 1.09 | 1.3 | 55.4 | 1.04 | 19 | 2.34 | 1.4 | 46.1 | 1.12 |
| 20 | 1.05 | 1.3 | 56.6 | 1.01 | 20 | 2.08 | 1.2 | 47.3 | 1.03 |
| 21 | 1.04 | 1.3 | 57.9 | 1.01 | 21 | 2.02 | 1.2 | 48.5 | 1 |
| 22 | 1.03 | 1.2 | 59.1 | 1 | 22 | 2.02 | 1.2 | 49.7 | 1.00 |
| 23 | 1.03 | 1.2 | 60.4 | 1 | 23 | 2.02 | 1.2 | 50.9 | 1.01 |
| 24 | 1.03 | 1.2 | 61.6 | 1.01 | 24 | 2.01 | 1.2 | 52.2 | 1.00 |
| 25 | 1.02 | 1.2 | 62.8 | 1 | 25 | 2.01 | 1.2 | 53.4 | 1.08 |

La tabla 8.8 recoge los 25 primeros factores del departamento de Economía en cada uno de los dos períodos. En el primero de ellos éstos son capaces de explicar el 87% de la varianza de la muestra. En el segundo el porcentaje se reduce al 81%.

Para la identificación de cada uno de los factores, se han ordenado los autores de forma decreciente según su carga factorial (tabla 8.9).

Tabla 8.9. Muestra de factores con valor ≥ 0.5. Economía (2000-2004)

| Factor | 1 | Factor | 3 |
|---|---|---|---|
| Aaberge | 0.94 | Maria-Dolores | 0.95 |
| Colombino | 0.94 | Mayoral | 0.95 |
| Fritzell | 0.94 | Felgueroso | 0.75 |
| Jenkins | 0.94 | Jimeno | 0.75 |
| Lefranc | 0.94 | Balmaseda | 0.74 |
| Marx | 0.94 | Booth | 0.74 |
| Page | 0.94 | Frank | 0.74 |
| Pommer | 0.94 | Lopez-Salido | 0.74 |
| Roemer | 0.94 | Pedrero | 0.74 |
| Tranaes | 0.94 | Ruge | 0.74 |
| Trannoy | 0.94 | | |
| Wagner | 0.94 | **Factor** | **4** |
| Zubiri | 0.94 | Arranz | 0.97 |
| Sansegundo | 0.89 | Mira | 0.97 |
| Ruiz-Castillo | 0.54 | Pascual | 0.77 |
| | | Tapia | 0.77 |
| **Factor** | **2** | Marmol | 0.66 |
| Fradera | 0.97 | Aparicio | 0.65 |
| Gonzalez-Maestre | 0.97 | | |
| Iturbe | 0.97 | **Factor** | **5** |
| Puy | 0.97 | Hardle | 0.80 |
| Amoros | 0.75 | Huet | 0.80 |
| Cabrales | 0.75 | Mammen | 0.80 |
| Charness | 0.75 | Profit | 0.80 |
| Chattopadhyay | 0.75 | Rodriguez-Poo | 0.69 |
| Moreno B | 0.75 | Vieu | 0.69 |
| Naeve | 0.75 | Sperlich | 0.53 |

Nuevamente, la caracterización de cada uno de los factores se ha realizado mediante la asignación de categorías temáticas en función de las referencias bibliográficas utilizadas por los autores pertenecientes a cada uno de ellos.

Así, en el primer quinquenio son tres las categorías temáticas, Economía, Estadística y Matemáticas, aunque es la primera de ellas la que predomina. En el

segundo período desaparecen las Matemáticas, y se incorporan la Política Económica, la Gestión y la Psicología (figura 8.27).

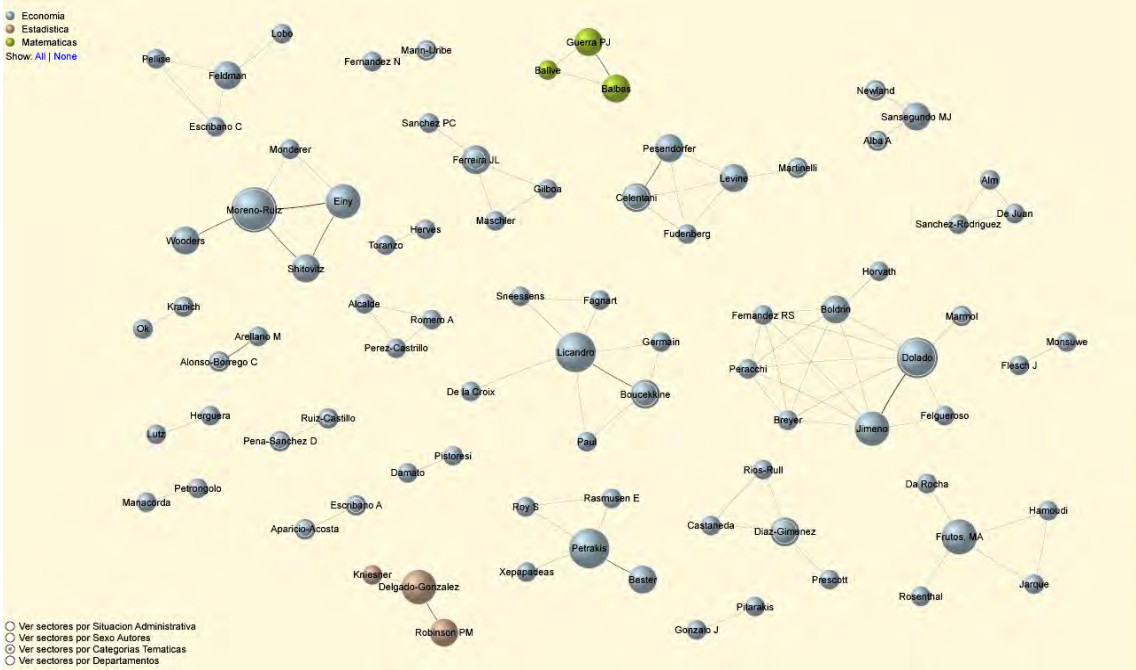



Figura 8.27. Red de coautoría. Análisis temático. Economía (1995-1999)

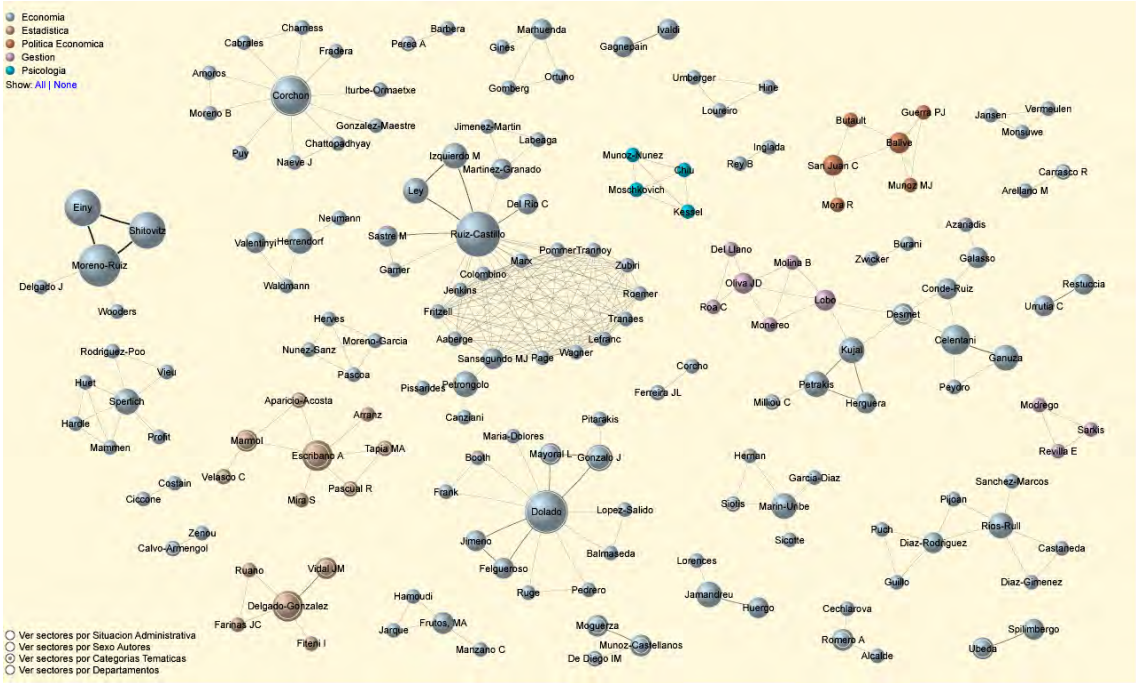



Figura 8.28. Red de coautoría. Análisis temático. Economía (2000-2004)

Aunque en el segundo período surgen nuevas especialidades de investigación y aumenta el número y tamaño de los grupos dedicados a Estadística, el predominio de nodos azules sigue la tendencia observada en la primera visualización y copa la práctica totalidad de la especialización del departamento (figura 8.28).

### 8.4.6. ANÁLISIS POR SEXO DE LAS REDES DE COAUTORÍA.

Centrando la atención y la leyenda de colores en el estudio del comportamiento de los autores del departamento de Economía por sexo, basado en los recuentos absoluto y porcentual de individuos, documentos y citas, reseñados en la tabla 8.10, observamos como el crecimiento de la red ha beneficiado al colectivo investigador masculino. Los valores en el primer lustro se situaban en un 88-12% en los tres apartados.

Tabla 8.10. Aportación masculina y femenina. Economía (1995-2004)

| | | 1995-1999 | | 2000-2004 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | **Total** | **%** | **Total** | **%** |
| **Individuos** | **Hombres** | 27 | 87.10 | 49 | 84.48 |
| | **Mujeres** | 4 | 12.90 | 9 | 15.52 |
| **Producción** | **Hombres** | 65 | 87.84 | 143 | 89.94 |
| | **Mujeres** | 9 | 12.16 | 16 | 10.06 |
| **Citas** | **Hombres** | 71 | 88.75 | 52 | 91.23 |
| | **Mujeres** | 9 | 11.25 | 5 | 8.77 |

La ratio en el segundo quinquenio aumenta la distancia entre hombres y mujeres al 90-10% en producción y citación, a pesar del ligero aumento del número de autoras.

La integración en los grupos de investigación de Economía no presenta diferencias en cuanto al sexo en el primer período, las cuatro mujeres que forman parte del departamento firman sus trabajos integradas en grupos mixtos (figura 8.29).

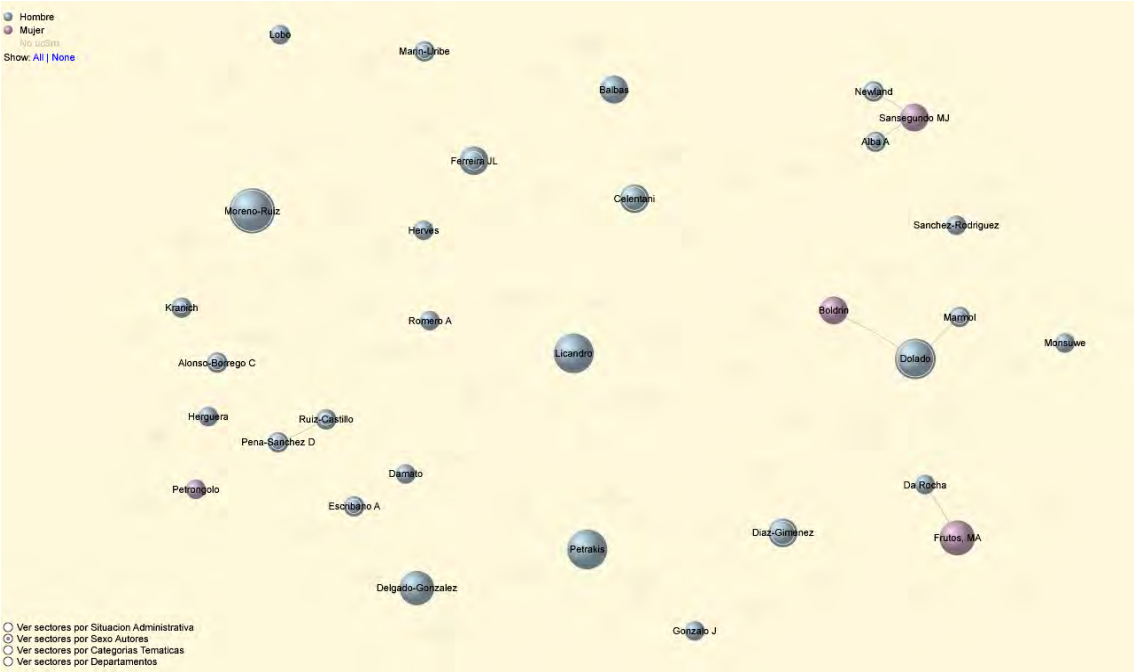



Figura 8.29. Red de coautoría. Análisis por sexo. Economía (1995-1999)

Esas diferencias sí aparecen, en cambio, entre 2000 y 2004, con la aparición de grupos exclusivamente femeninos. De hecho, ocho de las nueve mujeres no tienen relación de coautoría con compañeros varones del departamento (figura 8.30).

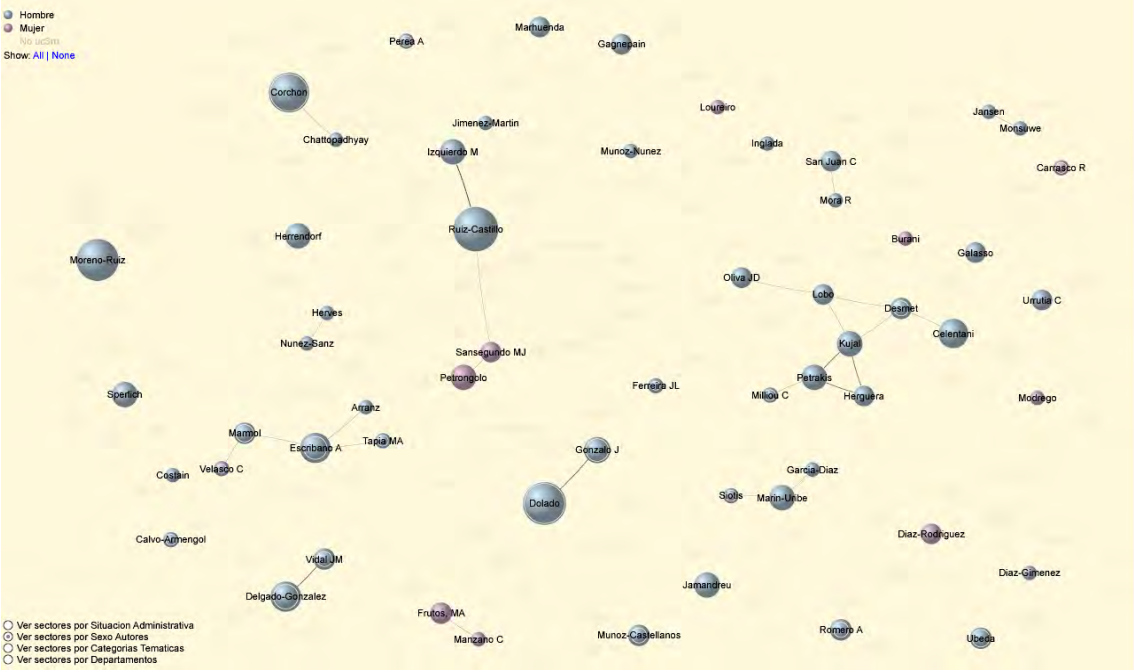



Figura 8.30. Red de coautoría. Análisis por sexo. Economía (2000-2004)

### 8.4.7. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ADMINISTRATIVA DE LAS REDES DE COAUTORÍA.

En el departamento de Economía, durante el período 1995-1999, predominan estructuras de relación centradas en Catedráticos de Universidad y profesores Visitantes. En este primer lustro no aparecen estudiantes pre o postdoctorales asociados a los trabajos de investigadores más experimentados (figura 8.31).

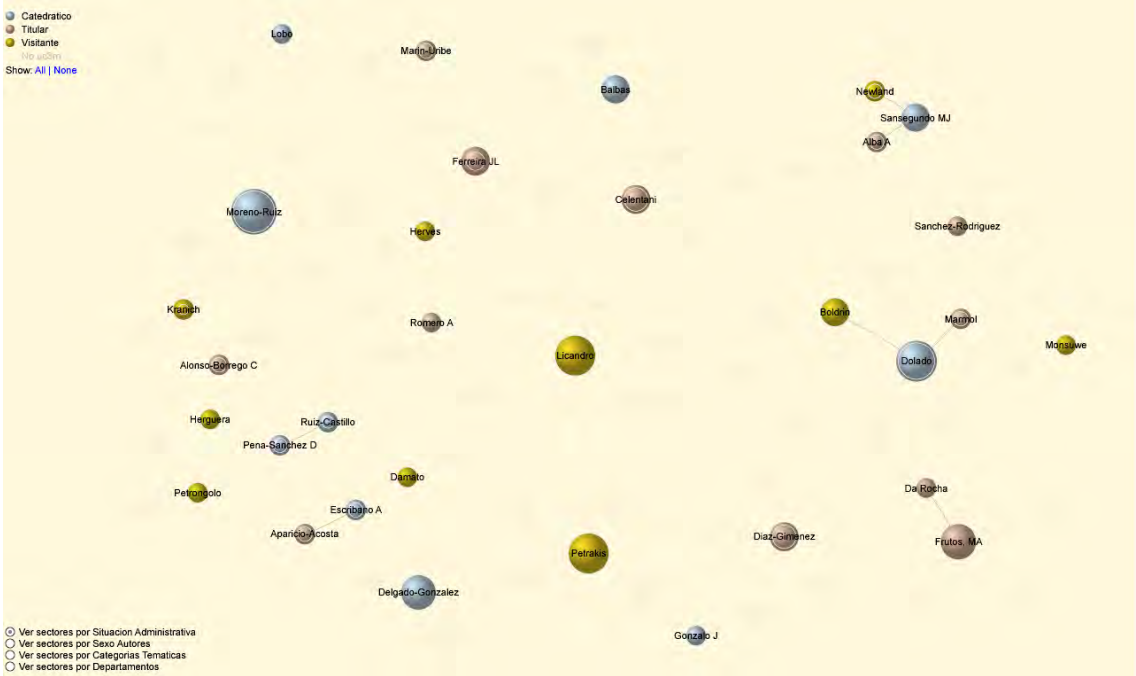



Figura 8.31. Red de coautoría. Relación administrativa. Economía (1995-1999)

En el segundo período, sin embargo, los profesores Visitantes, aún siendo numerosos, pierden el papel destacado que jugaban en el quinquenio anterior, haciendo recaer la dirección de las agrupaciones de coautoría en Catedráticos, Titulares y Ayudantes Doctores. Asimismo, se aprecia una muy ligera incorporación de jóvenes investigadores (becarios de investigación y ayudantes), aunque la relación junior-senior continua siendo una excepción más que una regla (figura 8.32).

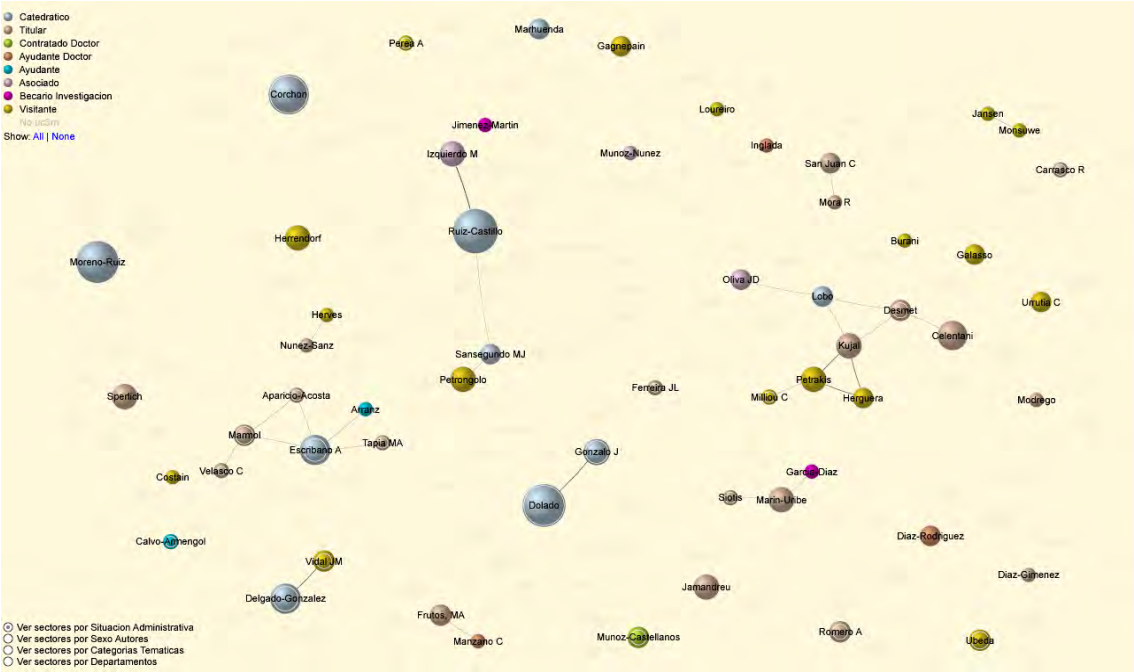



Figura 8.32. Red de coautoría. Relación administrativa. Economía (2000-2004)

### 8.4.8. Evolución y Topología de las Redes de Coautoría.

Los indicadores bibliométricos básicos y las medidas estructurales de centralización de la tabla 8.11, muestran la evolución y el crecimiento de la red de autores del departamento de Economía. El número absoluto de coautorías se duplica en el segundo período, respecto del inicial.

Tabla 8.11. Valores generales de las redes de Economía

| Indicadores | 1995-1999 | 2000-2004 |
|---|---|---|
| Número nodos | 86 | 169 |
| Densidad | 0.02 | 0.02 |
| Grado | 0.06 | 0.10 |
| Intermediación | 0.003 | 0.01 |
| Coeficiente agrupamiento | 0.16 | 0.10 |
| Número componentes | 25 | 32 |
| Tamaño componente principal | 9 | 26 |
| Tamaño componente principal (%) | 10.47 | 15.38 |
| Tamaño segundo componente | 7 | 17 |
| Tamaño segundo componente (%) | 8.14 | 10.06 |
| Ndoc col | 50 | 107 |
| Ndoc (% respecto UC3M) | 8.88 | 8.55 |
| Citas | 34 | 29 |
| Citas (% respecto UC3M) | 8.88 | 6.56 |

La densidad de la red, en cambio, permanece constante, y el valor del 2% nos revela una red escasamente poblada, o lo que es lo mismo, sin apenas relación entre los distintos grupos de investigación que operan en el departamento. Este dato, unido al del elevadísimo número de componentes, pone de manifiesto un departamento muy fragmentado y con escasa colaboración interna a pesar de que las especialidades de investigación son compartidas (centradas como hemos visto en el apartado 3.5. en la categoría de Economía).

Sin embargo, el aumento del número de componentes en el segundo período, a pesar de que las principales agrupaciones son capaces de aglutinar a más coautores, lleva aparejado un aumento del grado de centralización y un descenso en el coeficiente de agrupamiento, debido a que ese aumento de colaboradores no se traduce en incremento de las relaciones entre ellos (invariabilidad de la densidad).

El incremento de la intermediación es fruto del ligero aumento de los tamaños de los dos componentes principales.

Todo ello supone el aumento absoluto de la producción y la citación, pero su retroceso en valores porcentuales respecto del total de la Universidad, es decir, una pérdida de peso institucional, más sensible en lo relativo a visibilidad (-2.32%).

El departamento de Economía, por tanto, se configura como una estructura de grupos de investigación aislados y separados los unos de los otros, a modo de archipiélagos inconexos. Su evolución, desde este punto de vista, ni tiende a la unión ni a la fragmentación, sino a la inmutabilidad del modelo primigenio. El tiempo sólo ha servido para aumentar el tamaño de las islas, y su producción absoluta, pero ni para aumentar el peso del departamento en el seno de la institución ni para acrecentar su visibilidad.

### 8.4.9. POPULARIDAD Y PRESTIGIO.

Tabla 8.12. Popularidad y prestigio. Economía (1995-2004)

| 1995-1999 (más de 2 documentos) | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Orden** | **Nombre** | **Puesto** | **Ndoc col** | **Citas** | **FITN** | **Grado** | **Intermediación** | **Coef Cluster** | **Popularidad** | **Prestigio** |
| 1 | Moreno-Ruiz | Catedrático | 5 | 3 | 0.93 | 0.05 | 0.0010 | 0.57 | 2.86 | 1.71 |
| 2 | Licandro | Visitante | 4 | 10 | 0.91 | 0.07 | 0.0033 | 0.86 | 3.43 | 8.57 |
| 3 | Petrakis | Visitante | 4 | 4 | 1.01 | 0.05 | 0.0014 | 0.57 | 2.29 | 2.29 |
| 4 | Dolado | Catedrático | 4 | 8 | 0.90 | 0.08 | 0.0027 | 0.92 | 3.67 | 7.33 |
| 5 | Frutos, MA | Titular | 3 | 2 | 0.96 | 0.05 | 0.0014 | 0.57 | 1.71 | 1.14 |
| 6 | Delgado-González | Catedrático | 3 | 2 | 0.99 | 0.02 | 0.0003 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | Celentani | Titular | 2 | 1 | 1.30 | 0.04 | 0 | 0.32 | 0.64 | 0.32 |
| 8 | Boldrin | Visitante | 2 | 0 | 1.09 | 0.07 | 0.0020 | 0.66 | 1.32 | 0 |
| 9 | Díaz-Giménez | Titular | 2 | 3 | 1.02 | 0.04 | 0.0006 | 0.43 | 0.86 | 1.29 |
| 10 | Sansegundo MJ | Catedrático | 2 | 6 | 0.93 | 0.02 | 0.0003 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | Balbás | Catedrático | 2 | 6 | 0.74 | 0.02 | 0 | 0.29 | 0.57 | 1.71 |
| 12 | Ferreira JL | Titular | 2 | 1 | 0.99 | 0.04 | 0.0006 | 0.43 | 0.86 | 0.43 |
| **2000-2004 (más de 3 documentos)** | | | | | | | | | | |
| **Orden** | **Nombre** | **Puesto** | **Ndoc col** | **Citas** | **FITN** | **Grado** | **Intermediación** | **Coef Cluster** | **Popularidad** | **Prestigio** |
| 1 | Ruiz-Castillo | Catedrático | 9 | 4 | 0.88 | 0.12 | 0.0113 | 0.96 | 8.63 | 3.84 |
| 2 | Dolado | Catedrático | 8 | 6 | 1.20 | 0.07 | 0.0042 | 0.46 | 4.13 | 2.75 |
| 3 | Moreno-Ruiz | Catedrático | 8 | 5 | 0.94 | 0.02 | 0.0004 | 0.20 | 1.60 | 1 |
| 4 | Corchón | Catedrático | 7 | 2 | 0.87 | 0.06 | 0.0030 | 0.50 | 4 | 1 |
| 5 | Einy | No UC3M | 6 | 5 | 0.92 | 0.01 | 0 | 0.03 | 0.20 | 0.17 |
| 6 | Shitovitz | No UC3M | 6 | 5 | 0.92 | 0.01 | 0 | 0.03 | 0.20 | 0.17 |
| 7 | Delgado-González | Catedrático | 4 | 4 | 0.99 | 0.02 | 0.0004 | 0.20 | 1.20 | 0.8 |
| 8 | Celentani | Titular | 4 | 2 | 0.88 | 0.02 | 0.0020 | 0.07 | 0.27 | 0.13 |
| 9 | Escribano A | Catedrático | 4 | 5 | 0.93 | 0.04 | 0.0012 | 0.20 | 1.40 | 1 |
| 10 | Herrendorf | Visitante | 3 | 1 | 1.19 | 0.02 | 0.0001 | 0.15 | 0.45 | 0.15 |
| 11 | Marín-Uribe | Titular | 3 | 0 | 1.14 | 0.02 | 0.0004 | 0.20 | 0.60 | 0 |
| 12 | Petrongolo | Visitante | 3 | 3 | 1.07 | 0.02 | 0.0034 | 0 | 0 | 0 |
| 13 | Kujal | Titular | 3 | 2 | 1.40 | 0.02 | 0.0028 | 0.03 | 0.10 | 0.07 |
| 14 | Jamandreu | Titular | 3 | 0 | 0.90 | 0.01 | 0.0001 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | Ganuza | No UC3M | 3 | 2 | 0.87 | 0.01 | 0 | 0.03 | 0.08 | 0.05 |
| 16 | Petrakis | Visitante | 3 | 2 | 1.00 | 0.02 | 0.0011 | 0.04 | 0.11 | 0.075 |
| 17 | Sperlich | Titular | 3 | 0 | 0.87 | 0.04 | 0.0008 | 0.30 | 0.90 | 0 |
| 18 | Izquierdo M | Asociado | 3 | 2 | 0.78 | 0.01 | 0 | 0.00 | 0.00 | 0.002 |
| 19 | Ley | No UC3M | 3 | 2 | 0.78 | 0.01 | 0 | 0.00 | 0.00 | 0.002 |
| 20 | Ríos-Rull | No UC3M | 3 | 0 | 1.23 | 0.03 | 0.0010 | 0.10 | 0.30 | 0 |
| 21 | Gonzalo J | Catedrático | 3 | 2 | 1.47 | 0.02 | 0.0008 | 0.01 | 0.04 | 0.02 |
| | | | | 1º valor | 2º valor | 3º valor | | | | |

En el primer período el valor más alto de popularidad corresponde al autor con mayor coeficiente de agrupamiento, y segundo valor de producción y citación. En el caso del prestigio, el valor más destacado corresponde al autor con el segundo valor de coeficiente de agrupamiento, y primero de citas. El primer autor en popularidad ocupa la segunda posición en prestigio.

El patrón varía en el segundo período, el autor con mayor producción y coeficiente de agrupamiento logra el primer valor en popularidad y prestigio, a pesar de ocupar la tercera posición en citación. La segunda posición en popularidad y prestigio es para el autor con más citas (tabla 8.12).

## 8.5. Departamento de Economía de la Empresa.

### 8.5.1. Datos Generales de Colaboración.

El departamento de Economía de la Empresa cuenta con producción de visibilidad internacional desde 1993. La evolución de su producción absoluta puede dividirse en dos fases, una primera de crecimiento paulatino (hasta 1999), y una segunda de estabilización (hasta 2004). Sólo 2000, con un descenso anómalo, rompe la homogeneidad de la tendencia (figura 8.33).

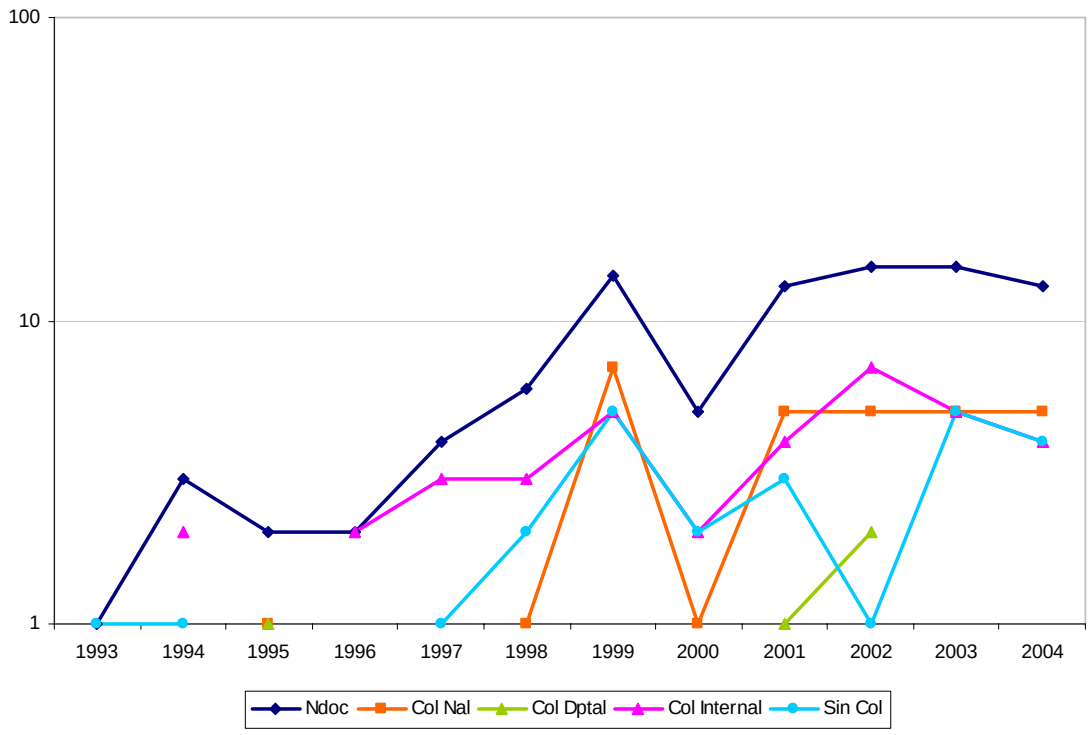



Figura 8.33. Evolución de la producción por tipos de colaboración. Empresa

Sobre los hábitos de colaboración, se observa como la internacional y la nacional siguen un patrón paralelo al de la producción absoluta, la primera desde 1996 y la segunda desde 1998. La producción sin colaboración presenta mayores altibajos, tendiendo al descenso, y se aprecia una escasa participación entre autores del mismo departamento.

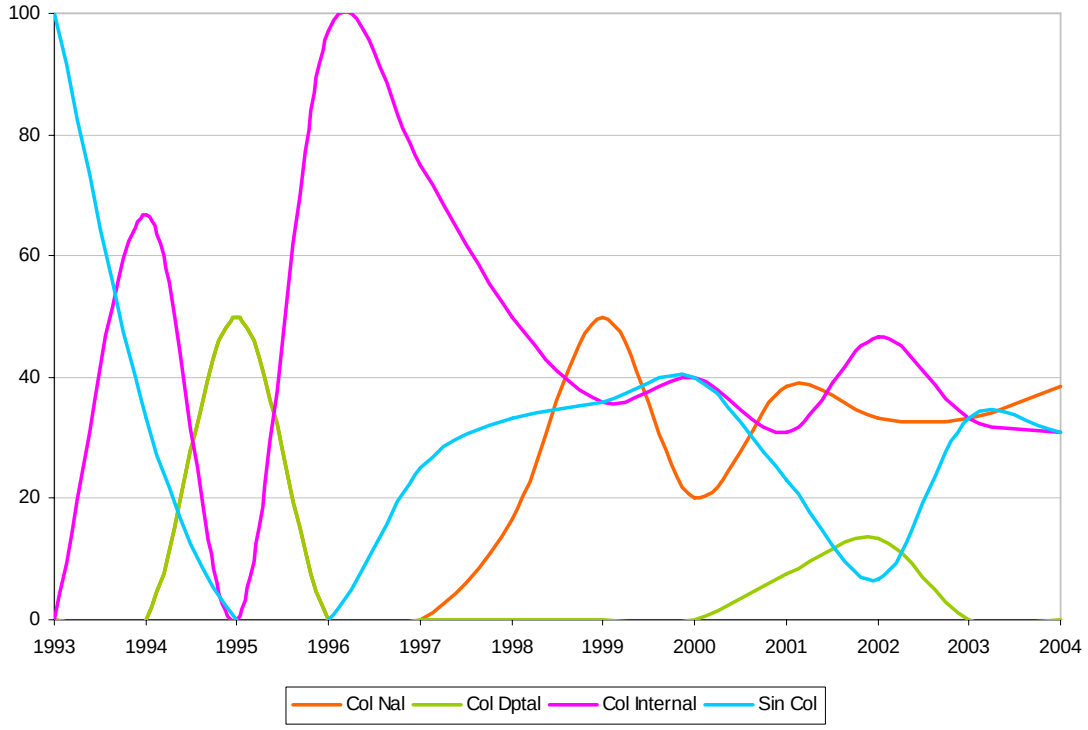



Figura 8.34. Evolución de la producción por tipos de colaboración en %. Empresa

Por otro lado, la evolución de la producción en valores porcentuales, representada en la figura 8.34, muestra tendencias inestables en la producción sin colaboración, la colaboración con socios extranjeros y la colaboración con autores del mismo departamento, fundamentalmente debidas a la titubeante producción que no logra su equilibrio, como ya hemos visto, hasta 1998. El elevado porcentaje de trabajos en solitario de los primeros años, su estabilización a mediados de la década de los noventa y su descenso en los últimos años del período, sitúan a este tipo de trabajos en el 27% de media. La colaboración internacional sigue un patrón contrapuesto al de los trabajos sin colaboración, representando casi el 40% de los trabajos departamentales del período. La colaboración nacional presenta una

evolución con menores oscilaciones, su aparición es posterior a la de la colaboración internacional y la sin colaboración, situándose en el 32% de media en el período. La colaboración interna entre profesores del departamento apenas alcanza el 4%.

### 8.5.2. COLABORACIÓN INTERNACIONAL.

La figura 8.35 contiene el conjunto de países con los que comparten trabajos de investigación los autores del departamento de Economía de la Empresa. El mayor volumen de trabajos en coautoría se firma con Estados Unidos, Inglaterra, Escocia e Italia, que completan el grupo de aquellos con cinco o más publicaciones.

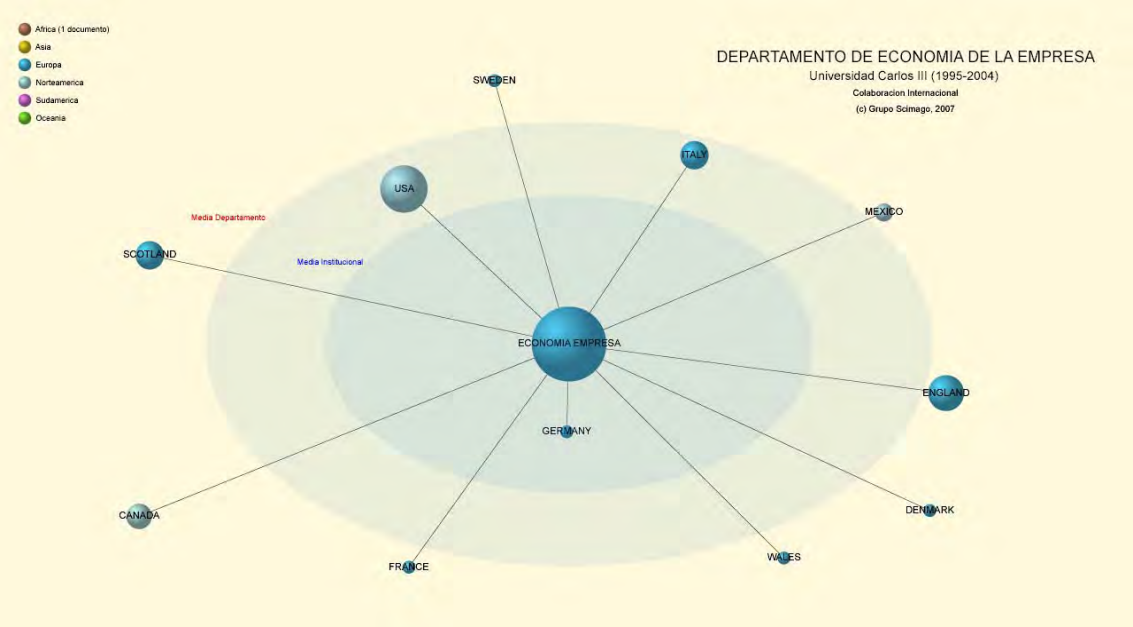



Figura 8.35. Heliocéntrico de colaboración internacional. Empresa (1995-2004)

En cuanto a la visibilidad esperada, sólo los trabajos con instituciones alemanas superan la media de impacto institucional. Por encima del valor medio de impacto departamental sólo se encuentran Estados Unidos e Italia. La visibilidad de la producción con los ocho países restantes no supera el valor medio de impacto para el departamento de Economía de la Empresa (0.98). Contrasta la elevada

producción con Escocia, y la escasa visibilidad esperada de los resultados de investigación con este país (0.86), lejos de la media departamental.

### 8.5.3. COLABORACIÓN NACIONAL.

La figura 8.36 muestra la relación entre los miembros del departamento de Economía de la Empresa y el resto de instituciones españolas con las que realizan trabajos de investigación. En producción absoluta, destacan las coautorías con la Universidad de Educación a Distancia, el Instituto de Empresa, la Universidad de Sevilla, la Universidad de Barcelona y la Universidad Complutense. De las 28 instituciones que colaboran en la producción de Economía de la Empresa, el 35% son madrileñas, el 18% catalanas y el 14% andaluzas.

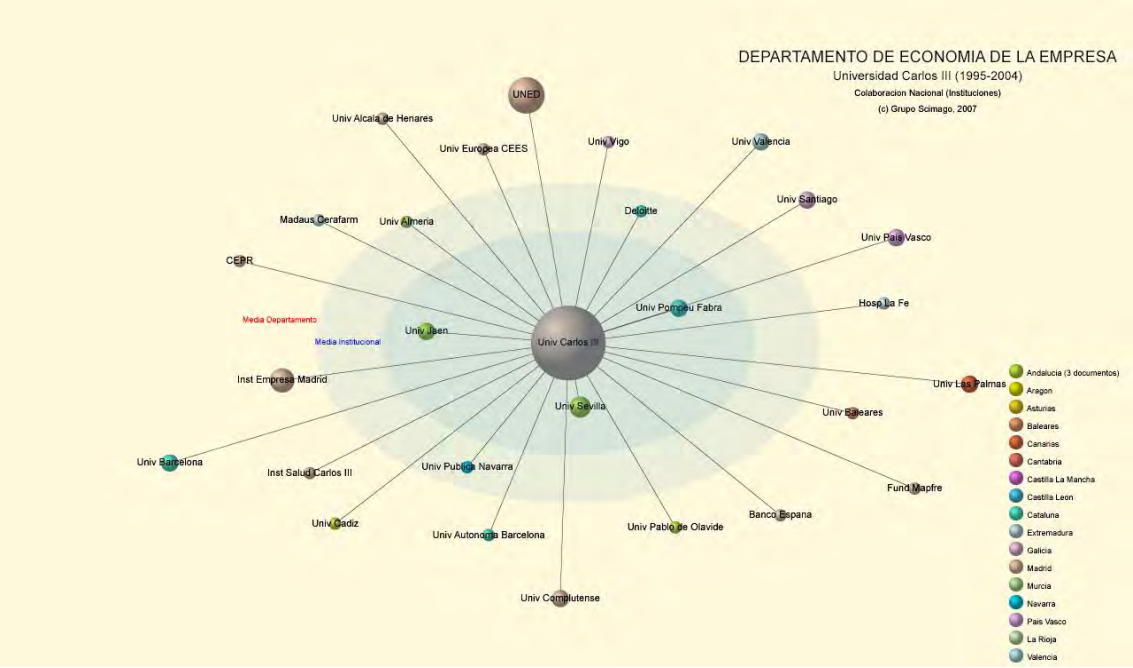



Figura 8.36. Heliocéntrico de colaboración nacional. Empresa (1995-2004)

En impacto esperado, la mayor visibilidad corresponde a Universidad de Sevilla, seguida de la Pompeu Fabra y la Universidad de Jaén. Es la colaboración con estas tres instituciones la única que supera la media de impacto de la UC3M. Con impactos menores, Deloitte, la Universidad Pública de Navarra y la Universidad de

Almería sólo son capaces de superar la media departamental. Cabe reseñar que la institución con la que más colabora Economía de la Empresa, la UNED, es la segunda producción con menor visibilidad esperada (0.81). El caso contrario es el de la Universidad de Sevilla, tercera en producción absoluta, consigue la mayor visibilidad (1.36).

La comparación de las figuras 8.35 y 8.36 muestra valores de impacto esperado superiores cuando la producción se comparte con instituciones nacionales, que cuando esta es realizada con socios científicos extranjeros.

### 8.5.4. Colaboración Institucional a partir de Redes de Coautoría.

La figura 8.37 representa la red de autores de la Universidad que intervienen en la producción en colaboración del departamento de Economía de la Empresa en el período 1995-1999. El color de los nodos se corresponde con la leyenda de color de la esquina superior izquierda. Los autores no pertenecientes a la UC3M han sido ocultados para facilitar la compresión de la visualización.

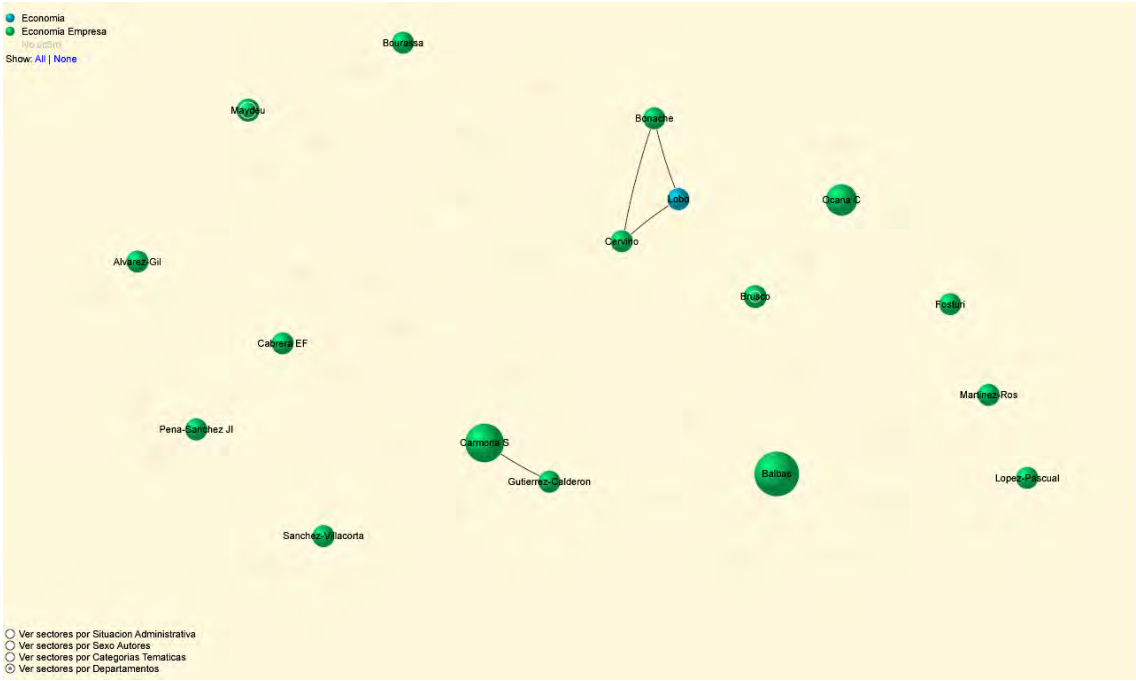



Figura 8.37. Red de coautoría. Colaboración departamental. Empresa (1995-1999)

La colaboración interdepartamental se restringe únicamente a la participación de un catedrático del departamento de Economía.

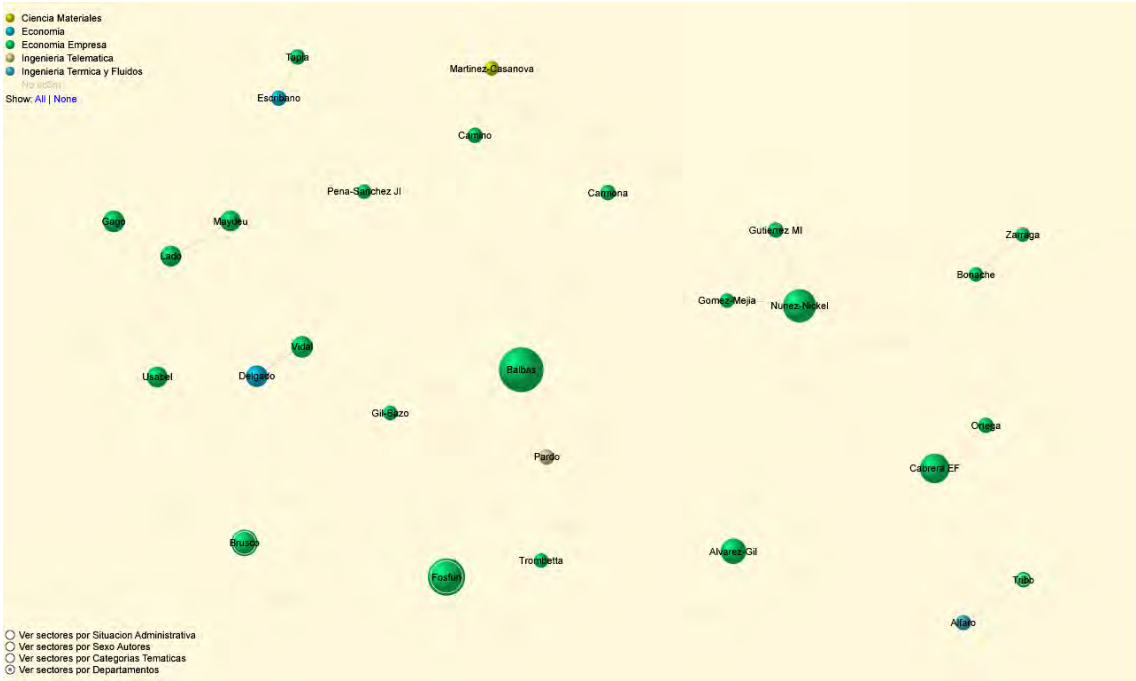



Figura 8.38. Red de coautoría. Colaboración departamental. Empresa (2000-2004)

La red de autores en el segundo período analizado (figura 8.38), señala un aumento en la participación de departamentos en la producción de Economía de la Empresa. Al departamento de Economía se incorporan los de Ciencia de Materiales, Ingeniería Telemática e Ingeniería Térmica y de Fluidos. Sin embargo, a pesar del incremento, las relaciones son ocasionales y circunscritas a grupos concretos, como puede verse en el detalle de la figura 8.39.

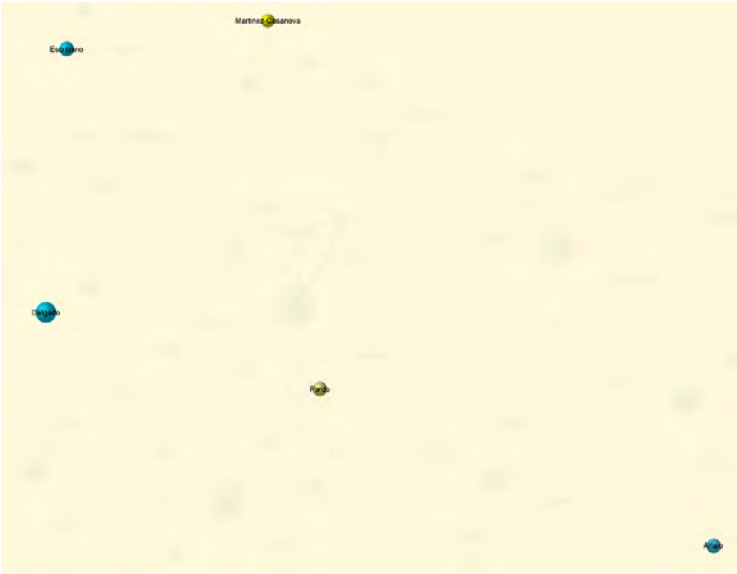


Figura 8.39. Detalle de colaboración interdepartamental. Empresa (2000-2004)

## 8.5.5. Análisis Temático de las Redes de Coautoría.

Tabla 8.13. Eigenvalues. Empresa (1995-2004)

| 1995-1999 | | | | | 2000-2004 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Factor | Eigenvalue | % Varianza | % Acum | Ratio | Factor | Eigenvalue | % Varianza | % Acum | Ratio |
| 1 | 6.26 | 13 | 13 | 1.37 | 1 | 5.69 | 8.9 | 8.9 | 1.36 |
| 2 | 4.57 | 9.5 | 22.6 | 1.18 | 2 | 4.17 | 6.5 | 15.4 | 1.18 |
| 3 | 3.86 | 8 | 30.6 | 1.24 | 3 | 3.54 | 5.5 | 20.9 | 1.14 |
| 4 | 3.12 | 6.5 | 37.1 | 1.49 | 4 | 3.11 | 4.9 | 25.8 | 1.03 |
| 5 | 2.09 | 4.3 | 41.4 | 1.02 | 5 | 3.01 | 4.7 | 30.5 | 1.11 |
| 6 | 2.05 | 4.3 | 45.7 | 1.13 | 6 | 2.70 | 4.2 | 34.7 | 1.31 |
| 7 | 1.81 | 3.8 | 49.5 | 1.50 | 7 | 2.07 | 3.2 | 38 | 1 |
| 8 | 1.20 | 2.5 | 52 | 1.08 | 8 | 2.07 | 3.2 | 41.2 | 1 |
| 9 | 1.12 | 2.3 | 54.3 | 1.08 | 9 | 2.07 | 3.2 | 44.4 | 1.00 |
| 10 | 1.04 | 2.2 | 56.5 | 1.02 | 10 | 2.06 | 3.2 | 47.6 | 1.24 |
| 11 | 1.02 | 2.1 | 58.6 | 1 | 11 | 1.67 | 2.6 | 50.2 | 1.18 |
| 12 | 1.02 | 2.1 | 60.7 | 1 | 12 | 1.42 | 2.2 | 52.4 | 1.14 |
| 13 | 1.02 | 2.1 | 62.9 | 1 | 13 | 1.25 | 2 | 54.4 | 1.08 |
| 14 | 1.02 | 2.1 | 65 | 1 | 14 | 1.15 | 1.8 | 56.2 | 1.04 |
| 15 | 1.02 | 2.1 | 67.1 | 1 | 15 | 1.11 | 1.7 | 57.9 | 1.07 |
| 16 | 1.02 | 2.1 | 69.2 | 1 | 16 | 1.04 | 1.6 | 59.6 | 1.03 |
| 17 | 1.02 | 2.1 | 71.4 | 1 | 17 | 1.02 | 1.6 | 61.2 | 1 |
| 18 | 1.02 | 2.1 | 73.5 | 1 | 18 | 1.02 | 1.6 | 62.7 | 1 |
| 19 | 1.02 | 2.1 | 75.6 | 1 | 19 | 1.02 | 1.6 | 64.3 | 1 |
| 20 | 1.02 | 2.1 | 77.7 | 1 | 20 | 1.02 | 1.6 | 65.9 | 1 |
| 21 | 1.02 | 2.1 | 79.9 | 1 | 21 | 1.02 | 1.6 | 67.5 | 1 |
| 22 | 1.02 | 2.1 | 82 | 1 | 22 | 1.02 | 1.6 | 69.1 | 1 |
| 23 | 1.02 | 2.1 | 84.1 | 1.96 | 23 | 1.02 | 1.6 | 70.7 | 1 |
| 24 | 0.52 | 1.1 | 85.2 | 1 | 24 | 1.02 | 1.6 | 72.3 | 1 |
| 25 | 0.52 | 1.1 | 86.3 | 1 | 25 | 1.02 | 1.6 | 73.9 | 1 |
| 26 | 0.52 | 1.1 | 87.4 | 1 | 26 | 1.02 | 1.6 | 75.4 | 1 |
| 27 | 0.52 | 1.1 | 88.5 | 1 | 27 | 1.02 | 1.6 | 77 | 1 |
| 28 | 0.52 | 1.1 | 89.6 | 1 | 28 | 1.02 | 1.6 | 78.6 | 1 |
| 29 | 0.52 | 1.1 | 90.7 | 1 | 29 | 1.02 | 1.6 | 80.2 | 1.12 |

Los factores con eigenvalue mayor o igual a 1 son capaces de explicar el 84% de la varianza total de la muestra en el primer período, y el 80% en el segundo (tabla 8.13).

Como en los casos anteriores, ordenamos de forma decreciente los autores de cada uno de ellos según la carga factorial obtenida, con el fin de caracterizar cada uno de esos factores mediante la asignación de categorías temáticas en función de las referencias bibliográficas utilizadas por cada autor (tabla 8.14).

Tabla 8.14. Muestra de factores con valor ≥ .05. Empresa (2000-2004)

| Factor | 1 | Factor | 3 |
|---|---|---|---|
| Guerra | 0.81 | Raju | 0.99 |
| Munoz-Bouzo | 0.80 | Cabrera A | 0.93 |
| Longarela | 0.75 | Barajas | 0.76 |
| Pardo | 0.75 | Ortega | 0.76 |
| Ibanez | 0.75 | | |
| Lopez S | 0.75 | | |
| Miras | 0.75 | | |
| Ballve | 0.69 | | |
| Galperin | 0.69 | | |

| Factor | 2 | | |
|---|---|---|---|
| Fuentes | 0.98 | Factor | 4 |
| Rodriguez MC | 0.98 | Ronde | 0.93 |
| Moyano | 0.98 | Arora | 0.91 |
| Gutierrez MI | 0.78 | Motta | 0.79 |
| Gomez-Mejia | 0.78 | Gambardella | 0.70 |

En el primer quinquenio (figura 8.40), aparecen las categorías de Negocios, Economía, Matemáticas, Sociología, Informática, Psicología y Ciencias de la Salud.

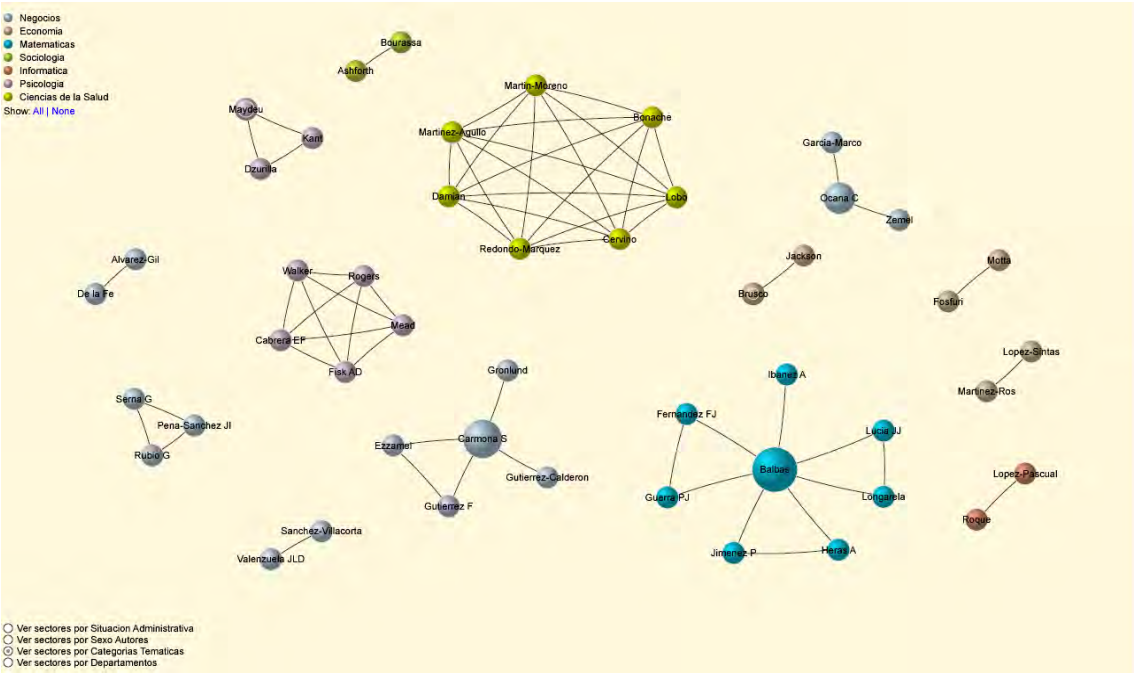



Figura 8.40. Red de coautoría. Análisis temático. Empresa (1995-1999)

En el segundo lustro (figura 8.41), desaparecen las categorías de Sociología, Informática, Psicología y Ciencias de la Salud, dando paso a las de Gestión, Estadística e Ingeniería.

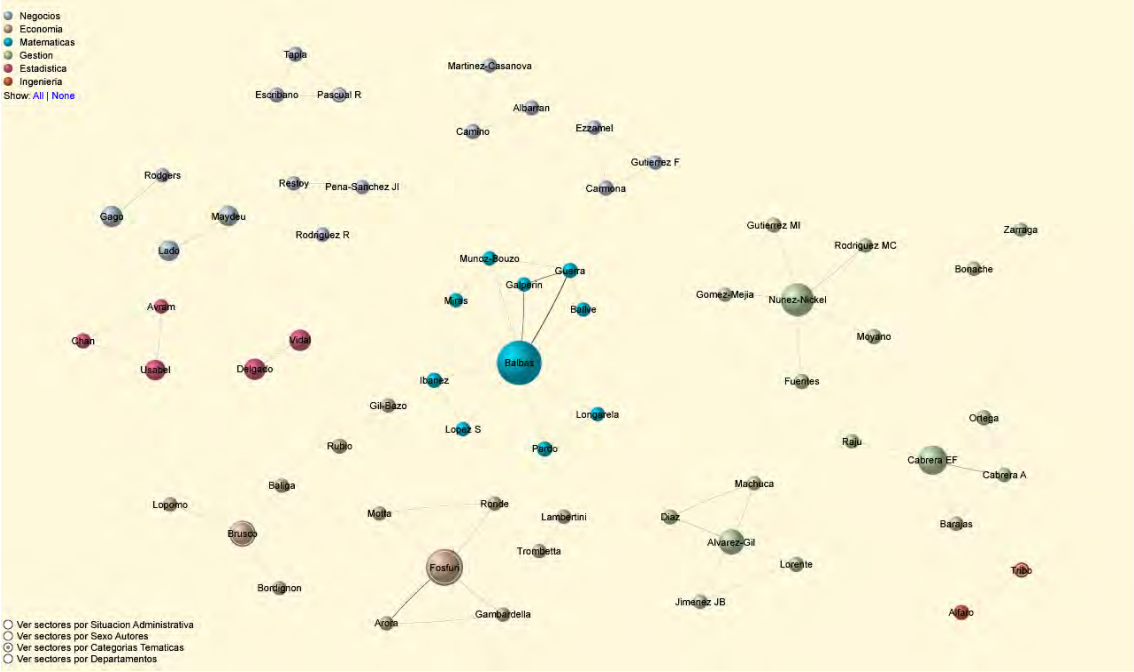



Figura 8.41. Red de coautoría. Análisis temático. Empresa (2000-2004)

En la primera red se observa una marcada especialización de cada uno de los grupos de investigación, aunque existe predominio de las especialidades de Negocios y Economía. En la segunda red, se aprecia un cambio de tendencia. A la variación de especialidades le acompaña un mayor predominio de grupos, como en el caso inicial, de Negocios y Economía (aumentan el número de actores pero no el de grupos), a los que se unen los dedicados a Gestión. Es esta última la que comienza a cobrar fuerza como especialidad emergente con nuevos y más nutridos grupos de coautores.

### 8.5.6. ANÁLISIS POR SEXO DE LAS REDES DE COAUTORÍA.

El comportamiento de los profesores del departamento de Economía de la Empresa según su sexo (tabla 8.15), basado en el recuento de individuos, documentos y citas, muestra que el crecimiento en número de individuos ha favorecido al colectivo de investigadores masculinos, pasando del 70.59 al 75%.

Tabla 8.15. Aportación masculina y femenina. Empresa (1995-2004)

| | | 1995-1999 | | 2000-2004 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Total | % | Total | % |
| Individuos | Hombres | 12 | 70.59 | 21 | 75.00 |
| | Mujeres | 5 | 29.41 | 7 | 25.00 |
| Producción | Hombres | 22 | 81.48 | 49 | 70.00 |
| | Mujeres | 5 | 18.52 | 21 | 30.00 |
| Citas | Hombres | 22 | 91.67 | 11 | 57.89 |
| | Mujeres | 2 | 8.33 | 8 | 42.11 |

No ocurre lo mismo, en cambio, con la producción y la citación. A pesar de la pérdida de representación femenina en el segundo período con respecto al primero, las mujeres casi duplican su propia aportación porcentual de producción, alcanzando el 30%, y crecen aún más ostensiblemente en citación, del 8.33 al 42.11%.

La red de Economía de la Empresa entre 1995 y 1999 no presenta diferencias destacables entre hombres y mujeres. Los lazos entre autores de la misma

institución son escasísimos, independientemente del sexo del investigador (figura 8.42).

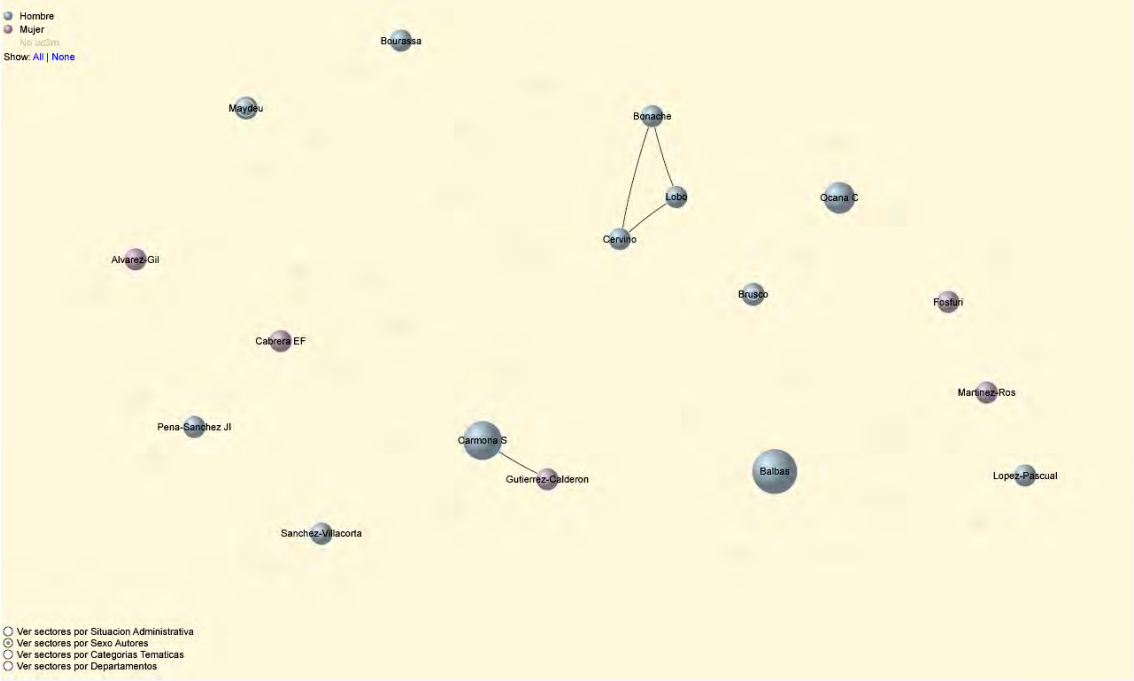



Figura 8.42. Red de coautoría. Análisis por sexo. Empresa (1995-1999)

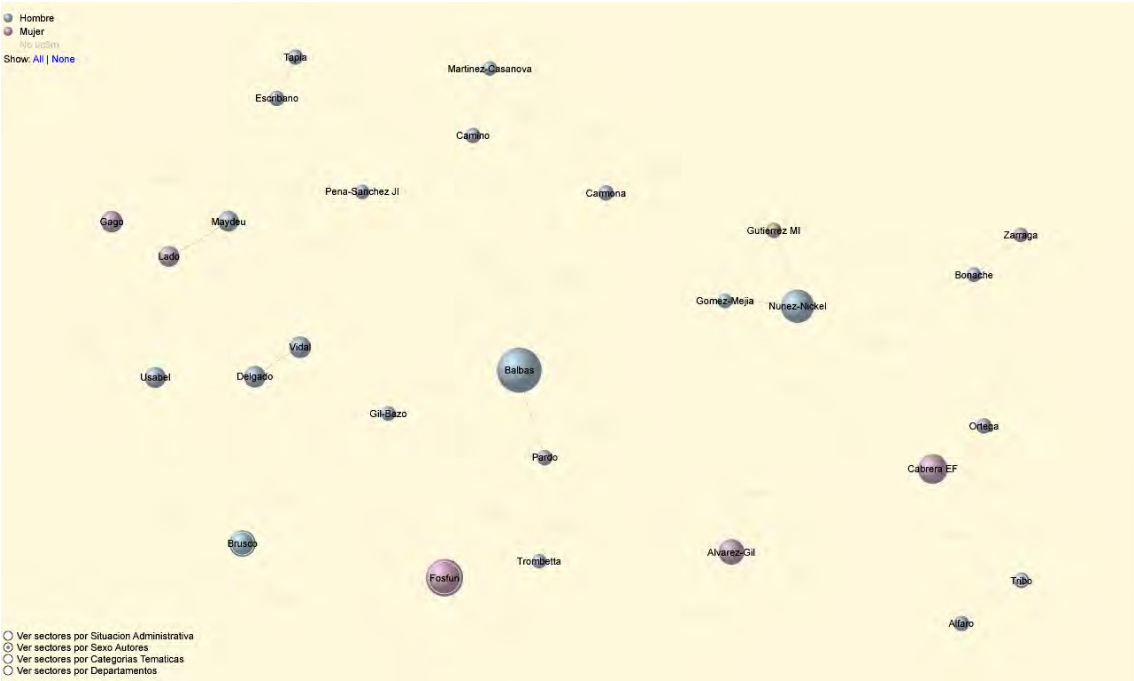



Figura 8.43. Red de coautoría. Análisis por sexo. Empresa (2000-2004)

La figura 8.43 muestra un comportamiento parecido en el período 2000-2004. Aunque aumenta el número de emparejamientos institucionales, no parece influir el sexo en su composición.

### 8.5.7. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ADMINISTRATIVA DE LAS REDES DE COAUTORÍA.

La figura 8.44 presenta la red de Empresa en el primer quinquenio. En ella, se observa la ausencia de relaciones entre miembros de la Universidad. Sólo se dan dos relaciones institucionales, Catedrático-Catedrático y Catedrático-Titular. El papel del profesorado no permanente es muy reducido y equiparable al peso de los profesores Visitantes.

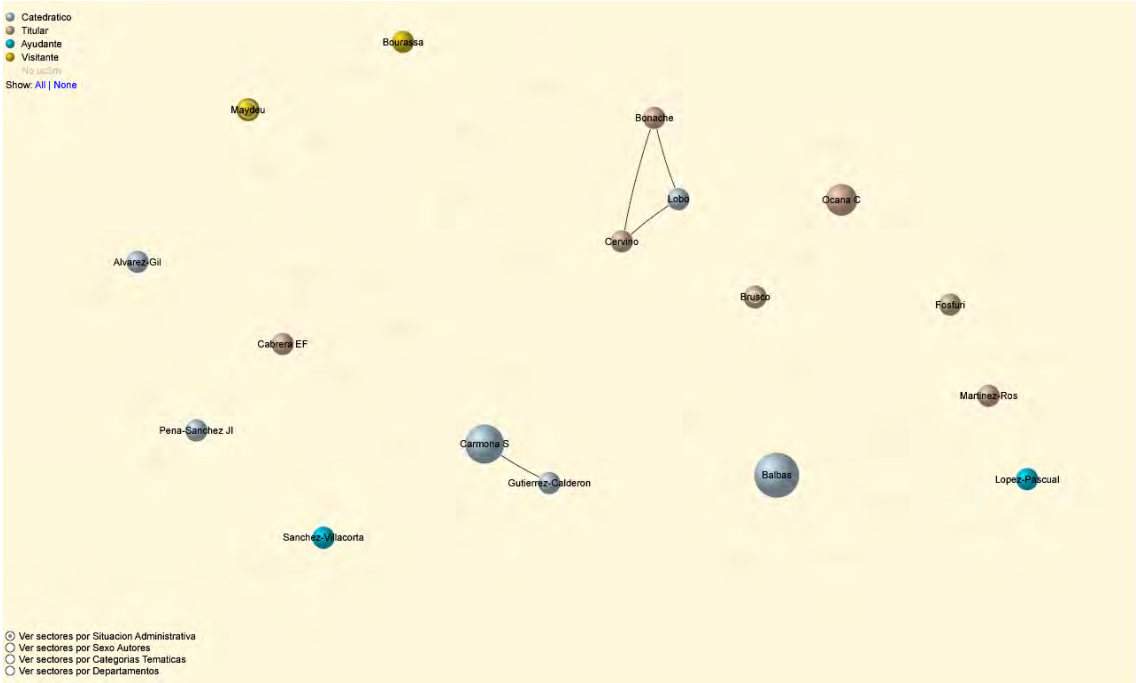



Figura 8.44. Red de coautoría. Relación administrativa. Empresa (1995-1999)

En el segundo quinquenio (figura 8.45), aunque el patrón de relaciones intrauniversitarias observado en el período anterior no varía sustancialmente, sí lo hace en cambio el tipo de relaciones: aumentan las del tipo Catedrático-Titular y desaparece la representación de personal no permanente, que contrasta con el aumento del protagonismo de profesores Visitantes.

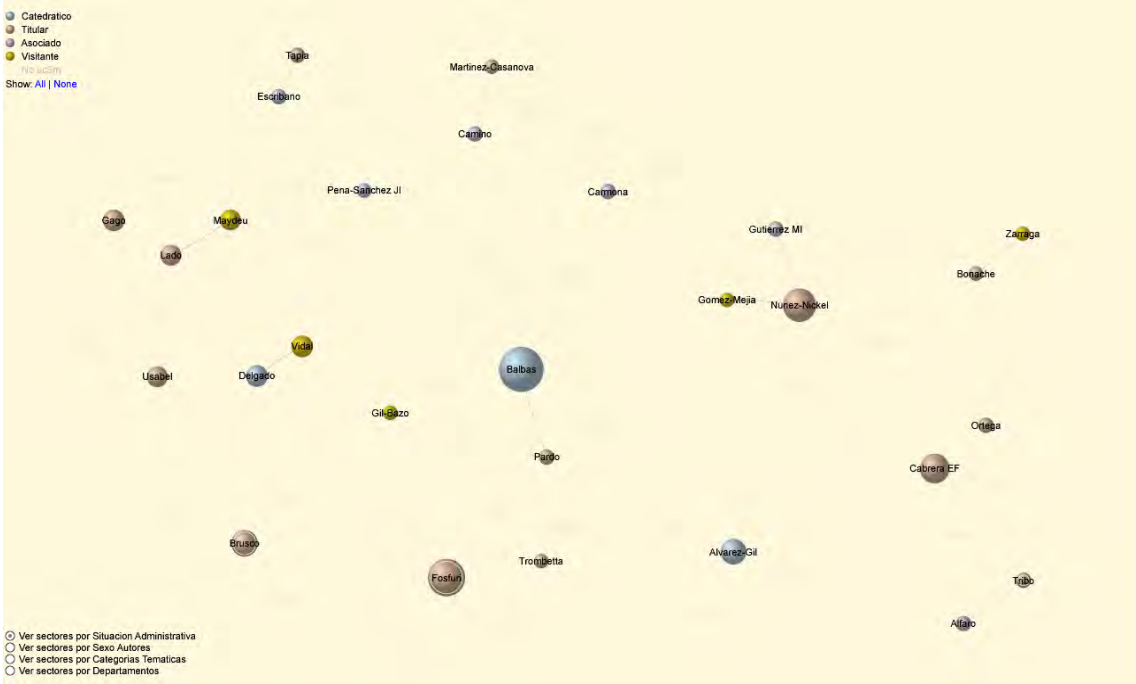



Figura 8.45. Red de coautoría. Relación administrativa. Empresa (2000-2004)

### 8.5.8. EVOLUCIÓN Y TOPOLOGÍA DE LAS REDES DE COAUTORÍA.

Los indicadores bibliométricos y estructurales recogidos en la tabla 8.16, presentan la evolución y crecimiento de la red de autores de Economía de la Empresa. El número de autores participantes en la producción del departamento aumenta un 33% en el segundo lustro.

La densidad de la red, por el contrario, desciende del 5 al 3%, revelando la pérdida ya de por sí escasa de enlaces y, por tanto de relaciones entre los distintos autores y grupos de investigación que trabajan en el departamento. Este hecho queda refrendado por el elevado número de componentes que, lejos de reducirse, aumenta en un 129%, poniendo de relieve la fragmentación de la investigación que no es capaz de evitar la coincidencia en las especialidades de estudio, y por el aumento de la centralización de grado.

Tabla 8.16. Valores generales de las redes de Empresa

| Indicadores | 1995-1999 | 2000-2004 |
|---|---|---|
| Número nodos | 48 | 64 |
| Densidad | 0.05 | 0.03 |
| Grado | 0.10 | 0.11 |
| Intermediación | 0.02 | 0.01 |
| Coeficiente agrupamiento | 0.26 | 0.12 |
| Número componentes | 14 | 32 |
| Tamaño componente principal | 8 | 10 |
| Tamaño componente principal (%) | 16.67 | 15.63 |
| Tamaño segundo componente | 7 | 6 |
| Tamaño segundo componente (%) | 14.58 | 9.38 |
| Ndoc col | 20 | 46 |
| Ndoc (% respecto UC3M) | 3.55 | 3.67 |
| Citas (sin solapamiento) | 8 | 12 |
| Citas (% respecto UC3M) | 2.09 | 2.71 |

Los descensos de la centralización de la intermediación y del coeficiente de agrupamiento ratifican la apreciación anterior: la incorporación de nuevos autores no supone el crecimiento de los componentes ni un mayor número de relaciones entre miembros del mismo grupo, revelando la tendencia a la colaboración siguiendo una estructura en forma de estrella, frente a la de red distribuida (Goyal S y Vega-Redondo F, 2005).

Aunque los descensos son generalizados en todas las medidas estructurales, el aumento del número de autores y del número de componentes parece suficiente para producir el incremento absoluto y porcentual del número de trabajos publicados y de su visibilidad respecto al total de la Universidad.

Así, el departamento de Economía de la Empresa se configura como una estructura de grupos de investigación aislados los unos de los otros y con preferencia hacia la organización interna de la colaboración en estrella. Por otro lado, la forma de colaboración inalterada entre períodos no es óbice para la evolución positiva de la producción y la citación.

## 8.5.9. Popularidad y Prestigio.

Tabla 8.17. Popularidad y prestigio. Empresa (1995-2004)

| 1995-1999 (23 primeros) | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Orden** | **Nombre** | **Puesto** | **Ndoc col** | **Citas** | **FITN** | **Grado** | **Intermediación** | **Coef Cluster** | **Popularidad** | **Prestigio** |
| 1 | Balbás | Catedrático | 4 | 6 | 0.80 | 0.15 | 0.02 | 1 | 4 | 6 |
| 2 | Carmona S | Catedrático | 3 | 1 | 0.83 | 0.09 | 0.005 | 0.57 | 1.71 | 0.57 |
| 3 | Ocaña C | Titular | 2 | 0 | 1.19 | 0.04 | 0.001 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | Bonache | Titular | 1 | 4 | 0.92 | 0.13 | 0 | 0.86 | 0.86 | 3.43 |
| 5 | Motta | No UC3M | 1 | 2 | 0.97 | 0.02 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | Walker | No UC3M | 1 | 0 | 1.01 | 0.09 | 0 | 0.57 | 0.57 | 0 |
| 7 | Gutiérrez F | No UC3M | 1 | 1 | 0.95 | 0.04 | 0 | 0.10 | 0.10 | 0.10 |
| 8 | Rubio G | No UC3M | 1 | 0 | 1.02 | 0.04 | 0 | 0.29 | 0.29 | 0 |
| 9 | Ibáñez A | No UC3M | 1 | 1 | 0.93 | 0.02 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | Fernández FJ | No UC3M | 1 | 3 | 0.61 | 0.04 | 0 | 0.04 | 0.04 | 0.11 |
| 11 | López-Pascual | Ayudante | 1 | 0 | 0.95 | 0.02 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | Jiménez P | No UC3M | 1 | 2 | 0.81 | 0.04 | 0 | 0.04 | 0.04 | 0.07 |
| 13 | Rogers | No UC3M | 1 | 0 | 1.01 | 0.09 | 0 | 0.57 | 0.57 | 0 |
| 14 | Cabrera EF | Titular | 1 | 0 | 1.01 | 0.09 | 0 | 0.57 | 0.57 | 0 |
| 15 | Guerra PJ | No UC3M | 1 | 3 | 0.61 | 0.04 | 0 | 0.04 | 0.04 | 0.11 |
| 16 | Brusco | Titular | 1 | 0 | 0.97 | 0.02 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 17 | Peña-Sánchez JI | Catedrático | 1 | 0 | 1.02 | 0.04 | 0 | 0.29 | 0.29 | 0 |
| 18 | Martínez-Ros | Titular | 1 | 0 | 0.92 | 0.02 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 19 | Gutiérrez-Calderón | Catedrático | 1 | 0 | 0.67 | 0.02 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | Fosfuri | Titular | 1 | 2 | 0.97 | 0.02 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 21 | Álvarez-Gil | Catedrático | 1 | 0 | 0.90 | 0.02 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 22 | Lobo | Catedrático | 1 | 4 | 0.92 | 0.13 | 0 | 0.86 | 0.86 | 3.43 |
| 23 | Cervino | Titular | 1 | 4 | 0.92 | 0.13 | 0 | 0.86 | 0.86 | 3.43 |
| **2000-2004 (más de 1 documento)** | | | | | | | | | | |
| **Orden** | **Nombre** | **Puesto** | **Ndoc col** | **Citas** | **FITN** | **Grado** | **Intermediación** | **Coef Cluster** | **Popularidad** | **Prestigio** |
| 1 | Balbás | Catedrático | 9 | 4 | 0.85 | 0.14 | 0.0143 | 1 | 9 | 4 |
| 2 | Fosfuri | Titular | 6 | 4 | 1.10 | 0.06 | 0.0020 | 0.44 | 3.56 | 1.78 |
| 3 | Guerra PJ | No UC3M | 6 | 3 | 0.82 | 0.06 | 0.0008 | 0.12 | 0.73 | 0.36 |
| 4 | Núñez-Nickel | Titular | 5 | 2 | 1.36 | 0.08 | 0.0046 | 0.56 | 2.78 | 1.11 |
| 5 | Cabrera EF | Titular | 4 | 0 | 0.99 | 0.06 | 0.0018 | 0.44 | 1.78 | 0 |
| 6 | Arora | No UC3M | 4 | 0 | 0.91 | 0.03 | 0 | 0.06 | 0.22 | 0 |
| 7 | Galperin | No UC3M | 4 | 2 | 0.78 | 0.03 | 0 | 0.02 | 0.07 | 0.03 |
| 8 | Brusco | Titular | 3 | 1 | 1.07 | 0.05 | 0.0015 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | Álvarez-Gil | Catedrático | 3 | 3 | 1.38 | 0.06 | 0.0020 | 0.44 | 1.33 | 1.33 |
| 10 | Cabrera A | No UC3M | 3 | 0 | 1.03 | 0.05 | 0.0003 | 0.22 | 0.67 | 0 |
| 11 | Lado | Titular | 2 | 0 | 0.76 | 0.02 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | Maydeu | Visitante | 2 | 0 | 0.76 | 0.02 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 13 | Usabel | Titular | 2 | 0 | 0.97 | 0.03 | 0 | 0.22 | 0.44 | 0 |
| 14 | Avram | No UC3M | 2 | 0 | 0.97 | 0.03 | 0 | 0.22 | 0.44 | 0 |
| 15 | Vidal JM | Visitante | 2 | 0 | 0.83 | 0.02 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | Machuca | No UC3M | 2 | 0 | 1.58 | 0.03 | 0 | 0.06 | 0.11 | 0 |
| 17 | Muñoz-Bouzo | No UC3M | 2 | 0 | 0.86 | 0.05 | 0.0003 | 0.06 | 0.11 | 0 |
| 18 | Gago-Rodríguez | Titular | 2 | 0 | 0.90 | 0.02 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 19 | Rodgers | No UC3M | 2 | 0 | 0.90 | 0.02 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | Rodríguez MC | No UC3M | 2 | 1 | 0 | 0.02 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 21 | Gambardella | No UC3M | 2 | 0 | 0.83 | 0.03 | 0 | 0.06 | 0.11 | 0 |
| 22 | Delgado-González | Catedrático | 2 | 0 | 0.83 | 0.02 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 23 | Ronde | No UC3M | 2 | 4 | 1.19 | 0.03 | 0 | 0.06 | 0.11 | 0.22 |
| 24 | Díaz MS | No UC3M | 2 | 0 | 1.58 | 0.03 | 0 | 0.06 | 0.11 | 0 |
| | | | | 1º valor | 2º valor | 3º valor | | | | |

En el primer período el valor más alto de popularidad lo ocupa el autor con mayor coeficiente de agrupamiento, mayor número de trabajos en colaboración y mayor número de citas, por lo que también obtiene el valor más destacado en prestigio. El segundo autor en popularidad, gracias a su segundo lugar en producción colaboradora y el tercer lugar en coeficiente de agrupamiento, ocupa la tercera posición en prestigio. En el caso contrario se encuentran los tres autores que obtienen el segundo valor en citas y coeficiente de agrupamiento, para ocupar la tercera posición en popularidad y la segunda en prestigio.

El patrón varía en el segundo período, el primer valor de prestigio y popularidad vuelve a corresponder al autor más colaborador, más citado y con mayor coeficiente de agrupamiento. El segundo lugar de popularidad y prestigio es para el segundo autor más colaborador y primero más citado, aunque con el tercer valor en coeficiente de agrupamiento. La tercera posición en popularidad es para el segundo valor de coeficiente de agrupamiento, mientras que la de prestigio es para el segundo valor en número de citas (tabla 8.17).

## 8.6. DEPARTAMENTO DE ESTADÍSTICA.

### 8.6.1. DATOS GENERALES DE COLABORACIÓN.

El departamento de Estadística cuenta con producción de visibilidad internacional desde 1992. La evolución de la línea de producción absoluta reflejada en la figura 8.46, puede subdividirse en dos fases. La primera, hasta 2000, de crecimiento moderado, con excepción de dos pequeños descensos en 1996 y 1999. La segunda desde 2001 de estabilización de la producción, salvo el descenso de 2002.

Por lo que respecta a los hábitos de colaboración, se observa un elevado número de trabajos con colaboradores extranjeros, cuya evolución discurre en paralelo a la línea de producción absoluta, un número casi constante de trabajos sin

colaboración, y la emergencia de dos tipos de colaboración, especialmente en los últimos años del período, con autores del propio departamento, y con socios nacionales.

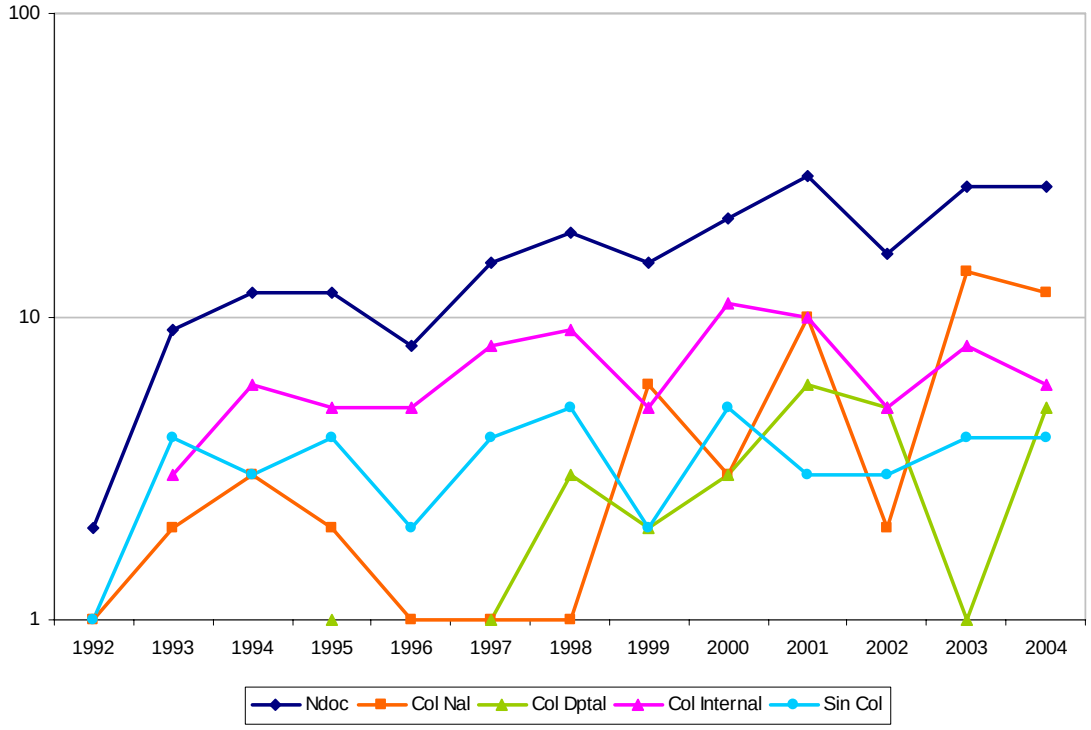



Figura 8.46. Evolución de la producción por tipos de colaboración. Estadística

La figura 8.47 presenta la evolución de la producción en valores porcentuales. Se observa un descenso paulatino de la colaboración internacional, situándose en el 38.21% de media en el período. Un patrón paralelo ha seguido la producción de trabajos en solitario, especialmente acusado en los últimos años del estudio (20.75% de media). La colaboración departamental presenta un fuerte incremento desde mediados de los noventa hasta 2002, para, posteriormente perder gran parte del terreno ganado (12.74% de media). Por último, la colaboración nacional es la que presenta una tendencia al alza, no sin altibajos, especialmente marcada en los últimos años del período analizado, permitiéndole ocupar el segundo lugar en cuanto a predilección por parte de los profesores de Estadística en el período analizado (27.36%).

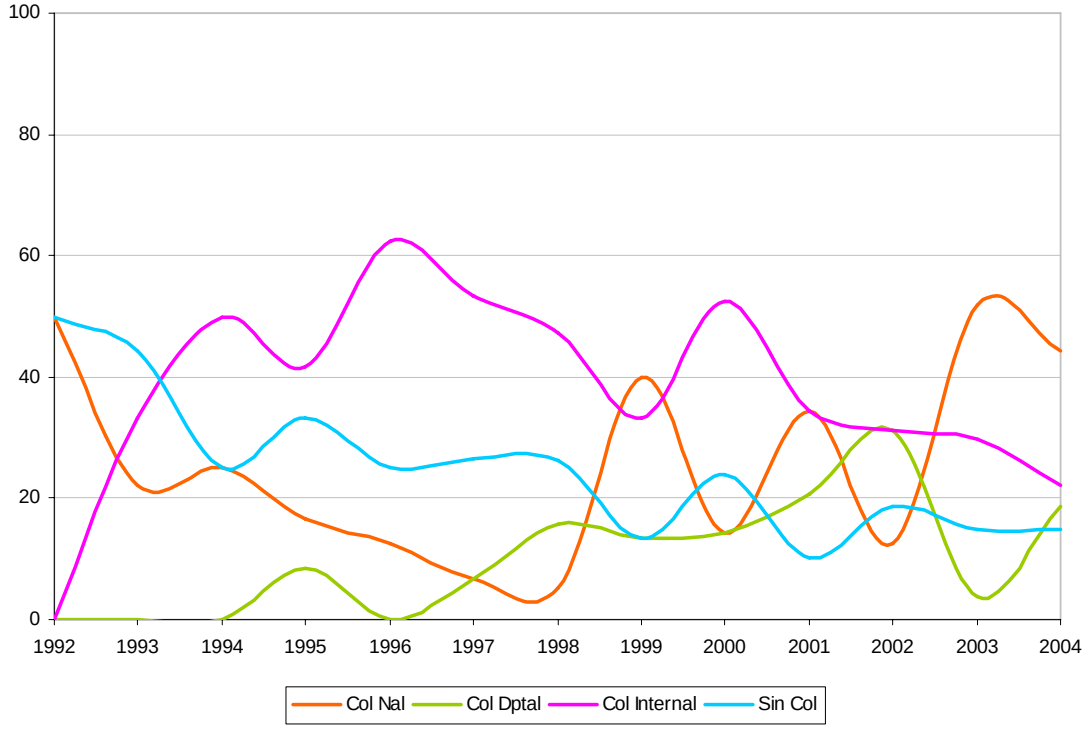



Figura 8.47. Evolución de la producción por tipos de colaboración en %. Estadística

## 8.6.2. COLABORACIÓN INTERNACIONAL.

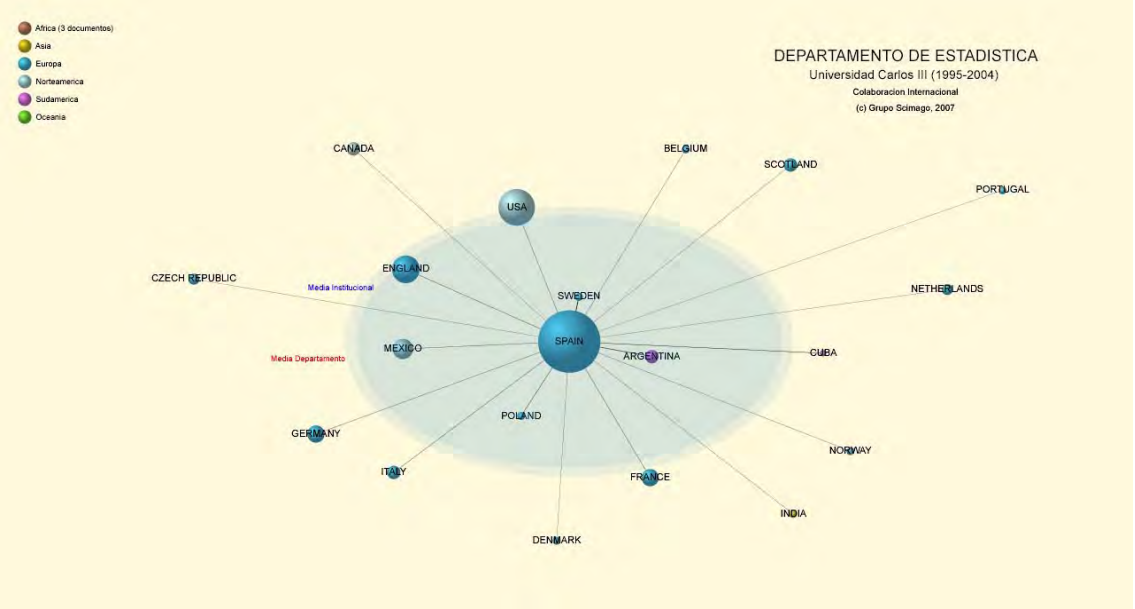



Figura 8.48. Heliocéntrico de colaboración internacional. Estadística (1995-2004)

La red heliocéntrica de la figura 8.48 presenta las relaciones internacionales de colaboración del departamento de Estadística. El mayor volumen de colaboración se da con Estados Unidos, Inglaterra, México, Francia y Alemania.

En cuanto al impacto logrado con cada uno de ellos, son cinco los países cuya visibilidad esperada supera la media institucional: Suecia, Argentina, Polonia, México e Inglaterra. En torno al valor medio del departamento (1.01) se encuentran Estados Unidos, por encima, y Francia, por debajo. El resto de países orbitan a gran distancia de los valores promedio, como es el caso de Alemania, que a pesar de ser la cuarta en volumen de producción, apenas alcanza el 0.91 de impacto esperado.

### 8.6.3. COLABORACIÓN NACIONAL.

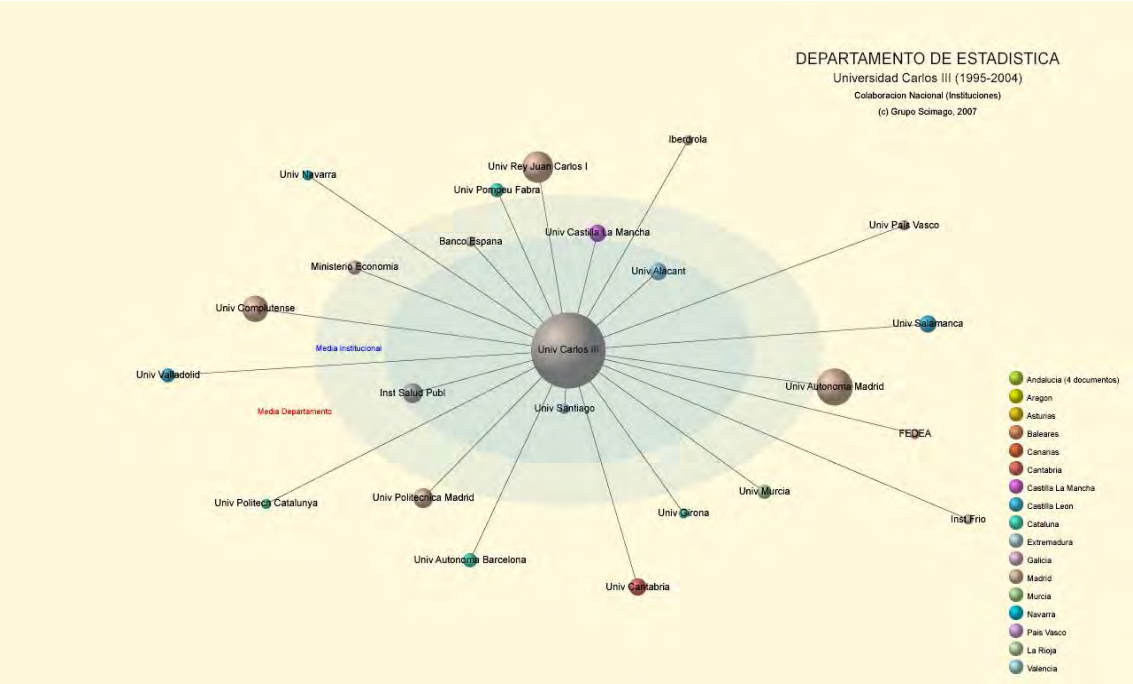



Figura 8.49. Heliocéntrico de colaboración nacional. Estadística (1995-2004)

El análisis de la red presentada en la figura 8.49, permite conocer el alcance de la colaboración departamental de Estadística con el resto de instituciones nacionales. Así, desde la perspectiva de producción absoluta, destacan los trabajos en

coautoría con la Universidad Autónoma de Madrid, la Universidad Rey Juan Carlos, la Universidad Complutense, el Instituto de Salud Pública de la Comunidad de Madrid y la Universidad Politécnica de Madrid. De las 24 instituciones participantes en la producción de Estadística, el 45.83% de las mismas son madrileñas, poniendo de manifiesto la influencia de la proximidad geográfica en la colaboración de este departamento.

Desde la perspectiva del impacto esperado, destaca la visibilidad que obtienen los trabajos realizados con socios como la Universidad de Santiago, la Universidad de Alicante, el Instituto de Salud Pública y la Universidad de Castilla-La Mancha, todos ellos por encima del valor medio de la UC3M. Por encima del promedio departamental se encuentran el Banco de España y el Ministerio de Economía y Hacienda. De las instituciones con mayor colaboración, sólo el Instituto de Salud Pública de la Comunidad de Madrid supera la media institucional.

### 8.6.4. Colaboración Institucional a partir de Redes de Coautoría.

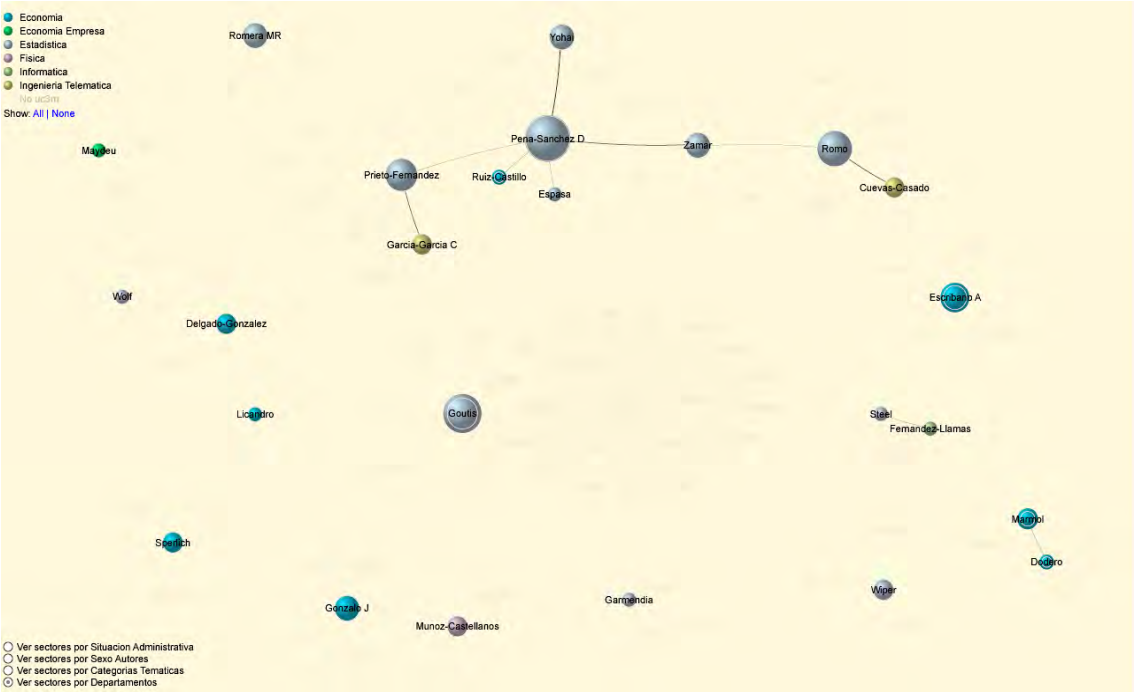



Figura 8.50. Red de coautoría. Colaboración departamental. Estadística (1995-1999)

La red de coautores del departamento de Estadística (figura 8.50) en el período 1995-1999, muestra la colaboración entre los distintos departamentos de la Universidad. El color de cada uno de ellos se corresponde con la leyenda de la esquina superior izquierda. Para proporcionar una visualización más clara, se han ocultado los autores no pertenecientes a la UC3M.

Aunque la colaboración interdepartamental es muy escasa en este primer lustro, el departamento de Estadística presenta producción compartida con los departamentos de Economía, Economía de la Empresa, Física, Informática e Ingeniería Telemática.

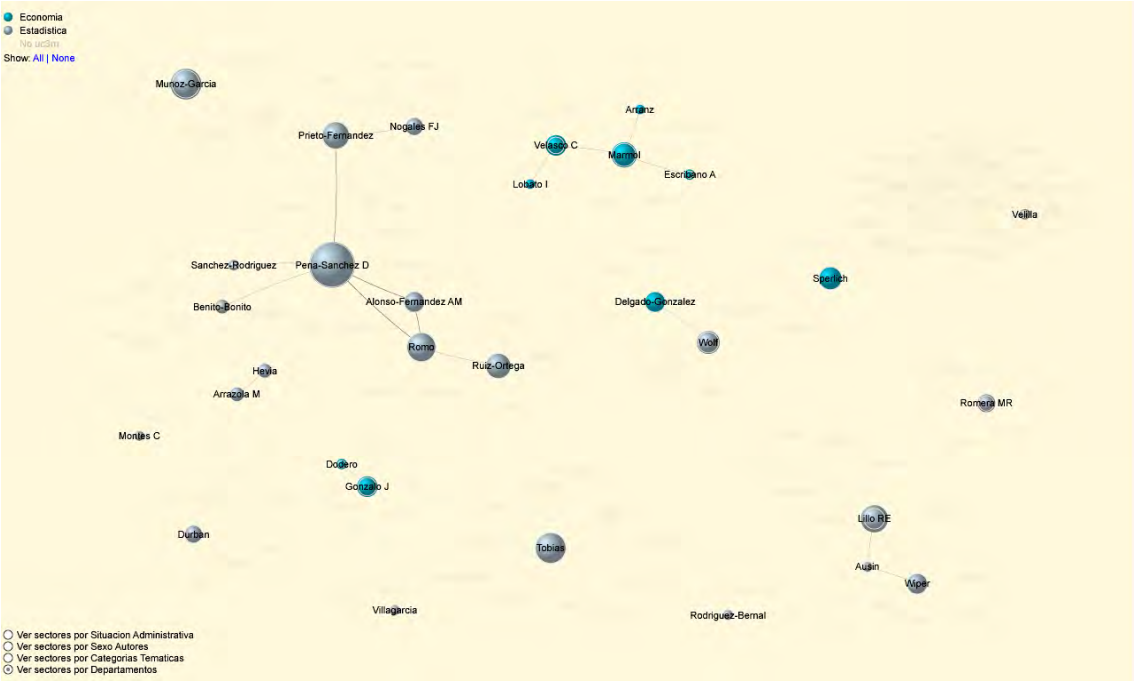



Figura 8.51. Red de coautoría. Colaboración departamental. Estadística (2000-2004)

La red de autores en el segundo período analizado (figura 8.51), muestra un descenso en la participación de otros departamentos en la producción de Estadística, pasando de cinco a uno (Economía). Este descenso no afecta a la frecuencia de las relaciones, que continúan siendo ocasionales.

### 8.6.5. ANÁLISIS TEMÁTICO DE LAS REDES DE COAUTORÍA.

Tabla 8.18. Eigenvalues. Estadística (1995-2004)

| 1995-1999 | | | | | 2000-2004 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Factor** | **Eigenvalue** | **% Varianza** | **% Acum** | **Ratio** | **Factor** | **Eigenvalue** | **% Varianza** | **% Acum** | **Ratio** |
| 1 | 22.98 | 23.9 | 23.9 | 3.66 | 1 | 28.02 | 20.3 | 20.3 | 2.79 |
| 2 | 6.28 | 6.5 | 30.5 | 1.36 | 2 | 10.06 | 7.3 | 27.6 | 1.53 |
| 3 | 4.63 | 4.8 | 35.3 | 1.04 | 3 | 6.56 | 4.8 | 32.3 | 1.09 |
| 4 | 4.44 | 4.6 | 39.9 | 1.07 | 4 | 6.02 | 4.4 | 36.7 | 1.07 |
| 5 | 4.16 | 4.3 | 44.3 | 1.20 | 5 | 5.65 | 4.1 | 40.8 | 1.13 |
| 6 | 3.48 | 3.6 | 47.9 | 1.08 | 6 | 4.99 | 3.6 | 44.4 | 1.15 |
| 7 | 3.24 | 3.4 | 51.3 | 1.10 | 7 | 4.33 | 3.1 | 47.5 | 1.05 |
| 8 | 2.94 | 3.1 | 54.3 | 1.19 | 8 | 4.13 | 3 | 50.5 | 1.13 |
| 9 | 2.48 | 2.6 | 56.9 | 1.06 | 9 | 3.65 | 2.6 | 53.2 | 1.06 |
| 10 | 2.34 | 2.4 | 59.3 | 1.15 | 10 | 3.44 | 2.5 | 55.7 | 1.10 |
| 11 | 2.04 | 2.1 | 61.5 | 1.01 | 11 | 3.12 | 2.3 | 57.9 | 1.04 |
| 12 | 2.03 | 2.1 | 63.6 | 1.00 | 12 | 2.99 | 2.2 | 60.1 | 1.03 |
| 13 | 2.02 | 2.1 | 65.7 | 1.10 | 13 | 2.90 | 2.1 | 62.2 | 1.07 |
| 14 | 1.84 | 1.9 | 67.6 | 1.15 | 14 | 2.72 | 2 | 64.2 | 1.06 |
| 15 | 1.60 | 1.7 | 69.3 | 1.08 | 15 | 2.57 | 1.9 | 66 | 1.10 |
| 16 | 1.49 | 1.6 | 70.8 | 1.21 | 16 | 2.33 | 1.7 | 67.7 | 1.07 |
| 17 | 1.23 | 1.3 | 72.1 | 1.08 | 17 | 2.17 | 1.6 | 69.3 | 1.05 |
| 18 | 1.14 | 1.2 | 73.3 | 1.06 | 18 | 2.08 | 1.5 | 70.8 | 1.14 |
| 19 | 1.08 | 1.1 | 74.4 | 1.06 | 19 | 1.82 | 1.3 | 72.1 | 1.16 |
| 20 | 1.03 | 1.1 | 75.5 | 1.00 | 20 | 1.57 | 1.1 | 73.3 | 1.04 |
| 21 | 1.03 | 1.1 | 76.6 | 1.01 | 21 | 1.51 | 1.1 | 74.3 | 1.18 |
| 22 | 1.02 | 1.1 | 77.6 | 1.00 | 22 | 1.281 | 0.9 | 75.3 | 1.065 |
| 23 | 1.02 | 1.1 | 78.7 | 1.01 | 23 | 1.203 | 0.9 | 76.1 | 1.05 |
| 24 | 1.01 | 1.1 | 79.7 | 1 | 24 | 1.146 | 0.8 | 77 | 1.103 |
| 25 | 1.01 | 1.1 | 80.8 | 1 | 25 | 1.039 | 0.8 | 77.7 | 1.022 |
| 26 | 1.01 | 1.1 | 81.8 | 1 | 26 | 1.016 | 0.7 | 78.5 | 1.008 |
| 27 | 1.01 | 1.1 | 82.9 | 1 | 27 | 1.008 | 0.7 | 79.2 | 1.001 |
| 28 | 1.01 | 1.1 | 83.9 | 1 | 28 | 1.007 | 0.7 | 79.9 | 1 |
| 29 | 1.01 | 1.1 | 85 | 1 | 29 | 1.007 | 0.7 | 80.7 | 1 |
| 30 | 1.01 | 1.1 | 86 | 1.18 | 30 | 1.007 | 0.7 | 81.4 | 1 |

En la tabla 8.18 se presentan los 30 primeros factores del departamento de Estadística. Aquellos con eigenvalues mayores o iguales a 1 explican el 86% de la varianza de la muestra en el primer período, mientras que en el segundo logran explicar el 82.8%.

Como en el caso de los departamentos anteriormente analizados, ordenamos de forma decreciente los autores de cada uno de ellos según la carga factorial obtenida, con el fin de caracterizar cada uno de esos factores mediante la asignación de categorías temáticas en función de las referencias bibliográficas utilizadas por cada autor (tabla 8.19).

Tabla 8.19. Muestra de factores con valor ≥ 0.5. Estadística (1995-1999)

| Factor | 1 | Factor | 2 |
|---|---|---|---|
| Burnham | 0.97 | Espasa | 0.98 |
| Brooks | 0.97 | Ruiz-Castillo | 0.98 |
| Garthwaite | 0.97 | Yohai | 0.98 |
| Hastie | 0.97 | Gomez V | 0.75 |
| Macgregor | 0.97 | Guerrero | 0.75 |
| Tibshirani | 0.97 | Maravall | 0.75 |
| Tong | 0.97 | Poncela | 0.75 |
| Zidek | 0.97 | Justel | 0.73 |
| Brown | 0.97 | Zamar | 0.71 |
| Cox | 0.97 | | |
| Hand | 0.97 | **Factor** | **3** |
| Helland | 0.97 | Fearn | 0.97 |
| Jones | 0.97 | Galbraith | 0.97 |
| Lindley | 0.97 | Casella | 0.91 |
| Sasieni | 0.97 | Robert | 0.91 |
| Southworth | 0.97 | Hobert | 0.76 |
| Stone | 0.97 | Wells | 0.76 |
| Sundberg | 0.97 | | |
| Taylor | 0.97 | **Factor** | **4** |
| Terbraak | 0.97 | Cuevas | 0.99 |
| Thomas | 0.97 | Delicado | 0.99 |
| Viveros | 0.97 | Ferretti | 0.99 |
| Wold | 0.97 | Berrendero | 0.88 |
| Goutis | 0.73 | Mazzi | 0.64 |

El primer lustro muestra cinco categorías temáticas: Estadística, Gestión, Economía, Psicología e Informática (figura 8.52).

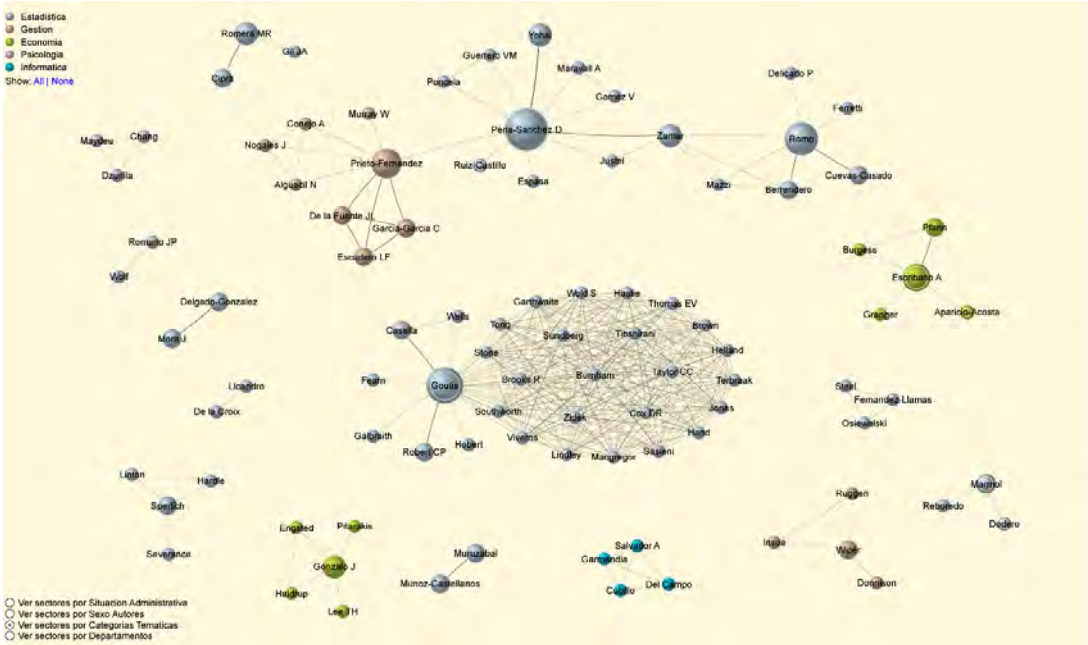



Figura 8.52. Red de coautoría. Análisis temático. Estadística (1995-1999)

En el segundo período desaparece la Psicología y surgen las Ciencias de la Salud (figura 8.53). Sin embargo, no varían sustancialmente los pesos de las categorías temáticas entre el primer quinquenio y el segundo. El predominio de nodos azules revela en ambos casos que la Estadística es la especialidad con más autores, seguida de la Gestión.

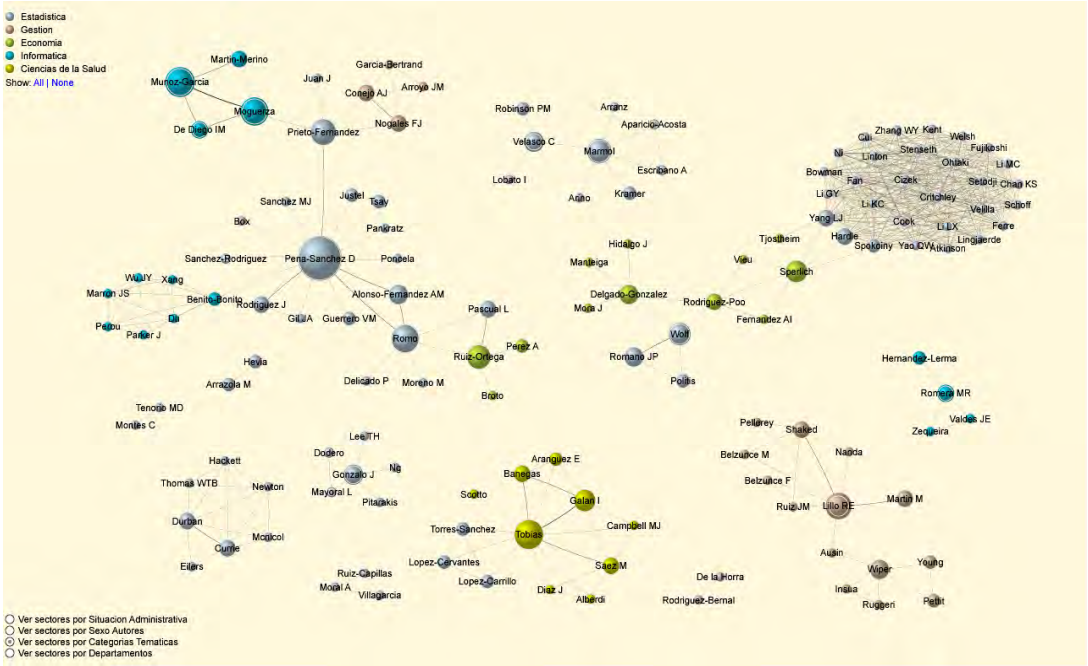



Figura 8.53. Red de coautoría. Análisis temático. Estadística (2000-2004)

### 8.6.6. ANÁLISIS POR SEXO DE LAS REDES DE COAUTORÍA.

Tabla 8.20. Aportación masculina y femenina. Estadística (1995-2004)

| | | 1995-1999 | | 2000-2004 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Total | % | Total | % |
| Individuos | Hombres | 23 | 92 | 24 | 72.73 |
| | Mujeres | 2 | 8 | 9 | 27.27 |
| Producción | Hombres | 77 | 95.06 | 125 | 82.78 |
| | Mujeres | 4 | 4.94 | 26 | 17.22 |
| Citas | Hombres | 119 | 100 | 79 | 72.48 |
| | Mujeres | 0 | 0 | 30 | 27.52 |

Trasladando la leyenda de colores al estudio del comportamiento de los miembros del departamento de Estadística según su sexo, basado en el recuento de individuos, documentos y citas, la tabla 8.20 muestra que el crecimiento en número de individuos ha favorecido al colectivo de investigadoras femeninas, pasando del 8 al 27.27%.

También obtienen crecimientos destacados en producción, pasando del 5% al 17.22%, y en citación, del 0% al 27.52% de las citas recibidas.

La presencia femenina en el primer quinquenio se reduce, como ya hemos comprobado a dos autoras (figura 8.54).

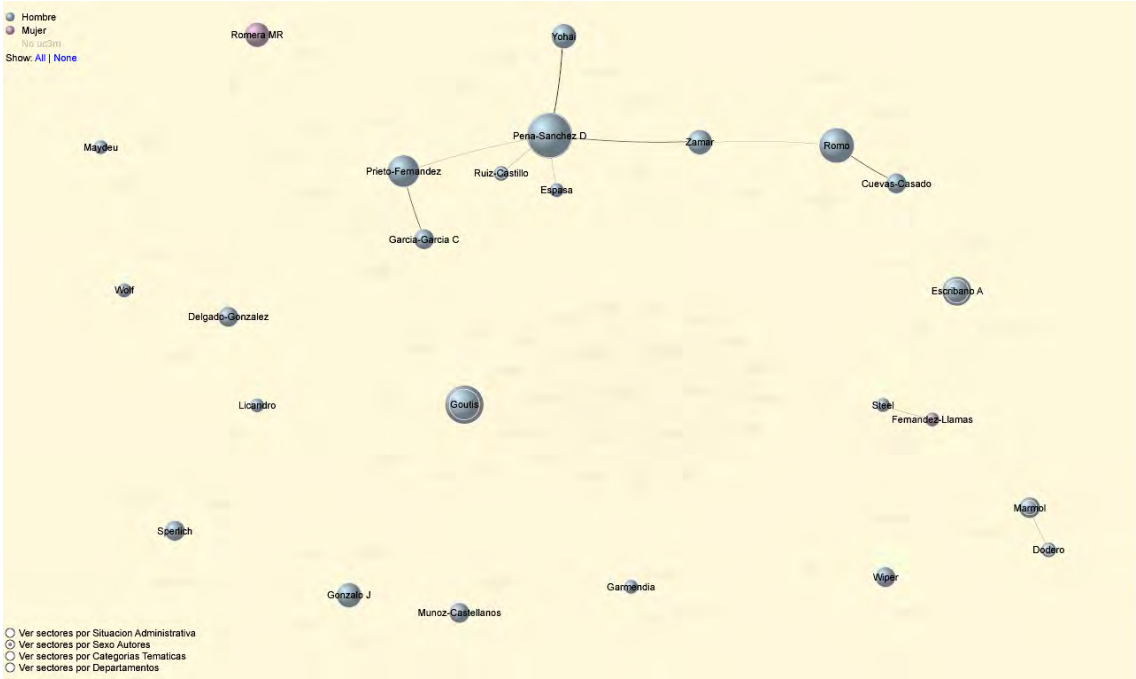



Figura 8.54. Red de coautoría. Análisis por sexo. Estadística (1995-1999)

Entre 2000 y 2004 el número de mujeres aumenta hasta nueve (figura 8.55). En la mitad de los casos comparten grupos de investigación con compañeros masculinos. En la otra mitad optan por agrupaciones que sólo incluyen la participación de autores ajenos a la Universidad.

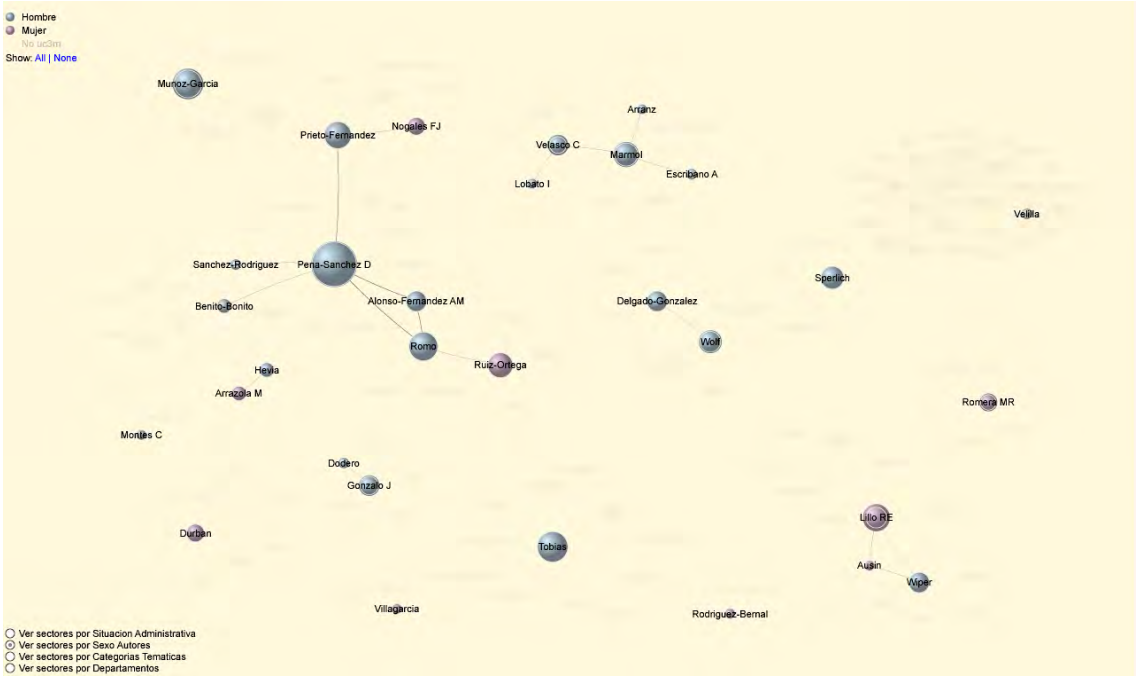



Figura 8.55. Red de coautoría. Análisis por sexo. Estadística (2000-2004)

### 8.6.7. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ADMINISTRATIVA DE LAS REDES DE COAUTORÍA.

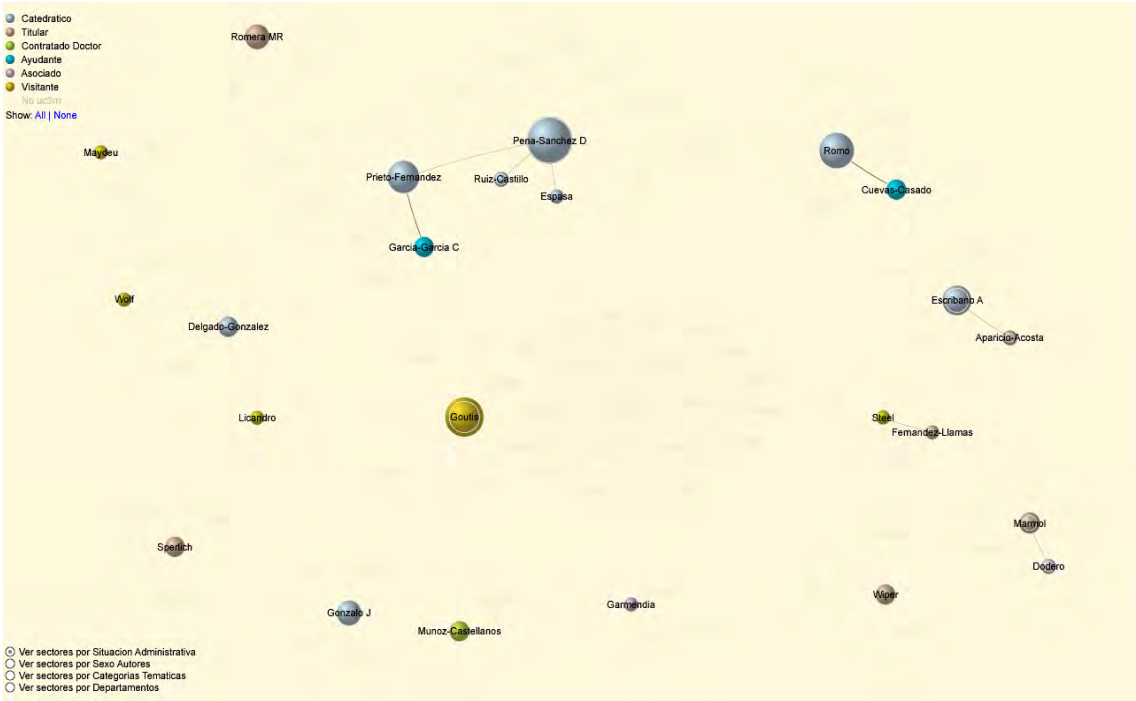



Figura 8.56. Red de coautoría. Relación administrativa. Estadística (1995-1999)

La relación predominante en el departamento de Estadística entre 1995 y 1999 es la ausencia de relaciones (figura 8.56). Las pocas existentes son de los tipos Catedrático-Catedrático, Catedrático-Titular y Catedrático-Ayudante. No aparecen estudiantes asociados a investigadores veteranos.

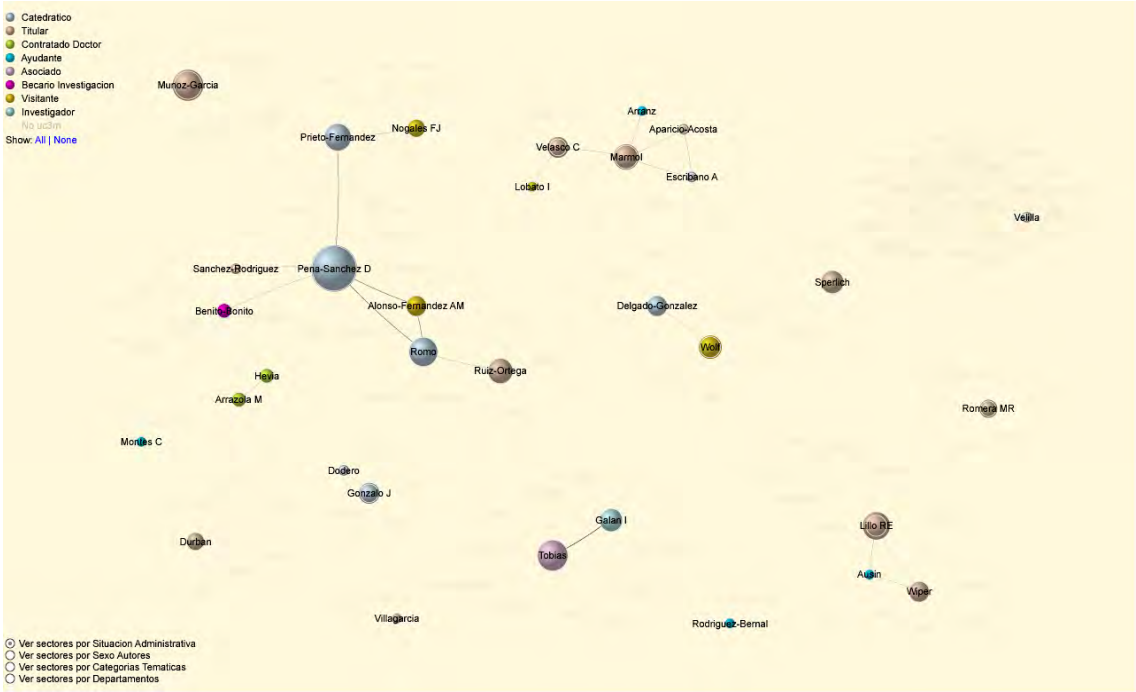



Figura 8.57. Red de coautoría. Relación administrativa. Estadística (2000-2004)

El segundo período no es mucho más prolijo en relaciones, pero a las existentes entre profesores permanentes del período anterior, se suman ya algunas relaciones entre Titular-Ayudante y Catedrático-Becario. También se incorporan nuevas figuras como la de Contratado Doctor, y desciende el peso de profesores Visitantes (figura 8.57).

### 8.6.8. Evolución y Topología de las Redes de Coautoría.

Los indicadores bibliométricos y estructurales de la tabla 8.21, muestran la evolución y crecimiento de la red de autores de Estadística. El número de autores que participan en la producción de Estadística aumenta un 44% en el segundo lustro, aunque ese aumento no afecta al tamaño de los componentes.

La densidad de la red, sin embargo, desciende del 8 al 6%, revelando una pérdida de relaciones entre los distintos autores y grupos de investigación que trabajan en el departamento.

Tabla 8.21. Valores generales de las redes de Estadística

| Indicadores | 1995-1999 | 2000-2004 |
|---|---|---|
| Número nodos | 96 | 138 |
| Densidad | 0.08 | 0.06 |
| Grado | 0.23 | 0.16 |
| Intermediación | 0.04 | 0.05 |
| Coeficiente agrupamiento | 0.22 | 0.23 |
| Número componentes | 15 | 12 |
| Tamaño componente principal | 30 | 41 |
| Tamaño componente principal (%) | 31.25 | 29.71 |
| Tamaño segundo componente | 24 | 36 |
| Tamaño segundo componente (%) | 25.00 | 26.09 |
| Ndoc col | 52 | 101 |
| Ndoc (% respecto UC3M) | 9.24 | 8.07 |
| Citas | 33 | 41 |
| Citas (% respecto UC3M) | 8.62 | 9.28 |

Por otro lado, la reducción del número de componentes, el ligero descenso de la centralización de grado, y el aumento de la intermediación y del coeficiente de agrupamiento, ponen de manifiesto la tendencia hacia la consolidación de componentes en los que predominan las relaciones en forma de red distribuida frente a la de estrella.

La evolución estructural del departamento de Estadística le supone una pérdida de peso en la producción científica respecto al total de la Universidad de un 1.17%, si bien obtiene mejor porcentaje de visibilidad con un aumento del 0.66%.

La estructura del departamento de Estadística, pues, se compone de grupos de investigación aislados, con preferencia hacia la organización de la colaboración en forma de red distribuida. Esta continuidad de la topología de aislamiento se traduce, por un lado, en un descenso en el peso productivo del departamento respecto de la Universidad, y un ligero aumento de la visibilidad relativa, por otro.

### 8.6.9. POPULARIDAD Y PRESTIGIO.

En el primer período el valor más alto de popularidad y prestigio lo ocupa el autor con el mayor coeficiente de agrupamiento y el segundo número de trabajos en colaboración, a pesar de su discreto recuento de citas. El segundo autor en

popularidad, tiene el segundo mejor coeficiente de agrupamiento. El autor con mayor número de colaboraciones y de citas obtiene el tercer valor en popularidad y el segundo en prestigio. Por último, el tercer valor en prestigio es para el autor con el tercer valor de citas y coeficiente de agrupamiento, aunque décimo séptimo en colaboraciones.

Tabla 8.22. Popularidad y prestigio. Estadística (1995-2004)

| 1995-1999 (más de 1 documento) | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Orden** | **Nombre** | **Puesto** | **Ndoc col** | **Citas** | **FITN** | **Grado** | **Intermediación** | **Coef Cluster** | **Popularidad** | **Prestigio** |
| 1 | Peña-Sánchez D | Catedrático | 10 | 26 | 1.14 | 0.11 | 0.0437 | 0.0470 | 0.6583 | 1.2226 |
| 2 | Goutis | Visitante | 7 | 2 | 1.33 | 0.31 | 0.0338 | 1 | 11 | 2 |
| 3 | Romo | Catedrático | 6 | 7 | 0.99 | 0.06 | 0.0141 | 0.1034 | 0.6207 | 0.7241 |
| 4 | Prieto-Fernández | Catedrático | 5 | 10 | 0.89 | 0.08 | 0.0284 | 0.0920 | 0.4598 | 0.9195 |
| 5 | Escribano A | Catedrático | 4 | 8 | 0.86 | 0.04 | 0.0011 | 0.1379 | 0.8276 | 1.1034 |
| 6 | Yohai | Visitante | 3 | 13 | 1.74 | 0.01 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | Zamar | Visitante | 3 | 1 | 0.75 | 0.05 | 0.0228 | 0.0406 | 0.1217 | 0.0406 |
| 8 | Romera MR | Titular | 3 | 0 | 1.03 | 0.02 | 0.0002 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | Gonzalo J | Catedrático | 3 | 0 | 0.98 | 0.04 | 0.0011 | 0.1379 | 0.4138 | 0 |
| 10 | Cuevas-Casado | Ayudante | 2 | 4 | 0.85 | 0.01 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | Pfann | No UC3M | 2 | 1 | 0.83 | 0.02 | 0 | 0.0230 | 0.0460 | 0.0230 |
| 12 | Muruzabal | No UC3M | 2 | 6 | 0.94 | 0.01 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 13 | Casella | No UC3M | 2 | 0 | 1.25 | 0.02 | 0 | 0.0002 | 0.0005 | 0 |
| 14 | Mora J | No UC3M | 2 | 4 | 1.04 | 0.01 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | Robert CP | No UC3M | 2 | 1 | 1.04 | 0.02 | 0 | 0.0002 | 0.0005 | 0.0002 |
| 16 | Muñoz-Castellanos | Contratado Doctor | 2 | 6 | 0.94 | 0.01 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 17 | Sperlich | Titular | 2 | 11 | 0.83 | 0.03 | 0.0004 | 0.1034 | 0.2069 | 1.1379 |
| 18 | Escudero LF | No UC3M | 2 | 9 | 0.90 | 0.03 | 0 | 0.0282 | 0.0564 | 0.2539 |
| 19 | Cipra | No UC3M | 2 | 3 | 0.74 | 0.01 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | Delgado-González | Catedrático | 2 | 4 | 1.04 | 0.01 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 21 | Wiper | Titular | 2 | 3 | 1.33 | 0.03 | 0.0004 | 0.1034 | 0.2069 | 0.3103 |
| 22 | Berrendero | No UC3M | 2 | 3 | 0.76 | 0.03 | 0 | 0.0345 | 0.0690 | 0.1034 |
| **2000-2004 (más de 3 documentos)** | | | | | | | | | | |
| **Orden** | **Nombre** | **Puesto** | **Ndoc col** | **Citas** | **FITN** | **Grado** | **Intermediación** | **Coef Cluster** | **Popularidad** | **Prestigio** |
| 1 | Peña-Sánchez D | Catedrático | 20 | 14 | 1.02 | 0.10 | 0.0534 | 0.053 | 1.12 | 0.75 |
| 2 | Tobias | Asociado | 9 | 3 | 1.09 | 0.08 | 0.0042 | 0.367 | 3.3 | 1.1 |
| 3 | Muñoz-Castellanos | Contratado Doctor | 9 | 5 | 0.85 | 0.02 | 0.0001 | 0.067 | 0.73 | 0.33 |
| 4 | Moguerza | No UC3M | 8 | 1 | 0.93 | 0.03 | 0.0104 | 0.038 | 0.38 | 0.04 |
| 5 | Romo | Catedrático | 8 | 8 | 0.88 | 0.04 | 0.0196 | 0.021 | 0.17 | 0.17 |
| 6 | Prieto-Fernández | Catedrático | 7 | 5 | 1.31 | 0.04 | 0.0277 | 0.006 | 0.04 | 0.03 |
| 7 | Lillo RE | Titular | 7 | 16 | 0.99 | 0.07 | 0.0056 | 0.171 | 2.06 | 2.74 |
| 8 | Mármol | Titular | 6 | 3 | 0.83 | 0.04 | 0.0026 | 0.067 | 0.47 | 0.2 |
| 9 | Ruiz-Ortega | Titular | 6 | 7 | 0.85 | 0.03 | 0.0072 | 0.022 | 0.13 | 0.16 |
| 10 | Wolf | Visitante | 5 | 2 | 0.93 | 0.03 | 0.0082 | 0.027 | 0.16 | 0.05 |
| 11 | Galán I | Investigador | 5 | 0 | 1.16 | 0.04 | 0.0002 | 0.056 | 0.28 | 0 |
| 12 | Sperlich | Titular | 5 | 7 | 0.98 | 0.05 | 0.0324 | 0.003 | 0.02 | 0.02 |
| 13 | Alonso-Fernández | Visitante | 4 | 3 | 0.91 | 0.01 | 0 | 0.003 | 0.01 | 0.01 |
| 14 | Wiper | Titular | 4 | 2 | 0.93 | 0.04 | 0.0043 | 0.035 | 0.14 | 0.07 |
| 15 | Velasco C | Titular | 4 | 8 | 1.11 | 0.02 | 0.0014 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | Delgado-González | Catedrático | 4 | 6 | 1.25 | 0.04 | 0.0122 | 0.019 | 0.07 | 0.11 |
| 17 | Romano JP | No UC3M | 4 | 1 | 0.94 | 0.01 | 0 | 0.017 | 0.07 | 0.02 |
| 18 | Gonzalo J | Catedrático | 4 | 2 | 1.02 | 0.04 | 0.0010 | 0.167 | 0.83 | 0.33 |
| | | | | 1º valor | 2º valor | 3º valor | | | | |

El patrón es más estable en el segundo período, el primer valor de popularidad y segundo de prestigio es para el autor con el segundo valor en documentos en coautoría y mejor coeficiente de agrupamiento, aunque con un discreto registro de citas. El segundo valor de popularidad y primero de prestigio corresponde al autor con el mayor recuento de citas y el segundo mejor coeficiente de agrupamiento. El tercero en ambos apartados es el autor con mayor número de documentos en colaboración y segundo según el recuento de citas (tabla 8.22).

## 8.7. DEPARTAMENTO DE FÍSICA.

### 8.7.1. DATOS GENERALES DE COLABORACIÓN.

La producción con visibilidad internacional del departamento de Física comienza en 1992. La evolución de la producción absoluta puede subdividirse en tres fases (figura 8.58). La primera, hasta 1996, con una producción anual estable, salvo el pequeño descenso de 1996. La segunda desde 1997 hasta 2001 de paulatino crecimiento. La tercera fase desde 2002 hasta el final de período analizado, con un acusado descenso.

Por lo que respecta a los hábitos de colaboración, se observa un elevado número de trabajos con autores de instituciones extranjeras y cuya evolución discurre en paralelo a la línea de producción absoluta. También dibuja una línea paralela a la de la producción absoluta la colaboración con socios nacionales, aunque presenta ascensos y descensos más acentuados al comienzo del período. La colaboración con profesores del mismo departamento comienza en 1995, pero no es hasta 1997 cuando cobra relevancia, aunque su línea presenta ligeras fluctuaciones. La producción de trabajos en solitario es prácticamente inexistente.

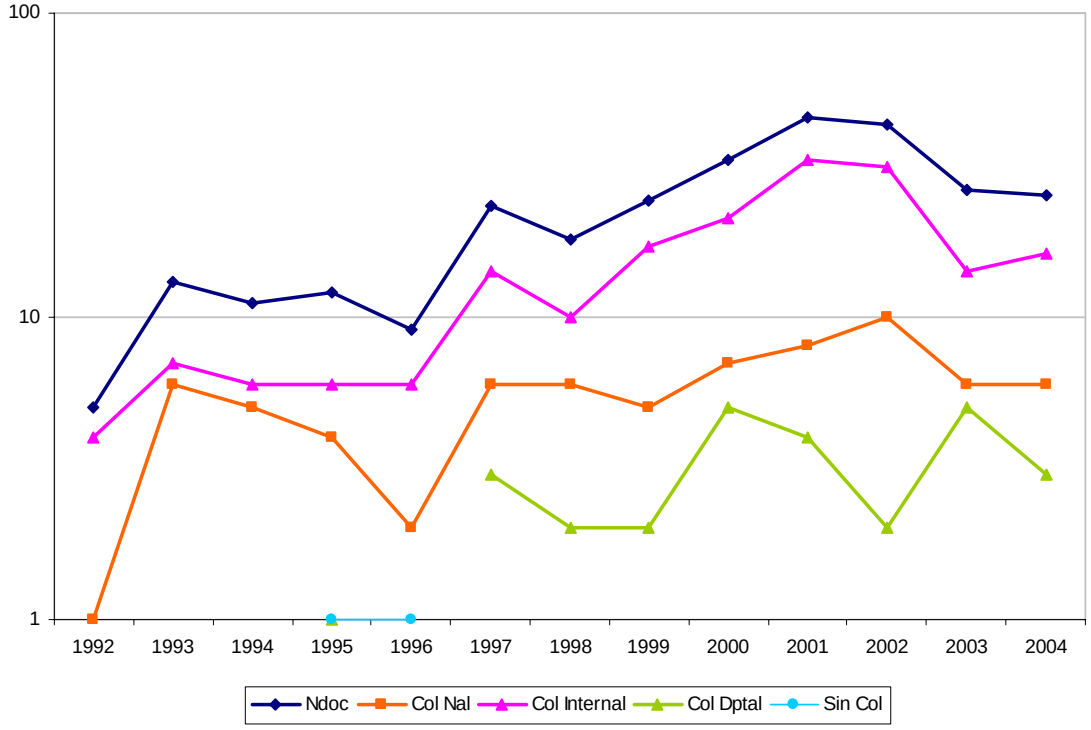



Figura 8.58. Evolución de la producción por tipos de colaboración. Física

La figura 8.59 presenta la evolución de la producción en valores porcentuales. Los tres principales tipos de colaboración muestran evoluciones similares. La colaboración internacional fluctúa a lo largo del período entre el 55 y el 75%, para obtener un promedio del 64.5%. La colaboración nacional es mucho más estable, especialmente al final del período (25.1% de media). La colaboración departamental alcanza su porcentaje más alto coincidiendo con el descenso de producción de los dos últimos años (promedio del 9.4%). Los dos únicos trabajos sin colaboración suponen el 0.7% de la producción departamental en el período.

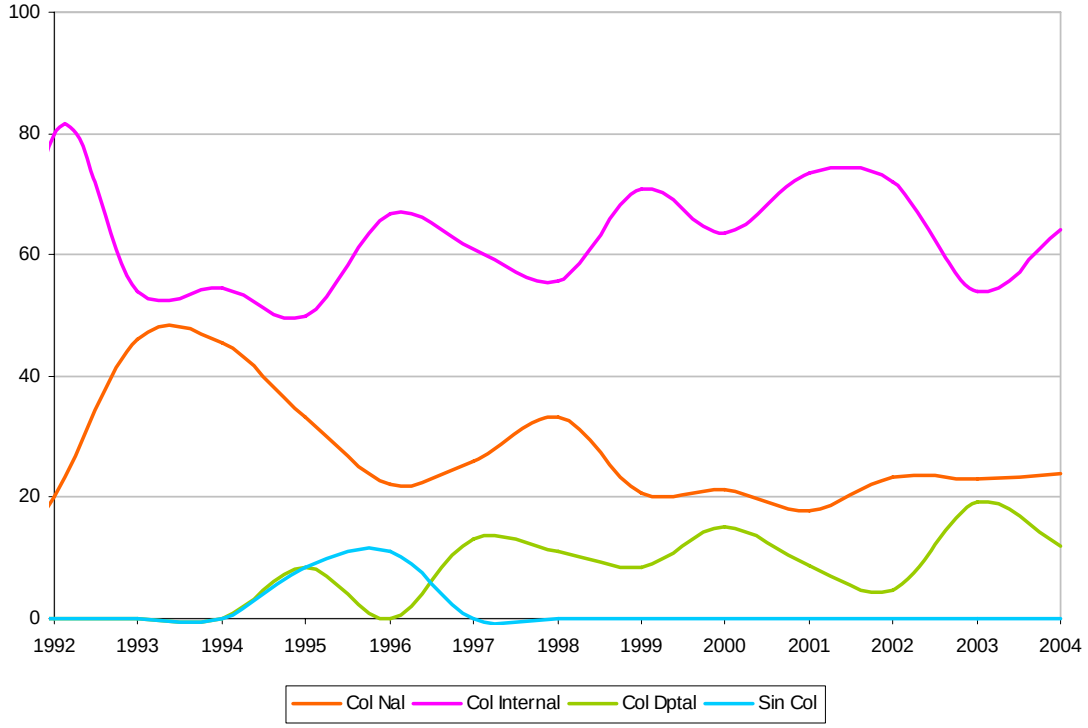



Figura 8.59. Evolución de la producción por tipos de colaboración en %. Física

## 8.7.2. COLABORACIÓN INTERNACIONAL.

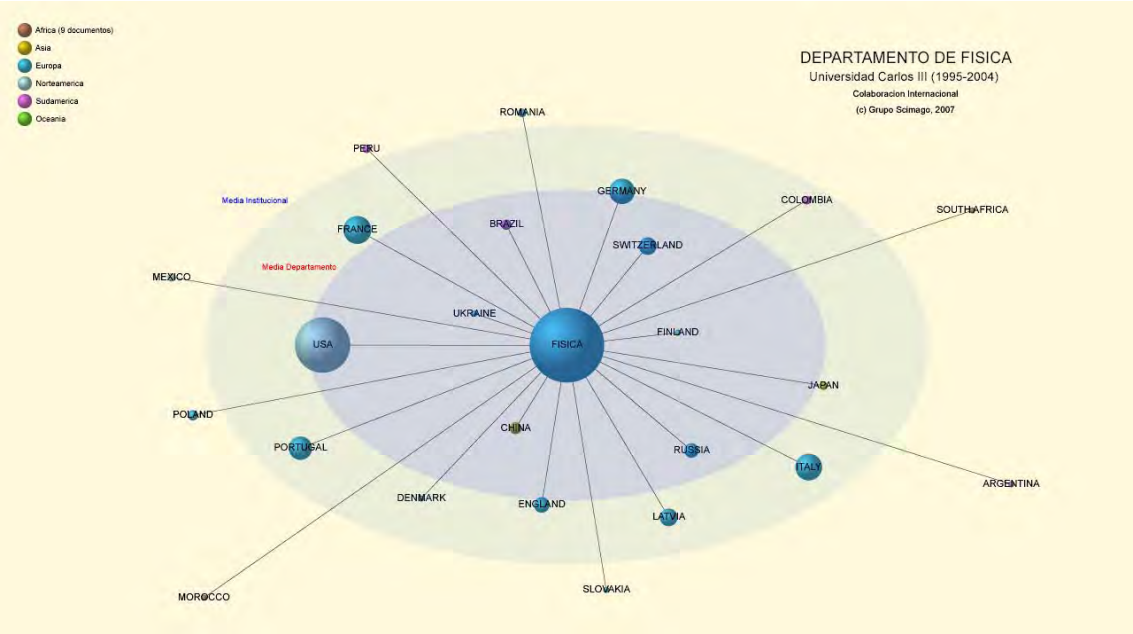



Figura 8.60. Heliocéntrico de colaboración internacional. Estadística (1995-2004)

La figura 8.60 presenta las relaciones internacionales de colaboración del departamento de Física, a través de una red heliocéntrica. Desde el punto de vista del volumen de colaboración, las coautorías más frecuentes se dan, por orden descendente, con Estados Unidos, Francia, Italia, Alemania y Portugal.

En cuanto al impacto logrado con cada uno de ellos, son siete los países cuya visibilidad esperada supera la media departamental (1.25): Ucrania, Finlandia, China, Suiza, Brasil, Rusia y Estados Unidos. También por encima, en este caso del valor medio institucional, se encuentran otros nueve países. El tercio restante de países orbitan a gran distancia de los valores medios. En el departamento de Física destaca el hecho de que la visibilidad esperada de la producción departamental es muy superior a la institucional. También es reseñable el contraste entre la escasa colaboración internacional descrita en el apartado anterior, y la elevada visibilidad que obtienen los trabajos firmados con instituciones extranjeras.

### 8.7.3. COLABORACIÓN NACIONAL.

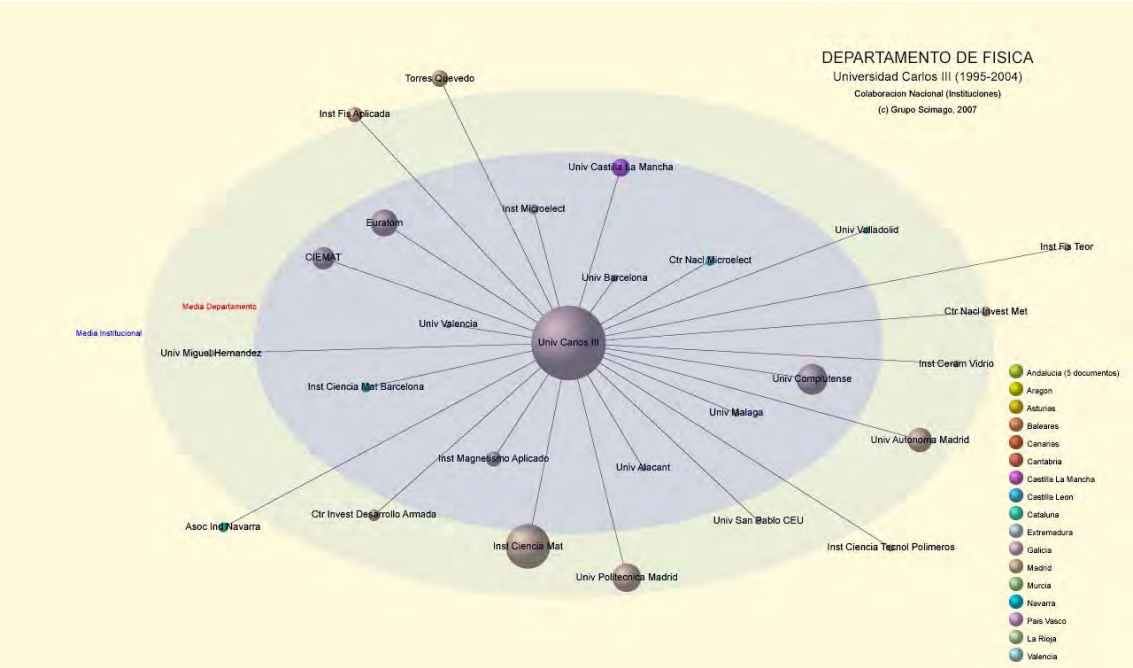



Figura 8.61. Heliocéntrico de colaboración nacional. Física (1995-2004)

El análisis de la red de la figura 8.61, permite conocer el alcance de la colaboración departamental de Física con el resto de instituciones nacionales. Así, desde la perspectiva de producción absoluta, destacan los trabajos en coautoría con el Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid, la Universidad Complutense, la Universidad Politécnica de Madrid y EURATOM. De las 26 instituciones participantes en la producción de Física, el 61.54% de las mismas son madrileñas, manifestando la influencia de la proximidad geográfica en la colaboración de este departamento.

Por lo que respecta al impacto esperado, destaca la visibilidad que obtienen los trabajos realizados con la Universidad de Barcelona, la Universidad de Valencia y el Centro Nacional de Microelectrónica de Barcelona. Otras nueve instituciones ofrecen visibilidades por encima de la media departamental. Nueve más son las que obtienen impactos por encima del promedio institucional, y sólo la coautoría con cinco centros nacionales obtienen valores inferiores. En el caso de la colaboración nacional, contrasta la influencia de la proximidad geográfica en la producción departamental, con la mayor visibilidad que obtienen los trabajos realizados con socios de otras comunidades autónomas.

### 8.7.4. COLABORACIÓN INSTITUCIONAL A PARTIR DE REDES DE COAUTORÍA.

La red de coautorías del departamento de Física (figura 8.62) en el período 1995-1999, muestra las relaciones de colaboración entre los distintos departamentos de la Universidad. El color de cada uno de ellos se corresponde con la leyenda de la esquina superior izquierda. Para proporcionar una visualización más clara, se han ocultado los autores no pertenecientes a la UC3M.

La colaboración departamental, tal como señalamos en el apartado 6.1, no es muy abundante pero la suficiente como para establecer dos componentes distintos. Aunque la colaboración interdepartamental en este primer quinquenio tampoco lo

es, el departamento de Física presenta trabajos conjuntos con los de Economía, Humanidades-Filosofía, Humanidades-Geografía, Informática, Ingeniería Mecánica y Matemáticas.

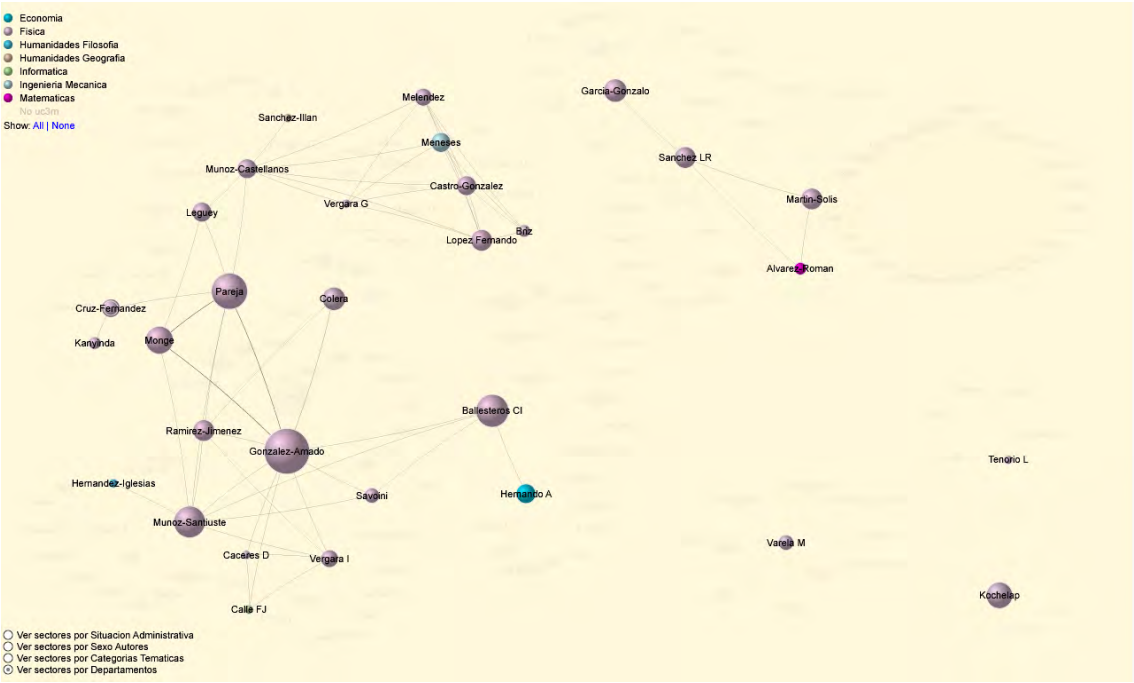



Figura 8.62. Red de coautoría. Colaboración departamental. Física (1995-1999)

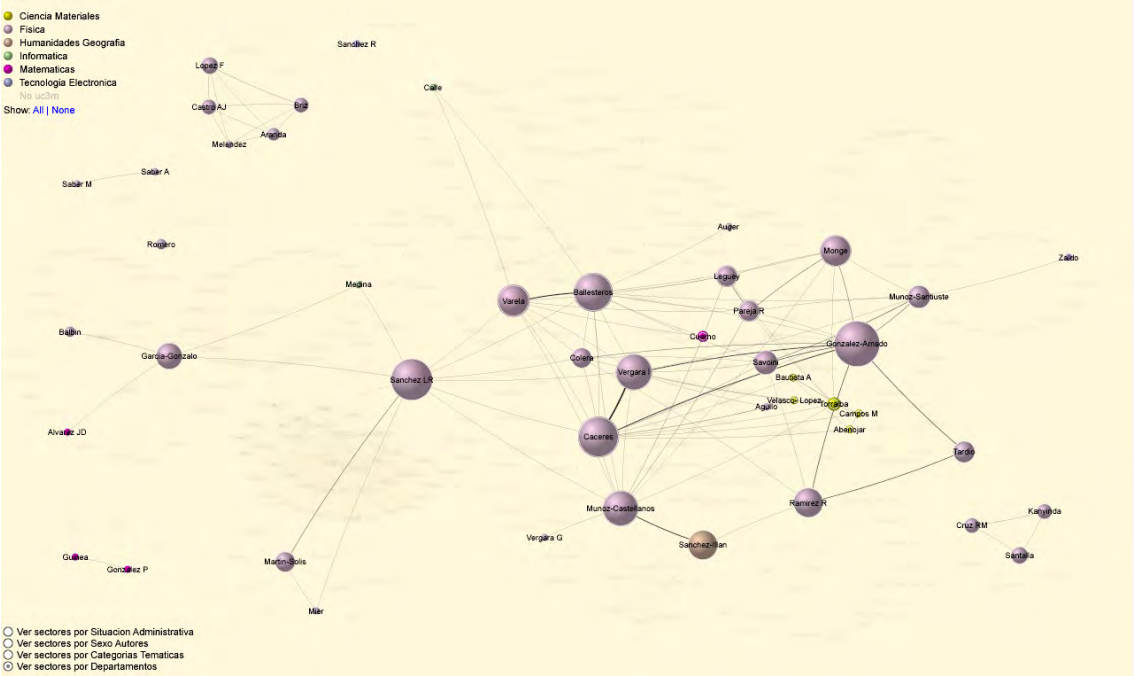



Figura 8.63. Red de coautoría. Colaboración departamental. Física (2000-2004)

La red de autores en el segundo período analizado (figura 8.63), presenta a cinco departamentos colaboradores, uno menos que en el período anterior, pero con mayor densidad, especialmente en el caso de la asociación con el de Ciencia de Materiales. También la colaboración departamental aumenta el número de componentes en los que concurren miembros del mismo departamento.

### 8.7.5. ANÁLISIS TEMÁTICO DE LAS REDES DE COAUTORÍA.

Tabla 8.23. Eigenvalues. Física (1995-2004)

| 1995-1999 | | | | | 2000-2004 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Factor** | **Eigenvalue** | **% Varianza** | **% Acum** | **Ratio** | **Factor** | **Eigenvalue** | **% Varianza** | **% Acum** | **Ratio** |
| 1 | 25.42 | 14.00 | 14.00 | 1.80 | 1 | 41.63 | 12.20 | 12.20 | 1.87 |
| 2 | 14.11 | 7.80 | 21.70 | 1.16 | 2 | 22.30 | 6.60 | 18.80 | 1.15 |
| 3 | 12.17 | 6.70 | 28.40 | 1.14 | 3 | 19.38 | 5.70 | 24.50 | 1.14 |
| 4 | 10.68 | 5.90 | 34.30 | 1.03 | 4 | 17.07 | 5.00 | 29.50 | 1.49 |
| 5 | 10.37 | 5.70 | 40.00 | 1.09 | 5 | 11.46 | 3.40 | 32.90 | 1.06 |
| 6 | 9.51 | 5.20 | 45.20 | 1.17 | 6 | 10.77 | 3.20 | 36.10 | 1.05 |
| 7 | 8.16 | 4.50 | 49.70 | 1.11 | 7 | 10.23 | 3.00 | 39.10 | 1.04 |
| 8 | 7.38 | 4.10 | 53.70 | 1.15 | 8 | 9.80 | 2.90 | 42.00 | 1.02 |
| 9 | 6.43 | 3.50 | 57.30 | 1.14 | 9 | 9.60 | 2.80 | 44.80 | 1.11 |
| 10 | 5.64 | 3.10 | 60.40 | 1.12 | 10 | 8.65 | 2.50 | 47.30 | 1.06 |
| 11 | 5.04 | 2.80 | 63.10 | 1.04 | 11 | 8.13 | 2.40 | 49.70 | 1.06 |
| 12 | 4.85 | 2.70 | 65.80 | 1.11 | 12 | 7.68 | 2.30 | 52.00 | 1.15 |
| 13 | 4.38 | 2.40 | 68.20 | 1.21 | 13 | 6.70 | 2.00 | 53.90 | 1.04 |
| 14 | 3.62 | 2.00 | 70.20 | 1.18 | 14 | 6.42 | 1.90 | 55.80 | 1.12 |
| 15 | 3.07 | 1.70 | 71.90 | 1.08 | 15 | 5.73 | 1.70 | 57.50 | 1.06 |
| 16 | 2.84 | 1.60 | 73.50 | 1.13 | 16 | 5.41 | 1.60 | 59.10 | 1.03 |
| 17 | 2.52 | 1.40 | 74.80 | 1.03 | 17 | 5.27 | 1.50 | 60.70 | 1.04 |
| 18 | 2.45 | 1.30 | 76.20 | 1.01 | 18 | 5.09 | 1.50 | 62.10 | 1.06 |
| 19 | 2.43 | 1.30 | 77.50 | 1.25 | 19 | 4.80 | 1.40 | 63.60 | 1.04 |
| 20 | 1.94 | 1.10 | 78.60 | 1.08 | 20 | 4.61 | 1.40 | 64.90 | 1.07 |
| 21 | 1.80 | 1.00 | 79.60 | 1.12 | 21 | 4.31 | 1.30 | 66.20 | 1.10 |
| 22 | 1.60 | 0.90 | 80.40 | 1.13 | 22 | 3.92 | 1.20 | 67.30 | 1.03 |
| 23 | 1.42 | 0.80 | 81.20 | 1.02 | 23 | 3.82 | 1.10 | 68.50 | 1.16 |
| 24 | 1.40 | 0.80 | 82.00 | 1.06 | 24 | 3.31 | 1.00 | 69.40 | 1.02 |
| 25 | 1.32 | 0.70 | 82.70 | 1.25 | 25 | 3.25 | 1.00 | 70.40 | 1.01 |
| 26 | 1.05 | 0.60 | 83.30 | 1.05 | 26 | 3.21 | 0.90 | 71.30 | 1.04 |
| 27 | 1.01 | 0.60 | 83.90 | 1.03 | 27 | 3.09 | 0.90 | 72.20 | 1.12 |

La tabla 8.23 muestra los distintos factores del departamento de Física en los dos períodos analizados, con eigenvalues mayores o iguales a 1. En el primero de ellos 27 factores explican el 84% de la varianza de la muestra, mientras que en el segundo, 50 factores alcanzan el 83.7%.

Ordenamos de forma decreciente los autores de cada uno de ellos según la carga factorial obtenida, con el fin de caracterizar cada uno de esos factores mediante la asignación de categorías temáticas en función de las referencias bibliográficas utilizadas por cada autor (tabla 8.24).

Tabla 8.24. Muestra de factores con valor ≥ 0.5. Física (1995-1999)

| Factor | 1 | Factor | 2 |
|---|---|---|---|
| Harbour | 0.97 | Kuklja | 0.91 |
| Chankin | 0.97 | Kotomin | 0.88 |
| Horton | 0.97 | Popov | 0.88 |
| Maggi | 0.97 | Stefanovich | 0.85 |
| Reichle | 0.97 | Pareja R | 0.81 |
| Smith | 0.97 | Monge | 0.79 |
| Saibene | 0.97 | Munoz-Santiuste | 0.65 |
| Campbell | 0.97 | Gonzalez-Amado | 0.62 |
| Ehrenberg | 0.97 | Ramirez | 0.61 |
| Erents | 0.97 | Chen | 0.57 |
| Guo | 0.97 | Savoini | 0.56 |
| Ingesson | 0.97 | **Factor** | **3** |
| Jackel | 0.97 | Montojo | 0.95 |
| Lowry | 0.97 | Rodrigo | 0.95 |
| Mccormick | 0.97 | Ugarte | 0.95 |
| O'Brien | 0.97 | Vergara G | 0.95 |
| Stamp | 0.97 | Cebrian | 0.95 |
| Stork | 0.97 | Torquemada | 0.95 |
| Vlases | 0.97 | Hernandez JL | 0.90 |
| Clement S | 0.90 | Adell | 0.90 |
| Davies | 0.90 | Martin JM | 0.90 |
| Lingertat | 0.90 | Melendez | 0.72 |
| Matthews | 0.90 | Lopez F | 0.70 |
| Monk | 0.90 | Castro | 0.68 |
| Loarte | 0.90 | Meneses | 0.68 |
| Martin-Solis | 0.58 | Briz | 0.50 |

El primer lustro muestra seis categorías temáticas (figura 8.64): Física de Fluidos, Física de la Materia Condensada, Física Nuclear, Física Aplicada, Ciencia de Materiales y Astrofísica.

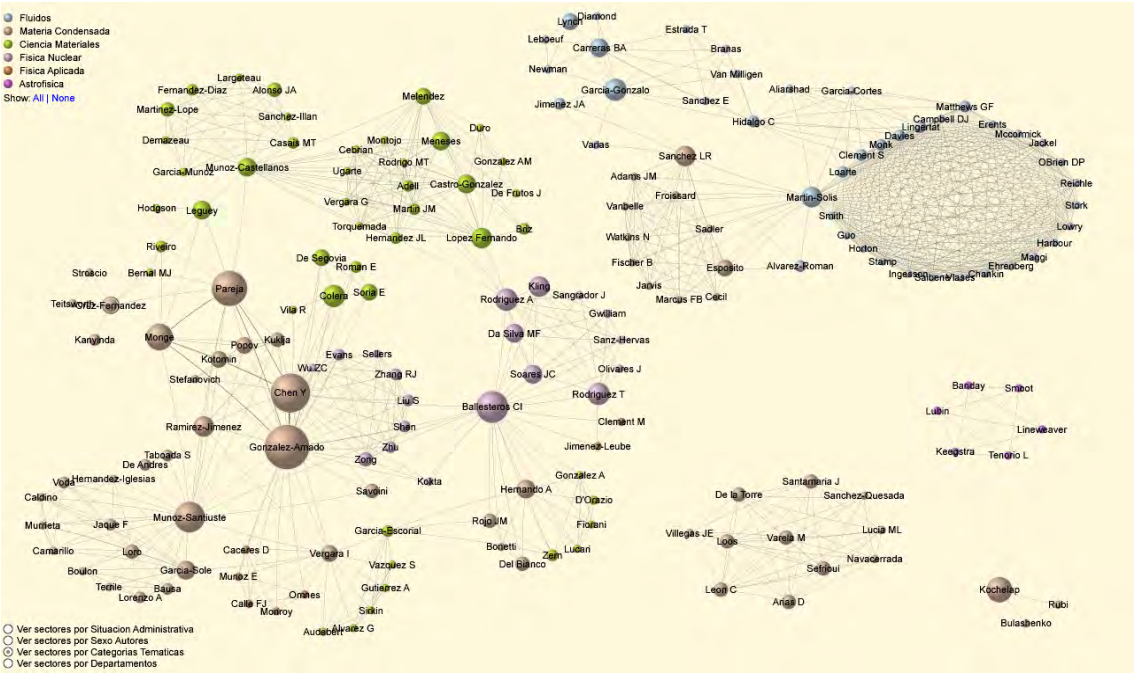



Figura 8.64. Red de coautoría. Análisis temático. Física (1995-1999)

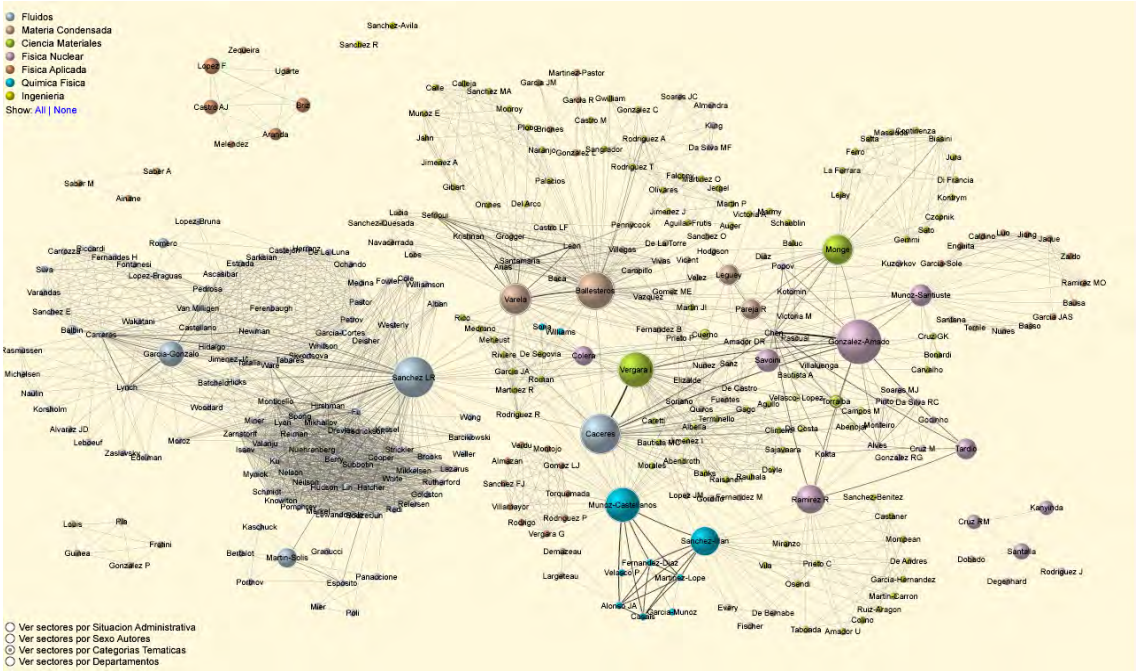



Figura 8.65. Red de coautoría. Análisis temático. Física (2000-2004)

En el segundo período la Química-Física sustituye a la Astrofísica, y aparece la Ingeniería (figura 8.65). Se aprecia un aumento del número de nodos en la rama dedicada a Física de Fluidos, altamente especializada y con contactos periféricos

con Ciencia de Materiales. La rama dedicada a Física de la Materia Condensada muestra, como en el primer período, mayor relación con el resto de especialidades.

### 8.7.6. ANÁLISIS POR SEXO DE LAS REDES DE COAUTORÍA.

Tabla 8.25. Aportación masculina y femenina. Física (1995-2004)

| | | 1995-1999 | | 2000-2004 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Total | % | Total | % |
| Individuos | Hombres | 24 | 75 | 32 | 68.09 |
| | Mujeres | 8 | 25 | 15 | 31.91 |
| Producción | Hombres | 142 | 76.34 | 255 | 67.82 |
| | Mujeres | 44 | 23.66 | 121 | 32.18 |
| Citas | Hombres | 311 | 72.33 | 389 | 64.09 |
| | Mujeres | 119 | 27.67 | 218 | 35.91 |

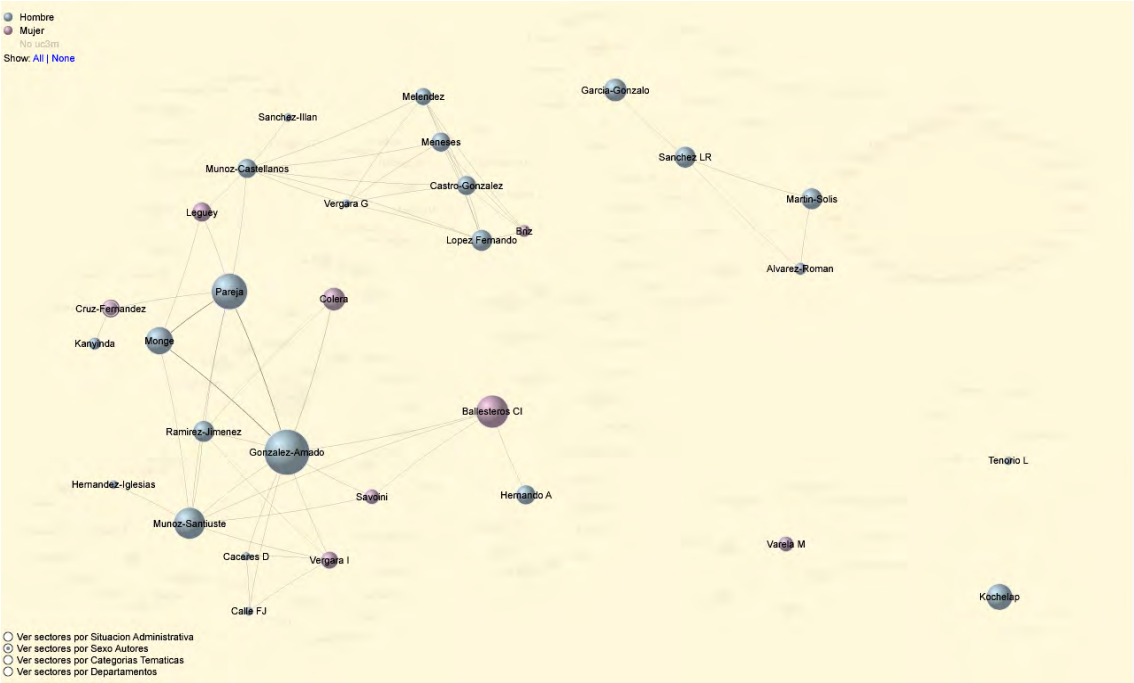



Figura 8.66. Red de coautoría. Análisis por sexo. Física (1995-1999)

Cambiando la leyenda de colores para el estudio del comportamiento de los miembros del departamento de Física según su sexo, basado en el recuento de individuos, documentos y citas, la tabla 8.25 muestra que el crecimiento en número de individuos ha favorecido al colectivo de investigadoras femeninas. En general, la ratio 75-25% entre sexos del primer quinquenio, ve reducida su diferencia al 65-35% en las tres facetas calculadas, producción, citación y personal.

La presencia femenina en el primer quinquenio es de ocho autoras, todas ellas, salvo una, integradas en el componente principal junto a compañeros varones (figura 8.66).

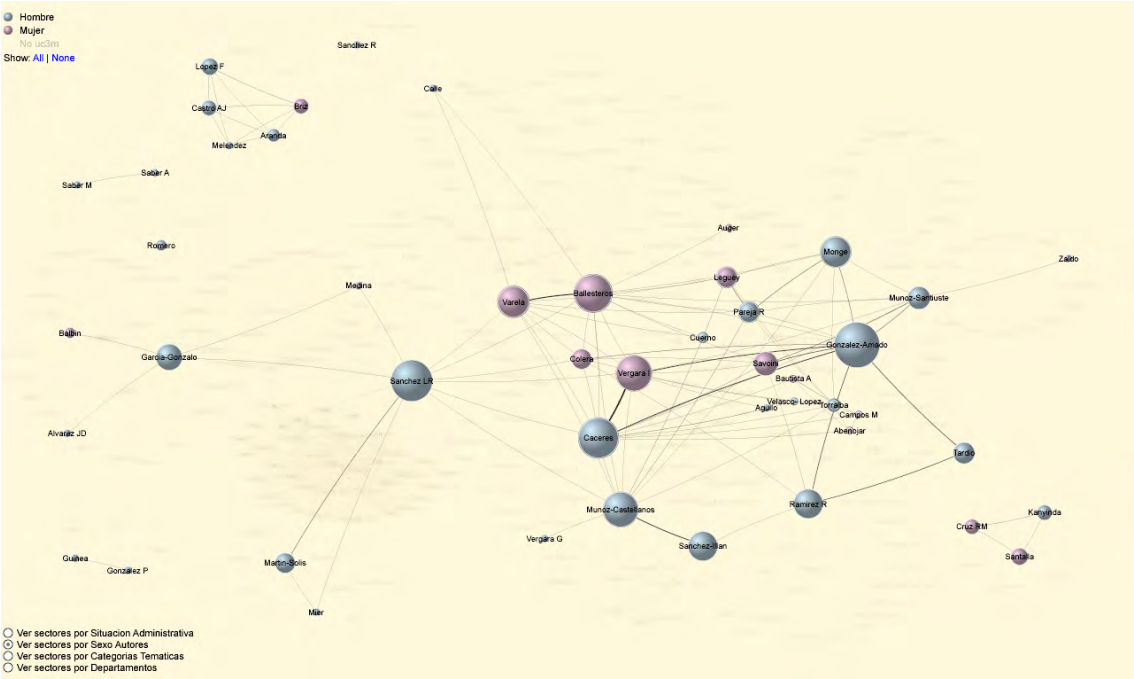



Figura 8.67. Red de coautoría. Análisis por sexo. Física (2000-2004)

En el período 2000-2004, prácticamente se duplica el número de mujeres (figura 8.67). Todas ellas comparten grupos de investigación con compañeros masculinos, llegando a consolidar relaciones entre científicas, como muestra el detalle de la figura 8.68.

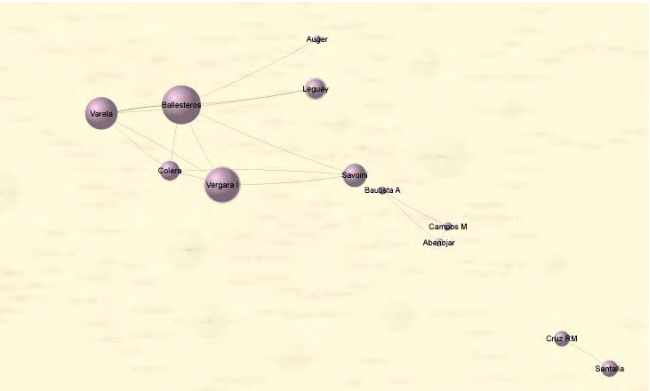



Figura 8.68. Detalle de colaboración femenina. Física (2000-2004)

### 8.7.7. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ADMINISTRATIVA DE LAS REDES DE COAUTORÍA.

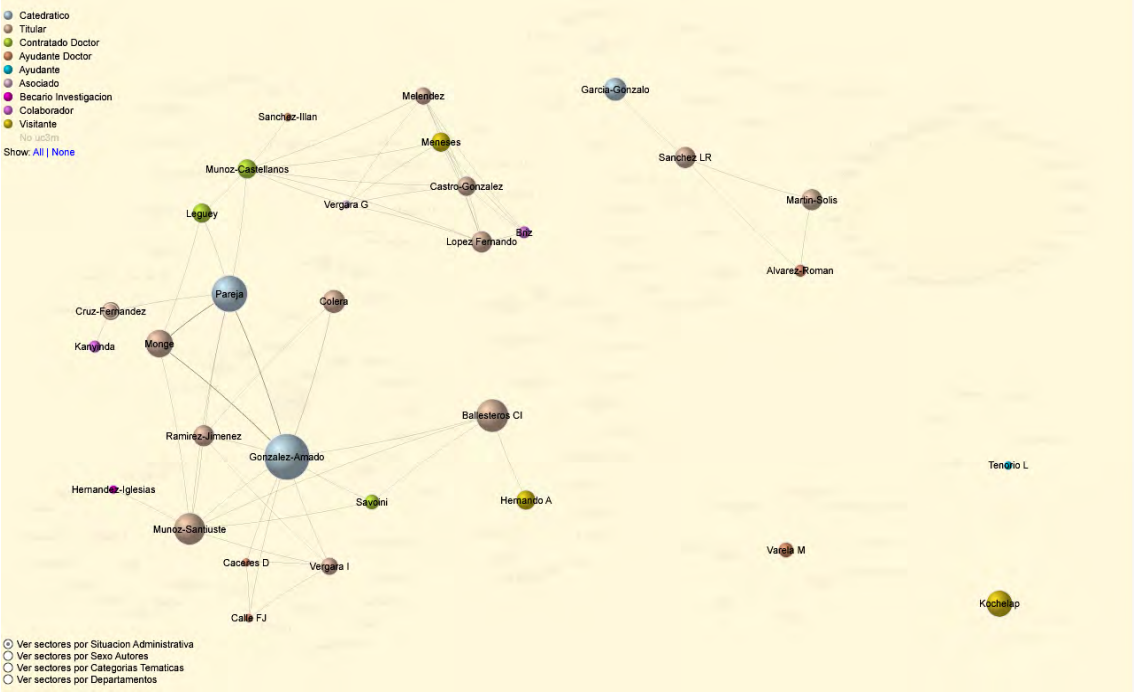



Figura 8.69. Red de coautoría. Relación administrativa. Física (1995-1999)

Las relaciones predominantes en el departamento de Física en el primer lustro son las Catedrático-Titular y Titular-Titular (figura 8.69). Pero aunque son más frecuentes las relaciones entre profesorado permanente, también aparecen figuras de Ayudantes Doctores, Ayudantes, Becarios de Investigación y Visitantes. Este departamento es uno de los más variados en cuanto a la situación administrativa de sus miembros, con hasta nueve posiciones distintas.

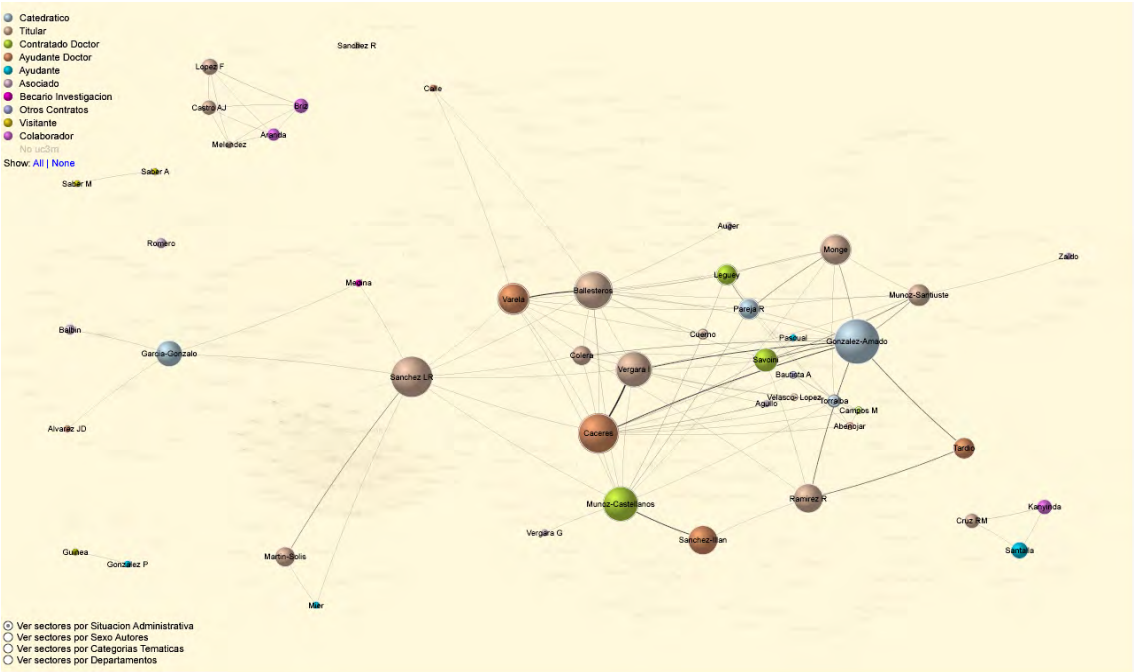



Figura 8.70. Red de coautoría. Relación administrativa. Física (2000-2004)

Entre 2000 y 2004, las relaciones predominantes vuelven a darse entre personal permanente: Catedrático-Catedrático, Catedrático-Titular, Catedrático-Contratado Doctor y Titular-Titular. Del personal no permanente, las relaciones más destacadas son las de los Ayudantes Doctores en su relación, fundamentalmente, con profesores Titulares. También las variantes de contratación aumentan su diversidad (figura 8.70).

### 8.7.8. Evolución y topología de las Redes de Coautoría.

Los indicadores bibliométricos y estructurales de la tabla 8.26, muestran la evolución y crecimiento de la red de autores de Física. El número de autores de la red aumenta un 90% en el segundo lustro, y el número de componentes pasa de cinco a seis.

El descenso de la densidad de la red (desciende del 6 al 4%) y del coeficiente de agrupamiento, y el aumento de la centralización de grado, revelan la incorporación de nuevos autores con pocas relaciones con el resto de la comunidad.

Se incrementa, en cambio, la intermediación, consecuencia del espectacular aumento del primer componente, que pasa de contener el 59% de los autores al 93%, por un lado, y de la drástica reducción del segundo del 29% al 2% del total de firmantes.

Tabla 8.26. Valores generales de las redes de Física

| Indicadores | 1995-1999 | 2000-2004 |
|---|---|---|
| Número nodos | 179 | 340 |
| Densidad | 0.06 | 0.04 |
| Grado | 0.16 | 0.26 |
| Intermediación | 0.11 | 0.43 |
| Coeficiente agrupamiento | 0.13 | 0.05 |
| Número componentes | 5 | 6 |
| Tamaño componente principal | 106 | 317 |
| Tamaño componente principal (%) | 59.22 | 93.24 |
| Tamaño segundo componente | 53 | 7 |
| Tamaño segundo componente (%) | 29.61 | 2.06 |
| Ndoc col | 84 | 172 |
| Ndoc (% respecto UC3M) | 14.92 | 13.74 |
| Citas | 57 | 85 |
| Citas (% respecto UC3M) | 14.88 | 19.23 |

La evolución estructural del departamento de Física le supone una pérdida de peso en la producción científica respecto al total de la Universidad de un 1.18%, si bien obtiene mejor porcentaje de visibilidad con un aumento del 4.35%.

La estructura del departamento de Física se compone de grupos de investigación muy interrelacionados. Los escasos y poco poblados componentes aislados suelen corresponderse con liderazgos de personal no permanente. Se aprecia una marcada evolución hacia la consolidación de la estructura de red, en cuanto a la forma de colaboración entre períodos. Esa transformación se traduce, por un lado, en un descenso en el peso productivo del departamento respecto del de la Universidad (en el apartado 6.1 comprobamos que en los dos últimos años del período se reducía la producción absoluta departamental) y, en cambio, un ligero aumento de la visibilidad relativa.

## 8.7.9. POPULARIDAD Y PRESTIGIO.

Tabla 8.27. Popularidad y prestigio. Física (1995-2004)

| 1995-1999 (más de 4 documentos) | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Orden** | **Nombre** | **Ndoc col** | **Puesto** | **Citas** | **FITN** | **Grado** | **Intermediacion** | **Coef Cluster** | **Popularidad** | **Prestigio** |
| 1 | González-Amado | 27 | Catedrático | 59 | 1.23 | 0.17 | 0.0722 | 0.30 | 7.97 | 17.42 |
| 2 | Chen Y | 21 | No UC3M | 41 | 1.24 | 0.14 | 0.0430 | 0.19 | 4.09 | 7.99 |
| 3 | Pareja | 17 | Catedrático | 24 | 1.18 | 0.08 | 0.1094 | 0.03 | 0.59 | 0.83 |
| 4 | Ballesteros CI | 14 | Titular | 33 | 1.32 | 0.15 | 0.1092 | 0.16 | 2.28 | 5.39 |
| 5 | Muñoz-Santiuste | 13 | Titular | 44 | 1.17 | 0.14 | 0.0872 | 0.17 | 2.21 | 7.49 |
| 6 | Monge | 10 | Titular | 7 | 1.11 | 0.05 | 0.0040 | 0.03 | 0.27 | 0.19 |
| 7 | García-Gonzalo | 7 | Catedrático | 23 | 1.28 | 0.07 | 0.0111 | 0.06 | 0.42 | 1.39 |
| 8 | Colera | 7 | Titular | 23 | 1.19 | 0.04 | 0.0002 | 0.02 | 0.13 | 0.44 |
| 9 | Rodríguez T | 7 | No UC3M | 15 | 1.23 | 0.06 | 0.0021 | 0.09 | 0.65 | 1.39 |
| 10 | Rodríguez A | 7 | No UC3M | 12 | 1.28 | 0.07 | 0.0440 | 0.06 | 0.40 | 0.68 |
| 11 | Ramírez-Jiménez | 6 | Titular | 21 | 1.28 | 0.04 | 0.0051 | 0.01 | 0.06 | 0.22 |
| 12 | Kling | 6 | No UC3M | 12 | 1.24 | 0.05 | 0.0001 | 0.07 | 0.40 | 0.80 |
| 13 | López Fernando | 6 | Titular | 5 | 1.19 | 0.1 | 0.0192 | 0.25 | 1.51 | 1.26 |
| 14 | Sánchez LR | 6 | Titular | 20 | 1.33 | 0.08 | 0.0102 | 0.05 | 0.31 | 1.02 |
| 15 | Martín-Solís | 6 | Titular | 20 | 1.31 | 0.22 | 0.0282 | 0.93 | 5.60 | 18.67 |
| 16 | Da Silva MF | 5 | No UC3M | 3 | 1.28 | 0.04 | 0 | 0.04 | 0.19 | 0.11 |
| 17 | Leguey | 5 | Contratado Doctor | 11 | 1.24 | 0.03 | 0.0025 | 0.00 | 0.02 | 0.04 |
| 18 | Carreras BA | 5 | No UC3M | 21 | 1.23 | 0.06 | 0.0039 | 0.08 | 0.38 | 1.61 |
| 19 | García-Solé | 5 | No UC3M | 27 | 1.03 | 0.07 | 0.0039 | 0.11 | 0.54 | 2.90 |
| 20 | Hernando A | 5 | Visitante | 11 | 1.40 | 0.06 | 0.0013 | 0.06 | 0.28 | 0.62 |
| 21 | Soares JC | 5 | No UC3M | 3 | 1.28 | 0.04 | 0 | 0.04 | 0.19 | 0.11 |
| 22 | Muñoz-Castellanos | 5 | Contratado Doctor | 22 | 1.30 | 0.13 | 0.0971 | 0.36 | 1.78 | 7.82 |
| 23 | Castro-González | 5 | Titular | 5 | 1.14 | 0.09 | 0.0038 | 0.29 | 1.45 | 1.45 |
| 24 | Meneses | 5 | Visitante | 5 | 1.14 | 0.09 | 0.0038 | 0.29 | 1.45 | 1.45 |
| **2000-2004 (más de 9 documentos)** | | | | | | | | | | |
| **Orden** | **Nombre** | **Ndoc col** | **Puesto** | **Citas** | **FITN** | **Grado** | **Intermediacion** | **Coef Cluster** | **Popularidad** | **Prestigio** |
| 1 | Gonzalez-Amado | 36 | Catedrático | 40 | 1.17 | 0.08 | 0.02793 | 0.030 | 1.10 | 1.22 |
| 2 | Sánchez LR | 30 | Titular | 61 | 1.34 | 0.30 | 0.43322 | 0.608 | 18.25 | 37.12 |
| 3 | Cáceres D | 29 | Ayudante Doctor | 53 | 1.21 | 0.17 | 0.13694 | 0.069 | 2.15 | 3.68 |
| 4 | Ballesteros CI | 26 | Titular | 79 | 1.25 | 0.25 | 0.27295 | 0.141 | 3.96 | 11.18 |
| 5 | Chen Y | 25 | No UC3M | 34 | 1.18 | 0.06 | 0.01297 | 0.017 | 0.43 | 0.58 |
| 6 | Vergara I | 23 | Titular | 52 | 1.23 | 0.14 | 0.09649 | 0.049 | 1.17 | 2.54 |
| 7 | Muñoz-Castellanos | 22 | Contratado Doctor | 46 | 1.30 | 0.11 | 0.14356 | 0.025 | 0.58 | 1.16 |
| 8 | Carreras BA | 19 | No UC3M | 56 | 1.42 | 0.12 | 0.02569 | 0.066 | 1.25 | 3.69 |
| 9 | Varela M | 18 | Ayudante Doctor | 51 | 1.34 | 0.15 | 0.07581 | 0.066 | 1.33 | 3.38 |
| 10 | Monge | 17 | Titular | 23 | 1.27 | 0.09 | 0.07878 | 0.037 | 0.67 | 0.86 |
| 11 | Ramírez-Jiménez | 15 | Titular | 18 | 1.20 | 0.07 | 0.02338 | 0.056 | 0.85 | 1.01 |
| 12 | Sánchez-Illán | 15 | Ayudante Doctor | 34 | 1.32 | 0.05 | 0.01604 | 0.030 | 0.45 | 1.03 |
| 13 | Alonso JA | 15 | No UC3M | 39 | 1.27 | 0.03 | 0.00037 | 0.008 | 0.13 | 0.33 |
| 14 | Martínez-Lope | 14 | No UC3M | 39 | 1.28 | 0.02 | 0.00007 | 0.006 | 0.08 | 0.22 |
| 15 | Fernández-Díaz | 13 | No UC3M | 39 | 1.28 | 0.02 | 0.00007 | 0.006 | 0.07 | 0.22 |
| 16 | Casais MT | 12 | No UC3M | 33 | 1.29 | 0.02 | 0 | 0.004 | 0.05 | 0.13 |
| 17 | García-Gonzalo | 12 | Catedrático | 32 | 1.37 | 0.15 | 0.02869 | 0.142 | 1.70 | 4.53 |
| 18 | Lynch | 10 | No UC3M | 21 | 1.43 | 0.10 | 0.01730 | 0.039 | 0.39 | 0.82 |
| 19 | Savoini | 10 | Contratado Doctor | 1 | 1.11 | 0.05 | 0.01122 | 0.013 | 0.13 | 0.01 |
| 20 | Arias D | 10 | No UC3M | 19 | 1.35 | 0.06 | 0.00139 | 0.040 | 0.40 | 0.76 |
| 21 | Santamaría J | 10 | No UC3M | 19 | 1.35 | 0.06 | 0.00139 | 0.040 | 0.40 | 0.76 |
| | | | | 1º valor | 2º valor | 3º valor | | | | |

En el primer período el valor más alto de popularidad corresponde al autor con mayor número de trabajos en colaboración, mayor número de citas y tercer valor de coeficiente de agrupamiento, permitiéndole obtener el segundo valor en prestigio. El segundo valor de popularidad y prestigio es para el autor con segundo valor en número de citas y trabajos en colaboración. El tercer valor de popularidad y primer valor de prestigio lo ostenta el autor con mayor valor de coeficiente de agrupamiento, decimoquinto en colaboraciones y octavo en citación.

El patrón es más estable en el segundo período, el primer valor de popularidad y de prestigio es para el autor con el segundo valor en documentos en coautoría y citación y mejor coeficiente de agrupamiento. El segundo valor de popularidad y de prestigio corresponde al autor con el mayor recuento de citas, el cuarto valor en producción en colaboración y el tercer mejor coeficiente de agrupamiento. El tercero en ambos apartados es el autor con el decimoséptimo valor de colaboración, el décimo en citación y el segundo en coeficiente de agrupamiento (tabla 8.27).

## 8.8. DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE MATERIALES.

### 8.8.1. DATOS GENERALES DE COLABORACIÓN.

La producción con visibilidad internacional del departamento de Ciencia de Materiales, aunque presenta un trabajo en 1992, no se producirá con regularidad hasta 1994. La evolución de la de producción absoluta puede subdividirse en tres fases (figura 8.71). La primera, hasta 1998, con una producción anual con ligera tendencia al alza. El descenso del año 1998 sirve de punto de inflexión. La tercera comienza en 1999, en la que el aumento de la producción es más significativo que en la primera fase. El último año analizado presenta, de nuevo, un descenso, si bien, la tendencia vendrá determinada en estudios posteriores que se centren en el análisis del tercer lustro de producción.

En cuanto a los hábitos de colaboración, las líneas de colaboración nacional y colaboración internacional siguen patrones antagónicos hasta 2001. Cuando predomina la colaboración nacional, disminuye la internacional, y viceversa. El patrón de la primera, en cualquier caso, es casi paralelo al de la producción absoluta. Es a partir del primer año del nuevo milenio cuando ambos tipos de colaboración presentan valores similares. Por lo que respecta a la colaboración departamental, aunque de retardada aparición, irrumpe con la misma fuerza que irregularidad. La producción de trabajos sin colaboración es prácticamente inexistente.

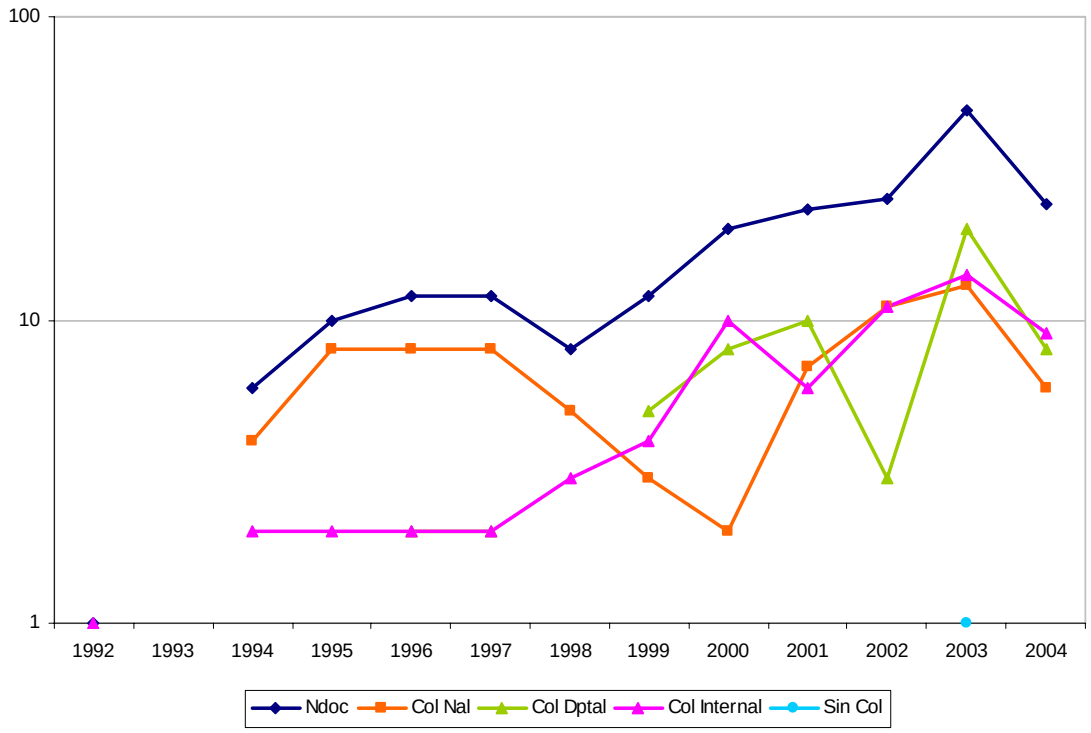



Figura 8.71. Evolución de la producción por tipos de colaboración. Materiales

La figura 8.72 presenta la evolución de la producción en valores porcentuales. La evolución porcentual de las colaboraciones nacional e internacional vuelven a presentar líneas contrapuestas, hasta 2001. El aumento de una supone el descenso de la otra. A partir de 2001 la líneas no sólo discurren en paralelo, sino que lo hacen en valores similares, excepto en 2004 donde por primera vez la internacional

supera con claridad a la nacional (la nacional presenta un 37.13% promedio, mientras que la internacional se queda en el 32.67%). La evolución porcentual de la colaboración departamental es tan irregular como en el caso de la producción absoluta, si bien, presenta una tendencia al crecimiento, siendo la preferida en algunos años al resto de tipos de colaboración (28.71% de media en el período. El único trabajo sin colaboración supone el 0.5% de la producción departamental en el período.

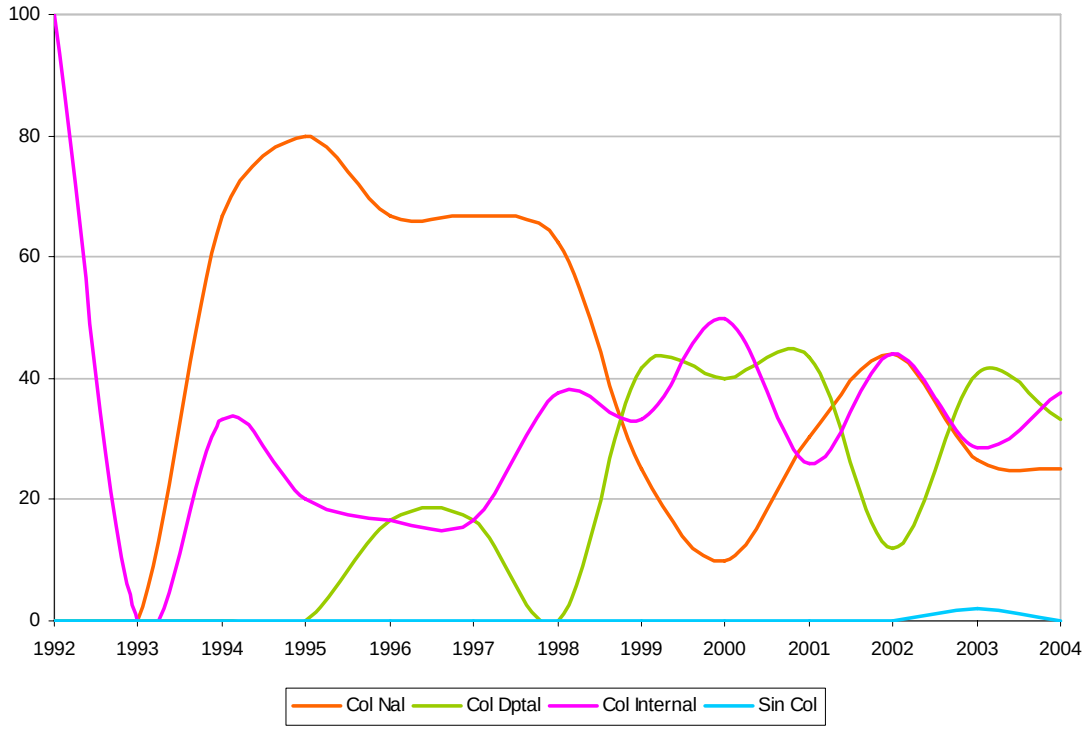



Figura 8.72. Evolución de la producción por tipos de colaboración en %. Materiales

### 8.8.2. COLABORACIÓN INTERNACIONAL.

La figura 8.73 muestra las relaciones internacionales de colaboración del departamento de Ciencia de Materiales, mediante una red heliocéntrica. Desde el punto de vista del volumen de colaboración, las coautorías más frecuentes se dan, por orden descendente, con Brasil, Francia, Estados Unidos, Polonia y Portugal.

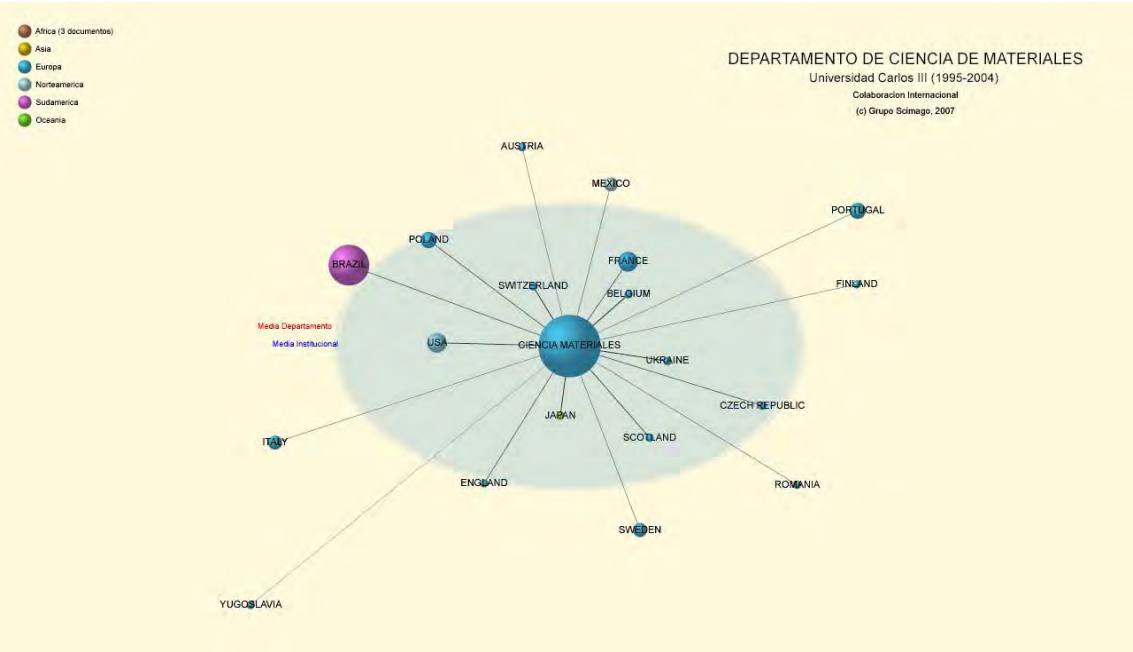



Figura 8.73. Heliocéntrico de colaboración internacional. Materiales (1995-2004)

En cuanto al impacto logrado con cada uno de los países colaboradores, son nueve los que tienen una visibilidad esperada que supera las medias institucional y departamental (1.06): Bélgica, Suiza, Ucrania, Japón, Estados Unidos, Escocia, Francia, Chequia y Polonia. La mitad restante de países orbitan a gran distancia de los valores promedios. Destaca la situación de Brasil, en la que contrasta el hecho de ser el principal socio del departamento de Ciencia de Materiales, con la escasa visibilidad esperada de los resultados de investigación en colaboración, por debajo de las medias departamental e institucional (1.02).

### 8.8.3. COLABORACIÓN NACIONAL.

El análisis de la red de la figura 8.74, permite conocer el alcance de la colaboración departamental de Ciencia de Materiales con el resto de instituciones nacionales. Desde la perspectiva de producción absoluta, destacan los trabajos en coautoría con la Universidad Complutense, el Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid, la Universidad Politécnica de Madrid, el Instituto de Ciencia y Tecnología de Polímeros y la Universidad de Salamanca. De las 30 instituciones representadas en la producción con colaboración nacional de Ciencia de Materiales, el 60% de las

mismas son madrileñas, revelando la influencia de la proximidad geográfica en la colaboración de este departamento.

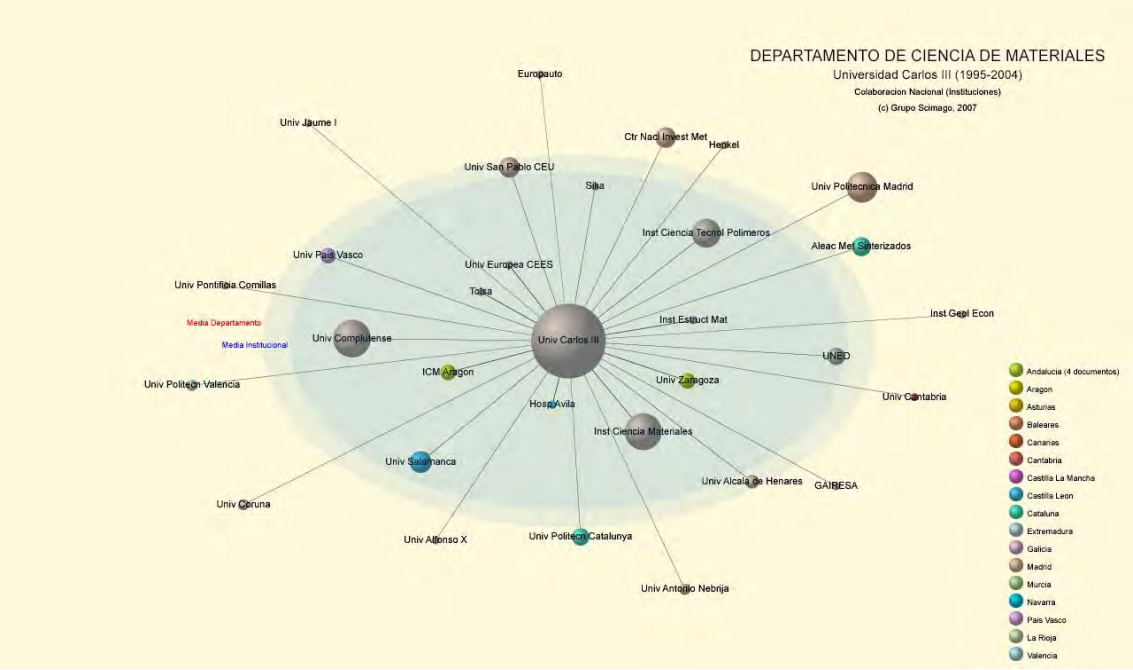



Figura 8.74. Heliocéntrico de colaboración nacional. Materiales (1995-2004)

Por lo que respecta al impacto esperado, trece instituciones se encuentran por encima de la media de la Universidad, dos más por encima del promedio departamental, y otras quince por debajo de ambos valores medios. Destaca la visibilidad que obtienen los trabajos realizados con el Hospital Provincial de Ávila, la empresa Tolsa, el Instituto de Estructura de la Materia del CSIC y el Instituto de Ciencia de Materiales de Aragón. En el caso de la colaboración nacional, contrasta la influencia de la proximidad geográfica en la producción departamental, con la elevada visibilidad que obtienen los trabajos realizados con socios de otras comunidades autónomas.

### 8.8.4. Colaboración Institucional a partir de Redes de Coautoría.

La red de coautores del departamento de Ciencia de Materiales (figura 8.75) en el período 1995-1999, muestra las relaciones de colaboración entre los distintos departamentos de la Universidad. El color de cada uno de ellos se corresponde con

la leyenda de la esquina superior izquierda. Para proporcionar una visualización más clara, se han ocultado los autores no pertenecientes a la UC3M.

La colaboración departamental, tal como indicaba el apartado 7.1, es importante, aunque principalmente circunscrita al componente principal. A pesar de que la colaboración interdepartamental en este primer quinquenio es escasa, el departamento de Ciencia de Materiales presenta trabajos en colaboración con los de Informática, Ingeniería Eléctrica, Matemáticas y Teoría de la Señal.

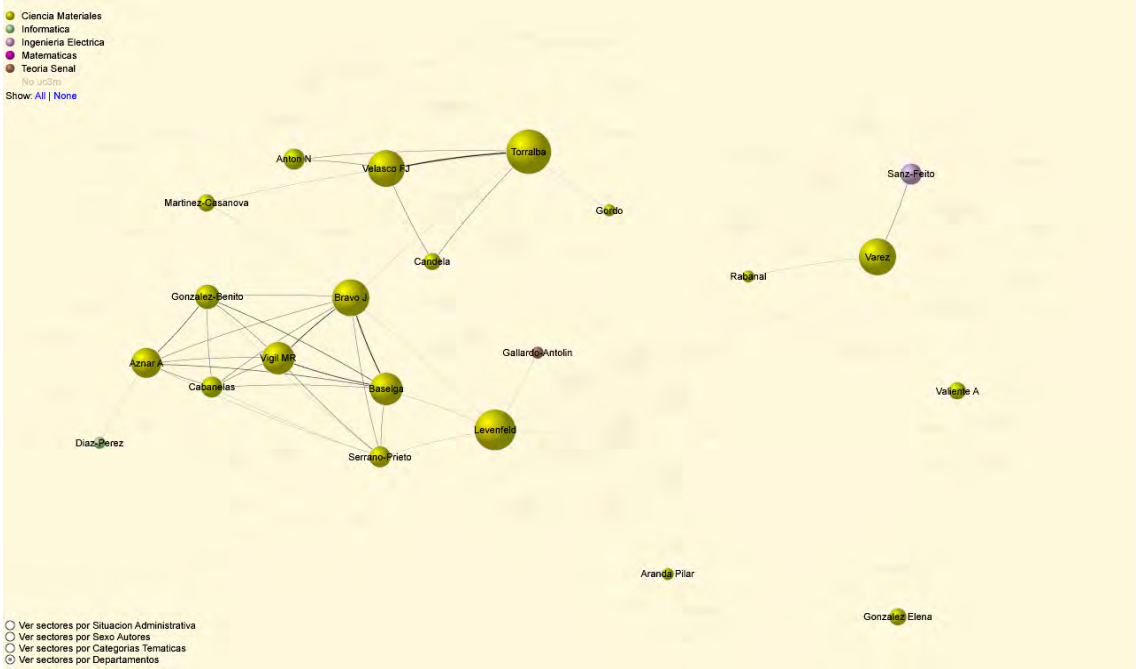



Figura 8.75. Red de coautoría. Colaboración departamental. Materiales (1995-1999)

La red de autores en el segundo período analizado (figura 8.76), presenta nueve departamentos colaboradores, cinco más que en el período anterior, destaca la poblada vinculación con el departamento de Física. Repiten Informática y Tecnología Eléctrica. Y surgen nuevas asociaciones con Ciencia Política, Derecho Penal, Derecho Privado, Economía, el ya mencionado de Física, Ingeniería Mecánica e Ingeniería Telemática. La colaboración departamental aumenta el número de componentes que cuentan con asociación de miembros del mismo departamento, y también su densidad.

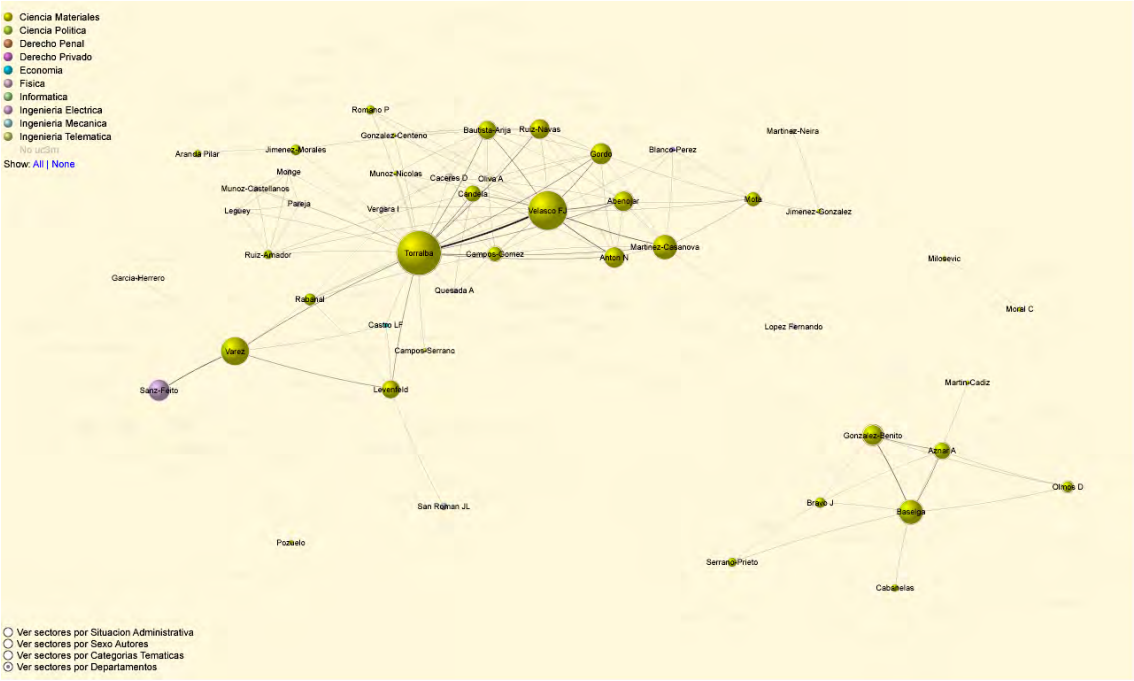



Figura 8.76. Red de coautoría. Colaboración departamental. Materiales (2000-2004)

### 8.8.5. ANÁLISIS TEMÁTICO DE LAS REDES DE COAUTORÍA.

La tabla 8.28 muestra los factores del departamento de Ciencia de Materiales en los dos períodos analizados, con eigenvalues mayores o iguales a 1. En el primero de ellos 18 factores explican el 80.3% de la varianza de la muestra, mientras que en el segundo, 31 factores alcanzan el 81.3%.

La ordenación de forma decreciente los autores de cada uno de ellos según la carga factorial obtenida, permite caracterizar cada uno de esos factores mediante la asignación de categorías temáticas en función de las referencias bibliográficas utilizadas por cada autor (tabla 8.29).

El primer quinquenio muestra cuatro categorías temáticas (figura 8.77): Ingeniería Metalúrgica, Polímeros, Comportamiento de Materiales y Síntesis de Materiales.

Tabla 8.28. Eigenvalues. Materiales (1995-2004)

| 1995-1999 | | | | | 2000-2004 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Factor | Eigenvalue | % Varianza | % Acum | Ratio | Factor | Eigenvalue | % Varianza | % Acum | Ratio |
| 1 | 11.61 | 12.1 | 12.1 | 1.11 | 1 | 26.06 | 14 | 14 | 1.68 |
| 2 | 10.46 | 10.9 | 23 | 1.15 | 2 | 15.53 | 8.4 | 22.4 | 1.12 |
| 3 | 9.13 | 9.5 | 32.5 | 1.17 | 3 | 13.88 | 7.5 | 29.8 | 1.48 |
| 4 | 7.84 | 8.2 | 40.7 | 1.41 | 4 | 9.35 | 5 | 34.9 | 1.20 |
| 5 | 5.56 | 5.8 | 46.5 | 1.29 | 5 | 7.82 | 4.2 | 39.1 | 1.29 |
| 6 | 4.32 | 4.5 | 51 | 1.07 | 6 | 6.07 | 3.3 | 42.3 | 1.10 |
| 7 | 4.05 | 4.2 | 55.2 | 1.05 | 7 | 5.52 | 3 | 45.3 | 1.11 |
| 8 | 3.86 | 4 | 59.2 | 1.02 | 8 | 4.98 | 2.7 | 48 | 1.08 |
| 9 | 3.80 | 4 | 63.2 | 1.11 | 9 | 4.62 | 2.5 | 50.4 | 1.10 |
| 10 | 3.43 | 3.6 | 66.7 | 1.23 | 10 | 4.20 | 2.3 | 52.7 | 1.01 |
| 11 | 2.78 | 2.9 | 69.6 | 1.11 | 11 | 4.18 | 2.2 | 54.9 | 1.05 |
| 12 | 2.51 | 2.6 | 72.2 | 1.37 | 12 | 3.98 | 2.1 | 57.1 | 1.01 |
| 13 | 1.83 | 1.9 | 74.1 | 1.22 | 13 | 3.93 | 2.1 | 59.2 | 1.07 |
| 14 | 1.50 | 1.6 | 75.7 | 1.08 | 14 | 3.67 | 2 | 61.2 | 1.02 |
| 15 | 1.39 | 1.4 | 77.1 | 1.36 | 15 | 3.61 | 1.9 | 63.1 | 1.12 |
| 16 | 1.02 | 1.1 | 78.2 | 1.01 | 16 | 3.23 | 1.7 | 64.9 | 1.01 |
| 17 | 1.01 | 1.1 | 79.3 | 1.01 | 17 | 3.20 | 1.7 | 66.6 | 1.03 |
| 18 | 1.00 | 1 | 80.3 | 1.11 | 18 | 3.13 | 1.7 | 68.3 | 1.14 |
| | | | | | 19 | 2.74 | 1.5 | 69.7 | 1.15 |
| | | | | | 20 | 2.38 | 1.3 | 71 | 1.01 |
| | | | | | 21 | 2.35 | 1.3 | 72.3 | 1.07 |
| | | | | | 22 | 2.20 | 1.2 | 73.5 | 1.01 |
| | | | | | 23 | 2.18 | 1.2 | 74.6 | 1.11 |
| | | | | | 24 | 1.96 | 1.1 | 75.7 | 1.02 |
| | | | | | 25 | 1.92 | 1 | 76.7 | 1.09 |
| | | | | | 26 | 1.76 | 0.9 | 77.7 | 1.12 |
| | | | | | 27 | 1.56 | 0.8 | 78.5 | 1.02 |
| | | | | | 28 | 1.53 | 0.8 | 79.3 | 1.06 |
| | | | | | 29 | 1.43 | 0.8 | 80.1 | 1.12 |
| | | | | | 30 | 1.27 | 0.7 | 80.8 | 1.22 |
| | | | | | 31 | 1.03 | 0.6 | 81.3 | 1.14 |

Tabla 8.29. Muestra de factores con valor ≥ 0.5. Materiales (1995-1999)

| Factor | 1 | Factor | 2 | Factor | 3 |
|---|---|---|---|---|---|
| Goni | 0.93 | Anton | 0.93 | Ibarra | 0.93 |
| Gurruchaga | 0.93 | Candela | 0.88 | Lucia | 0.93 |
| Pascual | 0.93 | Lima | 0.88 | Paris | 0.89 |
| Rebuelta | 0.93 | RuizPrieto | 0.87 | Santamaria | 0.85 |
| Liso | 0.93 | Zapata | 0.84 | SanzFeito | 0.85 |
| Gil | 0.93 | Da Costa | 0.84 | Leon | 0.85 |
| Ginebra | 0.93 | Da Silva | 0.81 | SanchezQuesada | 0.78 |
| Planell | 0.93 | RuizRoman | 0.76 | Rojo | 0.78 |
| Elvira | 0.93 | Cambronero | 0.70 | Alario | 0.53 |
| Vazquez | 0.91 | Torralba | 0.69 | | |
| Sanroman | 0.87 | Velasco | 0.68 | | |
| Levenfeld | 0.86 | | | | |
| Gallardo | 0.58 | | | | |

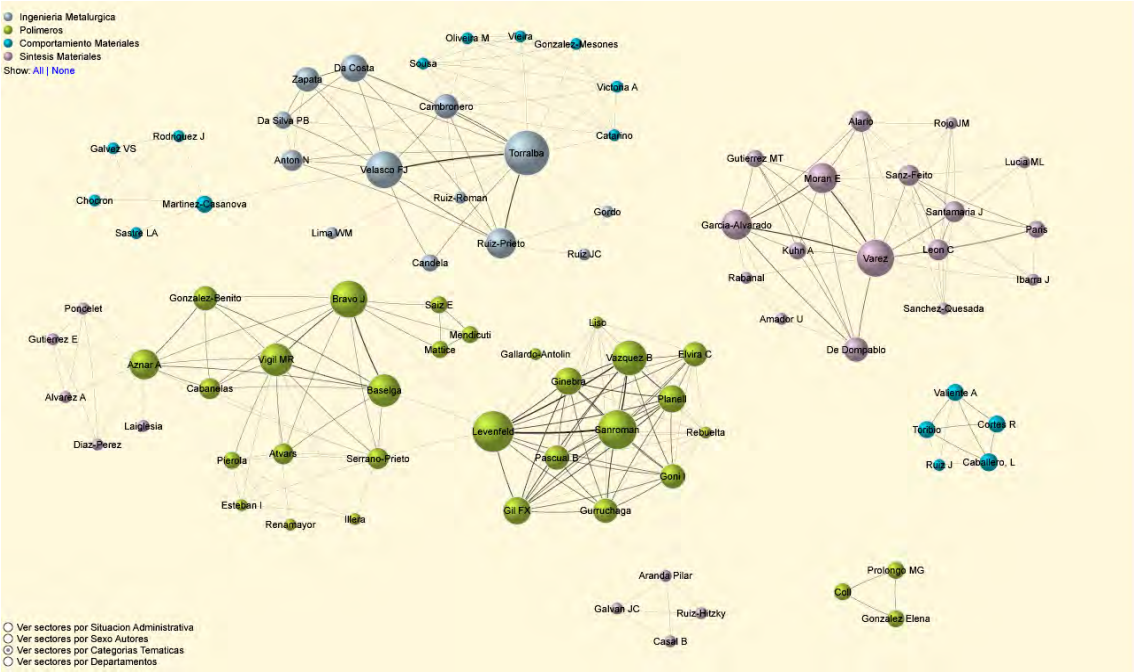



Figura 8.77. Red de coautoría. Análisis temático. Materiales (1995-1999)

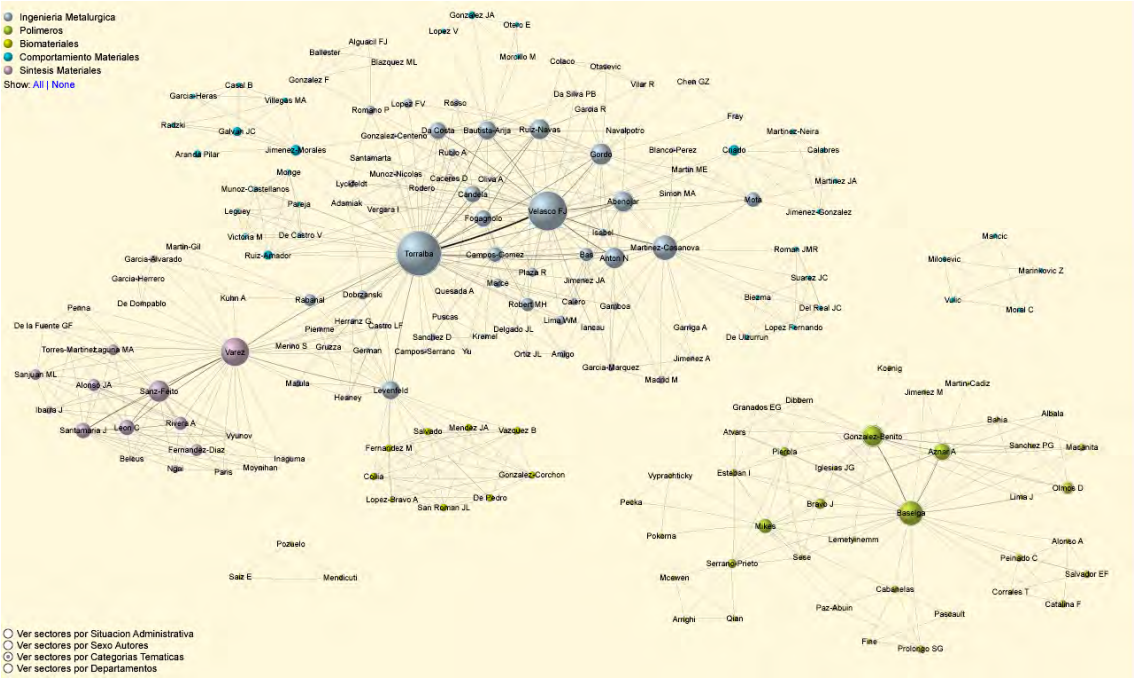



Figura 8.78. Red de coautoría. Análisis temático. Materiales (2000-2004)

En el segundo período a las cuatro categorías anteriores se une la de Biomateriales (figura 8.78). Aumenta la especialización departamental en Ingeniería Metalúrgica, que se convierte en la categoría más representada en el segundo período. Los especialistas en Polímeros se segregan del componente principal, mientras que los

investigadores en Síntesis de Materiales realizan la operación contraria. Asimismo, destacan los cambios de coautorías y especialidades que se dan entre ambos períodos de algunos autores.

### 8.8.6. ANÁLISIS POR SEXO DE LAS REDES DE COAUTORÍA.

Por lo que respecta al estudio del comportamiento de los miembros del departamento de Ciencia de Materiales según su sexo, basado en el recuento de individuos, documentos y citas, la tabla 8.30 apenas muestra variaciones en la representatividad de sexos entre ambos períodos en lo referente a individuos y producción. Sí se aprecia una pérdida significativa de visibilidad esperada en los trabajos de investigación de las autoras del departamento (del 34 al 16.31%).

Tabla 8.30. Aportación masculina y femenina. Materiales (1995-2004)

| | | 1995-1999 | | 2000-2004 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Total | % | Total | % |
| Individuos | Hombres | 13 | 54.17 | 27 | 56.25 |
| | Mujeres | 11 | 45.83 | 21 | 43.75 |
| Producción | Hombres | 69 | 67.65 | 265 | 66.92 |
| | Mujeres | 33 | 32.35 | 131 | 33.08 |
| Citas | Hombres | 378 | 65.97 | 349 | 83.69 |
| | Mujeres | 195 | 34.03 | 68 | 16.31 |

La presencia femenina en el primer quinquenio supone casi la mitad del total de miembros del departamento, la mayor parte de ellas integradas en el componente principal junto a compañeros varones (figura 8.79), aunque asociadas a grupos de investigación de temáticas distintas.

En el período 2000-2004, se duplica el número de mujeres (figura 8.80). Aunque la mayoría continúan compartiendo autorías con compañeros masculinos, pierden la diversidad temática con la que contaban en el período anterior, observándose una mayor preferencia por la Ingeniería Metalúrgica.

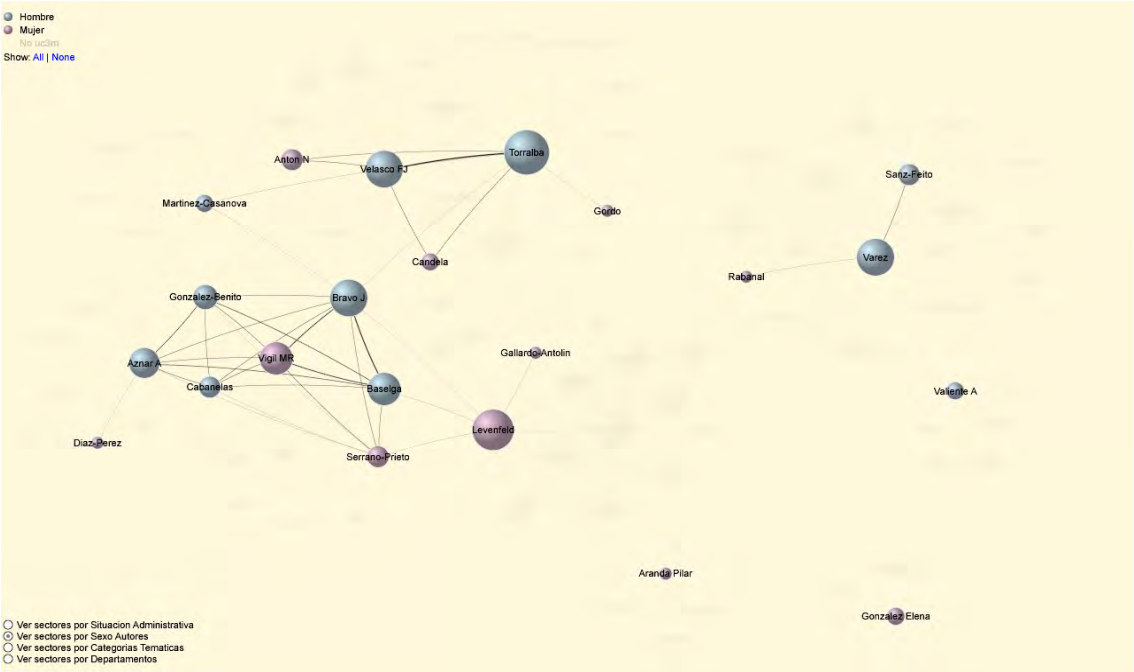



Figura 8.79. Red de coautoría. Análisis por sexo. Materiales (1995-1999)

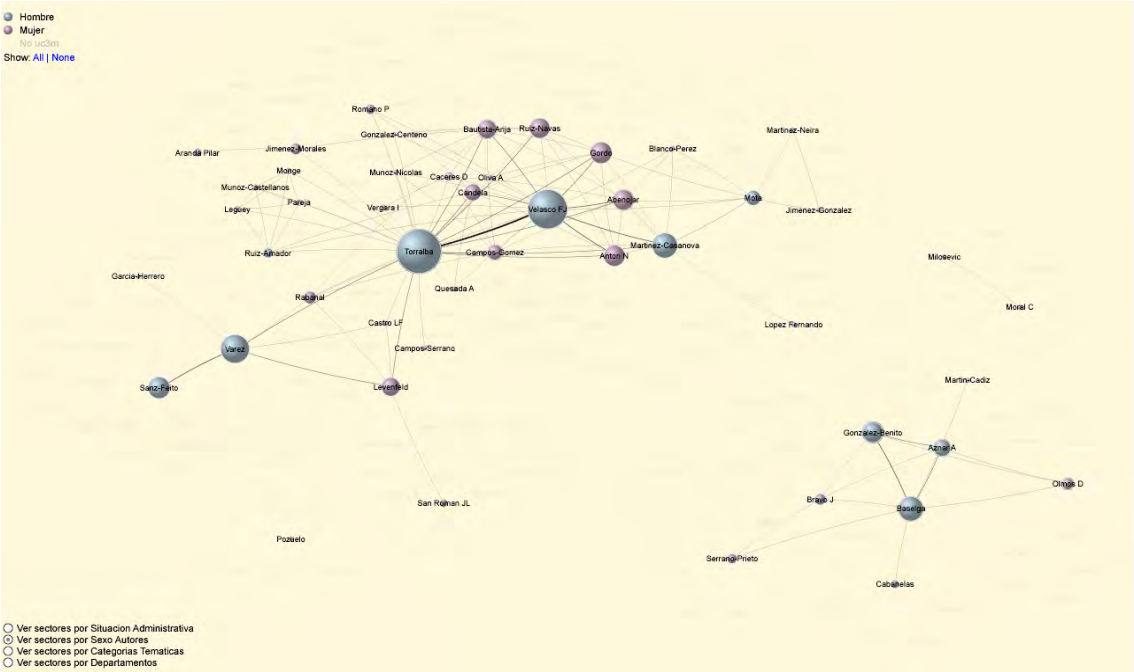



Figura 8.80. Red de coautoría. Análisis por sexo. Materiales (2000-2004)

Mientras que en el primer período sólo existía colaboración dos a dos entre cuatro autoras, entre 2000 y 2004 comienzan a aflorar mayor número de relaciones, capaces de conformar una emergente subred femenina (figura 8.81).

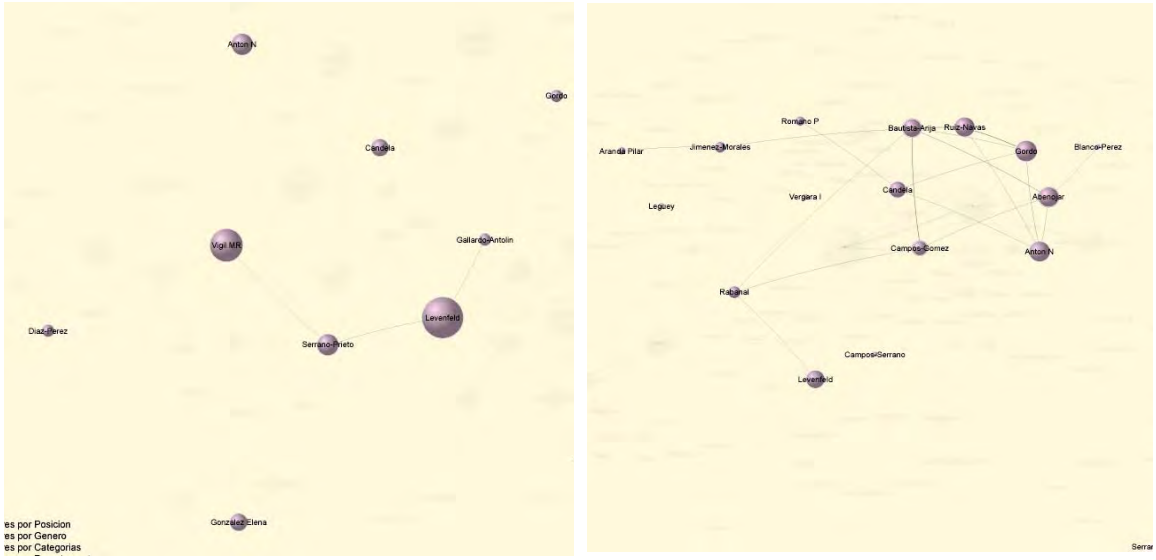



Figura 8.81. Detalle de colaboración femenina. Materiales (1995-2004)

## 8.8.7. Análisis de la Situación Administrativa de las Redes de Coautoría.

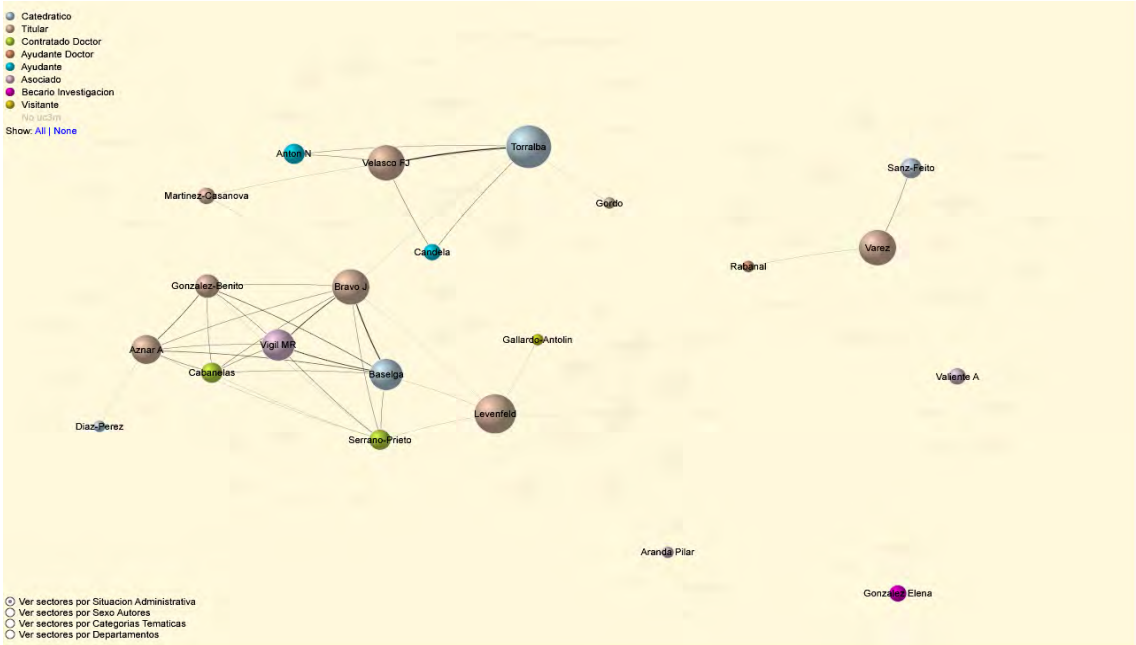



Figura 8.82. Red de coautoría. Relación administrativa. Materiales (1995-1999)

Las principales relaciones del departamento de Ciencia de Materiales en el primer lustro son las de Catedrático-Titular y Titular-Titular (figura 8.82). Entre las relaciones de profesorado permanente, también se dan las de Catedrático-Contratado Doctor y Titular-Contratado Doctor. Son escasas las relaciones entre

profesores permanentes y no permanentes, reducidas a Ayudantes Doctores, Ayudantes, y Becarios de Investigación, Asociados y Visitantes.

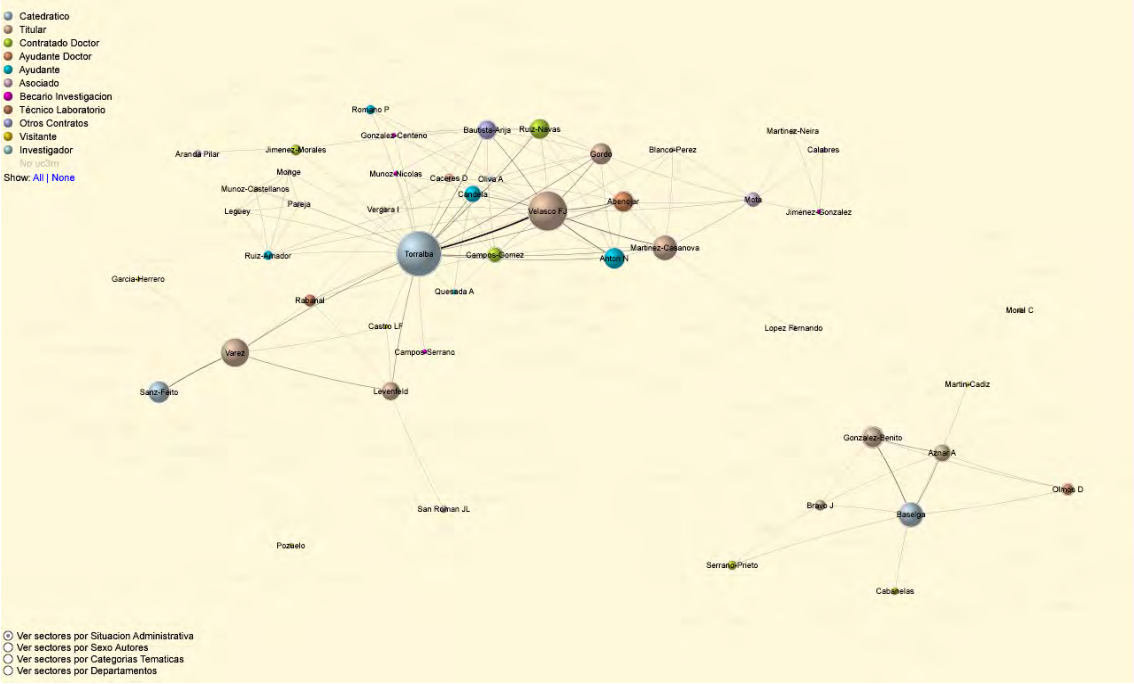



Figura 8.83. Red de coautoría. Relación administrativa. Materiales (2000-2004)

Entre 2000 y 2004, las relaciones predominantes vuelven a darse entre personal permanente: Catedrático-Titular, Catedrático-Contratado Doctor y Titular-Titular. Aumenta la presencia de personal no permanente en los trabajos del departamento, principalmente Ayudantes y Becarios de Investigación, asociados con un Catedrático y profesores Titulares (figura 8.83). Llama la atención la ausencia de relaciones Catedrático-Catedrático en ambos períodos.

### 8.8.8. Evolución y Topología de las Redes de Coautoría.

Los indicadores bibliométricos y estructurales de la tabla 8.31, presentan la evolución y crecimiento de la red de autores de Ciencia de Materiales. El número de autores de la red aumenta un 94% en el segundo lustro, y el número de componentes desciende de siete a cuatro.

El descenso de la densidad de la red (del 7 al 4%), y del coeficiente de agrupamiento, así como el aumento de la centralización de grado, revelan la incorporación de nuevos autores que aportan pocas relaciones al resto de la comunidad.

Se incrementa, en cambio, la centralización de intermediación, consecuencia del aumento del número de nodos global, de los actores del primer componente, que pasa de contener el 59% de los autores al 74%, por un lado, y del ligero aumento del segundo, de 17.71% al 21% del total de firmantes de la red (juntos aglutinan a más del 95% de los autores).

Tabla 8.31. Valores generales de las redes de Materiales

| Indicadores | 1995-1999 | 2000-2004 |
|---|---|---|
| Número nodos | 96 | 186 |
| Densidad | 0.07 | 0.04 |
| Grado | 0.14 | 0.31 |
| Intermediación | 0.20 | 0.32 |
| Coeficiente agrupamiento | 0.19 | 0.03 |
| Número componentes | 7 | 4 |
| Tamaño componente principal | 57 | 139 |
| Tamaño componente principal (%) | 59.38 | 74.73 |
| Tamaño segundo componente | 17 | 39 |
| Tamaño segundo componente (%) | 17.71 | 20.97 |
| Ndoc col | 54 | 140 |
| Ndoc (% respecto UC3M) | 9.59 | 11.18 |
| Citas | 42 | 44 |
| Citas (% respecto UC3M) | 10.97 | 9.95 |

La evolución de la topología de la red del departamento de Ciencia de Materiales supone un ligero aumento del peso en la producción científica respecto al total de la Universidad de un 1.6%, si bien desciende el porcentaje de visibilidad relativa a la institución en un 1.02%.

La estructura del departamento de Ciencia de Materiales se compone de grupos de investigación muy interrelacionados, siendo muy reducido el número de componentes aislados que además suelen ser liderados por personal no permanente. Se aprecia una marcada evolución hacia la consolidación de la estructura de red, como forma de colaboración entre períodos. Esa transformación

se traduce, por un lado, en un aumento del peso de la producción del departamento respecto de la Universidad y, en cambio, una ligera pérdida de la visibilidad esperada relativa, a pesar de los hábitos colaboradores (nacionales e internacionales) de sus publicaciones.

### 8.8.9. POPULARIDAD Y PRESTIGIO.

Tabla 8.32. Popularidad y prestigio. Materiales (1995-2004)

| 1995-1999 (más de 5 documentos) | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Orden** | **Nombre** | **Puesto** | **Ndoc col** | **Citas** | **FITN** | **Grado** | **Intermediación** | **Coef Cluster** | **Popularidad** | **Prestigio** |
| 1 | Torralba | Catedrático | 13 | 41 | 0.86 | 0.21 | 0.169 | 0.52 | 6.78 | 21.39 |
| 2 | Levenfeld | Titular | 11 | 79 | 1.21 | 0.16 | 0.119 | 0.43 | 4.77 | 34.27 |
| 3 | Sanromán | No UC3M | 10 | 73 | 1.21 | 0.13 | 0.001 | 0.54 | 5.42 | 39.56 |
| 4 | Várez | Titular | 9 | 52 | 1.20 | 0.17 | 0.010 | 0.80 | 7.20 | 41.60 |
| 5 | Bravo J | Titular | 9 | 62 | 1.12 | 0.14 | 0.202 | 0.08 | 0.73 | 5.04 |
| 6 | Velasco FJ | Titular | 9 | 25 | 0.87 | 0.11 | 0.002 | 0.20 | 1.78 | 4.96 |
| 7 | Vázquez B | No UC3M | 8 | 69 | 1.04 | 0.12 | 0 | 0.48 | 3.84 | 33.13 |
| 8 | Vigil MR | Asociado | 7 | 52 | 1.29 | 0.12 | 0.021 | 0.30 | 2.11 | 15.70 |
| 9 | Baselga | Catedrático | 7 | 52 | 1.16 | 0.08 | 0.011 | 0.07 | 0.46 | 3.41 |
| 10 | Aznar A | Titular | 6 | 37 | 1.02 | 0.12 | 0.058 | 0.23 | 1.36 | 8.38 |
| 11 | Ruiz-Prieto | No UC3M | 6 | 22 | 0.82 | 0.09 | 0.002 | 0.15 | 0.92 | 3.36 |
| 12 | García-Alvarado | No UC3M | 6 | 26 | 1.14 | 0.08 | 0.001 | 0.12 | 0.73 | 3.16 |
| 13 | Moran E | No UC3M | 6 | 27 | 1.17 | 0.12 | 0.002 | 0.33 | 1.99 | 8.97 |
| **2000-2004 (más de 8 documentos)** | | | | | | | | | | |
| **Orden** | **Nombre** | **Puesto** | **Ndoc col** | **Citas** | **FITN** | **Grado** | **Intermediación** | **Coef Cluster** | **Popularidad** | **Prestigio** |
| 1 | Torralba | Catedrático | 65 | 43 | 1.03 | 0.34 | 0.323 | 0.41 | 28.14 | 17.80 |
| 2 | Velasco FJ | Titular | 50 | 27 | 1.04 | 0.23 | 0.071 | 0.26 | 13.29 | 7.04 |
| 3 | Várez | Titular | 26 | 90 | 1.19 | 0.19 | 0.150 | 0.16 | 4.25 | 14.71 |
| 4 | Baselga | Catedrático | 20 | 43 | 0.93 | 0.16 | 0.023 | 0.37 | 7.78 | 15.92 |
| 5 | Martínez-Casanova | Titular | 20 | 2 | 1.02 | 0.15 | 0.075 | 0.11 | 2.16 | 0.22 |
| 6 | Gordo | Titular | 15 | 15 | 0.90 | 0.12 | 0.037 | 0.06 | 0.84 | 0.84 |
| 7 | González-Benito | Titular | 15 | 30 | 0.94 | 0.10 | 0.005 | 0.16 | 2.76 | 4.87 |
| 8 | Sanz-Feito | Catedrático | 15 | 78 | 1.38 | 0.10 | 0.002 | 0.16 | 2.35 | 12.24 |
| 9 | Antón N | Ayudante | 14 | 12 | 1.05 | 0.09 | 0.009 | 0.04 | 0.60 | 0.52 |
| 10 | Abenojar | Ayudante Doctor | 14 | 2 | 1.09 | 0.08 | 0.009 | 0.03 | 0.43 | 0.06 |
| 11 | Ruiz-Navas | Contratado Doctor | 13 | 6 | 0.96 | 0.12 | 0.039 | 0.06 | 0.72 | 0.33 |
| 12 | Bautista-Arija | Otros Contratos | 12 | 3 | 1.15 | 0.10 | 0.036 | 0.04 | 0.50 | 0.11 |
| 13 | Levenfeld | Titular | 11 | 11 | 1.01 | 0.11 | 0.069 | 0.06 | 0.64 | 0.64 |
| 14 | Da Costa | No UC3M | 10 | 8 | 1.13 | 0.06 | 0.007 | 0.02 | 0.17 | 0.13 |
| 15 | Aznar A | Titular | 10 | 21 | 0.87 | 0.06 | 0.001 | 0.05 | 0.60 | 1.14 |
| 16 | Fogagnolo | No UC3M | 9 | 7 | 0.95 | 0.06 | 0.007 | 0.01 | 0.11 | 0.08 |
| | | | | 1º valor | 2º valor | 3º valor | | | | |

En el primer período el valor más alto de popularidad y prestigio corresponde al autor con el cuarto valor de trabajos en colaboración, quinto en número de citas y mayor coeficiente de agrupamiento. El segundo valor de popularidad es para el autor con más coautorías y tercer valor en coeficiente de agrupamiento. El tercer

valor de popularidad y segundo valor de prestigio lo ostenta el autor con el tercer valor de colaboraciones, el segundo de citaciones y el segundo mayor valor de coeficiente de agrupamiento. El tercer valor de prestigio se corresponde con el autor más citado, segundo valor de producción y cuarto mayor coeficiente de agrupamiento (tabla 8.32).

El patrón es muy parecido en el segundo período, el primer valor de popularidad y de prestigio es para el autor con los mejores valores en colaboración, citación y coeficiente de agrupamiento. El segundo valor de popularidad es para el segundo autor más productivo, quinto valor en número de citas y tercero según su coeficiente de agrupamiento. El tercero en popularidad y segundo en prestigio corresponde al profesor con el cuarto valor de colaboraciones, tercero en número de citas y segundo mejor coeficiente de agrupamiento. El tercer valor en prestigio recae en el actor con más citas, tercero por trabajos en colaboración y cuarto mayor coeficiente de agrupamiento.

## 8.9. DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICAS.

### 8.9.1. DATOS GENERALES DE COLABORACIÓN.

La producción con visibilidad internacional del departamento de Matemáticas, arranca en 1992. La evolución de la de producción absoluta puede subdividirse en dos fases (figura 8.84). La primera, hasta 1998, con una producción anual con una curva de crecimiento más acusada en los primeros años. El descenso del año 1999 y 2000 dan paso a la segunda fase en la que predomina la estabilización de la producción anual.

Centrando la atención en los hábitos de colaboración, las líneas de colaboración nacional y colaboración internacional siguen estelas paralelas a la de la colaboración absoluta, si bien en algunos años el ascenso de una supone el

descenso de la otra. Por lo que respecta a la colaboración departamental, en los últimos años del período analizado recobra el terreno perdido en el descenso de 1999 y 2000. La producción de trabajos en solitario, hasta la mitad del período intermitente, se estabiliza a partir de 2000.

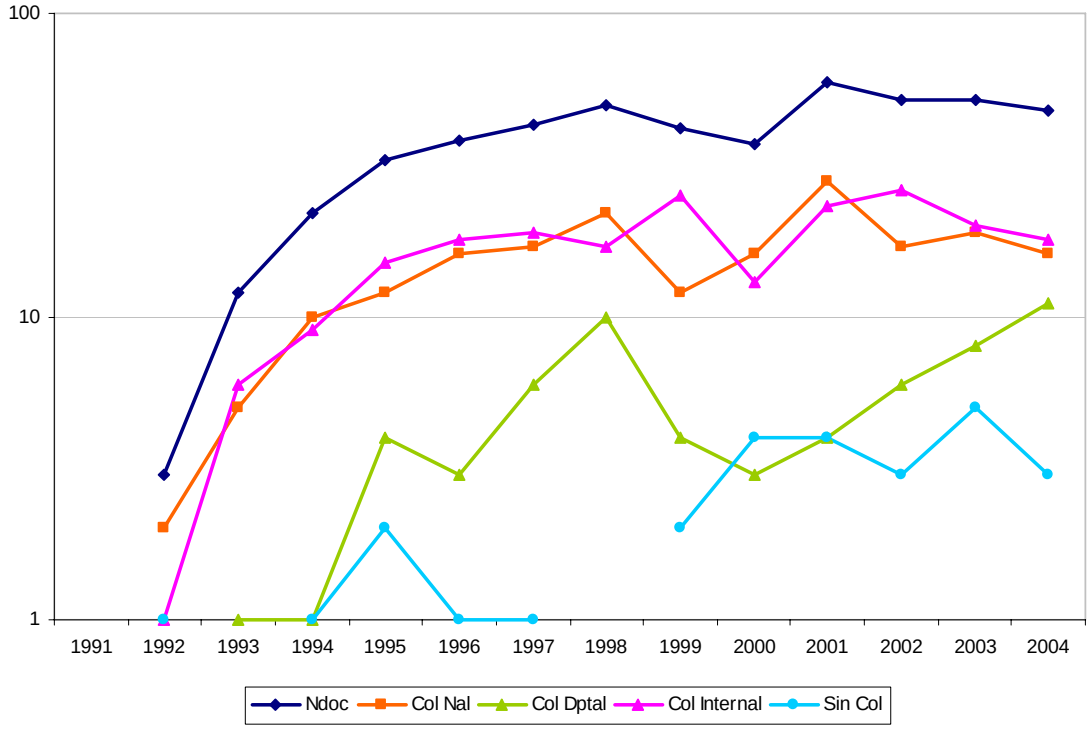



Figura 8.84. Evolución de la producción por tipos de colaboración. Matemáticas

La figura 8.85 presenta la evolución de la producción en valores porcentuales. Tanto la colaboración nacional, como la internacional, se mueven en porcentajes similares pero, presentan patrones confrontados. En general, el ascenso de una supone el descenso de la otra, y será más acentuado cuanto mayor sea la oscilación (la colaboración nacional presenta un promedio del 39.1% y la internacional del 42.77%). La evolución porcentual de la colaboración departamental también presenta un patrón regular, en torno a porcentajes similares con tendencia a aumentar en los últimos años del período, alcanzando el 12.42 de media. También la curva de los trabajos sin colaboración se presenta sin grandes altibajos, a pesar de su discontinuidad a lo largo del período, y suponen el 5.5% de los trabajos matemáticos.

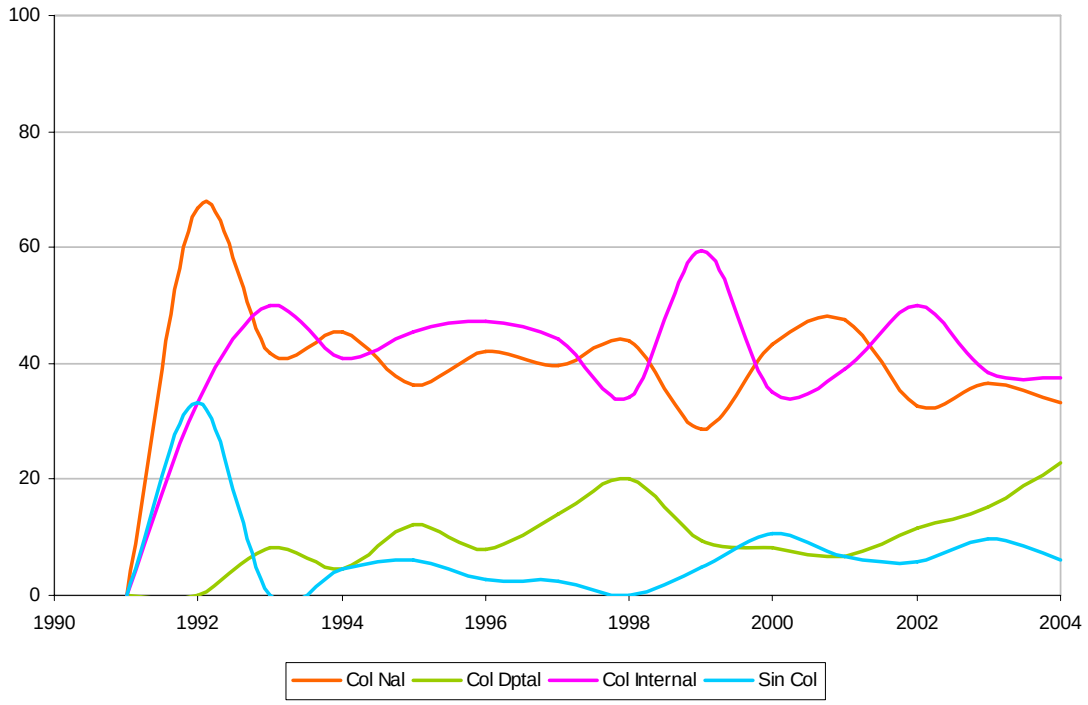



Figura 8.85. Evolución de la producción por tipos de colaboración en %. Matemáticas

## 8.9.2. COLABORACIÓN INTERNACIONAL.

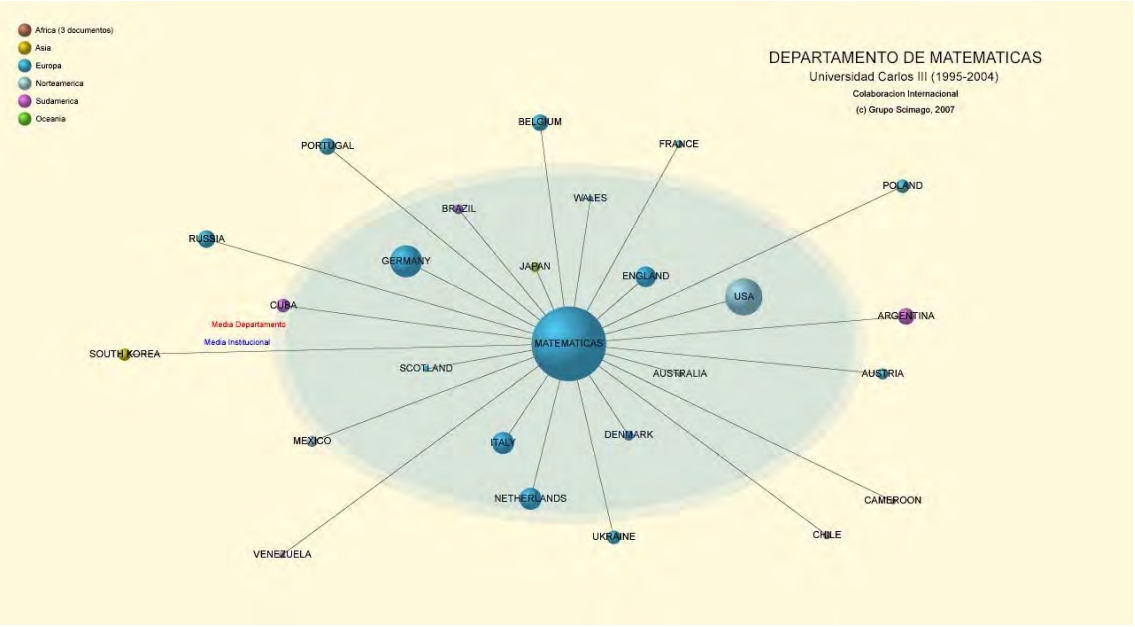



Figura 8.86. Heliocéntrico de colaboración internacional. Matemáticas (1995-2004)

La red heliocéntrica de la figura 8.86 muestra las relaciones internacionales de colaboración del departamento de Matemáticas. Desde la perspectiva del volumen de colaboración, el mayor número de coautorías se dan, por orden descendente, con Estados Unidos, Alemania, Holanda, Italia e Inglaterra.

Desde la perspectiva del impacto logrado con cada uno de los países colaboradores, son once los que superan la visibilidad media esperada del departamento (1.15), y uno más si el punto de comparación es el promedio institucional. Los trece restantes, algo más de la mitad de los veinticinco con los que el departamento establece vínculos de colaboración científica, se encuentran por debajo de la media. La asociación con Inglaterra es la más destacada. A sus numerosos trabajos de colaboración, acompaña una elevada visibilidad esperada (1.45).

### 8.9.3. COLABORACIÓN NACIONAL.

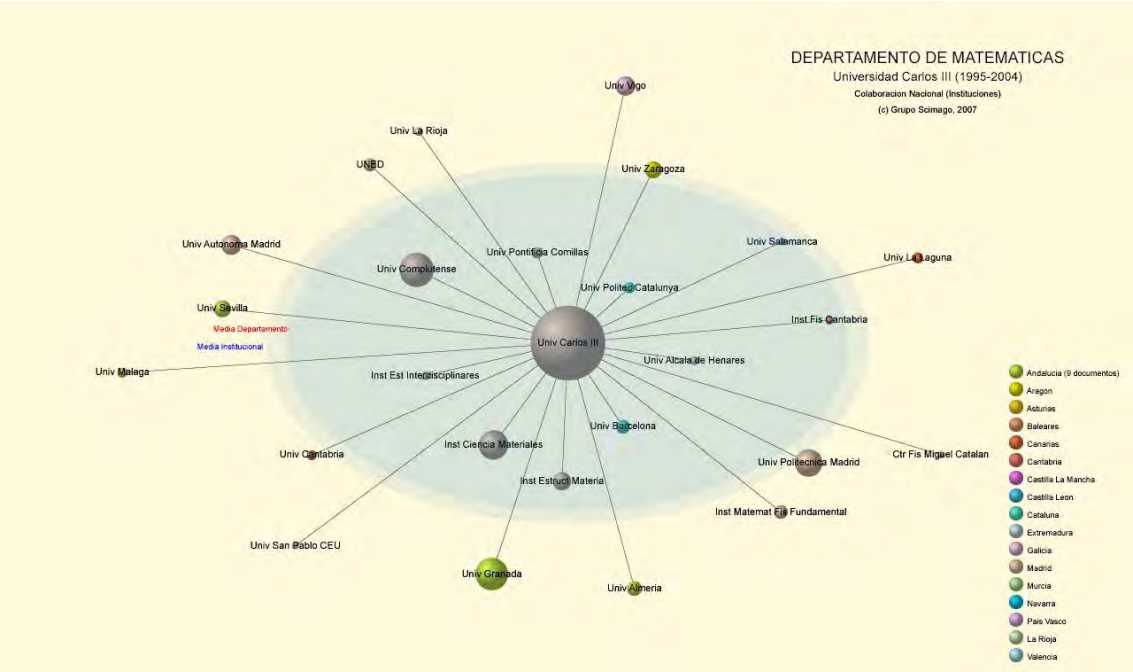



Figura 8.87. Heliocéntrico de colaboración nacional. Matemáticas (1995-2004)

El análisis de la red de la figura 8.87, presenta el alcance de la colaboración departamental de Matemáticas con instituciones nacionales. Desde el punto de vista de la producción absoluta, destacan los trabajos en coautoría con la Universidad Complutense, la Universidad de Granada, el Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid y la Universidad Politécnica de Madrid. De las 25 instituciones representadas en la producción con colaboración nacional en Matemáticas, el 48% son madrileñas, revelando la influencia de la proximidad geográfica en la colaboración de este departamento.

Desde el punto de vista del impacto esperado, diez instituciones superan el promedio departamental, y una más supera la media de visibilidad de la Universidad. Otras catorce, por tanto, se sitúan en valores por debajo de ambos promedios. Destaca la visibilidad lograda por los trabajos realizados con la Universidad Politécnica de Cataluña, la Universidad de Alcalá de Henares, la Universidad Pontificia de Comillas y la Universidad de Barcelona. En el caso de la colaboración nacional, contrasta la elevada producción en colaboración con la Universidad de Granada, y la reducida visibilidad esperada que obtienen esas coautorías (0.97).

### 8.9.4. COLABORACIÓN INSTITUCIONAL A PARTIR DE REDES DE COAUTORÍA.

La red de coautoría del departamento de Matemáticas (figura 8.88) en el primer lustro, representa las relaciones de colaboración con distintos departamentos de la Universidad. El color de cada uno de ellos se corresponde con la leyenda de la esquina superior izquierda. Para obtener una visualización más clara, se han ocultado los autores no pertenecientes a la UC3M.

La colaboración departamental apenas deja nodos inconexos con el resto de miembros del departamento. A pesar de que la colaboración interdepartamental en este primer quinquenio es escasa, el departamento de Matemáticas presenta

trabajos en colaboración con los de Economía, Física, Ingeniería de Sistemas y Automática, Ingeniería Eléctrica e Ingeniería Térmica y de Fluidos.

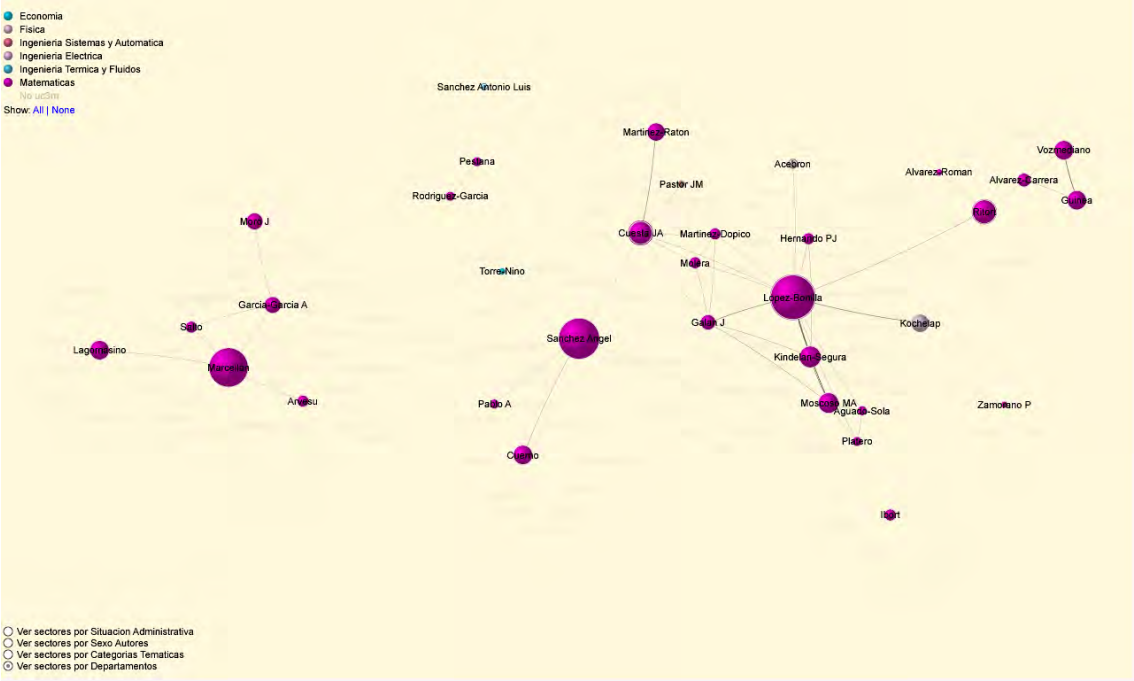



Figura 8.88. Red de coautoría. Colaboración departamental. Matemáticas (1995-1999)

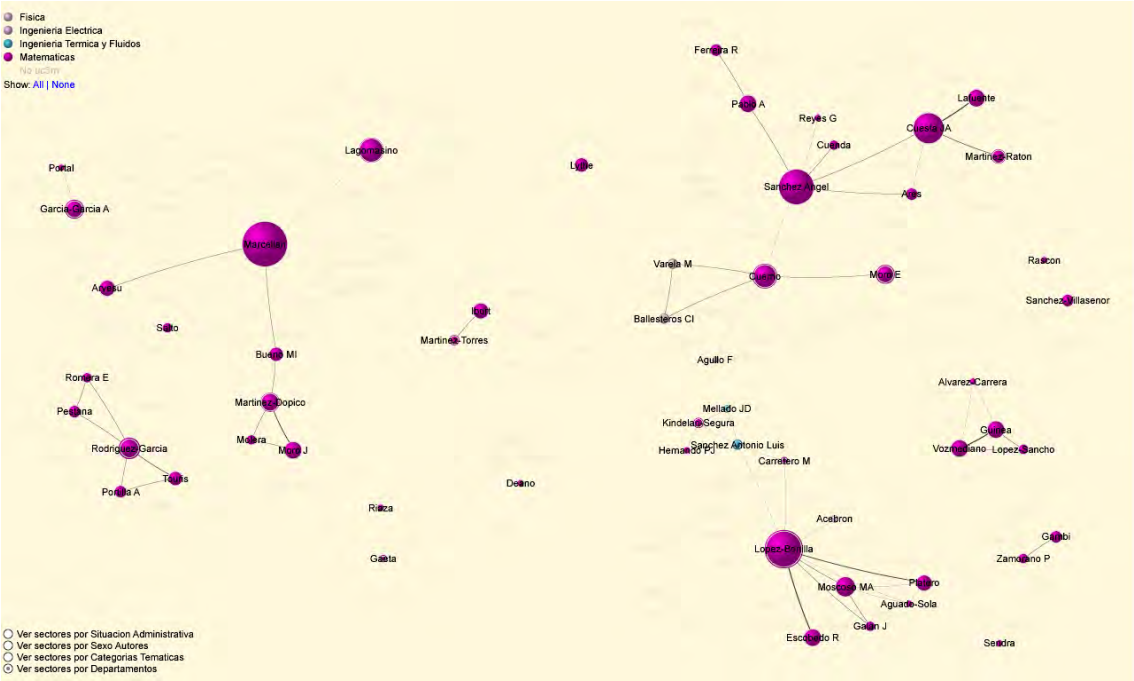



Figura 8.89. Red de coautoría. Colaboración departamental. Matemáticas (2000-2004)

La red de autores en el segundo período analizado (figura 8.89), reduce del número de departamentos colaboradores, desapareciendo los autores de Economía e Ingeniería de Sistemas y Automática. La colaboración departamental no presenta cambios en cuanto al aislamiento de nodos, pero sí en cuanto a la fragmentación de las colaboraciones entre sus profesores.

### 8.9.5. ANÁLISIS TEMÁTICO DE LAS REDES DE COAUTORÍA.

Tabla 8.33. Eigenvalues. Matemáticas (1995-2004)

| 1995-1999 | | | | | 2000-2004 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Factor** | **Eigenvalue** | **% Varianza** | **% Acum** | **Ratio** | **Factor** | **Eigenvalue** | **% Varianza** | **% Acum** | **Ratio** |
| 1 | 21.06 | 10.50 | 10.50 | 1.18 | 1 | 18.01 | 8.1 | 8.10 | 1.31 |
| 2 | 17.85 | 8.90 | 19.50 | 1.42 | 2 | 13.75 | 6.2 | 14.20 | 1.49 |
| 3 | 12.61 | 6.30 | 25.80 | 1.80 | 3 | 9.24 | 4.1 | 18.40 | 1.04 |
| 4 | 7.00 | 3.50 | 29.30 | 1.12 | 4 | 8.90 | 4 | 22.40 | 1.20 |
| 5 | 6.26 | 3.10 | 32.40 | 1.11 | 5 | 7.40 | 3.3 | 25.70 | 1.07 |
| 6 | 5.65 | 2.80 | 35.20 | 1.02 | 6 | 6.92 | 3.1 | 28.80 | 1.14 |
| 7 | 5.57 | 2.80 | 38.00 | 1.05 | 7 | 6.09 | 2.7 | 31.50 | 1.04 |
| 8 | 5.32 | 2.70 | 40.70 | 1.05 | 8 | 5.86 | 2.6 | 34.20 | 1.05 |
| 9 | 5.07 | 2.50 | 43.20 | 1.05 | 9 | 5.59 | 2.5 | 36.70 | 1.08 |
| 10 | 4.84 | 2.40 | 45.60 | 1.03 | 10 | 5.17 | 2.3 | 39.00 | 1.09 |
| 11 | 4.71 | 2.40 | 48.00 | 1.07 | 11 | 4.76 | 2.1 | 41.10 | 1.15 |
| 12 | 4.40 | 2.20 | 50.20 | 1.12 | 12 | 4.16 | 1.9 | 43.00 | 1.06 |
| 13 | 3.93 | 2.00 | 52.10 | 1.14 | 13 | 3.91 | 1.8 | 44.70 | 1.18 |
| 14 | 3.46 | 1.70 | 53.90 | 1.14 | 14 | 3.31 | 1.5 | 46.20 | 1.09 |
| 15 | 3.05 | 1.50 | 55.40 | 1.04 | 15 | 3.03 | 1.4 | 47.60 | 1.01 |
| 16 | 2.93 | 1.50 | 56.90 | 1.05 | 16 | 3.00 | 1.3 | 48.90 | 1.01 |
| 17 | 2.80 | 1.40 | 58.30 | 1.03 | 17 | 2.97 | 1.3 | 50.30 | 1.01 |
| 18 | 2.73 | 1.40 | 59.60 | 1.01 | 18 | 2.95 | 1.3 | 51.60 | 1.01 |
| 19 | 2.71 | 1.40 | 61.00 | 1.02 | 19 | 2.92 | 1.3 | 52.90 | 1.07 |
| 20 | 2.65 | 1.30 | 62.30 | 1.17 | 20 | 2.73 | 1.2 | 54.10 | 1.08 |
| 21 | 2.26 | 1.10 | 63.40 | 1.02 | 21 | 2.54 | 1.1 | 55.20 | 1.04 |
| 22 | 2.22 | 1.10 | 64.50 | 1.04 | 22 | 2.45 | 1.1 | 56.30 | 1.03 |
| 23 | 2.14 | 1.10 | 65.60 | 1.06 | 23 | 2.38 | 1.1 | 57.40 | 1.12 |
| 24 | 2.02 | 1.00 | 66.60 | 1.04 | 24 | 2.14 | 1 | 58.40 | 1.07 |

La tabla 8.33 presenta una muestra de factores con eigenvalues mayores o iguales a 1 del departamento de Matemáticas. Los 42 factores resultantes explican el 78.6% de la varianza de la muestra en el primer período, y 57 factores el 77.2% en el segundo.

El orden decreciente de los autores de cada uno de esos factores, en función de la carga factorial obtenida, permitirá su caracterización a través de la asignación de

categorías temáticas según las referencias bibliográficas utilizadas por cada autor (tabla 8.34).

Tabla 8.34. Muestra de factores con valor ≥ 0.5. Matemáticas (1995-1999)

| Factor | 1 | Factor | 2 | Factor | 3 |
|---|---|---|---|---|---|
| Acebron | 0.84 | Cachafeiro | 0.99 | Cai | 0.88 |
| Vicente | 0.83 | Szafraniec | 0.99 | Gronbech | 0.87 |
| Spigler | 0.82 | Prianes | 0.99 | Mertens | 0.86 |
| Bulashenko | 0.78 | Li | 0.99 | Bishop | 0.86 |
| Higuera | 0.77 | Rocha | 0.95 | Wang | 0.85 |
| Kochelap | 0.76 | Petronilho | 0.92 | Kamppeter | 0.84 |
| Soler | 0.75 | Osilenker | 0.90 | Kivshar | 0.75 |
| Arenas | 0.74 | Salto | 0.88 | Moro E | 0.74 |
| Velasco CA | 0.73 | Moreno AF | 0.82 | Quintero | 0.68 |
| Carrillo | 0.71 | Aptekarev | 0.82 | DominguezAdame | 0.65 |
| Cantalapiedra | 0.70 | Pan | 0.78 | Macia | 0.57 |
| Garcia MJ | 0.68 | AlvarezNodarse | 0.77 | Diez E | 0.56 |
| De Leo | 0.66 | Branquinho | 0.73 | Pablo | 0.55 |
| Sokolov | 0.66 | Peherstorfer | 0.72 | Castro | 0.54 |
| Hernando | 0.52 | Steinbauer | 0.72 | Rodriguez T | 0.54 |
| Kindelan | 0.51 | MorenoBalcazar | 0.71 | Berman | 0.54 |
| Padilla | 0.51 | Perez TE | 0.69 | Cuerno | 0.54 |

El primer quinquenio muestra tres categorías temáticas (figura 8.90): Matemática Física, Matemáticas y Física.

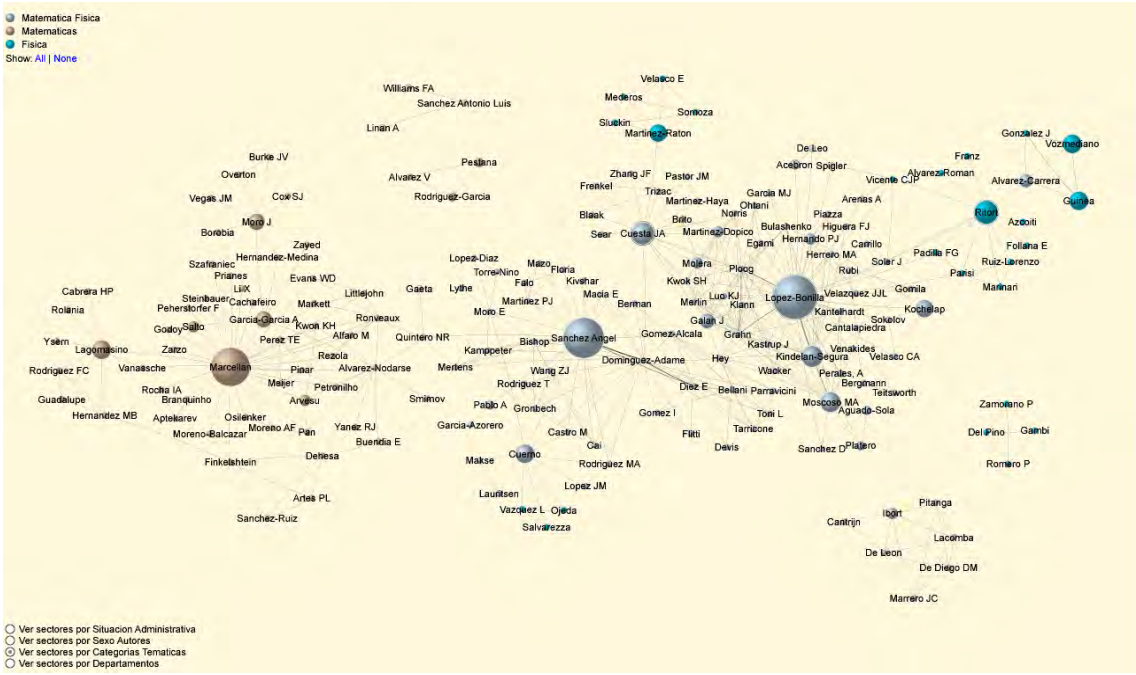



Figura 8.90. Red de coautoría. Análisis temático. Matemáticas (1995-1999)

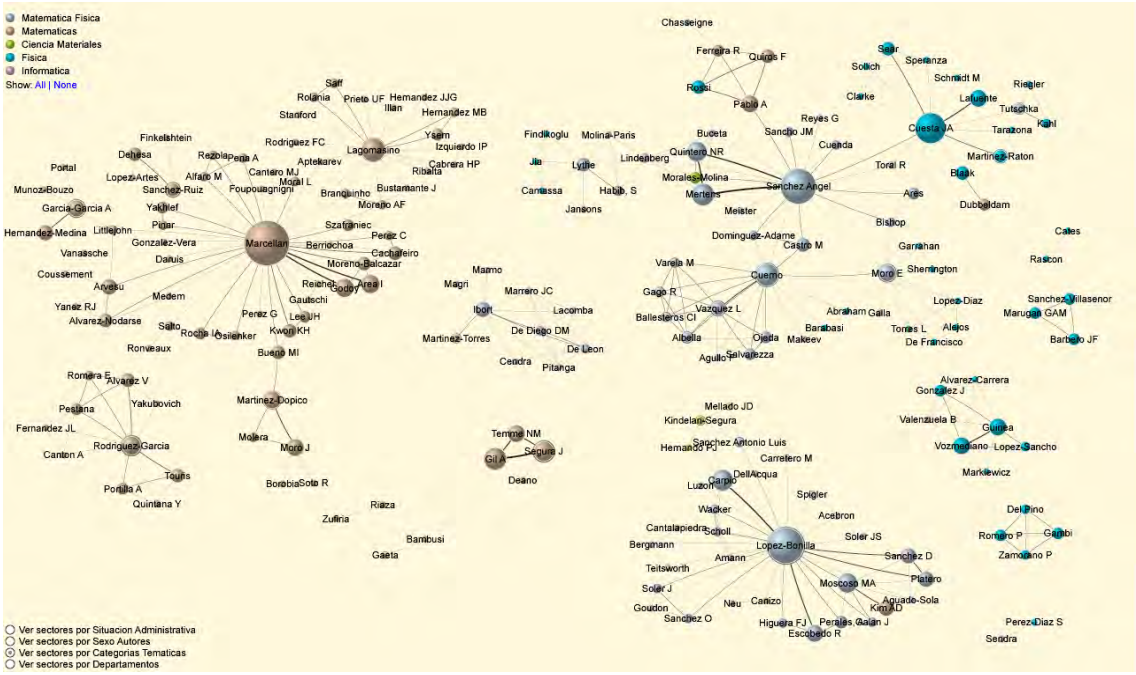



Figura 8.91. Red de coautoría. Análisis temático. Matemáticas (2000-2004)

La figura 8.91 presenta las especialidades del departamento en el segundo período. A las tres del lustro anterior se añaden la Ciencia de Materiales y la Informática. Por otro lado, se aprecia una marcada especialización en Matemática Física y Matemáticas. El predominio de la primera en el quinquenio inicial (nodos azules), deja paso a un mayor equilibrio desde el punto de vista del número de coautores, entre ambas en 2000-2004. Aunque el hecho más destacado entre períodos es sin duda, la transformación de la estructura de red departamental consolidada, o gran componente, del primer período, a una topología de componentes desconectados del segundo.

### 8.9.6. Análisis por Sexo de las Redes de Coautoría.

Para el estudio del comportamiento de los miembros del departamento de Matemáticas según su sexo, basado en el recuento de individuos, documentos y citas, la tabla 8.35 muestra el aumento de la representación femenina en las tres facetas analizadas, siendo mayor la distancia en producción y citación, con porcentajes muy similares.

Tabla 8.35. Aportación masculina y femenina. Matemáticas (1995-2004)

| | | 1995-1999 | | 2000-2004 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Total | % | Total | % |
| **Individuos** | **Hombres** | 31 | 86.11 | 44 | 74.58 |
| | **Mujeres** | 4 | 11.43 | 13 | 22.81 |
| **Producción** | **Hombres** | 253 | 93.70 | 275 | 86.48 |
| | **Mujeres** | 17 | 6.30 | 43 | 13.52 |
| **Citas** | **Hombres** | 1365 | 91.86 | 423 | 83.60 |
| | **Mujeres** | 121 | 8.14 | 83 | 16.40 |

La presencia femenina en el primer quinquenio no llega al 14%, y a pesar de que predomina su integración en subredes con hombres, su posición en ese tipo de agrupaciones es periférica (figura 8.92), aunque asociadas a grupos de investigación de temáticas distintas.

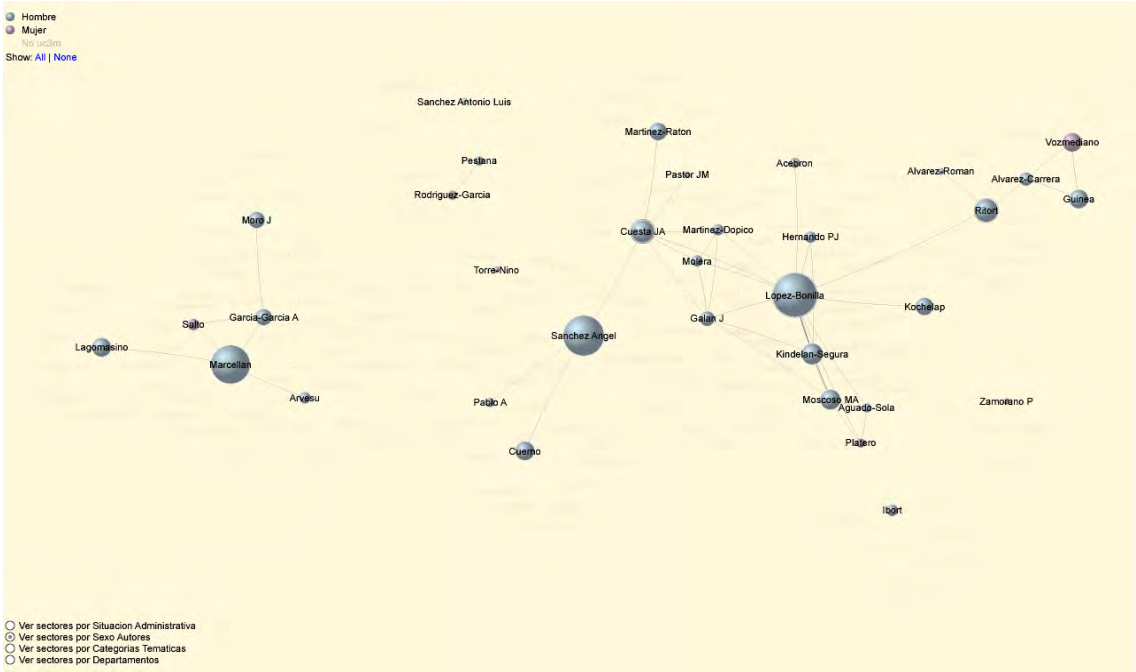



Figura 8.92. Red de coautoría. Análisis por sexo. Matemáticas (1995-1999)

En el período 2000-2004, el aumento del número de mujeres supone su mayor integración con autores masculinos, pero no modifica la presencia periférica dentro de las agrupaciones departamentales de autores (figura 8.93). Además, las relaciones entre mujeres en las distintas agrupaciones de este segundo período no pasan de la vinculación diádica.

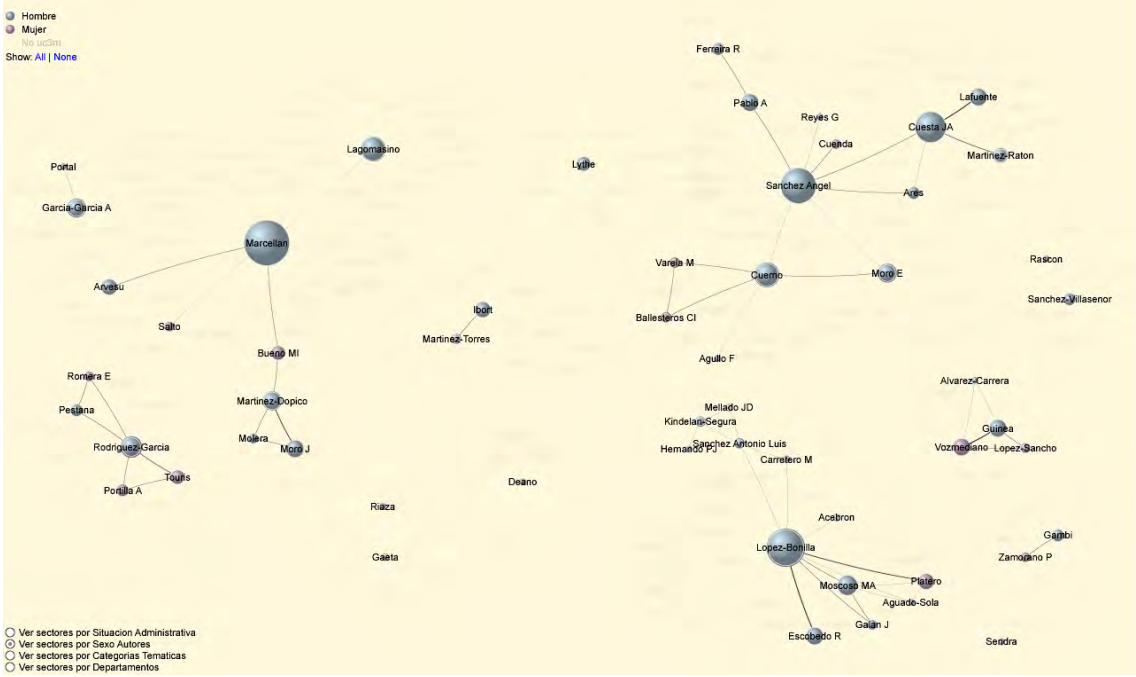



Figura 8.93. Red de coautoría. Análisis por sexo. Matemáticas (2000-2004)

### 8.9.7. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ADMINISTRATIVA DE LAS REDES DE COAUTORÍA.

Las principales relaciones, según la situación administrativa de los autores de la red del departamento de Matemáticas en el primer lustro son Titular-Titular. El resto de figuras no son abundantes, y la práctica totalidad de las mismas pasan por su relación con profesores titulares. Llama la atención la falta de vínculos entre los catedráticos del departamento, que tiene como consecuencia la consolidación de grupos de investigación aislados (figura 8.94). No menos sorprendente es su falta de relación con otro tipo de situaciones administrativas, reducidas exclusivamente a relaciones con profesores no permanentes. La incorporación de jóvenes investigadores en las publicaciones matemáticas es muy reducida.

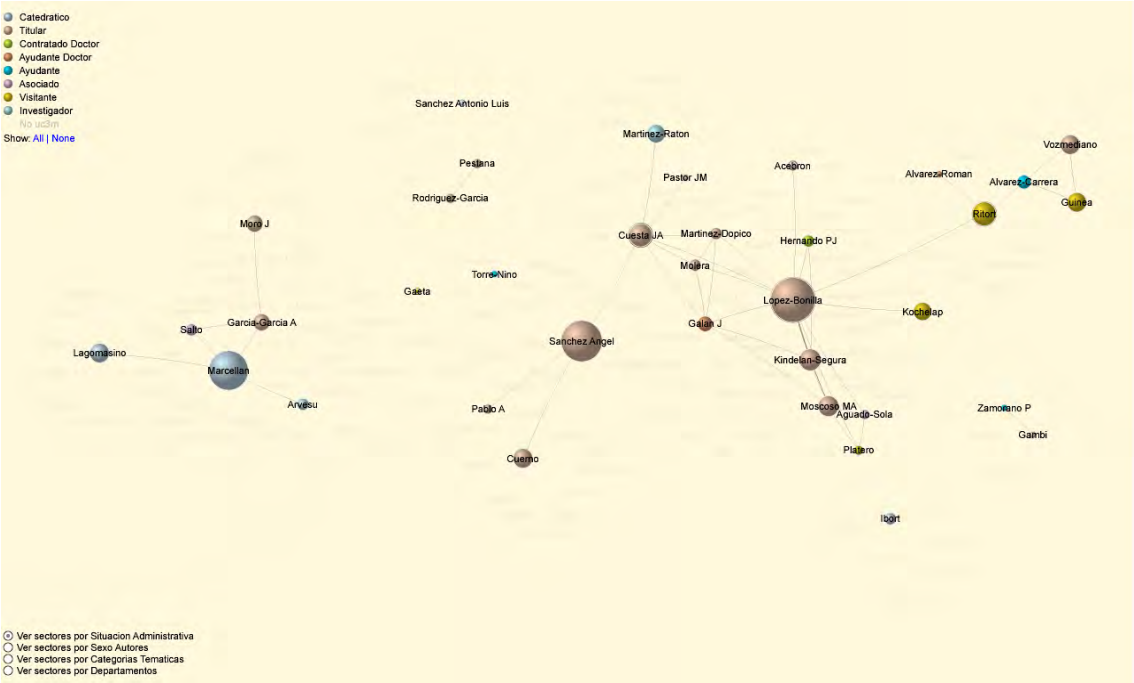



Figura 8.94. Red de coautoría. Relación administrativa. Matemáticas (1995-1999)

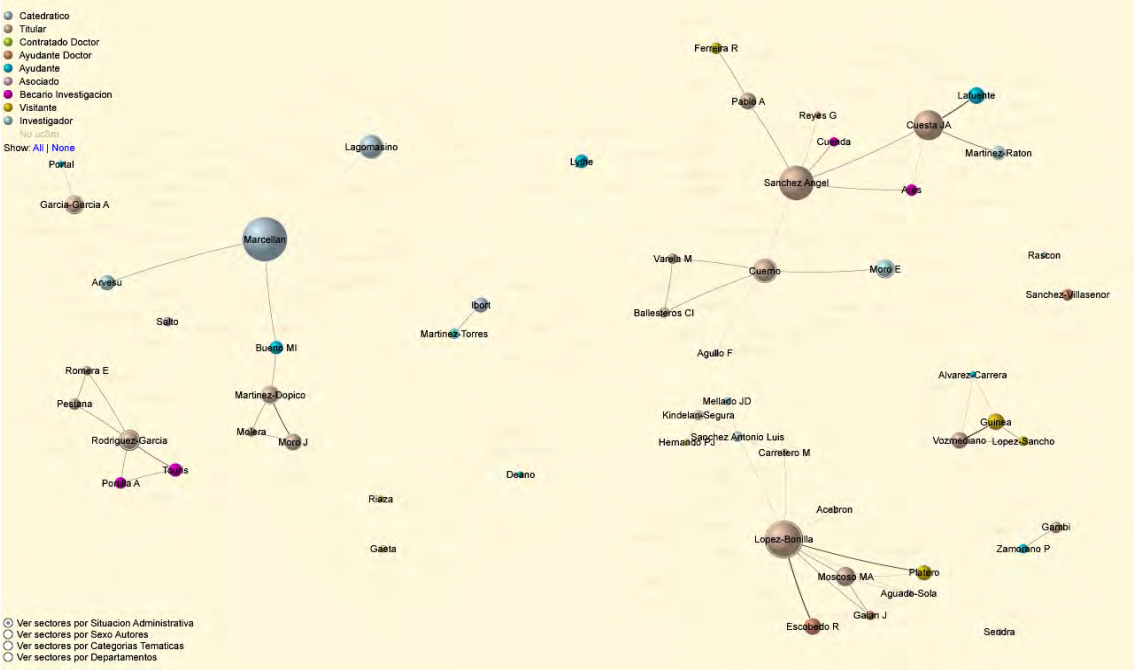



Figura 8.95. Red de coautoría. Relación administrativa. Matemáticas (2000-2004)

La figura 8.95, que presenta las principales relaciones del departamento de Matemáticas entre 2000 y 2004, no presenta apenas variaciones respecto a la red de 1995-1999. Continúa la estrecha relación entre profesores titulares, alrededor de los que se concentran el resto de figuras administrativas, tanto permanentes,

como no permanentes. La relación entre catedráticos se corresponde con el patrón del quinquenio anterior, con la sola incorporación de un Ayudante. Por último, se aprecia un ligero incremento del número de personal no permanente, especialmente vinculado con profesores titulares.

### 8.9.8. EVOLUCIÓN Y TOPOLOGÍA DE LAS REDES DE COAUTORÍA.

La evolución y crecimiento de la red de coautoría del departamento de Matemáticas se encuentra recogida en la tabla 8.36. El número de nodos aumenta un 10% en el segundo lustro, y el número de componentes asciende de cinco a trece.

Tabla 8.36. Valores generales de las redes de Matemáticas

| Indicadores | 1995-1999 | 2000-2004 |
|---|---|---|
| Número nodos | 186 | 204 |
| Densidad | 0.03 | 0.02 |
| Grado | 0.24 | 0.16 |
| Intermediación | 0.42 | 0.09 |
| Coeficiente agrupamiento | 0.027 | 0.030 |
| Número componentes | 5 | 13 |
| Tamaño componente principal | 169 | 65 |
| Tamaño componente principal (%) | 90.86 | 31.86 |
| Tamaño segundo componente | 7 | 61 |
| Tamaño segundo componente (%) | 3.76 | 29.90 |
| Ndoc col | 200 | 229 |
| Ndoc (% respecto UC3M) | 35.52 | 18.29 |
| Citas | 159 | 121 |
| Citas (% respecto UC3M) | 41.51 | 27.38 |

El aumento de nodos no puede paliar el ligero descenso de la densidad de la red (del 3 al 2%), ni de la centralización de intermediación, señal elocuente de la ruptura del macro componente inicial en componentes menores durante el segundo quinquenio (el componente principal pasa del 91% al 32%, mientras que el segundo aumenta del 3.76% al 30%).

El aumento del coeficiente de agrupamiento y el descenso de la centralización de grado, revelan la evolución de los nuevos componentes surgidos en el segundo período, hacia estructuras de relaciones más distribuidas.

Este revolucionario cambio de la topología del departamento de Matemáticas tiene drásticas consecuencias sobre sus indicadores bibliométricos. A la pérdida del 14% de impacto observado respecto del total de la Universidad, acompaña una caída aún mayor de la producción relativa, el 17%.

La estructura del departamento de Matemáticas transforma su topología de una gran red aglutinadora de más del 90% de las coautorías departamentales, en la que conviven en extremos opuestos especialidades distintas, a una estructura de múltiples grupos de investigación aislados, sin que su especialización temática pueda explicar esa tendencia a la segregación, especialmente en Matemática Física. Se aprecia una involución en la consolidación de la estructura de red como forma de colaboración entre períodos, lo que supone la pérdida de representatividad del departamento en el seno de la UC3M, tanto en visibilidad observada, como en número de documentos.

### 8.9.9. Popularidad y Prestigio.

En el primer período el valor más alto de popularidad y prestigio corresponde al autor con mayor número de coautorías, mayor número de citas y mayor coeficiente de agrupamiento. El segundo valor de popularidad y prestigio es para el autor con segundo valor de trabajos en colaboración y citaciones, y el cuarto mayor coeficiente de agrupamiento. El tercer valor de popularidad y prestigio recae en el tercer autor con mayor número de colaboraciones y citas, y segundo mejor coeficiente de agrupamiento.

El patrón es muy similar en el segundo período. El primer valor de popularidad y de prestigio es para el primer autor en citación y coeficiente de agrupamiento, y segundo valor de trabajos en colaboración. El segundo valor de popularidad y prestigio le corresponde al autor con mayor número de colaboraciones, quinto

valor en citación y segundo mayor coeficiente de agrupamiento. El tercero en popularidad y prestigio tiene el tercer valor en coautorías, segundo en citación y cuarto mejor coeficiente de agrupamiento (tabla 8.37).

Tabla 8.37. Popularidad y prestigio. Matemáticas (1995-2004)

| 1995-1999 (más de 9 documentos) | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Orden** | **Nombre** | **Puesto** | **Ndoc col** | **Citas** | **FITN** | **Grado** | **Intermediacion** | **Coef Cluster** | **Popularidad** | **Prestigio** |
| 1 | Lopez-Bonilla | Titular | 44 | 283 | 1.30 | 0.26 | 0.331 | 0.68 | 29.71 | 191.10 |
| 2 | Sanchez Angel | Titular | 36 | 124 | 1.34 | 0.13 | 0.438 | 0.13 | 4.73 | 16.29 |
| 3 | Marcellan | Catedratico | 33 | 162 | 0.88 | 0.18 | 0.220 | 0.36 | 11.99 | 58.88 |
| 4 | Dominguez-Adame | No UC3M | 28 | 95 | 1.31 | 0.12 | 0.090 | 0.14 | 3.84 | 13.02 |
| 5 | Diez E | No UC3M | 16 | 58 | 1.24 | 0.07 | 0.021 | 0.07 | 1.09 | 3.97 |
| 6 | Cuesta JA | Titular | 13 | 82 | 1.44 | 0.11 | 0.385 | 0.07 | 0.98 | 5.36 |
| 7 | Ritort | Visitante | 13 | 73 | 1.28 | 0.06 | 0.086 | 0.01 | 0.20 | 1.06 |
| 8 | Alvarez-Nodarse | No UC3M | 12 | 47 | 0.85 | 0.06 | 0.231 | 0.03 | 0.45 | 1.64 |
| 9 | Kindelan-Segura | Titular | 10 | 85 | 1.29 | 0.09 | 0.006 | 0.10 | 1.03 | 8.75 |
| 10 | Gonzalez J | No UC3M | 10 | 80 | 1.33 | 0.02 | 0 | 0.05 | 0.46 | 3.67 |
| **2000-2004 (más de 9 documentos)** | | | | | | | | | | |
| **Orden** | **Nombre** | **Puesto** | **Ndoc col** | **Citas** | **FITN** | **Grado** | **Intermediacion** | **Coef Cluster** | **Popularidad** | **Prestigio** |
| 1 | Marcellan | Catedratico | 41 | 36 | 0.86 | 0.17 | 0.08699 | 0.41 | 16.97 | 14.90 |
| 2 | Lopez-Bonilla | Titular | 29 | 88 | 1.50 | 0.13 | 0.01957 | 0.61 | 17.63 | 53.49 |
| 3 | Sanchez Angel | Titular | 25 | 58 | 1.31 | 0.09 | 0.06424 | 0.11 | 2.71 | 6.28 |
| 4 | Cuesta JA | Titular | 19 | 30 | 1.31 | 0.06 | 0.03302 | 0.09 | 1.65 | 2.61 |
| 5 | Cuerno | Titular | 12 | 37 | 1.50 | 0.07 | 0.02676 | 0.15 | 1.82 | 5.60 |
| 6 | Lagomasino | Catedratico | 12 | 7 | 0.92 | 0.08 | 0.03424 | 0.09 | 1.11 | 0.65 |
| 7 | Gil A | No UC3M | 10 | 12 | 1.00 | 0.01 | 0.00002 | 0.09 | 0.86 | 1.03 |
| 8 | Segura J | No UC3M | 10 | 12 | 1.02 | 0.01 | 0.00002 | 0.09 | 0.86 | 1.03 |
| 9 | Mertens | No UC3M | 10 | 40 | 1.31 | 0.03 | 0.00027 | 0.05 | 0.50 | 1.98 |
| | | | | 1º valor | 2º valor | 3º valor | | | | |

## 8.10. DEPARTAMENTO DE TEORÍA DE LA SEÑAL.

### 8.10.1. DATOS GENERALES DE COLABORACIÓN.

El departamento de Teoría de la Señal es uno de los de más temprana incorporación a la producción de trabajos con visibilidad internacional, a partir de 1996. La evolución de la de producción absoluta presenta una línea ascendente que sólo se ha visto interrumpida en 2000 y 2003 (figura 8.96).

El análisis de los hábitos de colaboración, presenta una línea de colaboración nacional con marcadas fluctuaciones. En cambio, la colaboración departamental, a pesar de las oscilaciones de los primeros años, presenta un patrón más estable al

final del período. La colaboración internacional muestra un crecimiento moderado, con excepción de la caída en 2001. La producción de trabajos en solitario, es muy reducida.

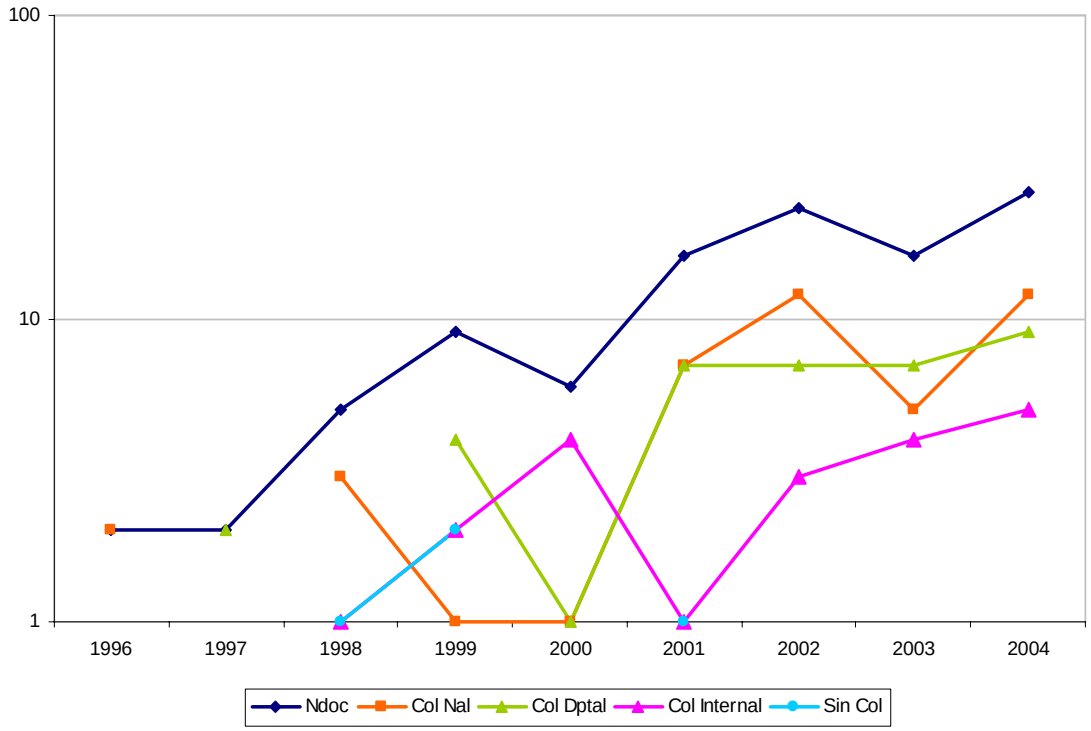



Figura 8.96. Evolución de la producción por tipos de colaboración. Señal

La figura 8.97 muestra la evolución de la producción en valores porcentuales. El trazado que siguen los tres principales tipos de colaboración es muy similar en su desarrollo, aunque no coincidente en el tiempo. Los ascensos y descensos de la colaboración nacional son muy acusados hasta 2001, momento en el que comienza a estabilizarse el valor que para el período es de 40.95%. La colaboración departamental presenta evoluciones contrarias a las de la nacional, el ascenso de una supone el descenso de la otra. También estabiliza su oscilación en 2001, representando el 35.24% de media en el período. Idéntico devenir se aprecia en la colaboración internacional. El comienzo de milenio supone la reducción de la variación de la curva porcentual (19.5% en el período). La producción sin colaboración tiene fluctuaciones menos acentuadas, debido fundamentalmente al

escaso número de trabajos que eligen este tipo de autoría, situándose en el 3.85% en el período.

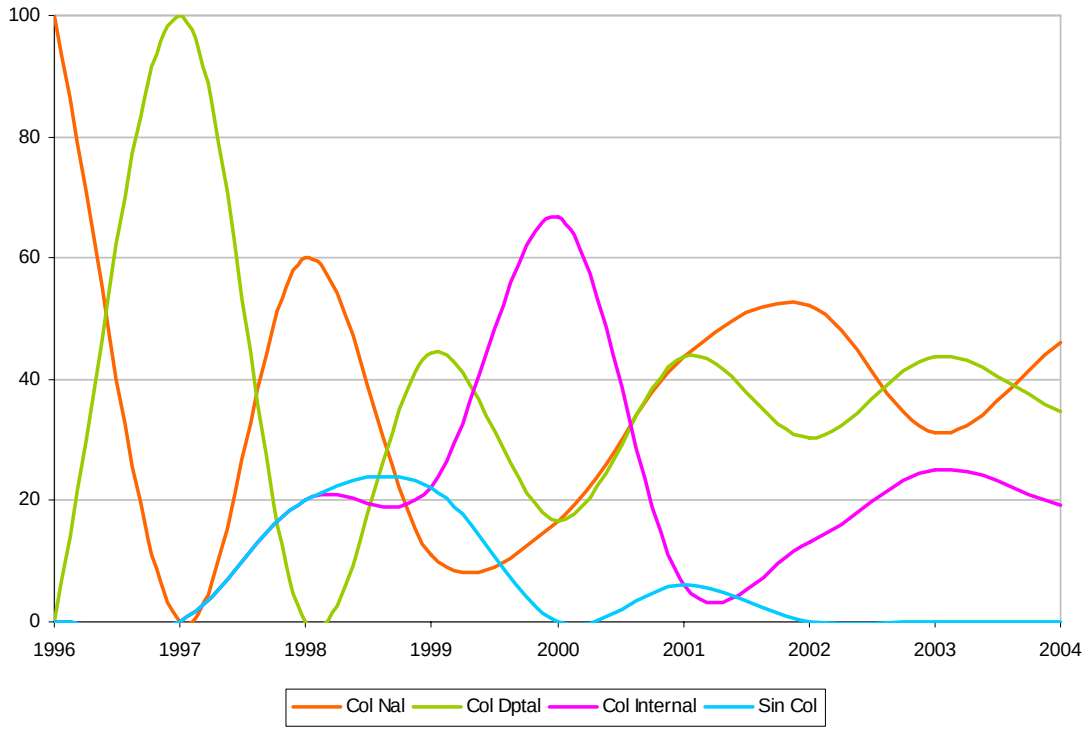



Figura 8.97. Evolución de la producción por tipos de colaboración en %. Señal

### 8.10.2. COLABORACIÓN INTERNACIONAL.

La figura 8.98 representa la red heliocéntrica de las relaciones internacionales de colaboración del departamento de Teoría de la Señal. Desde la perspectiva del volumen de colaboración, el mayor número de coautorías se dan, por orden descendente, con Estados Unidos, Inglaterra y Holanda.

Desde la perspectiva del impacto logrado con cada uno de los países colaboradores, obtiene visibilidades superiores a la media institucional con Canadá, Austria, Holanda, Alemania y Estados Unidos. Bélgica supera el promedio departamental (1.08), e Inglaterra e Italia obtienen impactos esperados muy alejados de los valores medios.

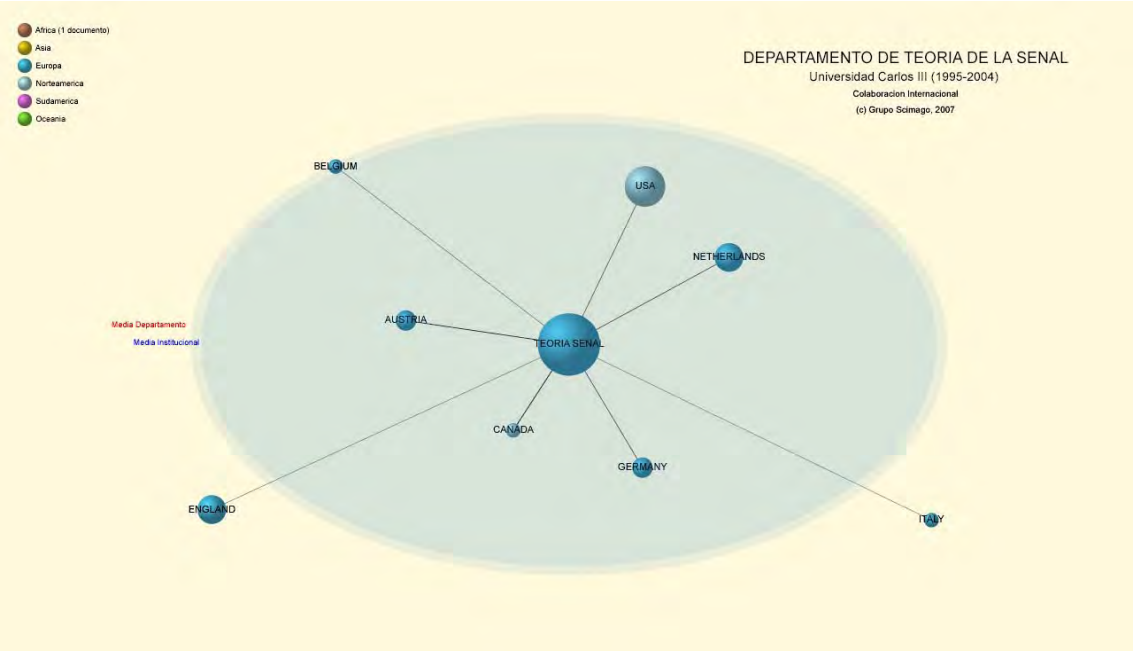



Figura 8.98. Heliocéntrico de colaboración internacional. Señal (1995-2004)

## 8.10.3. COLABORACIÓN NACIONAL.

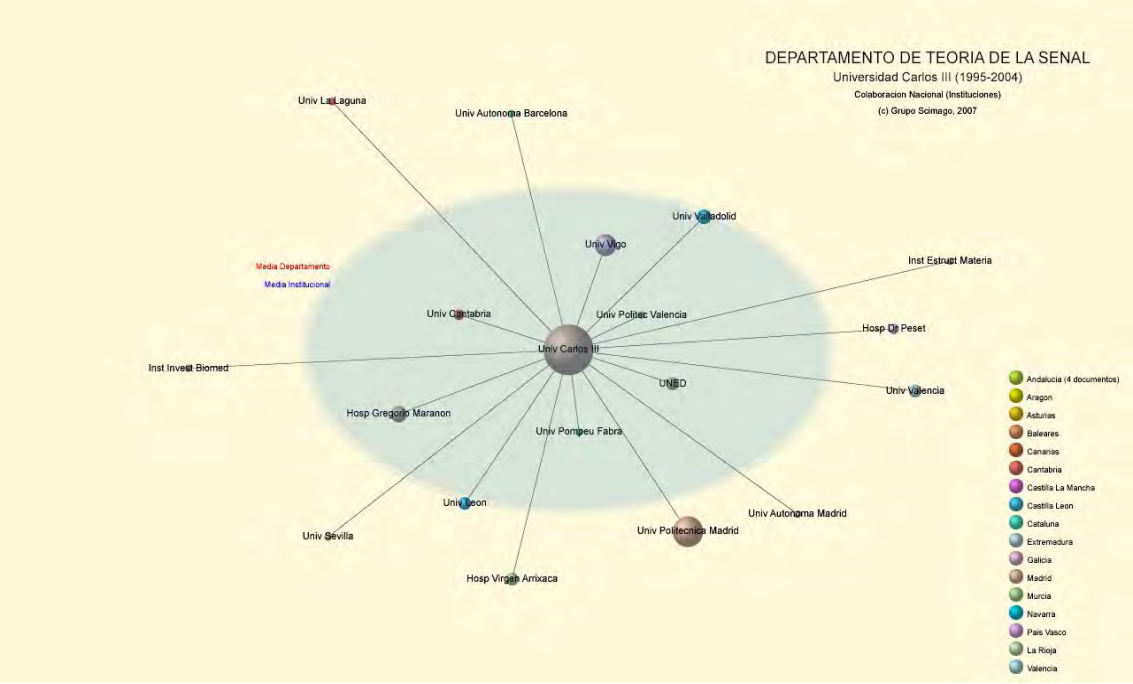



Figura 8.99. Heliocéntrico de colaboración nacional. Señal (1995-2004)

El análisis de la red heliocéntrica de la figura 8.99, presenta el alcance de la colaboración departamental de Teoría de la señal con instituciones españolas.

Desde el punto de vista de la producción absoluta, destacan los trabajos en coautoría con la Universidad Politécnica de Madrid, la Universidad de Vigo, el Hospital Gregorio Marañón y la Universidad de Valladolid. De las 18 instituciones representadas en las colaboraciones nacionales del departamento, el 33% son madrileñas, revelando la influencia de la proximidad geográfica en su colaboración.

Por lo que respecta al impacto esperado, seis son las instituciones que superan el promedio institucional y departamental. Las otras doce se sitúan en valores por debajo de ambas medias. Destaca la visibilidad lograda por los trabajos realizados con la Universidad Politécnica de Valencia, la Universidad de Educación a Distancia, la Universidad Pompeu Fabra y la Universidad de Cantabria. En el caso contrario, contrasta la elevada producción en colaboración con la Universidad Politécnica de Madrid, y el bajo impacto esperado que logran esos trabajos (0.95).

### 8.10.4. Colaboración Institucional a partir de las Redes de Coautoría.

La red de coautores del departamento de Teoría de la Señal en el primer lustro (figura 8.100), presenta las relaciones de colaboración con diversos departamentos de la Universidad. El color de cada uno de ellos se corresponde con la leyenda de la esquina superior izquierda. Para obtener una visualización más clara, se han ocultado los autores no pertenecientes a la UC3M.

La fuerte colaboración departamental sólo deja dos nodos aislados del componente principal y muestra la ausencia de colaboración interdepartamental.

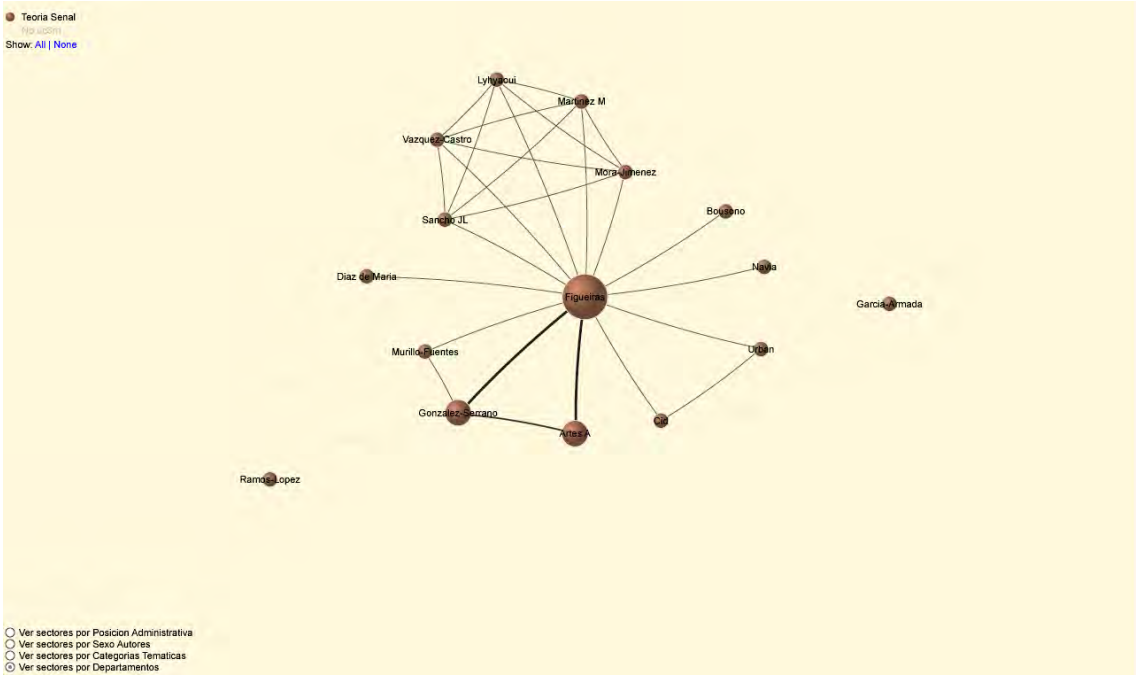



Figura 8.100. Red de coautoría. Colaboración departamental. Señal (1995-1999)

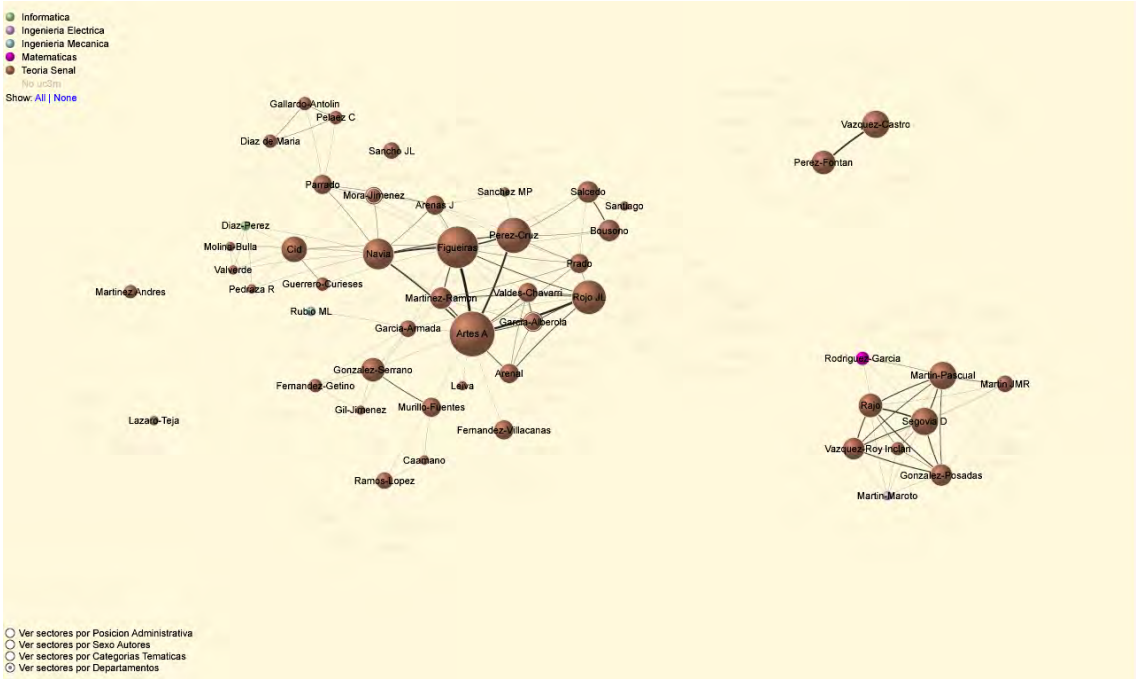



Figura 8.101. Red de coautoría. Colaboración departamental. Señal (2000-2004)

La red de autores en el segundo período (figura 8.101), transforma el mapa de relaciones. Surgen los primeros vínculos con los departamentos de Informática, Ingeniería Eléctrica, Ingeniería Mecánica y Matemáticas. La colaboración

departamental continúa aglutinando a la práctica totalidad de los profesores de Teoría de la Señal, pero en tres subredes distintas.

### 8.10.5. ANÁLISIS TEMÁTICO DE LAS REDES DE COAUTORÍA.

Tabla 8.38. Eigenvalues. Señal (1995-2004)

| 1995-1999 | | | | | 2000-2004 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Factor** | **Eigenvalue** | **% Varianza** | **% Acum** | **Ratio** | **Factor** | **Eigenvalue** | **% Varianza** | **% Acum** | **Ratio** |
| 1 | 7.92 | 22 | 22 | 1.59 | 1 | 12.78 | 8.9 | 8.9 | 1.23 |
| 2 | 4.99 | 13.9 | 35.9 | 1.59 | 2 | 10.41 | 7.2 | 16.1 | 1.22 |
| 3 | 3.14 | 8.7 | 44.6 | 1.12 | 3 | 8.56 | 5.9 | 22 | 1.22 |
| 4 | 2.82 | 7.8 | 52.4 | 1.33 | 4 | 7.04 | 4.9 | 26.9 | 1.18 |
| 5 | 2.12 | 5.9 | 58.3 | 1 | 5 | 5.97 | 4.1 | 31.1 | 1.21 |
| 6 | 2.12 | 5.9 | 64.2 | 1.21 | 6 | 4.93 | 3.4 | 34.5 | 1.01 |
| 7 | 1.75 | 4.9 | 69 | 1.41 | 7 | 4.86 | 3.4 | 37.9 | 1.01 |
| 8 | 1.24 | 3.4 | 72.5 | 1.13 | 8 | 4.80 | 3.3 | 41.2 | 1.07 |
| 9 | 1.10 | 3.1 | 75.5 | 1.07 | 9 | 4.48 | 3.1 | 44.3 | 1.12 |
| 10 | 1.03 | 2.9 | 78.4 | 1.85 | 10 | 4.01 | 2.8 | 47.1 | 1.04 |
| | | | | | 11 | 3.86 | 2.7 | 49.8 | 1.03 |
| | | | | | 12 | 3.76 | 2.6 | 52.4 | 1.05 |
| | | | | | 13 | 3.57 | 2.5 | 54.9 | 1.09 |
| | | | | | 14 | 3.28 | 2.3 | 57.1 | 1.08 |
| | | | | | 15 | 3.03 | 2.1 | 59.3 | 1.09 |
| | | | | | 16 | 2.78 | 1.9 | 61.2 | 1.11 |
| | | | | | 17 | 2.50 | 1.7 | 62.9 | 1.08 |
| | | | | | 18 | 2.31 | 1.6 | 64.5 | 1.07 |
| | | | | | 19 | 2.17 | 1.5 | 66 | 1.03 |
| | | | | | 20 | 2.11 | 1.5 | 67.5 | 1.07 |
| | | | | | 21 | 1.98 | 1.4 | 68.9 | 1.02 |
| | | | | | 22 | 1.94 | 1.3 | 70.2 | 1.06 |
| | | | | | 23 | 1.82 | 1.3 | 71.5 | 1.06 |
| | | | | | 24 | 1.72 | 1.2 | 72.7 | 1.09 |
| | | | | | 25 | 1.58 | 1.1 | 73.8 | 1.02 |
| | | | | | 26 | 1.56 | 1 | 74.9 | 1.12 |
| | | | | | 27 | 1.40 | 1 | 75.8 | 1.01 |
| | | | | | 28 | 1.38 | 1 | 76.8 | 1.13 |

La tabla 8.38 muestra los factores con eigenvalues mayores o iguales a 1 del departamento de Teoría de la Señal. Los 10 factores resultantes en el primer período explican el 78.4% de la varianza de la muestra, mientras que los 28 del segundo, explican el 76.8% de la muestra.

El orden decreciente de los autores de cada uno de esos factores, en función de la carga factorial obtenida, permitirá su caracterización a través de la asignación de

categorías temáticas según las referencias bibliográficas utilizadas por cada autor (tabla 8.39).

Tabla 8.39. Muestra de factores con valor ≥ 0.5. Señal (2000-2004)

| Factor | 1 | Factor | 2 | Factor | 3 |
|---|---|---|---|---|---|
| Lacunza | 0.88 | Silva | 0.93 | Saunders | 0.90 |
| Gimeno | 0.88 | Cortina | 0.93 | Enjamio | 0.84 |
| Sanchez-Munoz | 0.88 | Yotti | 0.92 | Marino | 0.84 |
| Martinez-Sanchez | 0.88 | Bermejo | 0.92 | Pita | 0.84 |
| Ortiz | 0.88 | Antoranz | 0.92 | Iglesias | 0.80 |
| Pinero | 0.88 | Garcia-Fernandez | 0.92 | Barcia | 0.80 |
| Valdes | 0.86 | Moreno | 0.92 | Vazquez-Castro | 0.64 |
| Garcia-Alberola | 0.86 | Allue | 0.91 | Perez-Fontan | 0.62 |
| Arenal | 0.85 | Desco | 0.91 | | |
| Martinez M | 0.56 | Burwash | 0.86 | | |
| Rojo | 0.51 | Lehmann | 0.86 | | |
| | | Abel | 0.86 | | |
| | | Otto | 0.86 | | |

La figura 8.102 muestra las dos categorías temáticas del primer quinquenio: Ingeniería Eléctrica y Electrónica, y Matemáticas.

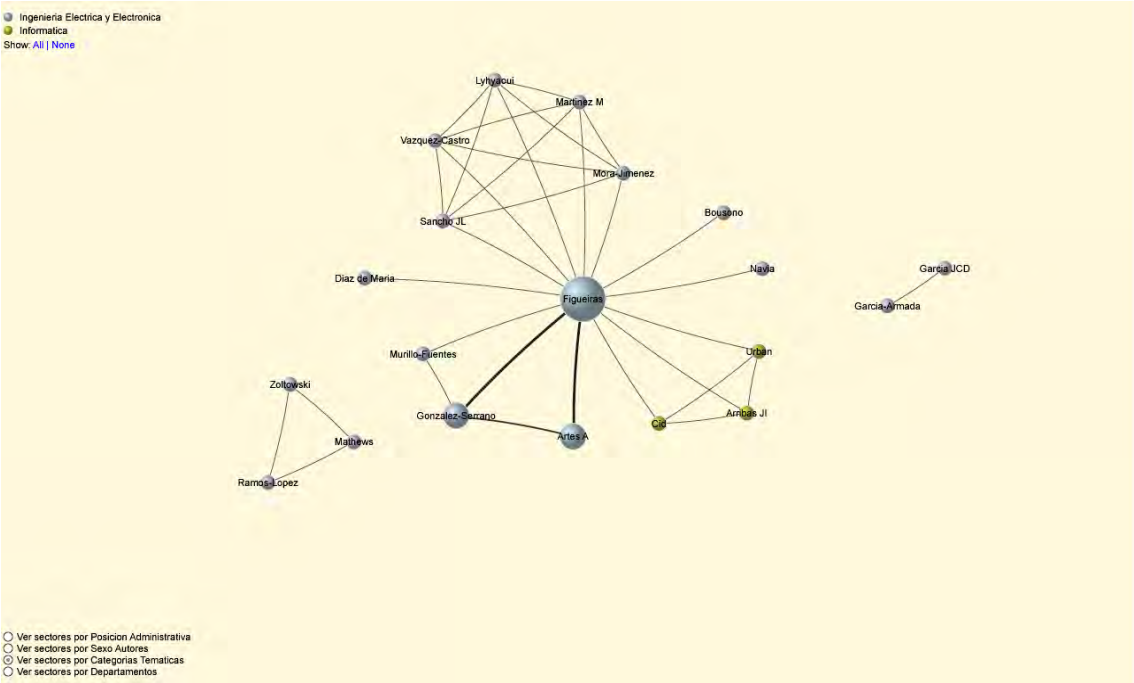



Figura 8.102. Red de coautoría. Análisis temático. Señal (1995-1999)

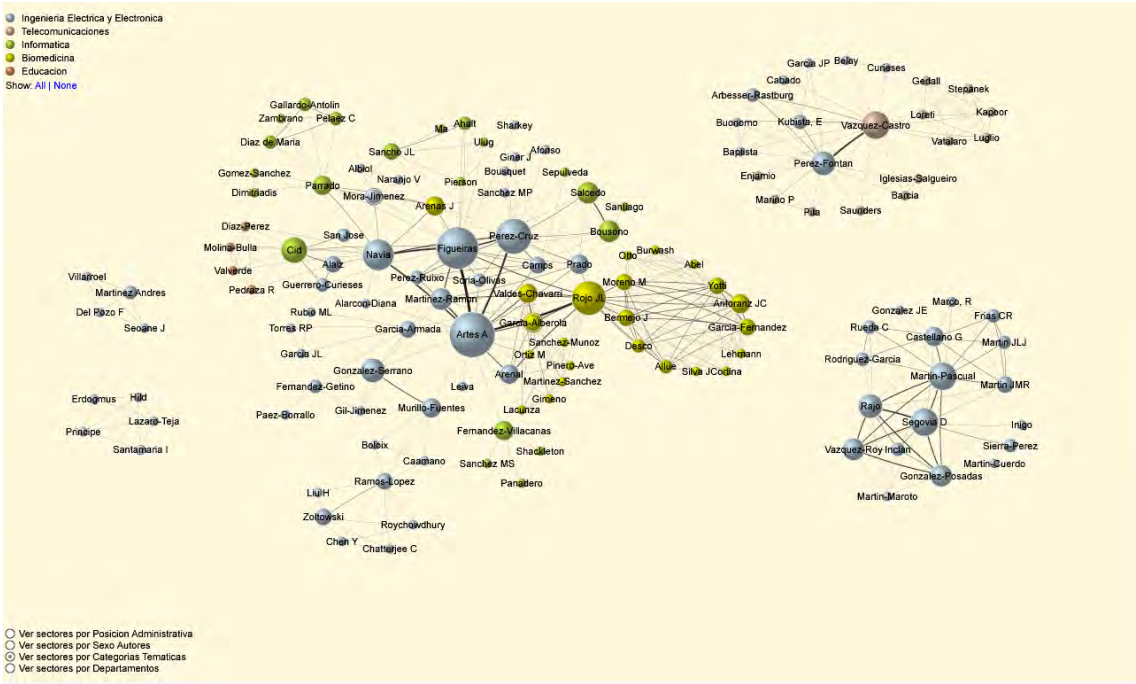



Figura 8.103. Red de coautoría. Análisis temático. Señal (2000-2004)

La figura 8.103 presenta las especialidades del departamento en el segundo período. Las variaciones afectan a la desaparición de Matemáticas, y la aparición de Telecomunicaciones, Biomedicina y Educación. Por otro lado, se aprecia una marcada especialización en Ingeniería Eléctrica. Su predominio en el quinquenio inicial (nodos azules), se acentúa entre 2000 y 2004, si bien el componente principal presenta numerosas agrupaciones en la periferia diferentes de la especialidad prevaleciente.

## 8.10.6. Análisis por Sexo de las Redes de Coautoría.

Tabla 8.40. Aportación masculina y femenina. Señal (1995-2004)

| | | 1995-1999 | | 2000-2004 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Total | % | Total | % |
| Individuos | Hombres | 17 | 89.47 | 32 | 72.73 |
| | Mujeres | 2 | 10.53 | 11 | 25.58 |
| Producción | Hombres | 31 | 93.94 | 160 | 83.77 |
| | Mujeres | 2 | 6.06 | 31 | 16.23 |
| Citas | Hombres | 41 | 95 | 103 | 85.12 |
| | Mujeres | 2 | 5 | 18 | 14.88 |

Para el estudio del comportamiento de los autores del departamento de Teoría de la Señal según su sexo, basado en el recuento de individuos, documentos y citas, la tabla 8.40 muestra el aumento de la representación femenina en las tres facetas analizadas, aunque la distancia entre ambos sexos es mayor en producción y citación, con porcentajes parecidos.

La presencia femenina en el primer quinquenio se reduce a dos autoras, una de ellas aislada del resto de la red principal de colaboración departamental (figura 8.104).

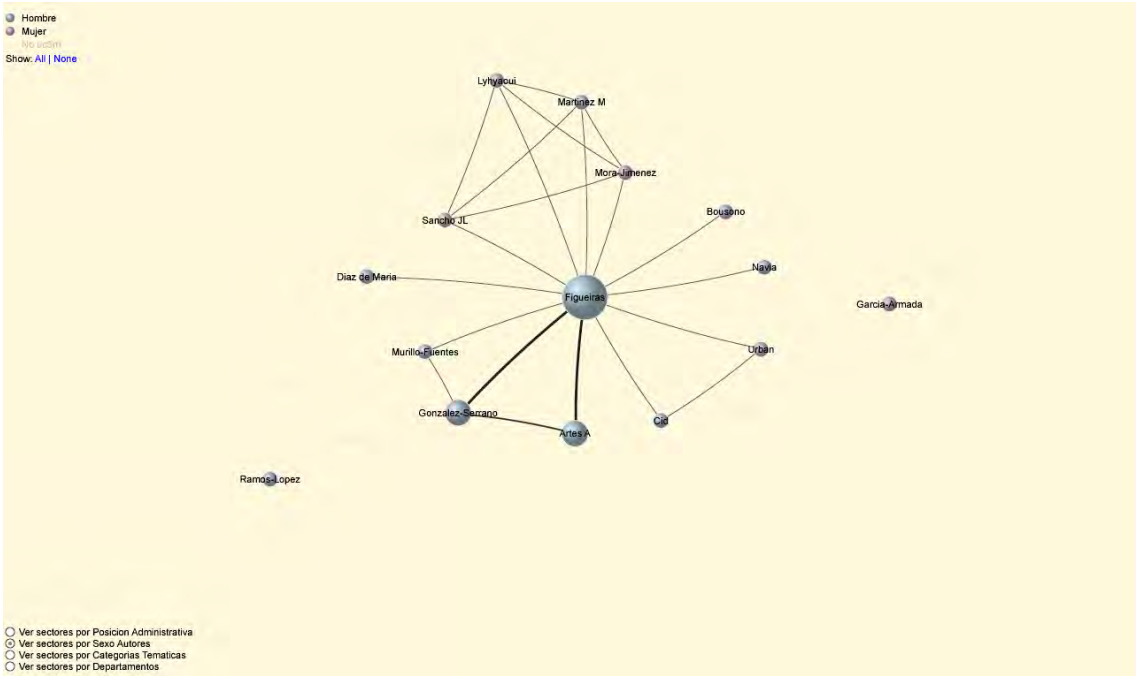



Figura 8.104. Red de coautoría. Análisis por sexo. Señal (1995-1999)

En el período 2000-2004, el aumento del número de mujeres supone también su integración con autores masculinos, aunque ocupando posiciones periféricas en las agrupaciones departamentales (figura 8.105). Las relaciones entre mujeres en las distintas agrupaciones de este segundo período no pasan de la vinculación triádica.

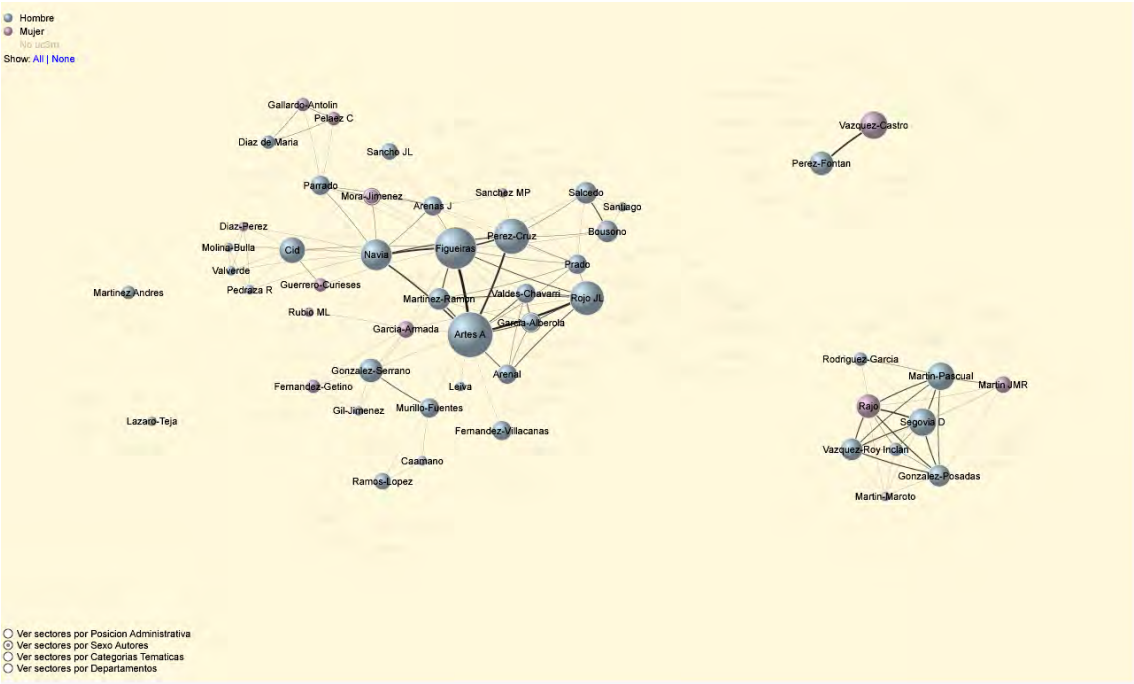



Figura 8.105. Red de coautoría. Análisis por sexo. Señal (2000-2004)

## 8.10.7. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ADMINISTRATIVA DE LAS REDES DE COAUTORÍA.

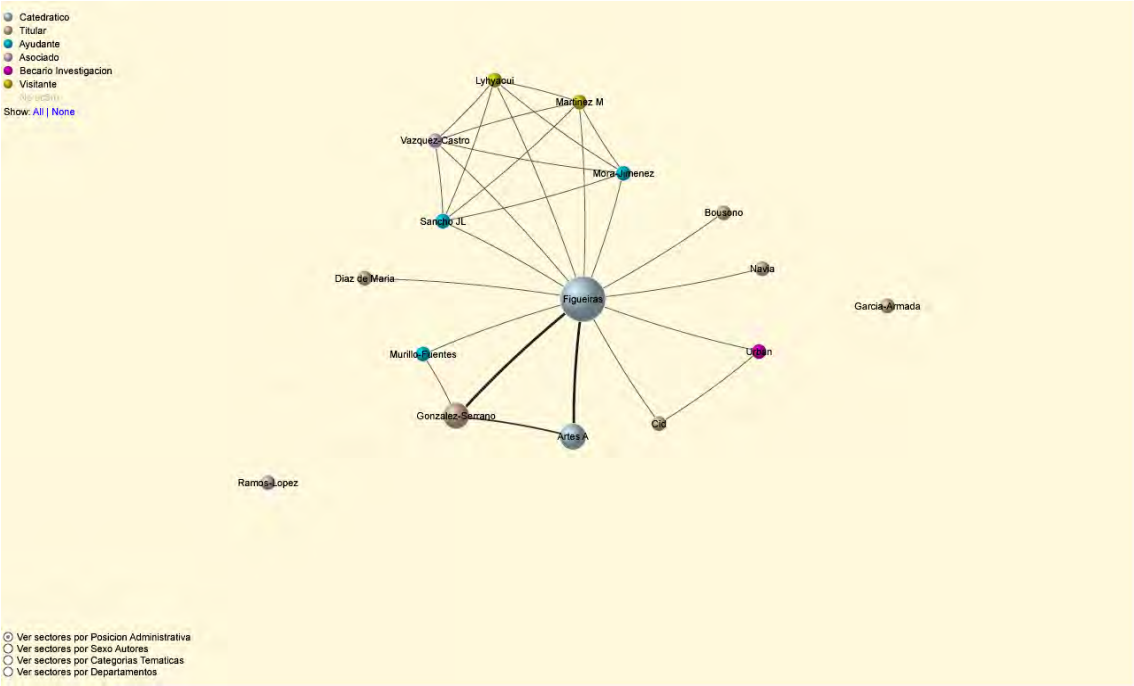



Figura 8.106. Red de coautoría. Relación administrativa. Señal (1995-1999)

Las principales relaciones se dan en torno al Catedrático más veterano. Destaca una agrupación formada por Catedrático-Titular-Catedrático, otras exclusivas

Catedrático-Titular, y otra con personal no permanente (figura 8.106). Se producen, en definitiva, dos tipos de relaciones bien diferenciadas, entre profesores permanentes, y entre profesores no permanentes.

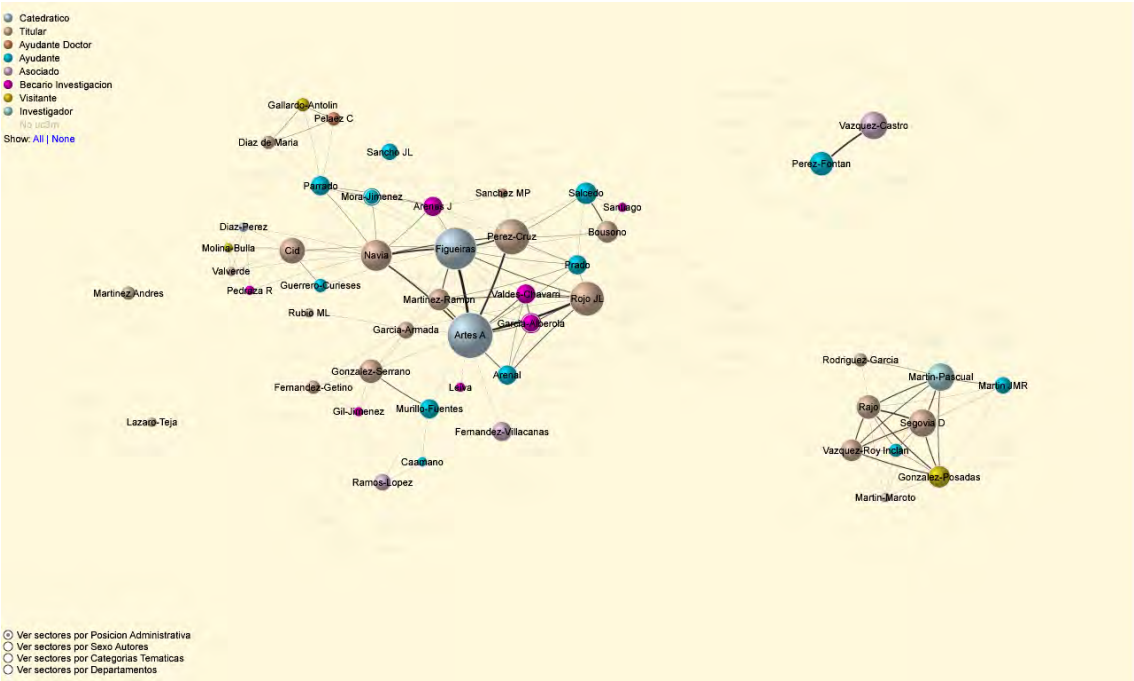



Figura 8.107. Red de coautoría. Relación administrativa. Señal (2000-2004)

La figura 8.107, que presenta las principales relaciones del departamento de Teoría de la Señal entre 2000 y 2004, muestra un aumento del número de figuras administrativas, y de relaciones entre ellas. Se acentúan las estrechas relaciones entre profesores permanentes, Catedrático-Catedrático, Catedrático-Titular y Titular-Titular, alrededor de los cuales se concentra el abanico de personal no permanente. Se aprecia un incremento del número de Ayudantes y de Becarios de Investigación, relacionados tanto con Catedráticos como con Titulares.

### 8.10.8. Evolución y Topología de las Redes de Coautoría.

La tabla 8.41 presenta la evolución y crecimiento de la red de coautoría del departamento de Teoría de la Señal. El número de nodos aumenta casi un 300% en el segundo lustro, y el número de componentes se reduce de siete a cinco.

Tabla 8.41. Valores generales de las redes de Señal

| Indicadores | 1995-1999 | 2000-2004 |
|---|---|---|
| Número nodos | 20 | 137 |
| Densidad | 0.10 | 0.04 |
| Grado | 0.32 | 0.15 |
| Intermediación | 0.13 | 0.15 |
| Coeficiente agrupamiento | 0.17 | 0.07 |
| Número componentes | 3 | 5 |
| Tamaño componente principal | 15 | 88 |
| Tamaño componente principal (%) | 75 | 64.23 |
| Tamaño segundo componente | 3 | 23 |
| Tamaño segundo componente (%) | 15 | 16.79 |
| Ndoc col | 15 | 86 |
| Ndoc (% respecto UC3M) | 2.66 | 6.87 |
| Citas | 8 | 24 |
| Citas (% respecto UC3M) | 2.09 | 5.43 |

El espectacular aumento de nodos contrasta con el descenso de la densidad (del 10 al 4%) y del coeficiente de agrupamiento, revelando la incorporación de gran cantidad de nodos, pero con pocos vínculos con el resto de actores, como también corroboran el aumento del número de componentes, y la disminución del tamaño del componente principal que pasa del 75% al 64.23%.

La consolidación de la estructura de red en el departamento de Teoría de la Señal afecta favorablemente a la evolución de sus indicadores bibliométricos, consiguiendo un aumento del 4.2% en producción en colaboración relativa a la UC3M, y del 3.34% en el impacto observado respecto del total institucional.

Así, la estructura del departamento de Teoría de la Señal mantiene la topología de red a pesar del ligero descenso del tamaño del componente principal y el aumento del tamaño del segundo componente. Esa tendencia hacia la consecución de la estructura de red como forma de colaboración, refrendada por el aumento de la intermediación y la reducción de la centralización de grado, supone la mejora de la representatividad del departamento en el seno de la UC3M, tanto en número de documentos, como en impacto observado.

### 8.10.9. POPULARIDAD Y PRESTIGIO.

Tabla 8.42. Popularidad y prestigio. Señal (1995-2004)

| 1995-1999 (miembros del departamento) | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Orden** | **Nombre** | **Puesto** | **Ndoc col** | **Citas** | **FITN** | **Grado** | **Intermediación** | **Coef Cluster** | **Popularidad** | **Prestigio** |
| 1 | Figueiras | Catedrático | 9 | 14 | 1.21 | 0.40 | 0.1269 | 1 | 9 | 14 |
| 2 | Artes A | Catedrático | 3 | 4 | 1.23 | 0.06 | 0 | 0.01 | 0.02 | 0.02 |
| 3 | González-Serrano | Titular | 3 | 4 | 1.34 | 0.09 | 0.0008 | 0.02 | 0.05 | 0.07 |
| 8 | García-Armada | Titular | 1 | 0 | 0.89 | 0.03 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | Sancho JL | Ayudante | 1 | 2 | 1.50 | 0.14 | 0 | 0.15 | 0.15 | 0.30 |
| 11 | Ramos-López | Asociado | 1 | 0 | 0 | 0.06 | 0 | 0.14 | 0.14 | 0 |
| 12 | Navia | Titular | 1 | 0 | 0 | 0.03 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 13 | Cid | Titular | 1 | 8 | 1.50 | 0.09 | 0 | 0.02 | 0.02 | 0.20 |
| 14 | Díaz de Maria | Titular | 1 | 0 | 0.93 | 0.03 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | Martínez-Neira | Titular | 1 | 2 | 1.50 | 0.14 | 0 | 0.15 | 0.15 | 0.30 |
| 26 | Jiménez-Martín | Becario Investigación | 1 | 1 | 1.39 | 0.06 | 0 | 0.14 | 0.14 | 0.14 |
| **2000-2004 (más de 4 documentos)** | | | | | | | | | | |
| **Orden** | **Nombre** | **Puesto** | **Ndoc col** | **Citas** | **FITN** | **Grado** | **Intermediación** | **Coef Cluster** | **Popularidad** | **Prestigio** |
| 1 | Artes A | Catedrático | 21 | 19 | 1.03 | 0.18 | 0.1535 | 0.26 | 5.36 | 4.85 |
| 2 | Figueiras | Catedrático | 18 | 16 | 1.17 | 0.18 | 0.1554 | 0.23 | 4.06 | 3.61 |
| 3 | Perez-Cruz | Titular | 13 | 17 | 1.10 | 0.12 | 0.0391 | 0.14 | 1.77 | 2.32 |
| 4 | Rojo JL | Titular | 12 | 4 | 1.10 | 0.20 | 0.1135 | 0.56 | 6.73 | 2.24 |
| 5 | Navia | Titular | 10 | 16 | 1.13 | 0.10 | 0.0478 | 0.08 | 0.77 | 1.23 |
| 6 | Vázquez-Castro | Asociado | 8 | 7 | 1.21 | 0.15 | 0.0154 | 0.78 | 6.22 | 5.44 |
| 7 | Segovia D | Titular | 8 | 3 | 0.86 | 0.10 | 0.0054 | 0.31 | 2.51 | 0.94 |
| 8 | Martín-Pascual | Investigador | 8 | 3 | 0.83 | 0.10 | 0.0028 | 0.38 | 3.01 | 1.13 |
| 9 | Cid | No UC3M | 7 | 9 | 0.97 | 0.07 | 0.0161 | 0.06 | 0.42 | 0.54 |
| 10 | Pérez-Fontán | Titular | 6 | 6 | 1.27 | 0.10 | 0.0028 | 0.25 | 1.47 | 1.47 |
| 11 | González-Serrano | Titular | 6 | 1 | 1.19 | 0.04 | 0.0093 | 0.02 | 0.09 | 0.02 |
| 12 | Rajo | Titular | 6 | 3 | 0.82 | 0.07 | 0.0007 | 0.21 | 1.27 | 0.63 |
| 13 | Martínez-Ramón | Titular | 5 | 0 | 0.96 | 0.07 | 0.0064 | 0.03 | 0.15 | 0 |
| 14 | Vázquez-Roy | No UC3M | 5 | 3 | 0.82 | 0.05 | 0.0001 | 0.09 | 0.45 | 0.27 |
| 15 | Bousono | Titular | 5 | 1 | 1.01 | 0.05 | 0.0057 | 0.04 | 0.19 | 0.04 |
| 16 | González-Posadas | No UC3M | 5 | 3 | 0.82 | 0.05 | 0.0001 | 0.09 | 0.45 | 0.27 |
| 17 | Salcedo | Visitante | 5 | 1 | 1.01 | 0.05 | 0.0057 | 0.04 | 0.19 | 0.04 |
| | | | | 1º valor | 2º valor | 3º valor | | | | |

En el primer período el valor más alto de popularidad y prestigio corresponde al autor con mayor número de coautorías, mayor número de citas y mayor coeficiente de agrupamiento. El segundo valor de popularidad y prestigio recae en los autores con el segundo mejor coeficiente de agrupamiento. El tercer valor de popularidad y prestigio es para el autor con segundo valor en número de citas.

Las posiciones son menos estables en el segundo período. El primer valor de popularidad es para el autor con mejor coeficiente de agrupamiento, cuarto valor en coautorías y séptimo en número de citas. El segundo valor de popularidad y primero de prestigio corresponde al autor con mayor coeficiente de agrupamiento

sexto valor en producción en colaboración, quinto en número de citas. El segundo valor de prestigio y tercero de popularidad recae en el autor con el mayor número de colaboraciones y número de citas, y quinto mayor coeficiente de agrupamiento. El tercero en prestigio tiene el segundo valor en coautorías, segundo en citación y séptimo mejor coeficiente de agrupamiento (tabla 8.42).

## 8.11. DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA ELECTRÓNICA.

### 8.11.1. DATOS GENERALES DE COLABORACIÓN.

De los nueve departamentos analizados, el de Tecnología Electrónica es el que presenta la producción con visibilidad internacional más reciente, desde 1997. La evolución de la de producción absoluta presenta una línea con ascenso moderado y constante (figura 8.108).

El análisis de los hábitos de colaboración, presenta una línea de colaboración departamental prácticamente paralela a la de producción absoluta, salvo un descenso en 2001. La colaboración nacional presenta crecimiento sólo al final del período. La colaboración internacional muestra un patrón más irregular, con períodos de estabilidad, al principio, y de crecimientos y descensos acusados, al final. La producción de trabajos en solitario, es poco constante en el tiempo y muy reducida en número.

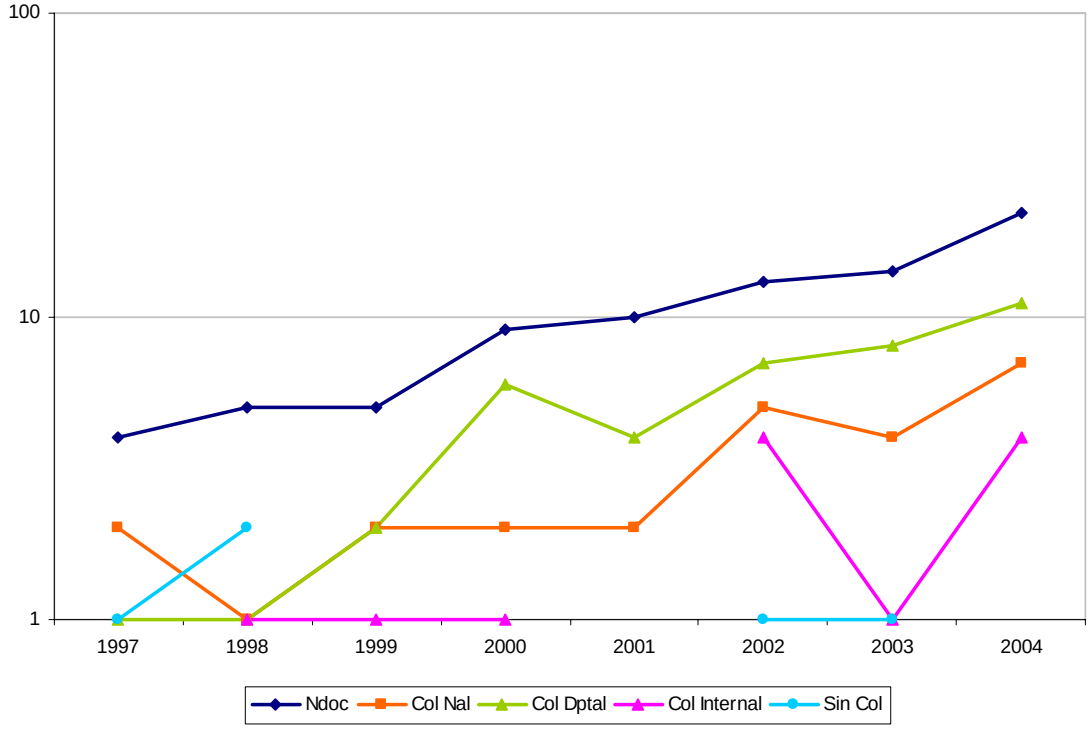



Figura 8.108. Evolución de la producción por tipos de colaboración. Electrónica

La figura 8.109 muestra la evolución de la producción en valores porcentuales. El trazado que siguen la colaboración nacional y la internacional es muy similar en su desarrollo, como también lo es con la departamental, aunque con esta última no coincidente siempre en el tiempo. Los ascensos y descensos de la colaboración nacional e internacional siguen patrones similares, aunque con distinto nivel de oscilación, menor en el caso de la primera, y especialmente al final del período (30.49% de media para nacional y 14.63% para internacional). La colaboración departamental también presenta ondas menos intensas en los últimos años del período, convirtiéndose en el tipo de colaboración predilecto de los profesores de Tecnología Electrónica (48.78%). La producción intermitente de trabajos sin colaboración representa el 6.1% de los trabajos del período.

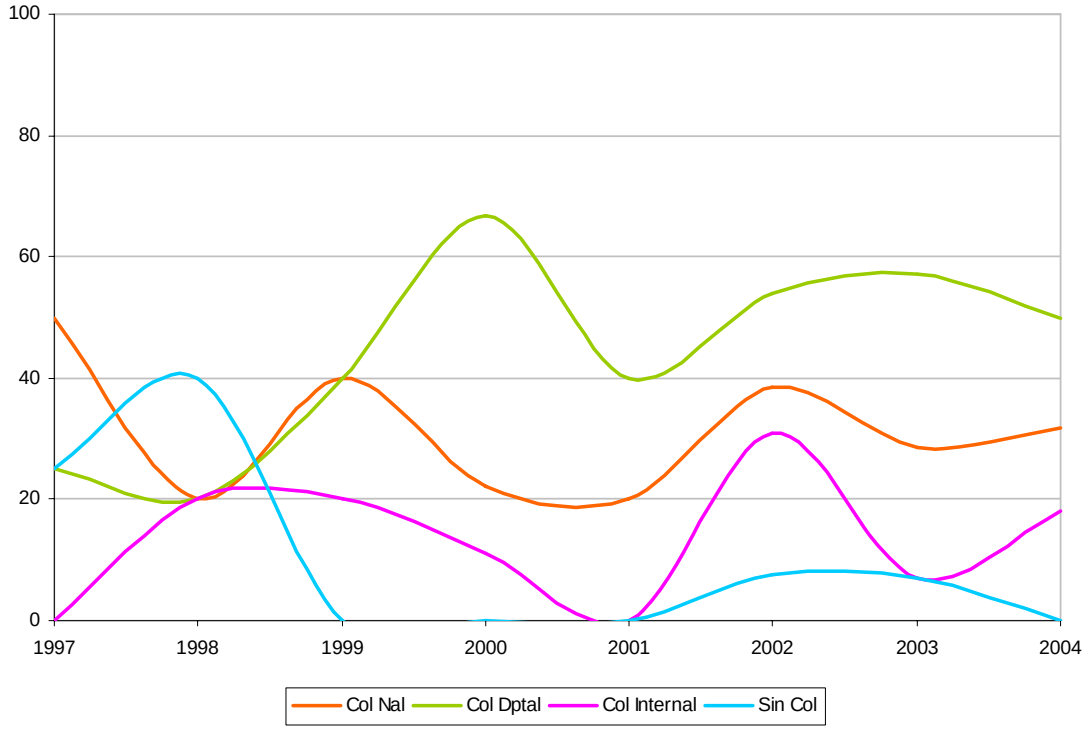



Figura 8.109. Evolución de la producción por tipos de colaboración en %. Electrónica

### 8.11.2. COLABORACIÓN INTERNACIONAL.

La figura 8.110 representa la red heliocéntrica de las relaciones internacionales de colaboración del departamento de Tecnología Electrónica. En cuanto al volumen de colaboración con los seis países con los que comparten autorías sus profesores, la lista ordenada de forma descendente muestra a Estados Unidos, Alemania, Polonia, Austria, Escocia y Bélgica.

Desde la perspectiva del impacto logrado con cada uno de los países colaboradores, obtiene visibilidades superiores a la media institucional y departamental (1.07) con Alemania, Estados Unidos y Austria. Escocia, Bélgica y Polonia obtienen impactos esperados muy alejados de los valores medios.

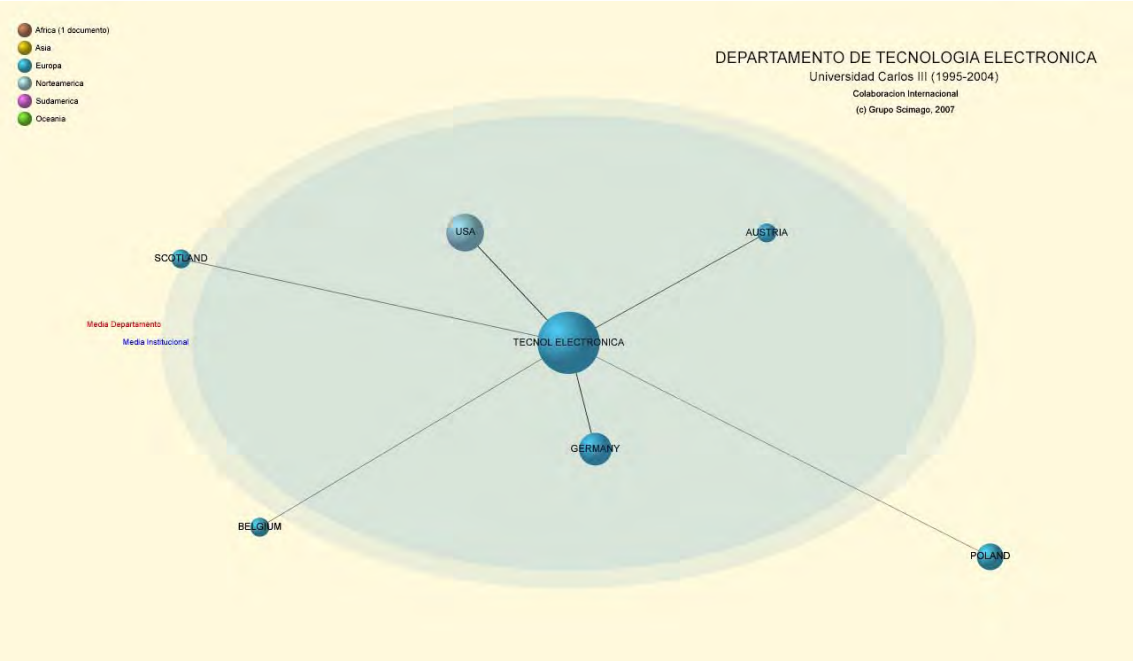



Figura 8.110. Heliocéntrico de colaboración internacional. Electrónica (1995-2004)

## 8.11.3. COLABORACIÓN NACIONAL.

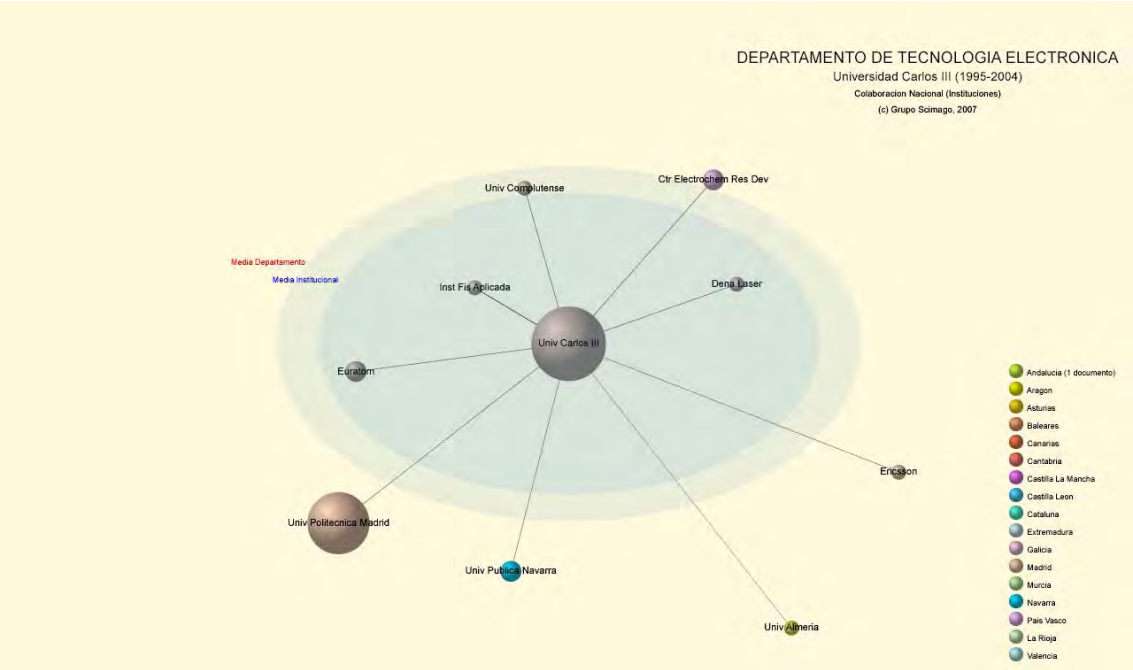



Figura 8.111. Heliocéntrico de colaboración nacional. Electrónica (1995-2004)

La figura 8.111 presenta la red heliocéntrica para el análisis del alcance de la colaboración de Tecnología Electrónica con instituciones nacionales. Desde el

punto de vista de la producción absoluta, destacan los trabajos en coautoría con la Universidad Politécnica de Madrid. Sensiblemente inferiores en número son los realizados con EURATOM, la Universidad Pública de Navarra y el CIDETEC. De las 9 instituciones representadas en las colaboraciones nacionales del departamento, el 66.6% son madrileñas, revelando la influencia de la proximidad geográfica en su colaboración.

Por lo que respecta al impacto esperado, cuatro son las instituciones que superan el promedio institucional y departamental: el Instituto de Física Aplicada, EURATOM, la empresa Dena Láser y la Universidad Complutense. Destaca el caso de la Universidad Politécnica de Madrid, en la que contrasta la elevada producción en colaboración con el bajo impacto esperado que logran esos trabajos (0.88).

### 8.11.4. COLABORACIÓN INSTITUCIONAL A PARTIR DE REDES DE COAUTORÍA.

La red de coautores del departamento de Tecnología Electrónica en el primer quinquenio (figura 8.112), muestra las relaciones de colaboración con diversos departamentos de la Universidad. El color de cada uno de ellos se corresponde con la leyenda de la esquina superior izquierda. Para obtener una visualización más clara, se han ocultado los autores no pertenecientes a la UC3M.

La colaboración departamental se reduce a díadas y tríadas independientes unas de otras. La colaboración interdepartamental se reduce a trabajos firmados con miembros del departamento de Matemáticas.

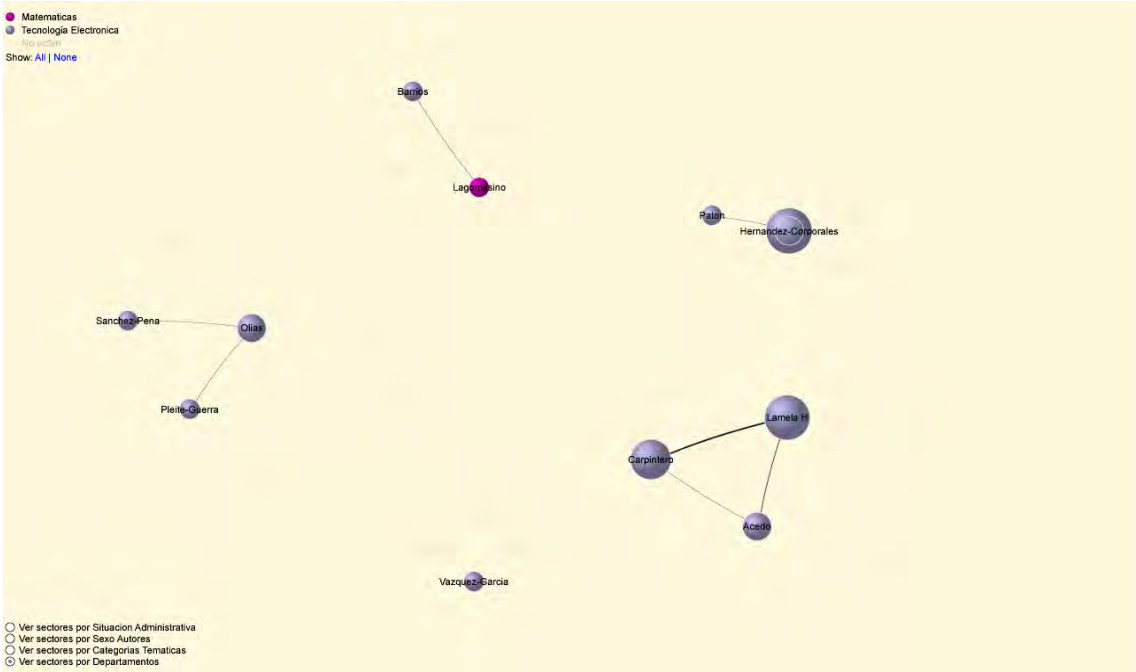



Figura 8.112. Red de coautoría. Colaboración departamental. Electrónica (1995-1999)

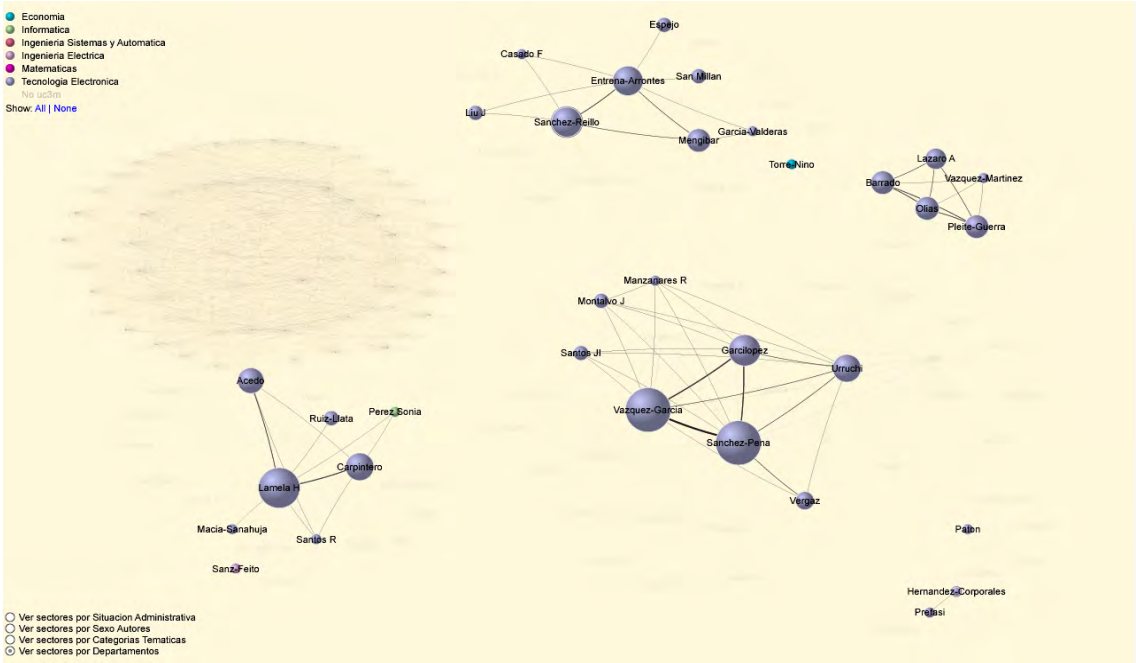



Figura 8.113. Red de coautoría. Colaboración departamental. Electrónica (2000-2004)

La red de autores en el segundo período (figura 8.113), presenta cambios en el mapa, no tanto en cuanto a la topología de la red, pero sí al aumento de nodos, como al incremento de relaciones interdepartamentales. Surgen nuevas relaciones con los departamentos de Economía, Informática, Ingeniería de Sistemas y

Automática e Ingeniería Eléctrica, además de los ya existentes con Matemáticas. La colaboración departamental preserva su forma de trabajo en componentes aislados, pero capaces de aglutinar a un buen número de profesores.

### 8.11.5. ANÁLISIS TEMÁTICO DE LAS REDES DE COAUTORÍA.

Tabla 8.43. Eigenvalues. Electrónica (1995-2004)

| Factor | Eigenvalue | % Varianza | % Acum | Ratio | Factor | Eigenvalue | % Varianza | % Acum | Ratio |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 4.83 | 18.60 | 18.60 | 1.23 | 1 | 59.81 | 39.60 | 39.60 | 4.78 |
| 2 | 3.94 | 15.10 | 33.70 | 1.16 | 2 | 12.51 | 8.30 | 47.90 | 1.42 |
| 3 | 3.39 | 13.00 | 46.80 | 1.22 | 3 | 8.81 | 5.80 | 53.70 | 1.35 |
| 4 | 2.79 | 10.70 | 57.50 | 1.43 | 4 | 6.54 | 4.30 | 58.10 | 1.14 |
| 5 | 1.95 | 7.50 | 65.00 | 1.52 | 5 | 5.73 | 3.80 | 61.90 | 1.11 |
| 6 | 1.29 | 4.90 | 69.90 | 1.16 | 6 | 5.15 | 3.40 | 65.30 | 1.06 |
| 7 | 1.11 | 4.30 | 74.20 | 1.39 | 7 | 4.88 | 3.20 | 68.50 | 1.21 |
| | | | | | 8 | 4.03 | 2.70 | 71.20 | 1.19 |
| | | | | | 9 | 3.39 | 2.20 | 73.40 | 1.33 |
| | | | | | 10 | 2.55 | 1.70 | 75.10 | 1.04 |
| | | | | | 11 | 2.44 | 1.60 | 76.70 | 1.08 |
| | | | | | 12 | 2.27 | 1.50 | 78.20 | 1.06 |
| | | | | | 13 | 2.15 | 1.40 | 79.60 | 1.10 |
| | | | | | 14 | 1.96 | 1.30 | 80.90 | 1.12 |
| | | | | | 15 | 1.75 | 1.20 | 82.10 | 1.13 |
| | | | | | 16 | 1.54 | 1.00 | 83.10 | 1.10 |
| | | | | | 17 | 1.40 | 0.90 | 84.00 | 1.17 |
| | | | | | 18 | 1.20 | 0.80 | 84.80 | 1.13 |
| | | | | | 19 | 1.06 | 0.70 | 85.50 | 1.20 |

Los factores con eigenvalues mayores o iguales a 1 del departamento de Tecnología Electrónica se encuentran recogidos en la tabla 8.43. Los 7 factores resultantes en el primer período explican el 74.2% de la varianza de la muestra, mientras que los 19 del segundo, explican el 85.5%.

Tabla 8.44. Muestra de factores con valor ≥ 0.5. Electrónica (2000-2004)

| Factor | 1 | Factor | 2 | Factor | 3 |
|---|---|---|---|---|---|
| Asensi | 0.85 | Carpintero | 0.91 | Barrios | 0.81 |
| Cobos | 0.85 | Irby | 0.80 | Torrano | 0.81 |
| Pleite | 0.85 | Murray | 0.80 | Lagomasino | 0.81 |
| Prieto R | 0.85 | Acedo | 0.77 | Martínez-Finkelshtein | 0.81 |
| Olías | 0.56 | Mancebo | 0.55 | | |

El orden decreciente de los autores de cada uno de esos factores, en función de la carga factorial obtenida, permitirá su caracterización a través de la asignación de

categorías temáticas según las referencias bibliográficas utilizadas por cada autor (tabla 8.44).

La figura 8.114 muestra las cinco categorías temáticas del primer quinquenio: Ingeniería Eléctrica, Física Aplicada, Matemáticas, Óptica y Telecomunicaciones.

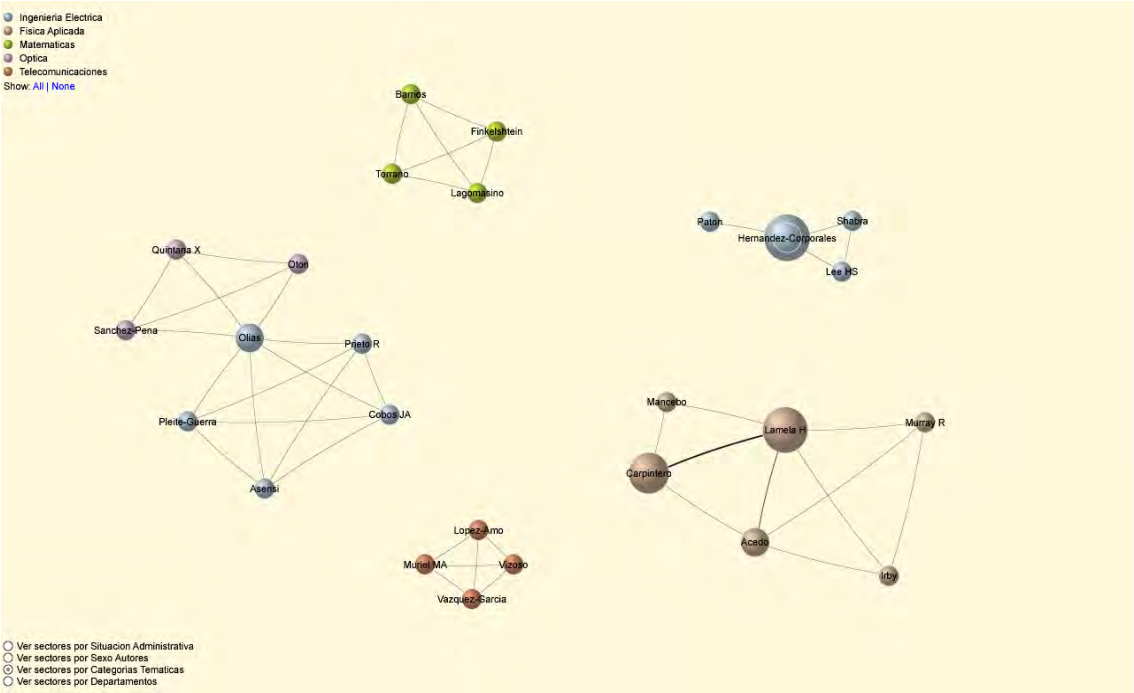



Figura 8.114. Red de coautoría. Análisis temático. Electrónica (1995-1999)

La figura 8.115 presenta las especialidades del departamento en el segundo período. Las variaciones suponen la desaparición de Telecomunicaciones, la sustitución de la Física Aplicada por Física de Fluidos, y la aparición de Ingeniería Aeroespacial, Robótica e Informática. Por otro lado, se aprecia una marcada especialización en Óptica. Aunque muy reducida en el quinquenio inicial (nodos rosas), aumentan tanto el número de coautores como de trabajos en esta especialidad entre 2000 y 2004.

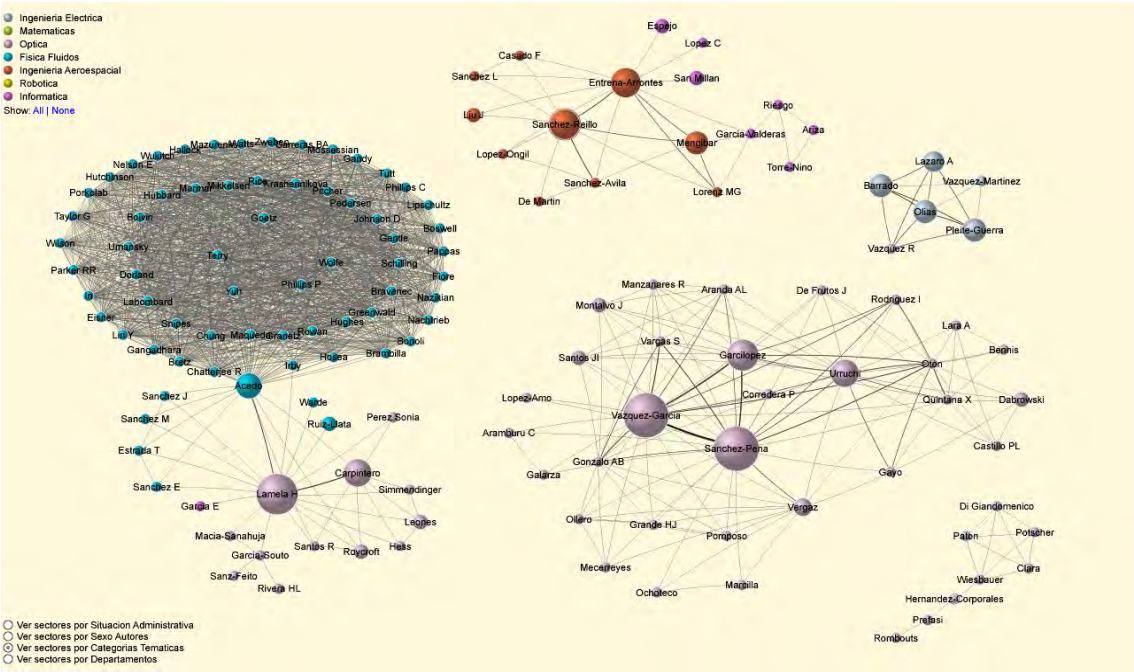



Figura 8.115. Red de coautoría. Análisis temático. Electrónica (2000-2004)

## 8.11.6. ANÁLISIS POR SEXO DE LAS REDES DE COAUTORÍA.

Tabla 8.45. Aportación masculina y femenina. Electrónica (1995-2004)

| | | 1995-1999 | | 2000-2004 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Total | % | Total | % |
| Individuos | Hombres | 9 | 81.82 | 32 | 82.05 |
| | Mujeres | 2 | 18.18 | 7 | 17.95 |
| Producción | Hombres | 22 | 91.67 | 124 | 75.61 |
| | Mujeres | 2 | 8.33 | 40 | 24.39 |
| Citas | Hombres | 33 | 97.06 | 43 | 71.67 |
| | Mujeres | 1 | 2.94 | 17 | 28.33 |

Para el estudio del comportamiento de los autores del departamento de Tecnología Electrónica según su sexo, basado en el recuento de individuos, documentos y citas, la tabla 8.45 muestra el aumento de la representación femenina en producción y citación, aunque permanece constante en número de individuos.

La presencia femenina en el primer quinquenio se reduce a dos autoras, una de ellas aislada de cualquier otro compañero de departamento (figura 8.116).

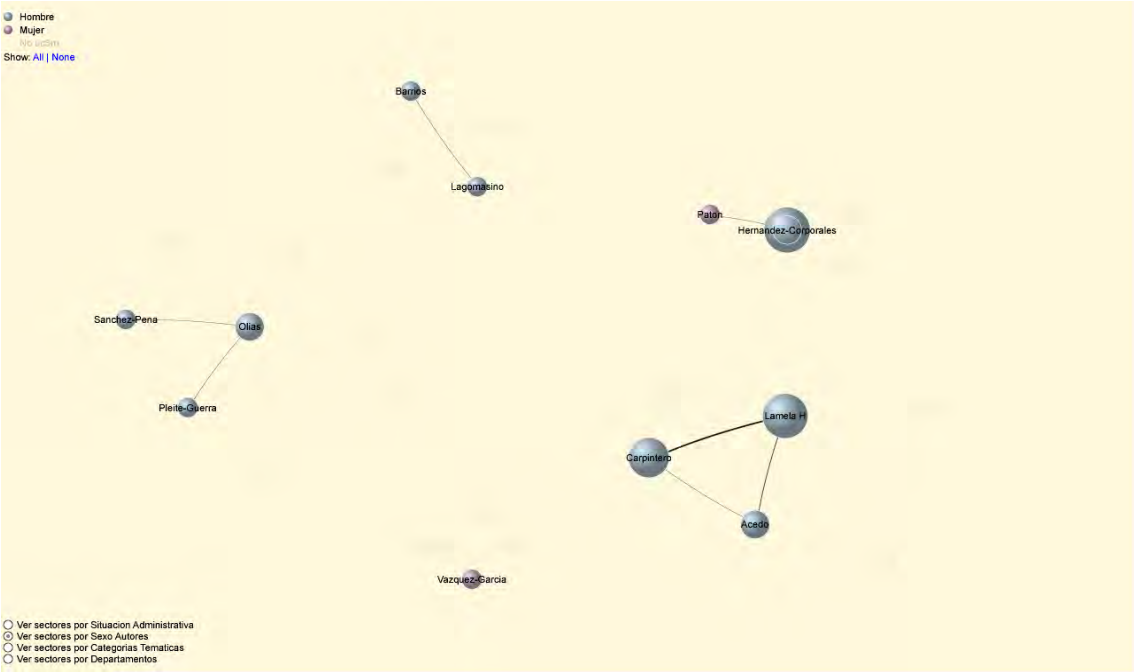



Figura 8.116. Red de coautoría. Análisis por sexo. Electrónica (1995-1999)

En el período 2000-2004, el aumento del número de mujeres supone también su integración con autores masculinos, y un equilibrio entre las que poseen posiciones centrales y las que se posicionan en zonas periféricas (figura 8.117). En cualquier caso, la única relación directa entre mujeres no pasa de la vinculación triádica.

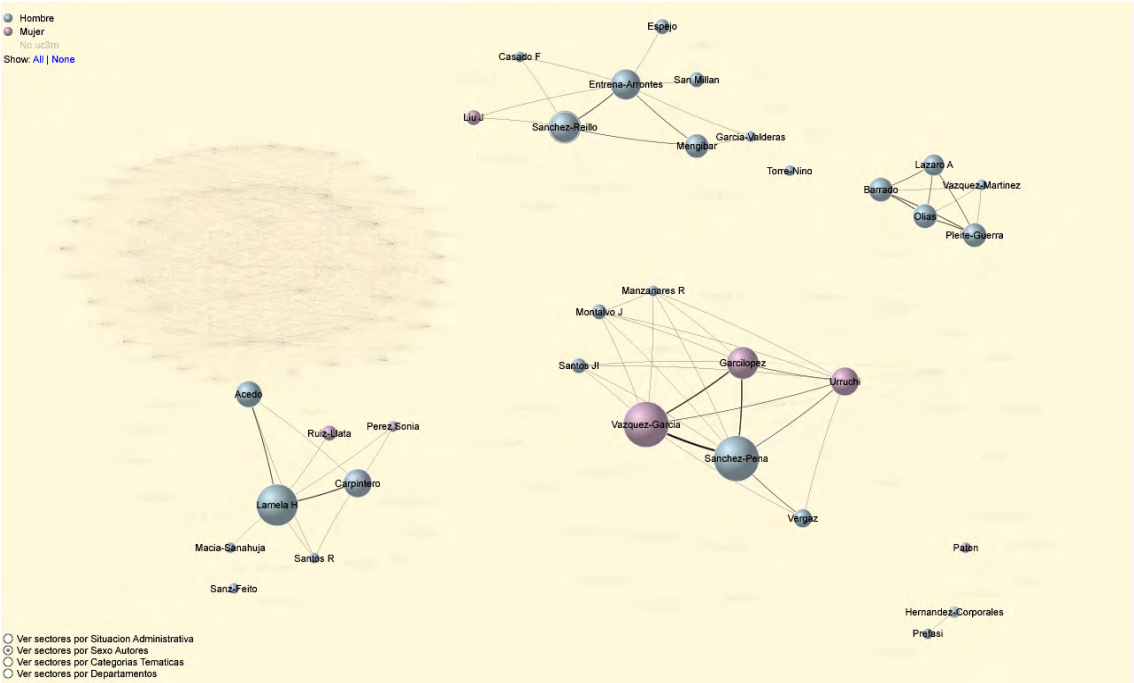



Figura 8.117. Red de coautoría. Análisis por sexo. Electrónica (2000-2004)

## 8.11.7. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ADMINISTRATIVA DE LAS REDES DE COAUTORÍA.

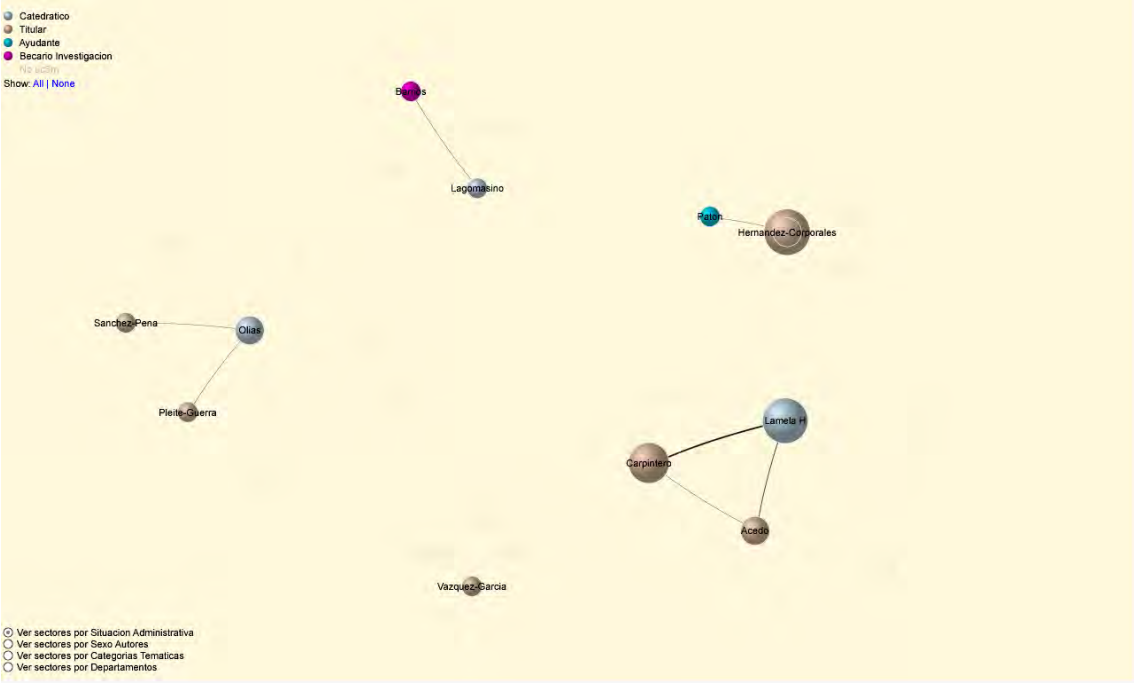



Figura 8.118. Red de coautoría. Relación administrativa. Electrónica (1995-1999)

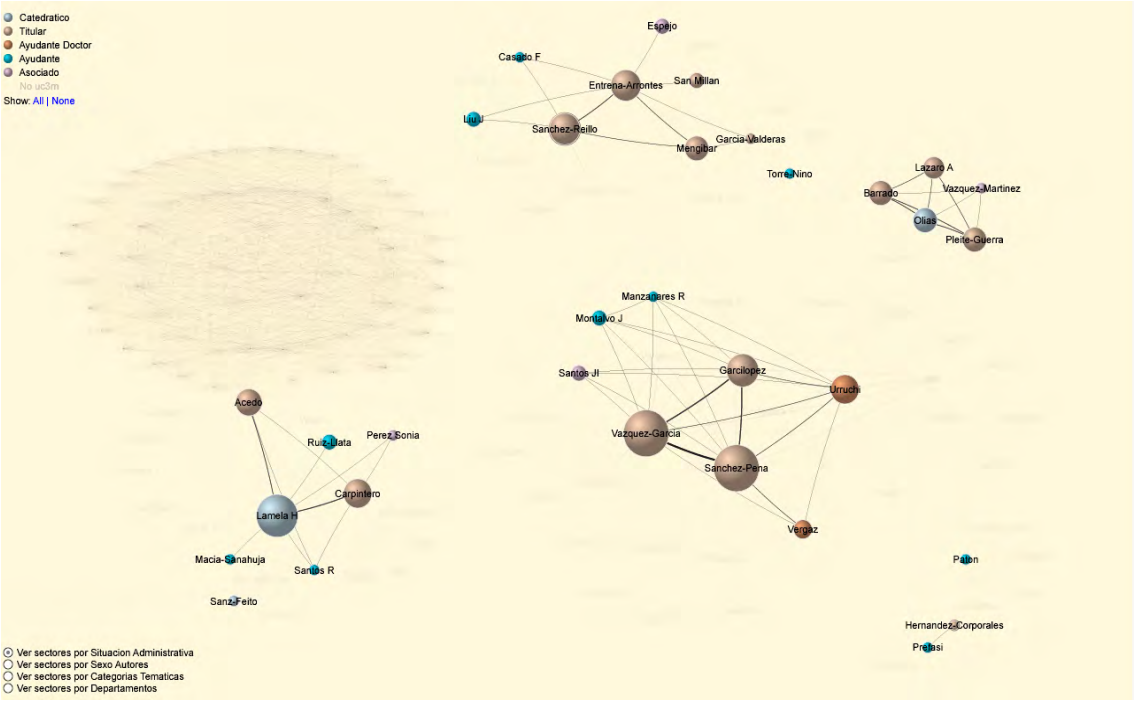



Figura 8.119. Red de coautoría. Relación administrativa. Electrónica (2000-2004)

Las principales relaciones, según la situación administrativa de los autores de la red del departamento de Tecnología Electrónica en el primer quinquenio son Catedrático-Titular y Titular-Titular. El resto de figuras se reducen a un Ayudante, y un Becario de Investigación (figura 8.118). Predominan, por tanto, las relaciones entre profesores permanentes, que son los que conforman el núcleo principal del departamento, flanqueados por personal investigador en formación.

La figura 8.119, por su parte, presenta las principales relaciones del departamento de Tecnología Electrónica entre 2000 y 2004. Se aprecia un aumento del número de figuras administrativas, con la incorporación de Ayudantes Doctores y profesores Asociados, y de relaciones entre ellas. Continúan las estrechas relaciones entre profesores permanentes, Catedrático-Titular y Titular-Titular, alrededor de los cuales se concentra el abanico de personal no permanente, fundamentalmente profesores Ayudantes. Asimismo, destaca la ausencia de colaboración entre Catedráticos, y su reducida aportación a la producción del departamento.

### 8.11.8. EVOLUCIÓN Y TOPOLOGÍA DE LAS REDES DE COAUTORÍA.

La tabla 8.46 presenta la evolución y crecimiento de la red de coautoría del departamento de Teoría de la Señal. El número de nodos aumenta casi un 300% en el segundo lustro, y el número de componentes se reduce de siete a cinco.

Tabla 8.46. Valores generales de las redes de Electrónica

| Indicadores | 1995-1999 | 2000-2004 |
|---|---|---|
| Número nodos | 26 | 151 |
| Densidad | 0.13 | 0.16 |
| Grado | 0.16 | 0.29 |
| Intermediación | 0.04 | 0.09 |
| Coeficiente agrupamiento | 0.32 | 0.30 |
| Número componentes | 5 | 7 |
| Tamaño componente principal | 8 | 79 |
| Tamaño componente principal (%) | 30.77 | 52.32 |
| Tamaño segundo componente | 6 | 30 |
| Tamaño segundo componente (%) | 23.08 | 19.87 |
| Ndoc col | 11 | 66 |
| Ndoc (% respecto UC3M) | 1.95 | 5.27 |
| Citas | 7 | 19 |
| Citas (% respecto UC3M) | 1.83 | 4.30 |

El departamento de Tecnología Electrónica presenta aumentos más o menos significativos en todos los indicadores analizados (el número de autores lo hace en casi un 500%), salvo la leve disminución del coeficiente de agrupamiento y del tamaño del segundo componente.

Los aumentos en el número de autores y la densidad de la red, revelan la incorporación de gran cantidad de nodos con un importante incremento de la vinculación entre sí, y con el resto de los ya existentes. Por otro lado, el aumento de la intermediación se corresponde con el aumento del tamaño de los componentes, especialmente del principal que pasa del 30.77% al 52.32%, a pesar del aumento del número de agrupaciones (de cinco a siete).

La pequeña caída del coeficiente de agrupamiento, señala una estructura de relaciones menos distribuidas que en el período inicial.

La mejora de los indicadores de red en el departamento de Tecnología Electrónica afectan favorablemente a la evolución de sus indicadores bibliométricos, consiguiendo un aumento del 3.32% en producción en colaboración relativa a la UC3M, y del 2.5% en el impacto observado respecto del total institucional.

Así, la estructura del departamento de Tecnología Electrónica, evoluciona hacia la topología de red como muestra el aumento de más del 20% del componente principal y la reducción del segundo componente, a pesar del aumento del número de agrupaciones. Esa tendencia hacia la consolidación de la estructura de red como forma de colaboración, ha supuesto la mejora de la representatividad del departamento en el seno de la UC3M, tanto en producción, como en visibilidad observada.

### 8.11.9. POPULARIDAD Y PRESTIGIO.

Tabla 8.47. Popularidad y prestigio. Electrónica (1995-2004)

| 1995-1999 (miembreos del departamento) | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Orden** | **Nombre** | **Puesto** | **Ndoc col** | **Citas** | **FITN** | **Grado** | **Intermediación** | **Coef Cluster** | **Popularidad** | **Prestigio** |
| 1 | Lamela H | Catedrático | 5 | 13 | 1.61 | 0.20 | 0.012 | 0.71 | 3.57 | 9.29 |
| 2 | Carpintero | Titular | 4 | 13 | 1.66 | 0.12 | 0.002 | 0.12 | 0.49 | 1.59 |
| 3 | Hdez-Corporales | Titular | 2 | 0 | 1.27 | 0.12 | 0.007 | 0.43 | 0.86 | 0 |
| 4 | Acedo | Titular | 2 | 4 | 1.62 | 0.16 | 0.003 | 0.38 | 0.76 | 1.52 |
| 5 | Olías | Catedrático | 2 | 2 | 0.90 | 0.28 | 0.04 | 1 | 2 | 2 |
| 7 | Patón | Ayudante | 1 | 0 | 1.18 | 0.04 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | Barrios | Becario Invest | 1 | 0 | 0.62 | 0.12 | 0 | 0.43 | 0.43 | 0 |
| 9 | Sánchez-Pena | Titular | 1 | 1 | 0.66 | 0.12 | 0 | 0.10 | 0.10 | 0.10 |
| 10 | Vázquez-García | Titular | 1 | 1 | 1.34 | 0.12 | 0 | 0.43 | 0.43 | 0.43 |
| 11 | Pleite-Guerra | Titular | 1 | 0 | 1.14 | 0.16 | 0 | 0.29 | 0.29 | 0 |
| 12 | Lagomasino | Catedrático | 1 | 0 | 0.62 | 0.12 | 0 | 0.43 | 0.43 | 0 |
| **2000-2004 (más de 4 documentos)** | | | | | | | | | | |
| **Orden** | **Nombre** | **Puesto** | **Ndoc col** | **Citas** | **FITN** | **Grado** | **Intermediación** | **Coef Cluster** | **Popularidad** | **Prestigio** |
| 1 | Vázquez-García | Titular | 18 | 14 | 0.95 | 0.15 | 0.00650 | 0.25 | 4.42 | 3.44 |
| 2 | Sánchez-Pena | Titular | 18 | 14 | 0.93 | 0.17 | 0.01102 | 0.31 | 5.64 | 4.39 |
| 3 | Lamela H | Catedrático | 15 | 9 | 1.33 | 0.12 | 0.06107 | 0.003 | 0.05 | 0.03 |
| 4 | Sánchez-Reillo | Titular | 9 | 0 | 0.84 | 0.06 | 0.00157 | 0.09 | 0.81 | 0 |
| 5 | Otón | No UC3M | 9 | 3 | 0.75 | 0.09 | 0.00226 | 0.07 | 0.61 | 0.20 |
| 6 | Garcilópez | Titular | 9 | 3 | 0.87 | 0.09 | 0.00057 | 0.09 | 0.80 | 0.27 |
| 7 | Entrena-Arrontes | Titular | 8 | 0 | 0.83 | 0.08 | 0.00636 | 0.15 | 1.16 | 0 |
| 8 | Vargas S | No UC3M | 7 | 9 | 1.01 | 0.07 | 0.00028 | 0.05 | 0.33 | 0.42 |
| 9 | Carpintero | Titular | 7 | 4 | 1.53 | 0.05 | 0.00971 | 0.001 | 0.01 | 0.003 |
| 10 | Urruchi | Ayudante Doctor | 7 | 0 | 0.87 | 0.13 | 0.00553 | 0.19 | 1.33 | 0 |
| 11 | Acedo | Titular | 6 | 3 | 1.45 | 0.45 | 0.08932 | 0.99 | 5.94 | 2.97 |
| 12 | Pleite-Guerra | Titular | 5 | 0 | 1.07 | 0.03 | 0.00006 | 0.07 | 0.37 | 0 |
| 13 | Olías | Catedrático | 5 | 0 | 1.07 | 0.03 | 0.00006 | 0.07 | 0.37 | 0 |
| 14 | Barrado | Titular | 5 | 0 | 1.07 | 0.03 | 0.00006 | 0.07 | 0.37 | 0 |
| 15 | Mengíbar | Titular | 5 | 0 | 0.84 | 0.03 | 0.00047 | 0.02 | 0.11 | 0 |
| 16 | Quintana X | No UC3M | 5 | 1 | 0.78 | 0.08 | 0.00173 | 0.06 | 0.28 | 0.06 |
| 17 | Gonzalo AB | No UC3M | 5 | 1 | 0.91 | 0.09 | 0.00115 | 0.10 | 0.50 | 0.10 |
| 18 | Sánchez-Ávila | No UC3M | 5 | 0 | 0.84 | 0.03 | 0.00044 | 0.02 | 0.10 | 0 |
| | | | | 1º valor | 2º valor | 3º valor | | | | |

La tabla 8.47 recoge los valores de popularidad y prestigio de los autores del departamento de Tecnología Electrónica. En el primer período el valor más alto de popularidad prestigio corresponde al autor con mayor número de trabajos en colaboración, mayor número de citas y mejor coeficiente de agrupamiento. El segundo valor de popularidad recae en el autor con el segundo valor en número de colaboraciones y segundo mejor coeficiente de agrupamiento. El segundo valor en prestigio lo obtiene el autor con segundo valor en número de trabajos en coautoría, primer valor en número de citas y quinto mejor coeficiente de agrupamiento. El tercer valor de popularidad y prestigio es para el autor con el

segundo valor en producción en colaboración y citación, y tercer valor en coeficiente de agrupamiento.

Las posiciones son más estables en el segundo período. El valor más alto de popularidad y tercero de prestigio corresponde al autor con mayor coeficiente de agrupamiento, sexto valor en producción en colaboración y cuarto en número de citas. El segundo valor de popularidad y primero de prestigio recae en el autor con el mayor número de colaboraciones y citas, y segundo mejor coeficiente de agrupamiento. El tercer valor de popularidad y segundo de prestigio es para el autor con el mayor valor de trabajos en colaboración y citación, y tercer mayor coeficiente de agrupamiento.

# CAPÍTULO 9. DISCUSIÓN

## 9.1. INTRODUCCIÓN.

Este capítulo, dedicado a los aspectos analíticos de los resultados, se centra en el examen detallado de cada una de las facetas de la colaboración abordadas en el capítulo anterior, la síntesis y explicación de los hallazgos y las recomendaciones derivadas de su análisis.

## 9.2. PRODUCTIVIDAD Y VISIBILIDAD.

La figura 9.1 muestra la distribución de documentos y citas observadas según el número de autores por trabajo. Las tendencias de las líneas anaranjada (citas) y azul (documentos), indican que la producción en colaboración siempre obtiene mayor número de citas que de trabajos publicados. Los mayores porcentajes de producción y citación se concentran en los documentos con dos, tres y cuatro autores.

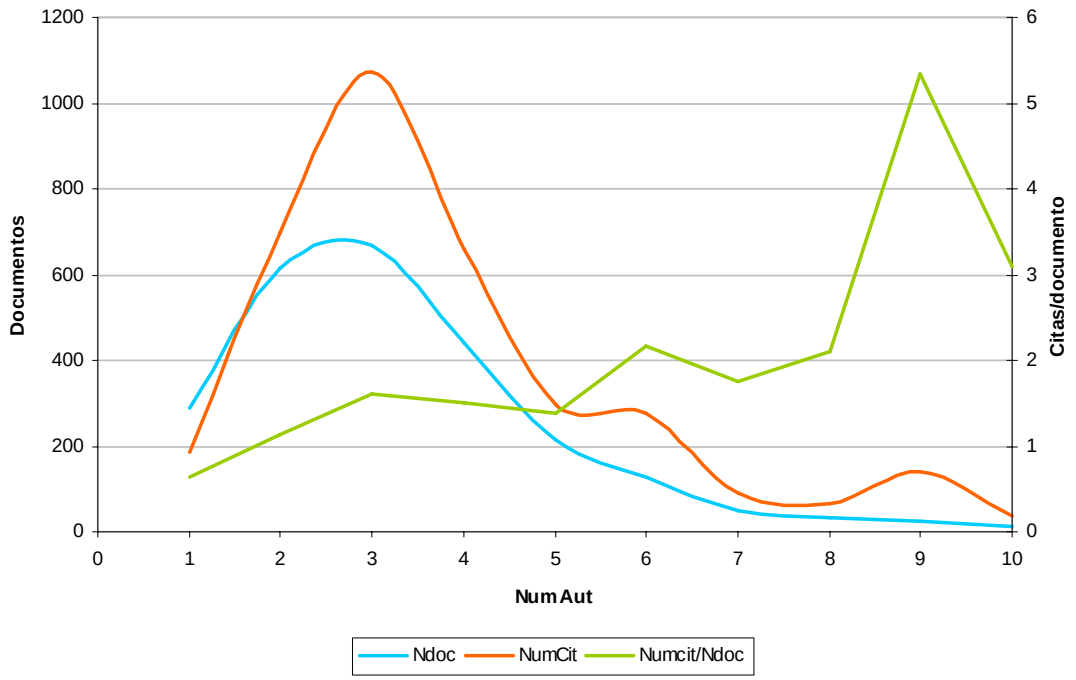



Figura 9.1. Distribución de producción y citas observadas por trabajo y número autores (1990-2004)

Por su parte, la línea verde presenta la ratio citas/documento, poniendo de manifiesto la estrecha relación existente entre el mayor número de autores y la consecución de mayor número de citas por trabajo. Las proporciones más elevadas se obtienen en documentos con nueve, diez, seis y ocho autores, respectivamente.

## 9.3. PATRONES DE COLABORACIÓN.

La figura 9.2 presenta los valores porcentuales globales de los nueve departamentos analizados. Los porcentajes menos oscilantes son los de la colaboración nacional, colaboración interdepartamental y sin colaboración. Por el contrario, son las colaboraciones departamental e internacional las que presentan mayor fluctuación.

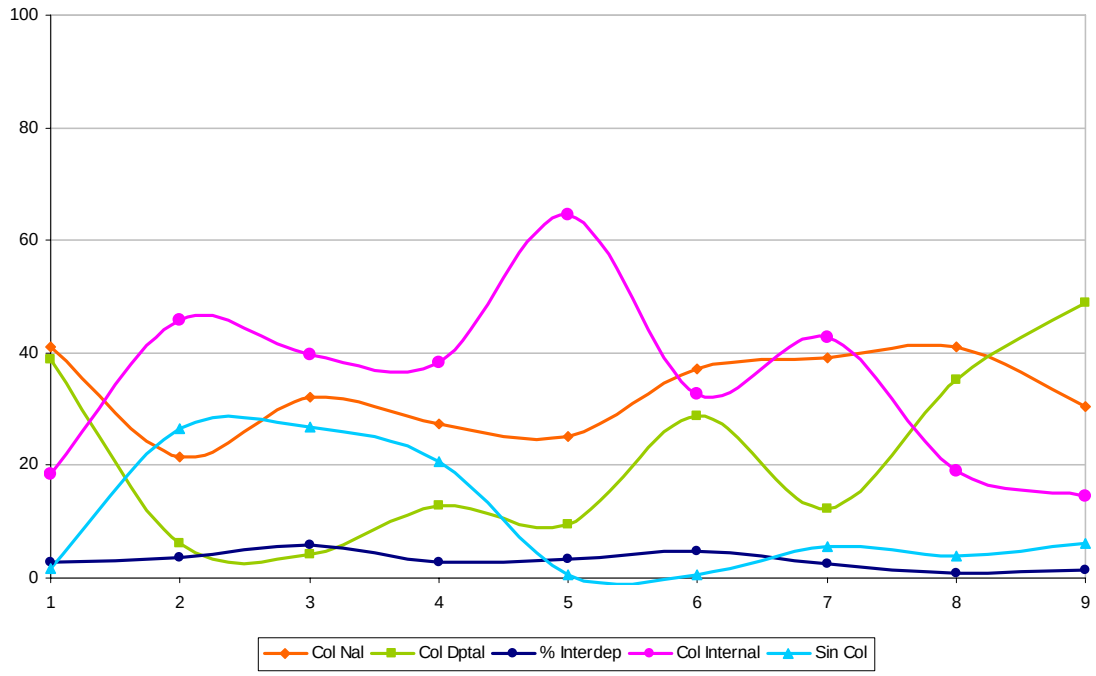



Figura 9.2. Evolución de tipos de colaboración por departamentos en % (1995-2004)

1. Informática, 2. Economía, 3. Economía Empresa, 4. Estadística, 5. Física, 6. Materiales, 7. Matemáticas, 8. Teoría Señal, 9. Tecnología Electrónica

La mayor homogeneidad en el patrón de coautorías se da entre los departamentos de Ciencias Sociales, con marcado carácter internacional, y elevado número de

trabajos en solitario. Las Ciencias Básicas presentan un patrón similar en sus preferencias: tanto la Física como las Matemáticas eligen la colaboración internacional, pero la diferencia con las Ciencias Sociales radica en la escasa producción de trabajos sin colaboración. Por lo que respecta a las Ingenierías, también muestran similitudes entre sí, aunque no tan acusadas con en el caso de los departamentos de Economía y Estadística. Informática y Teoría de la Señal revelan mayor porcentaje de colaboración nacional, seguido de colaboración departamental. Ciencia de Materiales también opta por la colaboración nacional como forma de asociación, pero seguida de colaboración internacional. Es Tecnología Electrónica, dentro de las politécnicas, la que muestra un patrón más diferenciado, con marcada colaboración departamental y menor colaboración internacional.

El cálculo de los promedios de los nueve departamentos sitúa a la colaboración internacional como opción predilecta (35%), seguida de la colaboración nacional (32.8%), la colaboración departamental (22%), y la no colaboración (10.3%).

A tenor de los resultados obtenidos, es evidente que la influencia de los hábitos disciplinares no es suficiente para explicar las formas de asociación o colaboración entre científicos. En el caso de los departamentos analizados se detecta un importante componente de cultura “interna” e individualizada que determina la elección de las coautorías (Okubo Y y Zitt M, 2004), (Wagner CS, 2005).

## 9.4. COLABORACIÓN NACIONAL E INTERNACIONAL.

### 9.4.1. VALORACIONES PREVIAS.

Previa a la discusión de los resultados obtenidos en el análisis de la colaboración internacional y nacional de los nueve departamentos estudiados, es la comparación de los promedios de visibilidad esperada de todos ellos respecto a la media

nacional-regional-institucional. Así, los departamentos de Ciencias Sociales obtienen valores de impacto departamental sensiblemente inferiores a la media institucional. Los departamentos de Ciencias Básicas, en cambio, son los dos únicos que superan el promedio de la Universidad, muy destacado en el caso de la Física. Las Escuelas Politécnicas obtienen impactos que hacen prácticamente coincidentes ambas medias, salvo en el caso de Informática, que es la que alcanza el valor más bajo de impacto esperado de todo el conjunto en el período.

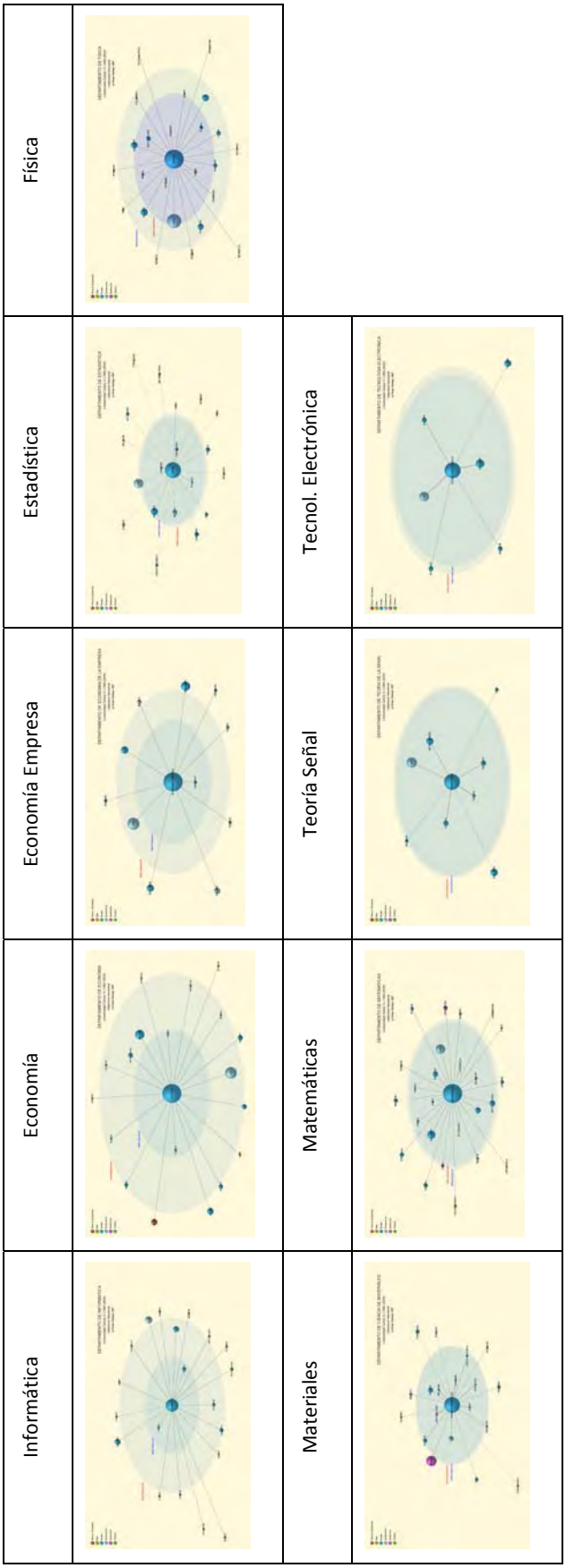
Tabla 9.1. Promedio de impactos esperados por departamentos (1995-2004)

| | COM | ECO | ECOEMP | ESTAT | FIS | MAR | MAT | SENAL | TELEC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Media Institucional | 1.09 | 1.09 | 1.09 | 1.09 | 1.09 | 1.09 | 1.09 | 1.09 | 1.09 |
| Media Departamento | 0.89 | 1.00 | 0.98 | 1.01 | 1.24 | 1.06 | 1.15 | 1.09 | 1.08 |

El contraste paradójico del elevado porcentaje de trabajos en colaboración con instituciones extranjeras, y el bajo promedio de visibilidad esperada en el caso de los departamentos de Ciencias Sociales puede deberse a dos razones: la primera, la diferencia de impacto de las revistas de las áreas económicas (debida a los diferentes hábitos de publicación entre especialidades y disciplinas). La segunda el escaso “rendimiento”, desde el punto de vista del impacto, obtenido con los socios elegidos para la publicación (Moya-Anegón F, 2005a).

El mismo contraste, en sentido positivo, supone el caso del departamento de Física. Su elevadísima predilección por la colaboración internacional sí se traduce en la obtención del mayor de los promedios de visibilidad esperada del conjunto de unidades analizadas.

Figura 9.3. Resumen de heliocéntricos de colaboración internacional (1995-2004)



### 9.4.2. COLABORACIÓN INTERNACIONAL.

La figura 9.3 permite comparar las distintas estructuras colaboradoras de los departamentos y su relación con instituciones internacionales. En ella se aprecia un patrón reiterado en los departamentos con promedios de impacto más bajos: el número de instituciones que orbitan más allá de los promedios esperados son muchas más de las que lo hacen en posiciones cercanas al centro del sistema. Es el caso de Informática, Economía, Economía de la Empresa y Estadística. Física, Matemáticas, Ciencia de Materiales y Tecnología Electrónica encuentran equilibrio entre ambos extremos. La situación ideal se da sólo en Teoría de la Señal, que tiene más instituciones cercanas al centro, que por debajo de los promedios institucional y departamental.

En definitiva, y partiendo de la premisa de que la colaboración internacional aumenta la visibilidad de los trabajos (Glänzel W y Schubert A, 2001), (Glänzel W y Schubert A, 2005), (Wagner CS, 2005), la red heliocéntrica esperada es aquella que presenta la colaboración con otros países orbitando cerca del centro del sistema, y siempre por encima de los promedios. Cualquier situación distinta a esta, especialmente la que presentan los cuatro departamentos con los promedios departamentales más bajos, pone de manifiesto que la elección de los socios no es la más adecuada, siempre desde la perspectiva única del impacto esperado.

### 9.4.3. COLABORACIÓN NACIONAL.

Por su parte, la figura 9.4 recoge las redes heliocéntricas de la colaboración con instituciones nacionales de los departamentos estudiados. Si el desequilibrio entre instituciones por encima de los promedios de impacto esperados, y las que se hallan por debajo de esas medias era manifiesto en las redes de colaboración internacional de los departamentos con impactos más bajos, las representaciones de la colaboración nacional presentan una distancia aún más acusada. Sólo los

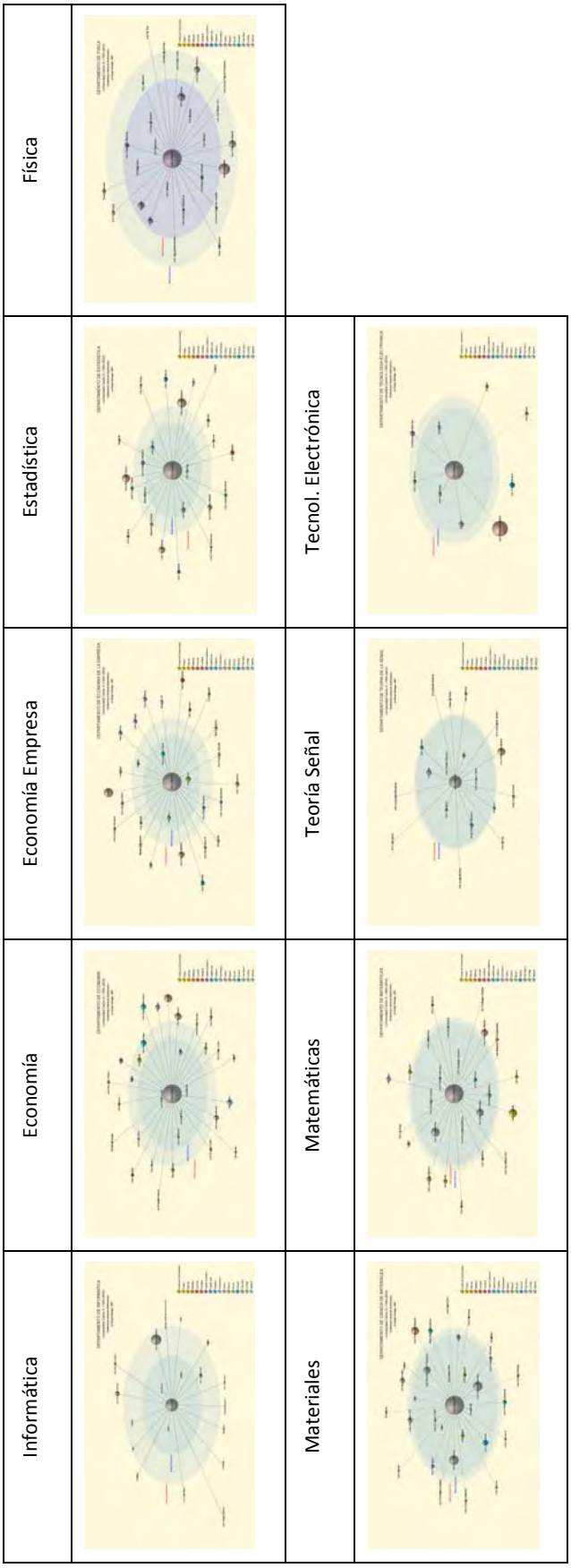
departamentos de Física y Teoría de la Señal tienen más socios por encima del promedio institucional. Los departamentos politécnicos y el de Matemáticas presentan equilibrio de asociación sobre y bajo los promedios. Nuevamente los departamentos de Ciencias Sociales y el de Informática muestran socios colaboradores "débiles" desde el punto de vista del impacto esperado que logran los trabajos con ellos firmados.

También debemos destacar la gran influencia de la proximidad geográfica en la colaboración nacional de las unidades analizadas, ratificando hallazgos anteriores en el mismo sentido (Bassecoulard E et al., 2000), (Katz JS, 1994), (Katz JS, 1999), (Riba Vilanova M y Leydesdorff L, 2001). Los elevados porcentajes de producción con socios de la misma región oscilan entre el 33% del departamento de Teoría de la Señal, y el 78% del departamento de Informática, siendo inferiores al 45% sólo en dos departamentos.

La explicación de estos elevados porcentajes parece deberse no tanto a la influencia de la distancia a la fuente que produce el nuevo conocimiento (Zitt M et al., 1999), sino a la preponderancia de la Comunidad de Madrid en el Sistema de Ciencia y Tecnología español. A su protagonismo en la estructura socioeconómica, se une el hecho de concentrar un gran número de centros de investigación y una parte importante de los recursos humanos destinados a actividades de Investigación y Desarrollo (Olmeda Gómez C et al., 2007), (Perianes-Rodríguez A et al., 2006).

Aunque los beneficios de la proximidad geográfica parecen minimizar e incluso evitar algunos de los problemas inherentes al trabajo científico, especialmente si se realiza de forma cooperativa (Kraut R et al., 1988b), (Kraut R et al., 1988a), no es menos cierto que la selección de socios colaboradores no debe supeditarse ni preferente ni mucho menos exclusivamente, a los más cercanos, sino que debe establecerse en función de la valía de aquellos que, por motivos cognitivos

Figura 9.4. Resumen de heliocéntricos de colaboración nacional (1995-2004)



debidamente justificados, supongan una mayor y mejor aportación al devenir investigador, vaticinando resultados fructíferos, con independencia de su localización física.

## 9.5. COLABORACIÓN INSTITUCIONAL.

### 9.5.1. COLABORACIÓN DEPARTAMENTAL.

La figura 8.3 muestra la tendencia creciente en el seno de la UC3M hacia la colaboración con compañeros del mismo departamento. Por su parte, la figura 9.2 muestra la incidencia de este tipo de colaboración en la producción de cada uno de los nueve departamentos analizados.

Aunque la tendencia general es creciente, la cultura departamental presenta variaciones significativas entre unidades administrativas. Si en el apartado anterior hemos comprobado que la colaboración preferente con socios nacionales o internacionales, especialmente en aquellos departamentos con promedios de impacto más bajos, no supone la consecución de mayor visibilidad esperada, se puede deducir que el trabajo con miembros del propio departamento permite alcanzar tan buenos o mejores resultados que con colaboradores externos.

Algunos autores enfatizan la importancia de la existencia de componentes de gran tamaño para la obtención de mejores resultados desde el punto de vista de la producción y la visibilidad (Guimera R et al., 2005), otros que la elevada cohesión de las redes beneficia la comunicación entre los actores que las conforman (Kiesler S y Cummings JN, 2002). Por ello, es recomendable el aumento de la colaboración interna, especialmente en los departamentos de Ciencias Sociales, evolucionando de estructuras de pequeños grupos aislados, a grandes subredes compuestas por un menor número de componentes, de la misma manera que han evolucionado del trabajo individual al cooperativo (Genest C y Thibault C, 2001). De esta manera se

evitará la aparición de los denominados agujeros estructurales que se producen cuando existen varios grupos con gran actividad interna en el seno de una red, pero escasa o nula comunicación global entre esos grupos. La conexión de grupos maximiza la cantidad de información no redundante que reciben los nodos de la red, pero también la propia red.

### 9.5.2. COLABORACIÓN INTERDEPARTAMENTAL.

Tabla 9.2. Tipos de colaboración por departamentos en % (1995-2004)

| Departamento | Col Nal | Col Dptal | Interdptal | Col Internal | Sin Col |
|---|---|---|---|---|---|
| Informática | 41.11 | 38.89 | 2.78 | 18.33 | 1.67 |
| Economía | 21.40 | 6.11 | 3.51 | 45.85 | 26.64 |
| Economía Empresa | 32.26 | 4.30 | 5.73 | 39.78 | 26.88 |
| Estadística | 27.36 | 12.74 | 2.87 | 38.21 | 20.75 |
| Física | 25.09 | 9.41 | 3.46 | 64.46 | 0.70 |
| Ciencia Materiales | 37.13 | 28.71 | 4.85 | 32.67 | 0.50 |
| Matemáticas | 39.10 | 12.42 | 2.57 | 42.77 | 5.50 |
| Teoría Señal | 40.95 | 35.24 | 0.95 | 19.05 | 3.81 |
| Tecnol. Electrónica | 30.49 | 48.78 | 1.39 | 14.63 | 6.10 |
| Promedio | 32.76 | 21.84 | 3.12 | 35.08 | 10.28 |

Como se puede apreciar en la tabla 9.2, los porcentajes de colaboración entre departamentos de la Universidad son muy bajos, y es el único tipo de colaboración en el que todos se ponen de acuerdo, presentando valores muy parecidos representados en forma de línea paralela al eje, sin apenas oscilación.

Los autores analizados parecen encontrar facilidades para colaborar con los compañeros de su departamento o para localizar socios intelectuales fuera de las fronteras universitarias, bien con otras instituciones nacionales, bien con organizaciones extranjeras. Sin embargo, parece existir una barrera de invisibilidad que convierte a los departamentos en compartimentos estancos los unos de los otros. Ese desconocimiento interno obedece más a la falta de comunicación institucional, traducida en dificultades para transmitir a los demás el trabajo investigador propio o las cualidades que podrían ser de utilidad al resto de unidades administrativas, que a la incompatibilidad de objetivos de investigación.

## 9.6. ANÁLISIS POR SEXO.

Los datos porcentuales sobre las aportaciones masculinas y femeninas a los distintos departamentos muestran una tendencia positiva en lo que respecta a la incorporación de mujeres y su creciente representatividad departamental, su productividad científica, y su visibilidad observada.

Tabla 9.3. Diferencia de aportación femenina respecto al primer quinquenio en %

| | COM | ECO | ECOEMP | ESTAT | FIS | MAR | MAT | SENAL | TELEC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Representatividad | -12.58 | 2.61 | -4 | 19.27 | 6.91 | -2.08 | 11.53 | 15.06 | -0.23 |
| Producción | -13.69 | -2.10 | 11 | 12.28 | 8.52 | 0.73 | 7.23 | 10.17 | 16.06 |
| Impacto | -7.79 | -2.48 | 34 | 27.52 | 8.24 | -17.72 | 8.26 | 10.22 | 25.39 |

La tabla 9.3 resume la diferencia de los valores porcentuales de aportación femenina entre el segundo lustro y el primero. Las celdas verdes muestran los valores que han aumentado, y las anaranjadas aquellos que han descendido. La mayor pérdida de representatividad se produce en el departamento de Informática. También descienden los de Economía de la Empresa, Ciencia de Materiales y Tecnología Electrónica. El descenso de producción científica sólo afecta a los departamentos de Informática y Economía. En número de citas observadas también se reduce la aportación de autoras en Informática, Economía y Ciencia de Materiales.

De esta manera, es el departamento de Informática el único que aumenta las diferencias entre hombres y mujeres. El de Economía, en cambio, mejora la presencia femenina, pero ésta no queda ratificada con el aumento de producción y número de citas. Por su parte, las autoras de Economía de la Empresa y Tecnología Electrónica mejoran sus ratios en producción e impacto, a pesar de descender su representatividad departamental.

Por lo que respecta a sus posiciones en las estructuras de red departamentales, los de Ciencias Sociales presentan falta de integración entre hombres y mujeres, sólo motivada por la ausencia de relaciones entre los distintos grupos de investigación.

En los departamentos de la Escuela Politécnica se aprecian grados variables de integración no sólo en su relación con compañeros masculinos, sino con las posiciones de las autoras en el seno de la red. Así, departamentos como Informática, Física o Tecnología Electrónica presentan al colectivo científico femenino no sólo perfectamente integrado en las redes de coautoría, sino también ocupando posiciones centrales en las mismas. Los departamentos de Matemáticas, Ciencia de Materiales o Teoría de la Señal, en cambio, muestran integración en las redes de sus profesoras, pero ocupando posiciones periféricas.

## 9.7. SITUACIÓN ADMINISTRATIVA.

Como ya se ha expuesto, la situación administrativa varía a lo largo del tiempo, convirtiéndose en una variable compleja de controlar. Puesto que, para simplificar los cálculos y las relaciones, las posiciones administrativas han sido determinadas a partir de los datos disponibles en 2006, y no por la relación contractual del profesor en el momento de la firma de los trabajos, es posible que situaciones transitorias o previas en la consolidación de la carrera docente de algunos autores no quede suficientemente detallada, especialmente entre los participantes en trabajos del primer período analizado.

La tendencia en las estructuras de relaciones detectadas se asemejan a la composición tradicional: investigadores veteranos en posiciones centrales, rodeados por colegas menos productivos. La salvedad en la práctica totalidad de los departamentos es que esos colegas menos productivos son raramente estudiantes que se inician en labores de investigación, puesto que el predominio generalizado es de relaciones entre profesores consolidados y, en mucha menor

medida, con profesorado no permanente. Esa proliferación de colaboración entre personal permanente hace menos probable el surgimiento de ideas innovadoras debido a que sus experiencias compartidas tienden a homogeneizar sus conocimientos y perspectivas.

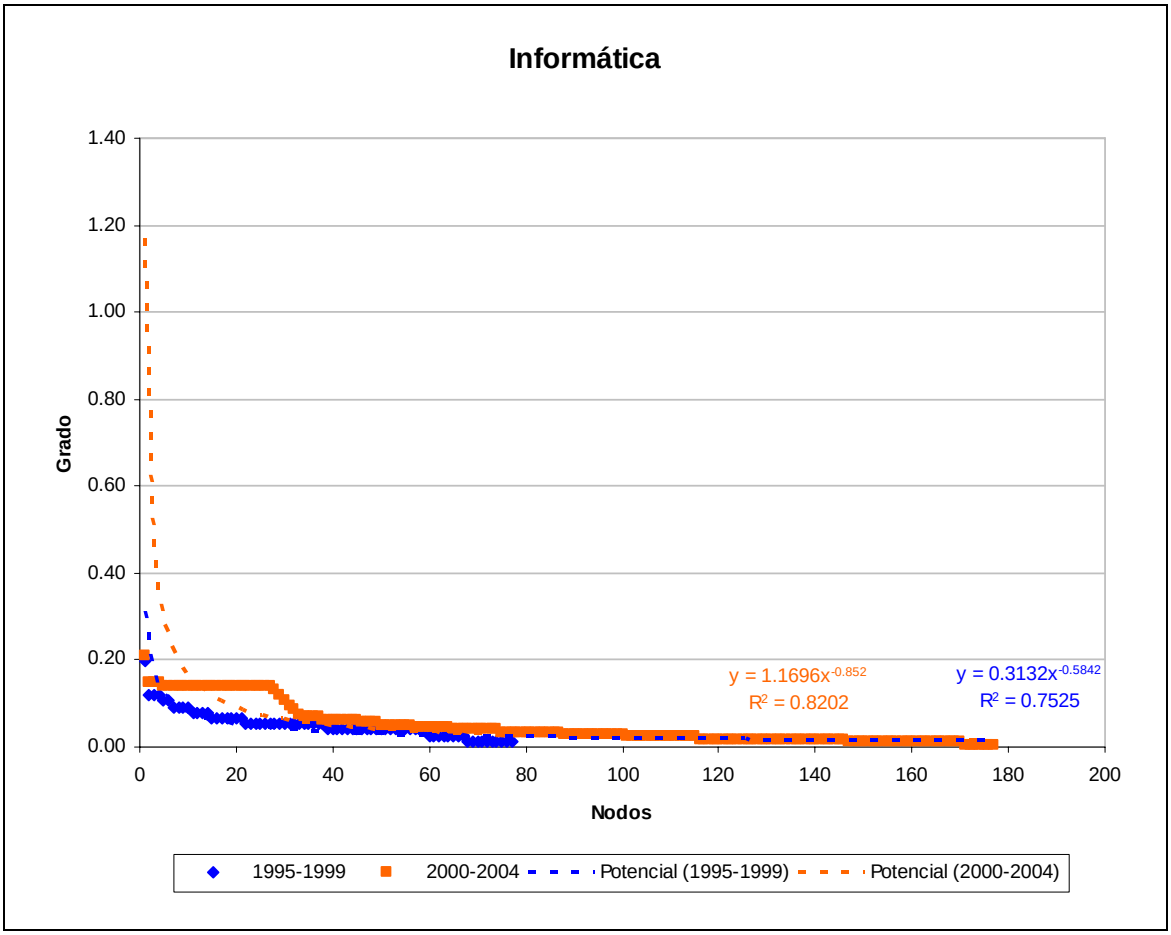
Aunque se aprecia un aumento en la incorporación de jóvenes investigadores a la producción con visibilidad internacional de los departamentos analizados, salvo en el caso de Economía de la Empresa, y de que ésta no parece verse influenciada por la disciplina científica (si bien es más alta en valores absolutos en los departamentos politécnicos), su representatividad está lejos de ser la más adecuada para el desarrollo de sus carreras profesionales, pero también para el avance de los grupos hacia nuevas especialidades de investigación, nuevas propuestas científicas, mayor diversidad de perspectivas que contribuyan al establecimiento de soluciones más innovadoras o la perpetuación de la propia institución (Guimera R et al., 2005), (Mählck P y Persson O, 2000), (Wagner CS y Leydesdorff L, 2005).

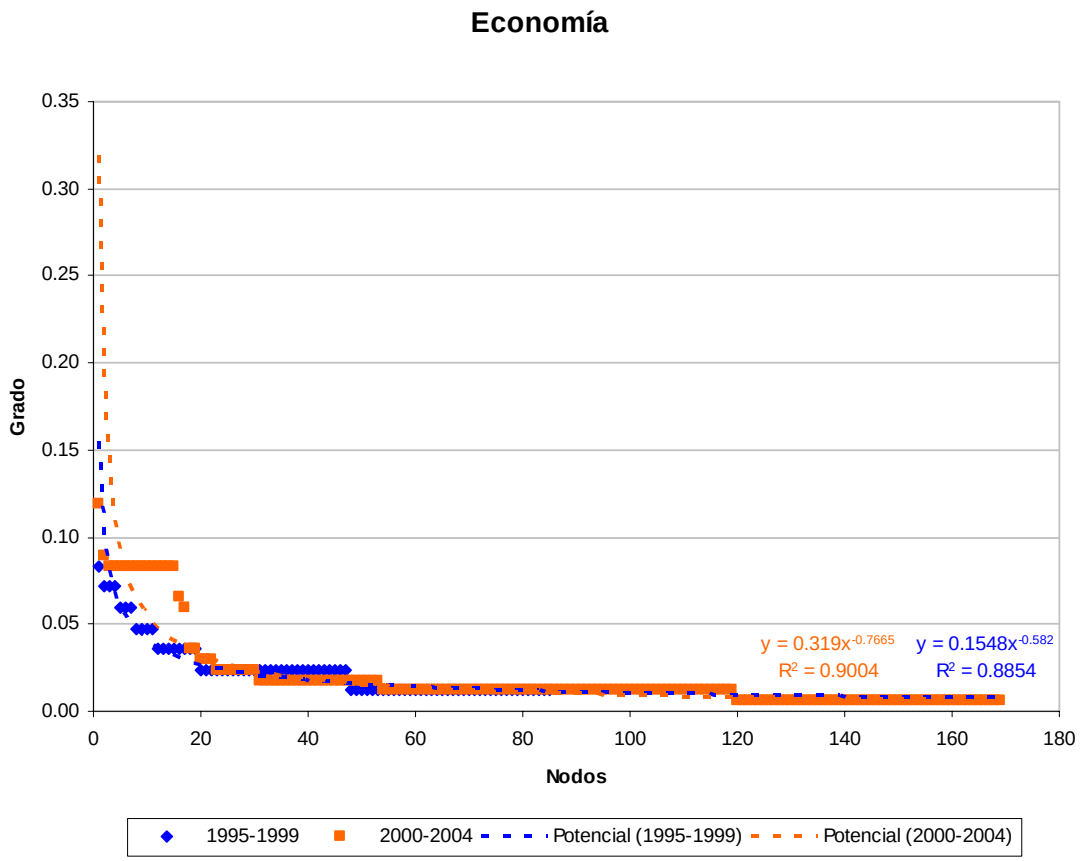
Queda patente, por tanto, que la UC3M no es una excepción en el Sistema Español de Ciencia y Tecnología, y que adolece de sus mismas carencias a la hora de ofrecer situaciones estables a los jóvenes investigadores para permitir el desarrollo de su futuro profesional con mínimas garantías. El reconocido impulso a los recursos humanos destinados a Investigación y Desarrollo no es la única solución que ha de demandarse a los responsables de la política educativa e investigadora (en todos sus niveles: institucional, regional, nacional e internacional), dado que el problema no es estrictamente cuantitativo, sino estructural. El incremento de personal no tendrá éxito si no se acompaña de una organización racional de todos los recursos disponibles para que el sistema sea capaz de aprovecharlos en beneficio propio. La cuestión se resume, por tanto, no en un problema de crecimiento sino de modelo de crecimiento basado en una planificación realista (Chinchilla-Rodríguez Z, 2006).

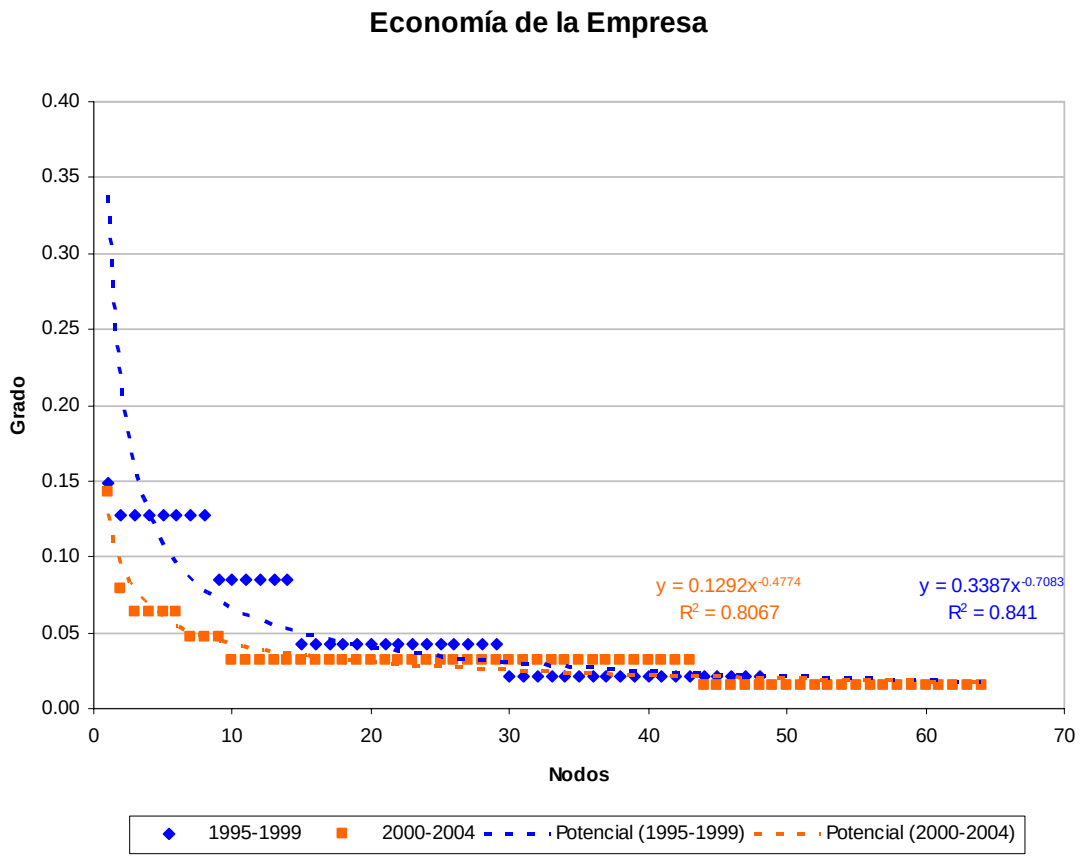
## 9.8. EVOLUCIÓN Y TOPOLOGÍA DE LAS REDES DE COAUTORÍA.

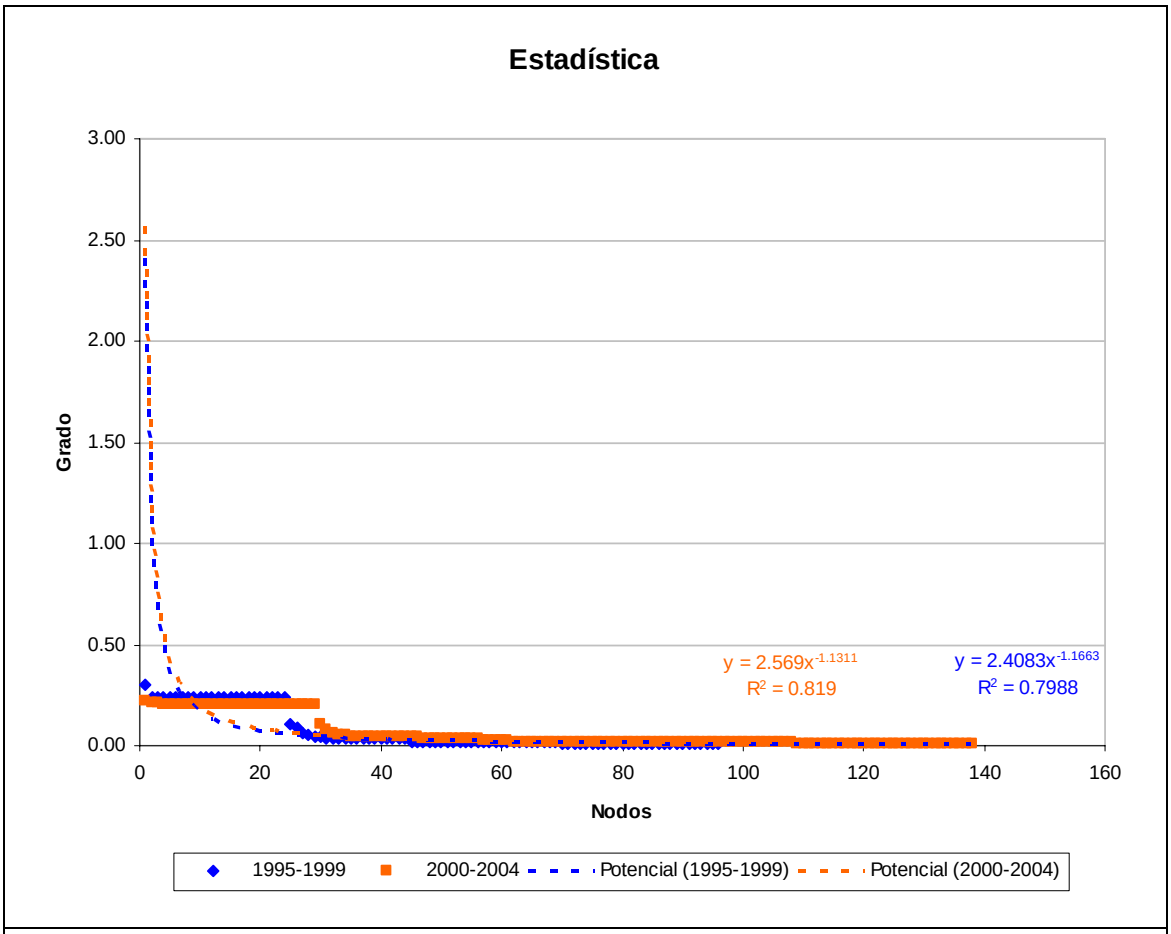
La tabla 9.5 presenta la distribución de grado de los nueve departamentos en los dos subperíodos analizados. Todas las representaciones muestran una línea de tendencia siguiendo una ley potencial, característica típica de las redes sin escala. Por tanto, nos encontramos ante redes en crecimiento por la adición de nuevos nodos, cuya probabilidad de adscripción a los ya existentes no es aleatoria ni uniforme, sino que tendrán preferencia por hacerlo con aquellos preeminentes según su número de enlaces y/o trabajos. El departamento de Tecnología Electrónica es el que obtiene menor correlación con la curva potencial provocada, en el primer período, por una red con muy pocos nodos distribuidos uniformemente en los distintos componentes y, en el segundo, por un documento en multiautoría que otorga valores similares de grado a un tercio de los actores representados.

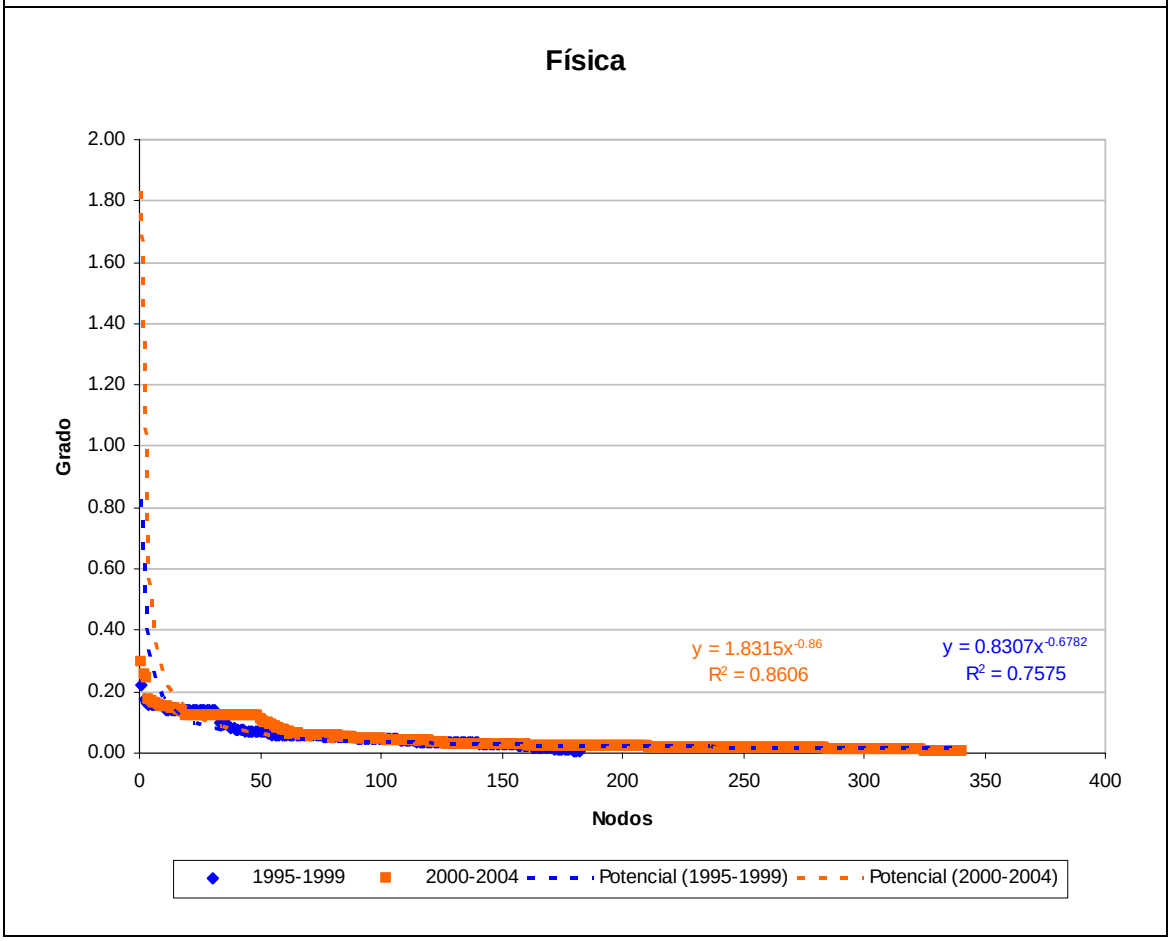
Tabla 9.4. Distribución del grado nodal (1990-2004)

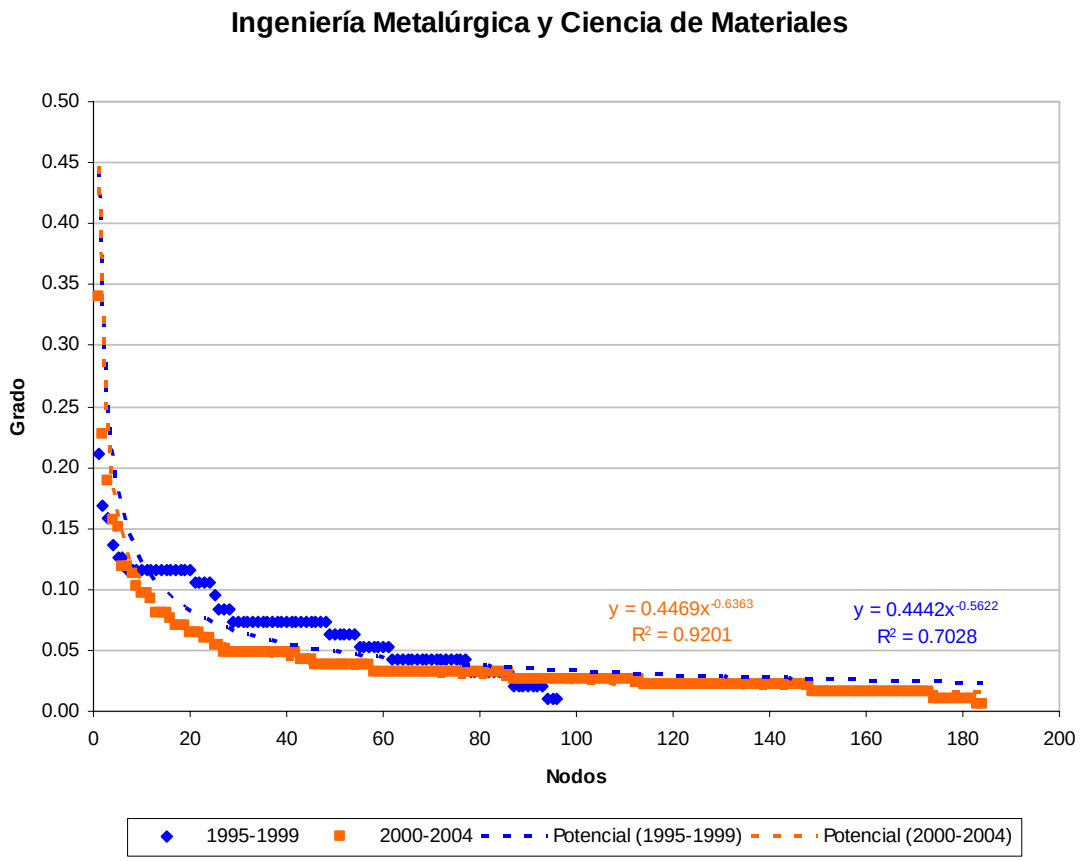


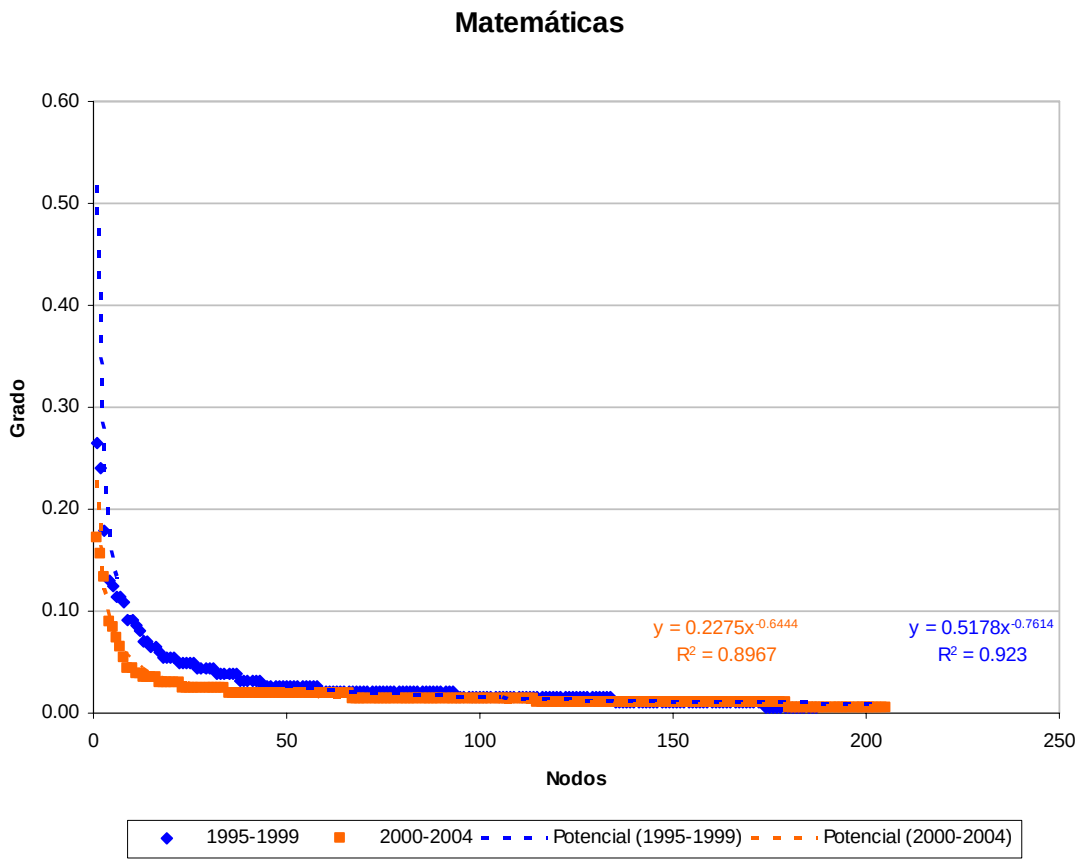

Economía
Grado
Nodos
0.35
0.30
0.25
0.20
0.15
0.10
0.05
0.00
0
20
40
60
80
100
120
140
160
180
y = 0.319x-0.7665
R2 = 0.9004
y = 0.1548x-0.582
R2 = 0.8854
1995-1999
2000-2004
Potencial (1995-1999)
Potencial (2000-2004)

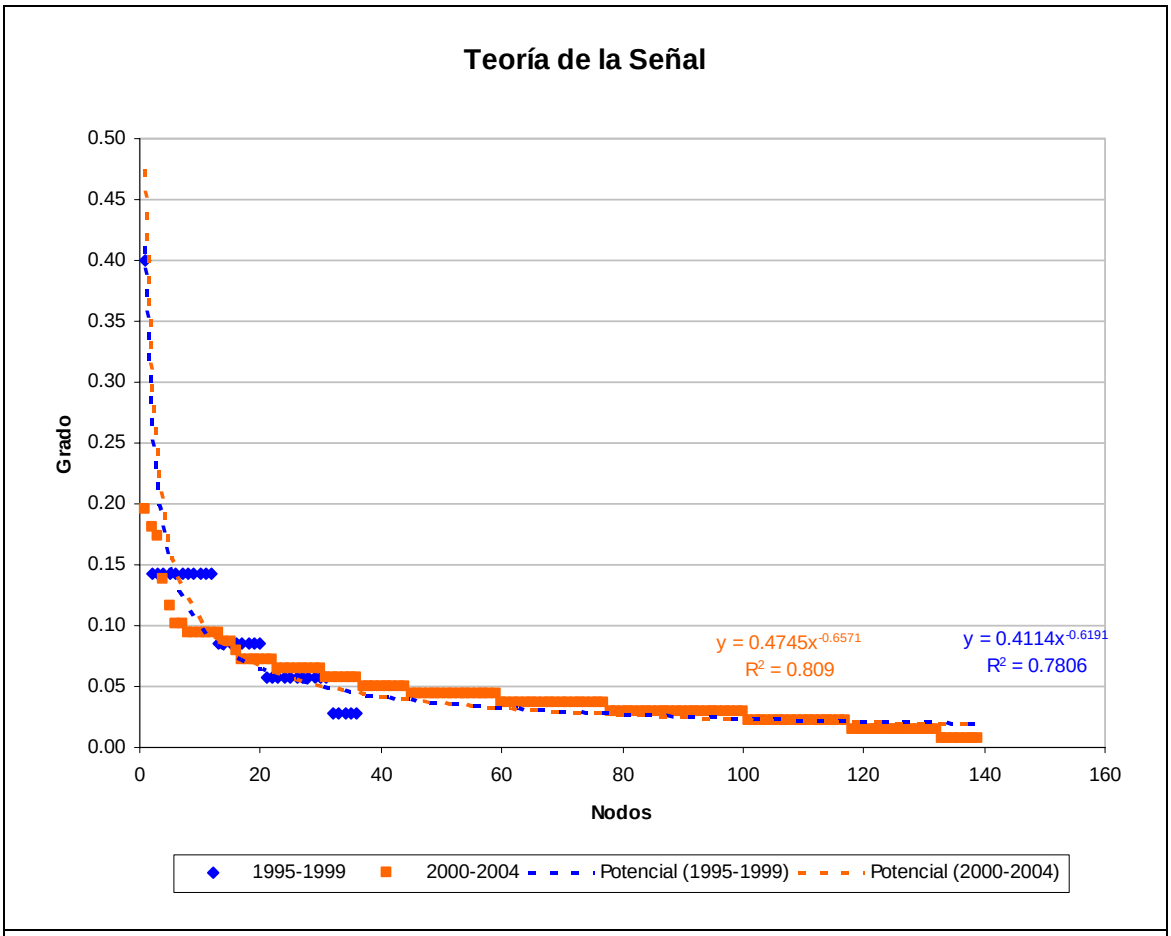

Economía de la Empresa
Grado
Nodos
0.40
0.35
0.30
0.25
0.20
0.15
0.10
0.05
0.00
0
10
20
30
40
50
60
70
y = 0.1292x-0.4774
R2 = 0.8067
y = 0.3387x-0.7083
R2 = 0.841
1995-1999
2000-2004
Potencial (1995-1999)
Potencial (2000-2004)

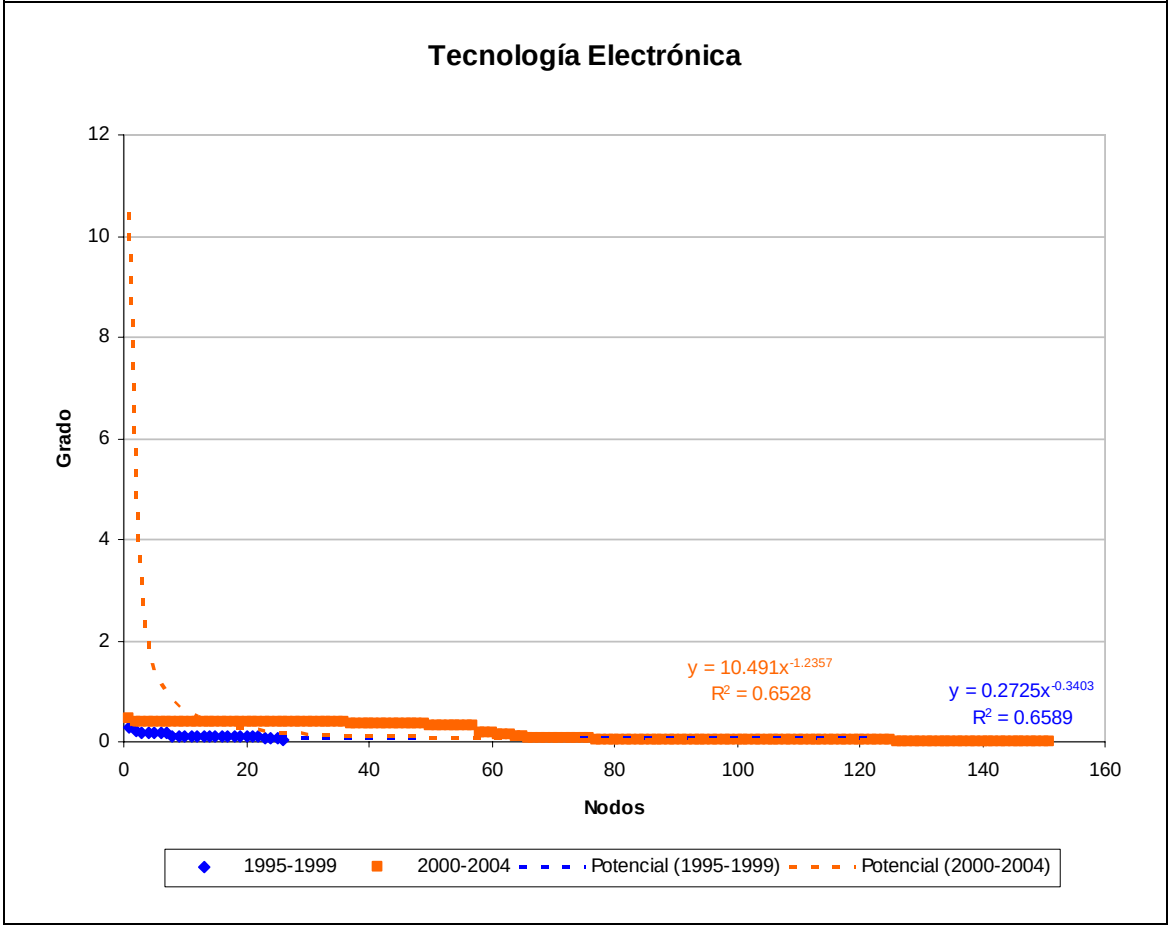

Estadística
Grado
Nodos
3.00
2.50
2.00
1.50
1.00
0.50
0.00
0
20
40
60
80
100
120
140
160
y = 2.569x-1.1311
R2 = 0.819
y = 2.4083x-1.1663
R2 = 0.7988
1995-1999
2000-2004
Potencial (1995-1999)
Potencial (2000-2004)


Física
Grado
Nodos
2.00
1.80
1.60
1.40
1.20
1.00
0.80
0.60
0.40
0.20
0.00
0
50
100
150
200
250
300
350
400
y = 1.8315x-0.86
R2 = 0.8606
y = 0.8307x-0.6782
R2 = 0.7575
1995-1999
2000-2004
Potencial (1995-1999)
Potencial (2000-2004)


Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales
Grado
Nodos
y = 0.4469x-0.6363
R2 = 0.9201
y = 0.4442x-0.5622
R2 = 0.7028
1995-1999
2000-2004
Potencial (1995-1999)
Potencial (2000-2004)


Matemáticas
Grado
Nodos
y = 0.2275x-0.6444
R2 = 0.8967
y = 0.5178x-0.7614
R2 = 0.923
1995-1999
2000-2004
Potencial (1995-1999)
Potencial (2000-2004)


Teoría de la Señal
Grado
Nodos
0.50
0.45
0.40
0.35
0.30
0.25
0.20
0.15
0.10
0.05
0.00
0
20
40
60
80
100
120
140
160
y = 0.4745x-0.6571
R2 = 0.809
y = 0.4114x-0.6191
R2 = 0.7806
1995-1999
2000-2004
Potencial (1995-1999)
Potencial (2000-2004)


Tecnología Electrónica
Grado
Nodos
12
10
8
6
4
2
0
0
20
40
60
80
100
120
140
160
y = 10.491x-1.2357
R2 = 0.6528
y = 0.2725x-0.3403
R2 = 0.6589
1995-1999
2000-2004
Potencial (1995-1999)
Potencial (2000-2004)

Por otro lado, la evolución de las redes departamentales en el segundo lustro, respecto al primero muestra diferencias de comportamiento dependiendo de la unidad analizada.

Como ya se ha comprobado, todos los departamentos presentan un aumento en el número absoluto de nodos que contrasta con el descenso generalizado de la densidad, y con hallazgos de otros estudios a este respecto (Persson O et al., 2004). Como quiera que esta afecta a los flujos de información en el seno de la red, la baja densidad revela un descenso en el número de contactos entre los miembros de la comunidad, hecho que afecta a las relaciones entre autores y a la calidad y al número de actividades de investigación (Wellman B et al., 2006).

Además, cinco departamentos (Economía, Economía de la Empresa, Física, Informática y Ciencia de Materiales) corroboran los descensos de densidad con un aumento de la centralización de grado, o lo que es lo mismo, el descenso de relaciones entre actores en la red departamental. De forma inherente, pues, estos mismos departamentos presentan un descenso en el coeficiente de agrupamiento, tercer indicador de la mayor debilidad de relaciones en el segundo período.

Los departamentos de Estadística y Matemáticas, en cambio, presentan un descenso de la centralización de grado, traducido en un aumento de las relaciones en el seno de la red, confirmada también por el incremento del promedio de coeficiente de agrupamiento.

Dos departamentos presentan patrones distintos al resto, provocados por un crecimiento espectacular que afecta al comportamiento de la mayor parte de los indicadores estructurales analizados. Teoría de la Señal muestra un descenso en la centralización de grado que debería corresponderse con un aumento del coeficiente medio de agrupamiento. Sin embargo, el agrupamiento también

desciende. En el caso contrario se encuentra el departamento de Tecnología Electrónica. El aumento de la centralización contrasta con el incremento del coeficiente de agrupamiento. El crecimiento del 286% de Teoría de la Señal, y del 481% de Tecnología Electrónica en el segundo período, influyen en el anómalo comportamiento de estos indicadores.

En paralelo al análisis de la dimensión de las redes, hemos de describir la evolución de su topología. Si la densidad, la centralización de grado y el coeficiente de agrupamiento han permitido aproximarnos a la evolución del tamaño, serán el indicador de centralización de intermediación y los tamaños de los componentes principales los que afinen los considerandos sobre la cohesión interna de cada departamento.

De esta manera, el aumento de la centralización de intermediación en los departamentos de Informática, Economía, Física, Ciencia de Materiales y Tecnología Electrónica, se ve acompañada de un aumento del tamaño del componente principal de la red departamental. En otras, palabras el aumento porcentual del componente principal presupone la tendencia hacia la consolidación de la topología de red y, dado ese aumento del componente principal, deben aumentar los valores de intermediación debido al incremento de flujos de relaciones entre nodos, provocada por la reducción de sus distancias geodésicas.

El departamento de Matemáticas es el que sufre un descenso más acusado del tamaño del componente principal, al que acompaña la consiguiente caída de la centralización de intermediación. También reproduce un comportamiento similar, aunque mucho menos marcado, el departamento de Economía de la Empresa.

Por su parte, los departamentos de Estadística y Teoría de la Señal presentan un aumento de la centralización de intermediación, acompañado de un leve descenso del porcentaje del tamaño del componente principal. Esta presunta excepción a la

regla se explica porque el pequeño descenso del tamaño del componente principal se equilibra con el pequeño aumento del tamaño del segundo componente. Además, el mantenimiento de los valores porcentuales del tamaño de los componentes principales, no es obstáculo para que el mayor número de nodos en valor absoluto permita el aumento de los flujos en el interior de los componentes más poblados.

De los resultados obtenidos se desprende que los departamentos de Ciencias Sociales mantienen su estructura en forma de grupos aislados, sin relación entre sí, y con tamaños moderados de los componentes (25% de autores integrados en los dos mayores componentes en Economía y Economía de la Empresa, y 55% en Estadística). Los departamentos de la Escuela Politécnica presentan una tendencia hacia la consolidación de la estructura de red, especialmente en Informática, Física y Ciencia de Materiales, con más del 95% de los autores integrados en los dos componentes principales. En porcentajes inferiores se encuentran los dos departamentos más recientes en su incorporación a la producción de visibilidad internacional, Teoría de la Señal (81%) y Tecnología Electrónica (74%). Sólo el departamento de Matemáticas presenta una evidente tendencia hacia la transformación de departamento fuertemente cohesionado (94% de autores en los dos mayores componentes en el primer período), en departamento fragmentado en distintos grupos de investigación sin relación entre sí (48% de autores en los dos principales componentes).

De cómo afecta la estructura cohesionada de los autores en los departamentos informa la comparación entre indicadores estructurales y bibliométricos de producción y citación. Así, los departamentos que mejores resultados relativos obtienen (comparados con el total institucional), son los que mayor crecimiento en la cohesión de la estructura de red muestran. Por tanto, Informática y Tecnología Electrónica, con la integración de más del 20% de autores en el primer

componente, mejoran entre el 3.3 y el 4% en producción relativa, y entre el 1.2 y el 2.5% en visibilidad observada.

En un segundo grupo se hallan los departamentos cuya cohesión interna se encuentra entre el mantenimiento de la estructura y el crecimiento inferior al 20%. Este grupo de departamentos (Economía, Economía de la Empresa, Estadística y Ciencia de Materiales) presentan oscilaciones y diversos patrones en cuanto a su crecimiento o descenso en valores relativos de producción y visibilidad observada. De esta manera, sólo crece en ambas facetas el departamento de Economía de la Empresa. Sólo desciende en ambos valores el departamento de Economía. Ciencia de Materiales presenta un aumento de la producción pero un descenso de las citas recibidas, en cambio, Estadística, desciende en producción, pero aumenta su aportación relativa.

Excepciones a los dos casos anteriores son los departamentos de Física, que con más del 34% de incremento del tamaño del componente principal logra aumentar más de un 4% su representatividad en cuanto a citas, pero pierde un 1.2% en cuanto a productividad; y Teoría de la Señal, que a pesar del descenso del tamaño del componente principal en algo más del 10%, es capaz de mejorar un 4.2% su representatividad en cuanto a producción, y un 3.3% en cuanto a citación.

En el extremo opuesto a la consolidación de la estructura de red, como ya hemos visto, se encuentra el departamento de Matemáticas. Su variación de la cohesión interna le ha supuesto descensos del 14% en citación y 17% en producción. La ruptura de la red lleva aparejado el estancamiento productivo y la reducción de la visibilidad observada de sus trabajos.

Estas tendencias en la agrupación interna de los departamentos y grupos de investigación que evidencian la afectación sobre su producción y su impacto observado (Glänzel W, 2001), deben ser ratificadas con la ampliación del análisis a

un nuevo lustro en el que poder observar, en primer lugar, si esa consolidación forma parte de la cultura departamental o es coyuntural, y en segundo lugar, si esas posibles oscilaciones al alza o a la baja en la cohesión continúan afectando a los indicadores bibliométricos.

## 9.9. POPULARIDAD Y PRESTIGIO.

Por lo que respecta al comportamiento y evolución de los nuevos indicadores de popularidad y prestigio, su análisis pormenorizado ofrece resultados sugerentes. La combinación de indicadores bibliométricos y estructurales permite matizar las posiciones de los autores tanto en un listado ordenado de unos, como de otros. Así, es interesante comprobar que ni los primeros en producción en colaboración, ni los primeros en número observado de citas, ni los primeros en coeficiente de agrupamiento tienen las garantías necesarias para ocupar esos mismos puestos en popularidad y prestigio.

Sólo en el departamento de Economía de la Empresa, el primer autor en el listado ordenado por producción obtiene también el mejor valor en popularidad en ambos períodos.

Los autores con mayor producción son los primeros en popularidad en el primer lustro en Matemáticas, Teoría de la Señal y Tecnología Electrónica. Mientras que lo son en el segundo lustro en Economía y Ciencia de Materiales.

En los departamentos de Informática y Estadística el autor más productivo no ocupa la primera posición en popularidad en ambos períodos. Y en el departamento de Física ni siquiera aparece entre los tres primeros en el segundo quinquenio.

Por lo que respecta al indicador de prestigio, sí se encuentra más influido por el número de citas recibidas que el de popularidad por la producción. De esta manera, los departamentos de Informática, Economía de la Empresa, Matemáticas y Tecnología Electrónica presentan al autor con mayor número de citas como primero en prestigio.

En Economía y Teoría de la Señal el autor más citado ocupa el primer valor en el primer lustro. Mientras que sucede lo mismo en el segundo quinquenio en Estadística.

Sólo los departamentos de Ciencia de Materiales y Física no presentan al primer autor según su número de citas como primero en prestigio en ninguno de los períodos analizados.

En resumen, los nuevos indicadores enfatizan no sólo la importancia de los valores aportados por los indicadores bibliométricos tradicionales, sino también la necesidad para los autores de contar con una posición preeminente desde el punto de vista estructural. Quizá el departamento de Física sea un buen ejemplo para observar el comportamiento de sus actores, y como resulta tanto más beneficioso contar con un grupo de investigación cohesionado, que con un mayor número de trabajos en colaboración o de citas recibidas (si bien es cierto que en este caso se aprecia la influencia de los trabajos en multiautoría). Por tanto, resulta enriquecedora la matización propuesta por la que los autores son valorados no ya sólo por su volumen absoluto, sino también por su importancia en el seno de la red y por su capacidad para atraer y forjar grupos de trabajo en los que todos colaboran con todos (red distribuida), frente a agrupaciones en las que el nodo principal gestiona la colaboración manteniendo aislados a los distintos socios que participan en su producción (formación en estrella).

## 9.10. COROLARIO.

La última recomendación que cabe hacer a cualquier institución investigadora es su máxima responsabilidad a la hora de exigir la adopción y ejecución de buenas prácticas científicas por parte de los miembros que la componen. De esta manera, se hace necesaria la redacción de políticas institucionales claras, sólidas y transparentes, sin perjuicio de que éstas puedan delegarse en unidades menores, como departamentos, laboratorios o grupos de investigación. Tanto la institución superior, como las unidades menores deben contar con unos mecanismos adecuados que aseguren la conformidad de los datos, las metodologías y los resultados con la buena práctica científica (European Science Foundation, 2000). La misma recomendación es extensiva a los propios investigadores, que con políticas institucionales o sin ellas, deben ceñirse a las buenas prácticas en su trabajo para desterrar cualquier halo de sospecha no ya sólo sobre la calidad de los propios trabajos, sino también sobre la colaboración científica, sobre el grado de responsabilidad de los autores en los trabajos de investigación o sobre el reparto de la autoría en función del protagonismo demostrado.

# CAPÍTULO 10. CONCLUSIONES

## 10.1. EXPOSICIÓN DE LAS CONCLUSIONES.

La metodología desarrollada para la convergencia de la elaboración de mapas científicos, la visualización de dominios científicos y la teoría de redes ha sido aplicada al caso de estudio de la Universidad Carlos III, comprobándose su escalabilidad y robustez. La primera, referida a su aplicabilidad a un conjunto de datos con independencia de su volumen. La única limitación en este sentido se circunscribe al reducido tamaño del espacio físico disponible en la pantalla del ordenador para mostrar gran cantidad de nodos y/o enlaces. En este caso, la solución pasaría por el empleo de algoritmos de esquematización. La segunda, enfocada hacia los buenos resultados obtenidos una vez transformados los datos matriciales en redes de información, precisión refrendada tanto por la opinión de los expertos consultados, como por la similitud de las temáticas de investigación basada en las categorías a las que son adscritas las referencias bibliográficas contenidas en los documentos analizados.

Existe un pequeño talón de Aquiles, que no es atribuible a la metodología propiamente dicha, sino a la naturaleza de los datos empleados. En el capítulo de material se ha realizado un exhaustivo análisis de las bases de datos utilizadas, pero a pesar de su potencial y su idoneidad para este tipo de investigaciones, es indiscutible que presentan problemas de representatividad, debido al reducido número de revistas en ellas contenidas, y de precisión, debido a los numerosos problemas de normalización de datos, tanto individuales como institucionales, resueltos mediante técnicas que han asegurado su consistencia. La metodología, pues, resulta también firme en este sentido, y será tanto más fiable, representativa y precisa, cuanto más lo sea, no su definición, sino la calidad de los datos utilizados para su desarrollo.

La incorporación de nuevas colecciones de datos, procedentes de otras bases documentales de información científica, como Scopus (Grupo SCImago, 2007),

(Moya-Anegón F et al., 2007), o de otro tipo de documentos (comunicaciones a congresos, monografías, patentes, proyectos de investigación, movilidad de investigadores, contratos de investigación, informes técnicos, etc.), no haría sino mejorar los resultados, y afianzar la fortaleza del método propuesto.

En lo concerniente al modelado y caracterización de las redes de coautoría, las conclusiones han de subdividirse verticalmente en los tres niveles de análisis propuestos: individuos, grupos y departamentos.

- Individuos: la elaboración de nuevos indicadores de convergencia ha permitido conocer los patrones de enlaces entre actores como ayuda inestimable para la comprensión del fenómeno individual. Las nuevas fórmulas de caracterización de investigadores se articulan como instrumentos de evaluación válidos y eficaces para la detección de los autores excelentes, entendiendo como tales no ya sólo a los más productivos o más visibles, sino a aquellos capaces de aunar esos esfuerzos con los derivados del trabajo colectivo. Y son considerados excelentes porque a su valía y capacidad individual, suman la de sus colaboradores, con los que generar nuevo conocimiento científico, técnico y/o tecnológico de alta calidad, y garantizar la consecución de nuevos recursos que aseguren el desarrollo de nuevas investigaciones.

  De esta forma, ha sido posible la determinación de las posiciones individuales y su distinción mediante indicadores que muestran a los profesores centrales, a los más prestigiosos y a aquellos que actúan como intermediarios, permitiendo la comparación temporal e interdepartamental. Asimismo, la fijación de las relaciones en el seno de las redes de coautoría de los dos períodos analizados, reflejan los patrones de colaboración que han seguido los distintos actores para conseguir el reconocimiento y la influencia de sus ideas entre sus colegas.

Se trata, pues, de herramientas sensibles a los indicadores tradicionales, pero también a las nuevas demandas de la ciencia moderna como sistema autoorganizado de interacciones entre individuos, suministrando información sobre el entorno de los investigadores, y de la forma en que éstos se desenvuelven en el mismo (colaborando siempre con los mismos compañeros y ciñéndose a los mismos temas de investigación, o renovando los socios científicos en busca de nuevos retos, por ejemplo). En este nuevo panorama, ya no basta con tener (trabajos o citas), sino que es preciso ser, desde la perspectiva del *connecto ergo sum* acertadamente acuñada por Björneborn (Björneborn L, 2004).

Los resultados obtenidos enfatizan la nueva forma de concepción de la ciencia y la investigación, y dan el protagonismo necesario al grado de colaboración de los investigadores, hasta ahora ignorado, y constatando de forma fehaciente su importancia para la gestión de políticas de ciencia y tecnología.

A esto se une la particularidad de las visualizaciones creadas por la cual es posible acceder a la red egocéntrica de cada uno de los nodos participantes en la red. Este desarrollo no sólo permite conocer a todos los colaboradores de un autor, sino también comprobar la fortaleza de los enlaces, representada en forma de líneas más gruesas y oscuras, además de su heterogeneidad, mostrada en forma de ratio en función de la casuística tipológica de cada una de las particiones.

- Grupos: esta tesis ha hecho viable la identificación de grupos de investigación definida a partir de sus estructuras de elección de enlaces de coautoría. Así, la pertenencia de los autores a un grupo se establece en función de la similitud de su elección de socios. Para ello, se ha empleado el

Análisis Factorial, cuyos resultados permiten la caracterización de la estructura de comunicación de cada uno de los grupos en el seno de su departamento. El resultado es un conjunto de comunidades, cada una de las cuales comparte orientaciones y objetivos de investigación distintivos respecto de los de las demás, fundamentada en sus trabajos de investigación.

La posterior identificación y agregación de grupos según sus características comunes, en este caso la categoría temática, ha permitido la obtención de la radiografía intelectual o el organigrama cognitivo departamental, instrumento destinado a detallar las especialidades de los autores, como incipiente aproximación a los frentes de investigación en los que desarrollan su labor investigadora, y a su evolución a lo largo del tiempo.

Además, la distinta magnitud de los enlaces representados, permite descender al concepto de "equipo de investigación", entendiendo como tal a aquel subconjunto nuclear detectado a partir de agrupaciones nodales con elevada intensidad de relaciones, como instrumento diferenciador de la forma de relación entre grupos.

- Departamentos: los hallazgos en este nivel han permitido la observación y el análisis de la estructura departamental con un inusual grado de detalle en las distintas vertientes y perspectivas sugeridas por la literatura en esta materia: especialidades, sexo, posición administrativa y relaciones intra e interinstitucionales. La inclusión de doce indicadores unidimensionales integran la vertiente de proceso (estructural), con la descriptiva (bibliométrica), para aumentar el contenido informativo, que facilitará la comprensión de los detalles de asociación y de los flujos de comunicación por parte de los investigadores y de los gestores, que les permitirán

conocer, como observadores de excepción, la realidad del contexto de trabajo del que forman parte y que ellos mismos han construido.

En este sentido, la colaboración con otras instituciones (nacionales o extranjeras), no asegura la obtención de mayor visibilidad esperada de los resultados de investigación. Por ello, la elección de socios colaboradores habrá de realizarse no en función de la proximidad (geográfica, política, social, cultural, o cualesquiera otra) que augura un fácil entendimiento, sino en función de la existencia de inquietudes, capacidades y necesidades que permitan la resolución de problemas comunes, es decir, fundamentada en la proximidad cognitiva, que conllevará mayores esfuerzos, pero también mayores beneficios. En definitiva, alcanzar el diálogo entre grupos, instituciones, países y disciplinas para lograr el avance del conocimiento científico.

De la misma manera, la escasa colaboración interdepartamental, pone de relieve dos aspectos diferenciados pero íntimamente relacionados. El primero de ellos es la importancia del capital intelectual externo en la producción científica de los departamentos, siendo en ocasiones predominante, incluso, sobre el capital intelectual interno. El segundo, derivado del anterior, evidencia severos problemas de comunicación interna en el seno de la institución, que hace necesario el desarrollo de mecanismos que garanticen la transmisión efectiva de los contenidos de los trabajos y habilidades de investigación existentes en la organización, y aquellas características más destacadas de los mismos susceptibles de interés y utilidad para el resto de la comunidad universitaria.

Por otro lado, tanto la representatividad femenina, como la de los jóvenes investigadores presentan una casuística similar. Su moderado aumento (en producción, visibilidad y centralidad), no es óbice para el desarrollo de

planes de incorporación de personal investigador que aúnen cantidad y calidad, y del desarrollo de carreras profesionales basado en méritos y capacidades individuales.

Desde la vertiente puramente estructural, la "juventud" de la institución ha facilitado la observación del desarrollo y evolución de las redes de coautoría. Éstas presentan una fase de surgimiento, coincidente con el primer período analizado, caracterizada por el predominio de agrupaciones en forma de facciones y coaliciones (Crowe JA, 2007). En el segundo período, en cambio, las redes evolucionan hacia una fase de consolidación, más o menos acusada en función del grado de madurez departamental y del ámbito científico, caracterizada por un aumento del número de actores y de vínculos débiles encargados de conectar comunidades, conformando componentes de mayor tamaño.

Así, se ha comprobado que las subestructuras en forma de red distribuida son, como se enfatizará a continuación en las redes completas, más eficientes que las organizadas en forma de estrella. Éstas últimas, se caracterizan porque su gobierno se ejerce desde un nodo central encargado de controlar y gestionar la información, y alrededor del cual se establecen los enlaces con el resto de participantes, sin que existan otras conexiones en la red (Goyal S y Vega-Redondo F, 2005). Es lo que en teoría de redes se denomina agujero estructural, o aquella relación entre grupos que actúa de barrera (control) de información, y que otorga una posición estructural ventajosa y prominente (Burt RS, 2001). Frente a ellas, las redes distribuidas caracterizadas por un gobierno compartido entre sus miembros y en las que predominan las conexiones recíprocas. Permiten homogeneizar y compartir los distintos flujos de información, facilitando la integración de los actores de los distintos grupos, y obtener estructuras informativamente aditivas y no redundantes mejor adaptadas a la obtención de nuevo conocimiento.

Existe un último nivel conclusivo horizontal que emerge como compendio del departamental, y que permite poner en relación el conjunto de redes analizadas. Desde esta perspectiva, esta tesis corrobora, en primer lugar, la noción ampliamente extendida y aceptada por la comunidad científica internacional que otorga a la colaboración científica efectos positivos y de mejora sobre la productividad y la visibilidad, observada en el caso que nos ocupa.

En segundo lugar, este trabajo contribuye a caracterizar las redes que conforman las relaciones de coautoría. A pesar de que trabajar en el nivel micro de la estructura científica, con redes de pequeño y mediano tamaño, es considerado un handicap por muchos investigadores, las distribuciones de grado obtenidas son similares a la estructura arquetípica de redes sin escala extraída del análisis de redes del mundo real de mucho mayor tamaño.

En tercer lugar, en lo concerniente al análisis de redes, esta tesis pone de manifiesto la influencia de la estructura y cohesión de las redes y su afectación sobre indicadores bibliométricos básicos. En definitiva, el análisis de los valores de estas representaciones, permiten una aproximación al estudio de la “eficiencia” de redes, entendida como la comparación de resultados en función de la configuración estructural predominante. Así, las estructuras centralizadas, con menor número de componentes, se muestran más eficientes, que las descentralizadas, formadas por la concurrencia de grupos aislados. Un caso paradigmático de los efectos de la configuración estructural sobre la eficiencia, es la evolución de la red del departamento de Matemáticas, que transforma su composición centralizada, por otra basada en grupos desconectados, obteniendo un claro retroceso tanto productivo, como de visibilidad.

Por lo que respecta a las herramientas de visualización, elaboradas a partir de las premisas planteadas en el capítulo dedicado a la visualización de información,

representan soluciones espacio-temporales a postulados como la no distorsión de los datos originales (la escasa tupición de las redes de tamaño medio resultantes no ha hecho necesaria la aplicación de algoritmos de esquematización o simplificación, ofreciendo un paisaje inalterado de la realidad subyacente en los datos empleados), la presentación de gran cantidad de información de manera coherente en el menor espacio posible (gracias a los algoritmos spring-embbeder), o la posibilidad de comparación entre distintos tipos de indicadores (bibliométricos y/o estructurales). Pero una de las cualidades más valoradas por los usuarios es su capacidad de interacción (ayudas visuales como los distintos colores y tamaños de nodos y enlaces, botones de opción para modificar la perspectiva de la visualización, uso de opacidad para facilitar la obtención de información, o la posibilidad de desplazamientos y navegación mediante zoom).

Se trata, por tanto, de herramientas que trascienden la mera representación gráfica, para convertirse en instrumentos de conocimiento capaces de reflejar la evolución de los distintos agregados analizados a lo largo del tiempo a partir de sus propios protagonistas, enfatizando la idea tantas veces expuesta de la ciencia como sistema social en el que los científicos intercambian ideas, experiencias, preguntas y soluciones. Y aunque esa evolución es estática e histórica, la observación de su tendencia a lo largo del tiempo es, como en el caso de los mapas meteorológicos, una herramienta de ayuda inestimable para la predicción y el pronóstico.

Como colofón, el aumento de la colaboración científica es la mejor muestra de lo complicado que resulta para un científico albergar en sí mismo el conocimiento, las técnicas, las habilidades y el manejo de las herramientas requeridas para la elaboración de trabajos científicos de calidad. El investigador, por tanto, se aleja cada día más de la individualidad, para aproximarse a un modelo en el que la investigación se convierte en la protagonista, dejando al científico en un segundo plano.

En este nuevo entorno de trabajo, interdisciplinar, multidisciplinar, transdisciplinar, tan difícil resulta la separación del todo investigado en partes disciplinares, como el intento de hacer lo propio con la autoría de los documentos. El cambio hacia el nuevo paradigma predicho por Gibbons, supone no sólo el cambio de los lugares de realización y de cómo se confecciona la nueva ciencia, sino también el cambio en la forma de ser entendida, entre lo que se ha de incluir, sin duda, la forma de adjudicación a los encargados de su creación. Puesto que también se ha tenido la oportunidad de comprobar que el trabajo en grupo es la forma básica y esencial de producir trabajos científicos, ¿por qué seguir tratando de repartir la autoría de los mismos como si de una tarta se tratara? Tan indivisible debería resultar la adscripción temática (disciplinar) de un trabajo, como su autoría.

A ello se une el hecho contrastado de la bondad de la colaboración científica *per se*, que queda ratificado por ejemplos tan ilustrativos como las últimas convocatorias de proyectos de investigación regionales (Comunidad de Madrid, 2005), nacionales (Ministerio de Educación y Ciencia, 2006) y europeas (Unión Europea, 2006), en las que se hace estrictamente necesaria la concurrencia de varios grupos de investigación en cada una de las propuestas presentadas.

Por último, este trabajo ha permitido comprobar como los análisis en el nivel más bajo de la estructura científica, a pesar de contar con un volumen de datos comparativamente más reducido, hacen posible la obtención de resultados relevantes, capaces de corroborar observaciones y nociones científicas derivadas de los análisis de macro conjuntos de datos de colaboración (nacional o internacional). Resulta, pues, evidente que, aunque el esfuerzo de normalización en este nivel es superior al necesario en otros agregados, los resultados presentan mayor granulación o, dicho de otro modo, contienen información de mayor relevancia y detalle. Algunos autores dirigen las críticas a este tipo de análisis por su falta de significación estadística. Mas, al contrario, se convierten en una fórmula ideal para detectar las peculiaridades y para tratar de explicar y entender las

posibles desviaciones de la norma que, de otro modo, quedarían totalmente encubiertas en estudios de rango superior. En definitiva, la comprensión de la ciencia en su sentido más amplio pasa por el tamiz que nos ofrece el análisis micro.

## 10.2. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN FUTURAS.

### GRUPOS DE INVESTIGACIÓN.

Aunque esta tesis presenta una metodología apropiada para el análisis de grupos de investigación, y ha demostrado su potencial en el análisis y visualización de redes de colaboración departamentales, y para la detección de grupos y especialidades de investigación, un objetivo que se antoja inmediato es el dirigido a la comparación de estas unidades “reales”, basadas en el trabajo científico común en forma de publicación, con las estructuras “oficiales” recogidas en el primer Catálogo de Grupos de Investigación de la UC3M.

### ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y DE REDES.

En este trabajo se han detectado algunos de los factores que subyacen y explican las distintas configuraciones de red, la posición de los grupos en la red, la estructura interna de comunicación de esos grupos detectados, o la posición de los distintos autores dentro de su grupo y con respecto al resto de actores de la red completa. Pero se abren nuevas incertidumbres que han de ser desveladas: ¿cómo afecta la diversidad y heterogeneidad del grupo a su creatividad, cohesión, cooperación y toma de decisiones?, ¿qué tipo de relaciones internas pueden asociarse con el fomento del trabajo en grupo?, ¿influye la densidad de enlaces de un grupo con su entorno a su desarrollo?, ¿existen posiciones estructurales especiales que se corresponden con mayores beneficios, conformando conexiones estratégicas?

Desde otro punto de vista, la tesis muestra estructuras de redes de coautoría que pueden dividirse según su cohesión en: redes distribuidas, redes independientes y redes de agujeros estructurales. La detección y análisis de esas estructuras permitirá conocer si la composición es un factor determinante que afecta al éxito de las actividades investigadoras de los grupos de investigación.

**VISUALIZACIÓN DE INFORMACIÓN.**

Otros objetivos más ambiciosos a medio plazo pasan por la construcción de visualizaciones con un mayor grado de interacción que faciliten la navegación de los usuarios por sistemas de mapas en distintos subniveles, que partiendo de macrodominios (países o regiones geopolíticas), permitan el descenso al detalle de mesodominios (regiones, sectores, disciplinas, instituciones), que a su vez den paso a microdominios como los aquí representados, funcionamiento similar al de los mapas de cocitación del Atlas of Science (Grupo SCImago, 2004).

La principal dificultad radicará en la normalización y control del ingente volumen de autores participantes en los miles de documentos que aumentan a medida que ascendemos de nivel. Pero la cultura de unificación del nombre, tanto en el caso de individuos como de instituciones, cada vez más extendida entre los científicos, sirva como ejemplo la iniciativa IRALIS (IraLIS, 2007), por un lado, y los avances algorítmicos para la detección y corrección de estos inconvenientes, por otro, juegan a nuestro favor.

**DESARROLLO DE NUEVOS INDICADORES.**

También resultará de gran importancia la introducción de nuevos indicadores bibliométricos, pero sobre todo estructurales, como complementos informativos ideales para la consecución de un sistema de recuperación de información en línea. El énfasis en la exploración de estas novedosas representaciones desde la óptica

del análisis estructural, ampliando la batería de indicadores de centralidad con otros de cohesión e incluso métodos probabilísticos para la predicción de la evolución de las redes, se presenta como una línea de investigación de gran proyección y con prometedores resultados.

**EVOLUCIÓN DE REDES.**

Por último, una línea de investigación no menos sugerente es la consecución de mapas interactivos que transformen su estática mediante la incorporación de información temporal, rompiendo la falta de movimiento y la inmutabilidad de las representaciones, con animaciones que permitan al usuario la observación del proceso de formación y evolución de las redes.

# BIBLIOGRAFÍA

1. Acedo FJ; Barroso C; Casanueva C; Galán JL. Co-authorship in Management and Organizational Studies: an empirical and network analysis. *Journal of Management Studies,* 2006, 43 (5), p. 957-983.

2. Aksnes DW; Sivertsen G. The effect of highly cited papers on national citation indicators. *Scientometrics,* 2004, 59 (2), p. 213-224.

3. Albert R; Barabási AL. Statistical mechanics of complex networks. *Reviews of Modern Physics,* 2002, 74 (1), p. 47-97.

4. Andersen H. Influence and reputation in the Social Sciences. *Journal of Documentation,* 2000, 56 (6), p. 674-692.

5. Archambault E; Gagné EV. *The use of bibliometrics in the Social Sciences and Humanities.* Montreal: Social Sciences and Humanities Research Council of Canada, 2004.

6. Balakrishnan H; Deo N. Discovering communities in complex networks. *Proceedings of the Annual Southeast Regional Conference*, 44, 2006. Nueva York: Association for Computing Machinery, 2006. P. 280-285.

7. Barabási AL. *Linked: the new science of networks*. Cambridge: Perseus, 2002.

8. Barabási AL; Albert R; Jeong H. Mean-field theory for scale-free random networks. *Physica A,* 1999, 272, p. 173-187.

9. Barabási AL; Bonabeau E. Redes sin escala. *Investigación y Ciencia,* 2003, julio, p. 58-67.

10. Barabási AL; Jeong H; Néda Z; Ravasz E; Schubert A; Vicsek T. Evolution of the social network of scientific collaborations. *Physica A,* 2002, 311, p. 590-614.

11. Barabási AL; Reka A. Emergence of scaling in random networks. *Science,* 1999, 286 (5439), p. 509-512.

12. Barber B. *The logic and limits of trust*. New Brunswich: Rutgers University Press, 1983.

13. Barrat A; Barthélemy M; Pator-Satorras R; Vespignani A. The architecture of complex weighted networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,* 2004, 101 (11), p. 3747-3752.

14. Bassecoulard E; Okubo Y; Zitt M. Insights in determinants of international scientific cooperation. *Berlin Workshop on Scientometrics and Informetrics*, 2º, 2000. Berlín: Free University, 2000. P. 13-28.

15. Batagelj V; Mrvar A. *Pajek: reference manual*. Liubiana: Universidad, 2004.

16. Batagelj V; Mrvar A. *Social network analysis: tutorial and course material*. [En línea]. Liubiana: Universidad, 2003. <http://mrvar.fdv.uni-lj.si/sola/info4/programe.htm>. [Consulta: 6-10-2007].

17. Baumgartner J; Zou Y; Börner K. *Spring embedding algorithm*. [En línea]. Bloomington: Indiana University, 2002. <http://ella.slis.indiana.edu/~katy/L697/code/spring.html>. [Consulta: 6-10-2007].

18. Beaver D. Reflections on scientific collaboration (and its study): past, present and future. *Scientometrics,* 2001, 52 (3), p. 365-377.

19. Beaver D; Rosen R. Studies in scientific collaboration. Part I. The professional origins of scientific co-authorship. *Scientometrics,* 1978, 1, p. 65-84.

20. Beaver D; Rosen R. Studies in scientific collaboration. Part II. Scientific co-authorship, research productivity and visibility in the french scientific elite. *Scientometrics,* 1979, 1 (2), p. 133-149.

21. Belkhodja O; Landry R. The triple helix collaboration: why do researchers collaborate with industry and the government? What are the factors influencing the perceived barriers? *Triple Helix Conference*, 5, 2005. Turín: Triple Helix 5, 2005.

22. Bellardo T. The use of co-citations to study science. *Library Research,* 1980, 2, p. 231-237.

23. Berlow EL; Neutel AM; Cohen JE; De Ruiter PC; Ebenman B; Emmerson M; Fox JW; Jansen AA; Jones I; Kokkoris GD, [et al.] . Interaction strengths in food webs: issues and opportunities. *Journal of Animal Ecology,* 2004, 73, p. 585-598.

24. Björneborn L. *Small-world link structures across an academic web space: a library and information science approach*. [Tesis Doctoral]. Copenhague: Royal School of Library and Information Science, 2004.

25. Björneborn L. Mini small worlds of shortest link paths crossing domain boundaries in an academic web space. *Scientometrics,* 2006, 68 (3), p. 395-414.

26. Bollen J; Rodríguez MA; van de Sompel H. Journal status. *Scientometrics,* 2006, 69 (3), p. 669-687.

27. Bonaccorsi A; Daraio C. Age effects in scientific productivity: the case of Italian National Research Council (CNR). *Scientometrics,* 2003, 58 (1), p. 49-90.

28. Bordons M; Gómez I. Collaboration networks in science. En: *The web of knowledge: A festschrift in honor of Eugene Garfield*. Medford: Information Today, 2000. P. 197-213.

29. Bordons M; Morillo F; Fernández MT; Gómez I. One step further in the production of bibliometric indicators at the micrto level: differences by gender and professional category of scientists. *Scientometrics,* 2003, 57 (2), p. 159-173.

30. Bordons M; Morillo F; Gómez I. Analysis of cross-disciplinary research through bibliometric tools. En: *Handbook of quantitative science and technology research*. Dordrecht: Kluwer Academic, 2004. P. 437-456.

31. Bordons M; Zulueta MA. Comparison of research team activity in two biomedical fields. *Scientometrics,* 1997, 40 (3), p. 423-436.

32. Bordons M; Zulueta MA; Cabrero A; Barrigón S. Identifying research teams with bibliometric tools. *International Conference of the International Society for Scientometrics and Informetrics*, 5º, 1995a. Medford: Learned Information, 1995a. P. 83-91.

33. Bordons M; Zulueta MA; Cabrero A; Barrigón S. Research performance at the micro level: analysis of structure and dynamics of pharmacological research teams. *Research Evaluation,* 1995b, 5 (2), p. 137-142.

34. Borgatti S. *Conceptos básicos de redes sociales*. [En línea]. 2003. <http://www.analytictech.com/borgatti/>. [Consulta: 6-10-2007].

35. Borgman CL. Digital libraries and the continuum of scholarly communication. *Journal of Documentation,* 2000, 56 (4), p. 412-430.

36. Borgman CL; Furner J. Scholarly communication and bibliometrics. *Annual Review of Information Science and Technology,* 2003, 37, p. 3-72.

37. Börner K; Chen C; Boyack KW. Visualizing knowledge domains. *Annual Review of Information Science and Technology,* 2003, 37, p. 179-255.

38. Börner K; Dall'Asta L; Ke W; Vespignani A. Studying the emerging global brain: analyzing and visualizing the impact of co-authorship teams. *Complexity,* 2005, 10 (4), p. 57-67.

39. Börner K; Maru JT; Goldstone RL. The simultaneous evolution of author and paper networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,* 2004, 101 (suppl. 1), p. 5266-5273.

40. Börner K; Sanyal S; Vespignani A. Network science. *Annual Review of Information Science and Technology,* 2007, 41, p. 537-607.

41. Bos N; Zimmerman A; Olson; Yew J; Yerkei J; Dahl E; Olson G. From shared databases to communities of practice: a taxonomy of collaboratories. *Journal of Computer-Mediated Communication,* 2007, 12 (2),

42. Bourke P; Butler L. Institutions and the map of science: matching university departments and fields of research. *Research Policy,* 1998, 26 (6), p. 711-718.

43. Boyack KW; Klavans R; Börner K. Mapping the backbone of science. *Scientometrics,* 2005, 64 (3), p. 351-374.

44. Bozeman B; Corley E. Scientists' collaboration strategies: implications for scientific and technical human capital. *Research Policy,* 2004, 33, p. 599-616.

45. Braam RR; Moed HF; van Raan AFJ. Mapping of science by combined co-citation and word analysis I: structural aspects. *Journal of the American Society for Information Science,* 1991b, 42 (4), p. 233-251.

46. Braam RR; Moed HF; van Raan AFJ. Mapping of science by combined co-citation and word analysis II: dynamical aspects. *Journal of the American Society for Information Science,* 1991a, 42 (4), p. 252-266.

47. Braun T; Brocken MGM; Glänzel W; Rinia EJ; Schubert A. Hyphenation of databases in building scientometric indicadors: Physics briefs - SCI based indicators of 13 European countries,1980-1989. *Scientometrics,* 1995, 33 (2), p. 131-148.

48. Braun T; Glänzel W; Schubert A. *Scientometric indicators*. Philadelphia: World Scientific, 1985.

49. Braun T; Glänzel W; Schubert A. How balanced is the Science Citation Index's journal coverage? A preliminary overwiew of macrolevel stadistical data. En: *The web of knowledge: A festschrift in honor of Eugene Garfield*. Medford: Information Today, 2000. P. 252-277.

50. Burrell QL; Rousseau R. Fractional counts for authorship attribution: a numerical study. *Journal of the American Society for Information Science,* 1995, 46 (2), p. 97-102.

51. Burt RS. Structural holes versus network closure as social capital. En: *Social capital: theory and research*. Nueva York: Aldine de Gruyter, 2001.

52. Bush V. As we may think. *The Atlantic Monthly,* 1945, 176 (1), p. 101-108.

53. Calero C; Buter R; Cabello C; Noyons ECM. How to identify research groups using publication analysis: an example in the field of nanotechnology. *Scientometrics,* 2006, 66 (2), p. 365-376.

54. Callon M; Courtial JP; Turner WA; Bauin S. From translations to problematic networks: an introduction to co-word analysis. *Social Science Information,* 1983, 22 (2), p. 191-235.

55. Capocci A; Servedio VDP; Caldarelli G; Colaiori F. Detecting communities in large networks. *Physica A,* 2005, 352, p. 669-676.

56. Carpenter MP; Narin F. Clustering of scientific journals. *Journal of the American Society for Information Science,* 1973, 24 (6), p. 425-436.

57. Castells M. *The rise of network society*. Oxford: Blackwell, 1998. (The information age, 1).

58. Chen C. Domain visualization for digital libraries. *International Conference on Information Visualisation*, 4, 2000. Londres: IEEE Computer Society, 2000. P. 261-267.

59. Chen C; Carr L. Visualizing the evolution of a subject domain: a case study. *IEEE Visualization*, 1999b. San Francisco: IEEE Computer Society, 1999b. P. 449-452.

60. Chen C; Carr L. A semantic-centric approach to information visualization. *International Conference on Information Visualisation*, 3, 1999a. Londres: IEEE Computer Society, 1999a. P. 18-23.

61. Chen C; Lobo N. Visualizing complex networks. En: Geroimenko V and Chen C. *Visualizing information usuing SVG and X3D: XML-based technologies for the XML-based Web*. Londres: Springer, 2005. P. 183-201.

62. Chen C; Morris S. Visualizing evolving networks: minimum spanning trees versus pathfinder networks. *IEEE Symposium on Information Visualization*, 2003. Seattle: IEEE Computer Society, 2003. P. 67-74.

63. Chen C; Paul RJ. Visualizing a knowledge domain's intellectual structure. *IEEE Computer,* 2001, 34 (3), p. 65-71.

64. Chen C; Paul RJ; O'Keefe B. Fitting the jigsaw of citation: information visualization in domain analysis. *Journal of the American Society for Information Science and Technology,* 2001, 52 (4), p. 315-330.

65. Chinchilla-Rodríguez Z. *La investigación científica española (1995-2002): una aproximación métrica*. Granada: Universidad, 2006.

66. Chompalov I; Genuth J; Shrum W. The organization of scientific collaborations. *Research Policy,* 2002, 31, p. 749-767.

67. CINDOC. *Indicadores de producción científica y tecnológica de la Comunidad de Madrid (PIPCYT) 1997-2001*. Madrid: Dirección General de Universidades e Investigación, 2004.

68. CINDOC. *La investigación del CSIC a través de sus publicaciones científicas de difusión internacional (1981-2003)*. Madrid: Centro de Información y Documentación Científica, 2006.

69. Cohen JE. Size, age and productivity of scientific and technical research groups. *Scientometrics,* 1991, 20 (3), p. 395-416.

70. Colman AM; Dhillon D; Coulthard B. A bibliometric evaluation of the research performance of British university politics departments: publications in leading journals. *Scientometrics,* 1995, 32 (1), p. 49-66.

71. Comrey AL. *Manual de análisis factorial*. Madrid: Cátedra, 1985.

72. Comunidad de Madrid. *IV Plan Regional de Investigación Científica e Innovación Tecnológica: IV PRICIT (2005-2008)*. [En línea]. Madrid: Consejería de Educación, 2005. <http://www.madrimasd.org/queesmadrimasd/pricit/default.asp>. [Consulta: 6-10-2007].

73. Corera-Álvarez E. *Análisis de dominio científico de las Matemáticas en España (ISI, Web of Science, 1990-2004)*. [Tesis Doctoral]. Granada: Universidad, 2006.

74. Costa J. *La esquemática: visualizar la información*. Barcelona: Paidos, 1998.

75. Costas R; Bordons M. Bibliometric indicators at the micro-level: some results in the area of natural resources at the Spanish CSIC. *Research Evaluation,* 2005, 14 (2), p. 110-120.

76. Crowe JA. In search of a happy medium: how the structure of interorganizational networks influence community economic development strategies. *Social Networks,* 2007, 29 (4), p. 469-488.

77. Culnan MJ; O'Reilly III CA; Chatman JA. Intellectual structure of research in organizational behavior, 1972-1984: a cocitation analysis. *Journal of the American Society for Information Science,* 1990, 41 (6), p. 453-458.

78. Cummings JN; Kiesler S. Collaborative research across disciplinary and organizational boundaries. *Social Studies of Science,* 2005, 35 (5), p. 703-722.

79. Davenport E. Knowledge management issues for online organisations: communites of practice as an exploratory framework. *Journal of Documentation,* 2001, 57 (1), p. 61-75.

80. Davenport E; Hall H. Organizational knowledge and communities of practice. *Annual Review of Information Science and Technology,* 2002, 36, p. 171-227.

81. De Bruin RE; Moed HF. Delimitation of scientific subfields using cognitive words from corporate addresses in scientific publications. *Scientometrics,* 1993, 26 (1), p. 65-80.

82. Degenne A; Forsé M. *Introducing social networks*. Londres: Sage, 1999.

83. Ding Y; Chowdhury GG; Foo S. Journal as markers of intellectual space: journal co-citation analysis of information retrieval area, 1987-1997. *Scientometrics,* 2000, 47 (1), p. 55-73.

84. Donetti L; Muñoz MA. Detecting network communities: a new systematic and efficient algorithm. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment,* 2004, 10012, p. 1-15.

85. Dorogovtsev SN; Mendes JFF. *Evolution of networks: from biological nets to the Internet and WWW*. Oxford: Oxford University Press, 2003.

86. Eades P. A heuristic for graph drawing. *Congressus Numerantium,* 1984, 42 (8), p. 149-160.

87. Edge D. Quantitative measures of communication in science: a critical review. *History of Science,* 1979, 17, p. 102-134.

88. Egghe L; Rousseau R. *Introduction to informetrics: quantitative methods in Library, Documentation and Information Science*. Amsterdam: Elsevier, 1990.

89. Egghe L; Rousseau R; van Hooydonk G. Methods for accrediting publications to authors or countries: consequences for evaluation studies. *Journal of the American Society for Information Science,* 2000, 51 (2), p. 145-157.

90. Ellis D; Oldridge R; Vasconcelos A. Community and virtual community. *Annual Review of Information Science and Technology,* 2004, 38, p. 145-186.

91. Erdös P; Reyni A. On random graphs I. *Publications Mathematicae,* 1959, 6, p. 290-297.

92. European Science Foundation. *Good scientific practice in research and scholarship.* Estrasburgo: European Science Foundation, 2000. (European Science Foundation Policy Briefing, nº 10).

93. Faba Pérez C; Guerrero-Bote VP; Moya-Anegón F. Self-organizing maps of Web spaces based on formal characteristics. *Information Processing and Management,* 2005, 41 (2), p. 331-346.

94. Faba Pérez C; Guerrero-Bote VP; Moya-Anegón F. *Fundamentos y técnicas cibermétricas*. Mérida: Junta de Extremadura, 2004.

95. Fernández MT; Cabrero A; Zulueta MA; Gómez I. Constructing a relational database for bibliometric analysis. *Research Evaluation,* 1993, 3 (1), p. 55-62.

96. Finholt TA. Collaboratories. *Annual Review of Information Science and Technology,* 2002, 36, p. 73-107.

97. Flament C. *Teoría de grafos y estructuras de grupo*. Madrid: Tecnos, 1972. (Estructura y función, 37).

98. Frame JD. Mainstream research in Latin America and the Caribbean. *Interciencia,* 1977, 2 (3), p. 143-148.

99. Frame JD; Carpenter MP. International research collaboration. *Social Studies of Science,* 1979, 9, p. 481-497.

100. Franco Aliaga T. *Viajar a través de la cartografía*. Madrid: UNED, 2001.

101. Freeman L. A set of measures of centrality based on betweenness. *Sociometry,* 1977, 40, p. 35-41.

102. Freeman L. Centrality in social networks: conceptual clarification. *Social Networks,* 1979, 1, p. 215-239.

103. Fruchterman TMJ; Reingold EM. Graph drawing by force-directed placement. *Software-Practice and Experience,* 1991, 21 (1), p. 1129-1164.

104. Gálvez C; Moya-Anegón F. The unification of institutional addresses applying parametrized finite-state graphs (P-FSG). *Scientometrics,* 2006, 69 (2), p. 323-345.

105. Gálvez C; Moya-Anegón F. Approximate personal name-matching through finite-state graphs. *Journal of the American Society for Information Science and Technology,* 2007a, 58 (13), p. 1960-1976.

106. Gálvez C; Moya-Anegón F. Standardizing formats of corporate source data. *Scientometrics,* 2007b, 70 (1), p. 3-26.

107. Gambetta D. *Making and breaking cooperative relations*. Oxford: Basil Blackwell, 1990.

108. García-Aracil A; Gutiérrez Gracia A; Pérez-Martín M. Analysis of the evaluation process of the research performance: an empirical case. *Scientometrics,* 2006, 67 (2), p. 213-230.

109. Garfield E. The Science Citation Index and ISI's Journal Citation Reports: their implications for journal editors. *General Assembly of the European Association of Editors of Biological Periodicals*, 3, 1976. París: European Association of Editors of Biological Periodicals, 1976.

110. Garfield E. *Citation analysis as a method of historical research into science: its theory and applications in science, technology and humanities*. Nueva York: John Wiley and Sons, 1979.

111. Garfield E. *Mapping the world of science*. [En línea]. Philadelphia: The Scientist, 1998. <http://www.garfield.library.upenn.edu/papers/mapsciworld.html>. [Consulta: 6-10-2007].

112. Garfield E; Malin MV; Small HG. Citation data as science indicators. En: Elkana Y and [et al.]. *Toward a metric of science: the advent of science indicators*. Nueva York: John Wiley and Sons, 1978. P. 580-607.

113. Garfield E; Sher IH. New factors in the evaluation of scientific literature through citation indexing. *American Documentation,* 1963, 14 (3), p. 195-201.

114. Garvey WD; Griffith BC. Scientific information exchage in Psychology. *Science,* 1964, 146, p. 1655-1659.

115. Genest C; Thibault C. Investigating the concentration within a research community using joint publications and co-authorship via intermediaries. *Scientometrics,* 2001, 51 (2), p. 429-440.

116. Gibbons M. *What kind of University? Research and teaching in the 21st century*. [En línea]. Melburne: Victoria University, 1997. <http://www.gu.edu.au/vc/ate/pdf/gibbons.pdf>. [Consulta: 6-10-2007].

117. Gibbons M; Limoges C; Nowotny H; Schwartzman S; Scott P; Trow M. *La nueva producción del conocimiento: la dinámica de la ciencia y la investigación en las sociedades contemporáneas*. Barcelona: Pomares, 1997.

118. Girvan M; Newman MEJ. Community structure in social and biological networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,* 2002, 99 (12), p. 7821-7826.

119. Glänzel W. National characteristics in international scientific co-authorship relations. *Scientometrics,* 2001, 51 (1), p. 69-115.

120. Glänzel W; Schubert A. Double effort=Double impact? A critical view at international co-authorship in chemistry. *Scientometrics,* 2001, 50 (2), p. 199-214.

121. Glänzel W; Schubert A. Domesticity and internationality in co-authorship, references and citations. *Scientometrics,* 2005, 65 (3), p. 323-342.

122. Gómez I; Bordons M; Morillo F; Fernández MT. Regionalisation of science and technology data in Spain. *Research Evaluation,* 2005, 14 (2), p. 137-148.

123. Gómez I; Fernández MT; Bordons M; Morillo F. *Proyecto de obtención de indicadores de producción científica de la Comunidad de Madrid (PIPCYT) (1997-2001)*. Madrid: Centro de Información y Documentación Científica, 2004.

124. Gordon MD. A critical reassessment of inferred relations between multiple authorship, scientific collaboration, the production of papers and their acceptance for publication. *Scientometrics,* 1980, 2, p. 193-201.

125. Goyal S; Vega-Redondo F. Structual holes in social networks. *The Coalition Theory Network Workshop*, X, 2005. Paris: Centre d'Économie de la Sorbonne, 2005.

126. Gray B. *Collaborating*. San Francisco: Jossey-Bass, 1989.

127. Griffith BC; Small HG; Stonehill JA; Dey S. The structure of scientific literatures II: toward a macro and microstructure for science. *Science Studies,* 1974, p. 339-365.

128. Grupo SCImago. *Atlas of Science*. [En línea]. 2004. <http://www.atlasofscience.net>. [Consulta: 6-10-2007].

129. Grupo SCImago. *Ranking Iberoamericano de Instituciones de Investigación*. [En línea]. 2006. <http://investigacion.universia.net/isi/isi.html>. [Consulta: 6-10-2007].

130. Grupo SCImago. SCImago journal and country rank: un nuevo portal, dos nuevos rankings. *El Profesional de la Información,* 2007, 16 (6), p. 645-646.

131. Guerrero-Bote VP; Moya-Anegón F. *Indicadores científicos de Extremadura (ISI, 1990-2002)*. Mérida: Consejería de Infraestructuras y Desarrollo Tecnológico, 2005.

132. Guimera R; Uzzi B; Spiro J; Nunes Amaral LA. Team assembly mechanisms determine collaboration network structure and team performance. *Science,* 2005, 308, p. 697-702.

133. Hanneman RA. *Introducción a los métodos del análisis de redes sociales*. [En línea]. California: Universidad de Riverside, 2000. <http://www.redes-sociales.net>. [Consulta: 5-3-2004].

134. Hara N; Solomon P; Kim SL; Sonnenwald DH. An emerging view of scientific collaboration: scientists' perspectives on collaboration and factors that impact collaboration. *Journal of the American Society for Information Science and Technology,* 2003, 54 (10), p. 952-965.

135. Harsanyi MA. Multiple authors, multiple problems. Bibliometrics and the study of scholarly collaboration: a literature review. *Library and Information Science Research,* 1993, 15, p. 325-354.

136. Herrero R. La terminología del análisis de redes. Problemas de definición y de traducción. *Política y Sociedad,* 2000, 33 (enero-marzo), p. 199-206.

137. Hicks D. The four literatures of Social Sciences. En: *The Handbook of Quantitative Science and Technology Research*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2004. P. 473-496.

138. Hicks D; Skea J. Is big really better? *Physics World,* 1989, 2 (12), p. 31-34.

139. Huxham C. Collaboration and collaborative advantage. En: Londres: Sage, 1996. P. 1-18.

140. Hyldegard J. *Between individual and group: exploring group members' information behavior in context*. [Tesis Doctoral]. Copenhague: Royal School of Library and Information Science, 2006.

141. Ibarra H. Homophily and differential returns: sex differences in network structure an access in an advertising firm. *Administrative Science Quarterly,* 1992, 37 (3), p. 422-447.

142. Ichise R; Takeda H; Uemaya K. Exploration of researchers' social network for discovering communities. En: *New Frontiers in Artificial Intelligence*. Nueva York: Springer-Verlag, 2006. (Joint JSAI Workshop, 2005).

143. Iivonen M; Sonnenwald DH. The use of technology in international collaboration: two case studies. *Proceedings of the ASIS Annual Conference*, 63, 2000. Medford: Information Today, 2000. P. 78-92.

144. IraLIS. *International Registry for Authors in Library and Information Science*. [En línea]. 2007. <http://www.iralis.org>. [Consulta: 6-10-2007].

145. Jarneving B. A comparison of two bibliometric methods for mapping of the research front. *Scientometrics,* 2005, 65 (2), p. 245-263.

146. Jiménez Contreras E; Moya-Anegón F; Delgado López-Cózar E. The evolution of research activity in Spain. The impact of the National Commision for the Evaluation of Research Activity (CNEAI). *Research Policy,* 2003, 32 (1), p. 123-142.

147. Johnston R. Effects of resource concentration on research performance. *Higher Education,* 1994, 28 (1), p. 25-37.

148. Kamada T; Kawai S. An algorithm for drawing general undirected graphs. *Information Processing Letters,* 1989, 31 (1), p. 7-15.

149. Katz JS. *Bibliometric assessment of intranational University-University collaboration*. [Tesis Doctoral]. Brighton: University of Sussex, 1992.

150. Katz JS. The self-similar science system. *Research Policy,* 1999, 28, p. 501-517.

151. Katz JS. Geographical proximity and scientific collaboration. *Scientometrics,* 1994, 31 (1), p. 31-43.

152. Katz JS; Hicks D; Sharp M; Martin BR. *The changing shape of British science*. Brighton: Science Policy Research Unit, 1995.

153. Katz JS; Martin BR. What is research collaboration? *Research Policy,* 1997, 26, p. 1-18.

154. Kiesler S; Cummings JN. What do we know about proximity and distance in work group? En: Hinds P and Kiesler S. *Distributed Work*. Cambridge: Massachussets Institute of Technology Press, 2002. P. 57-80.

155. Klavans R; Boyack KW. Identifying a better measure of relatedness for mapping science. *Journal of the American Society for Information Science and Technology,* 2006, 57 (2), p. 251-263.

156. Kraut R; Egido C; Galegher J. Patterns of contact and communication in scientific research collaboration. *ACM conference on Computer-supported cooperative work*, 1988a. Portland: Association for Computing Machinery, 1988a.

157. Kraut R; Galegher J; Egido C. Relationships and tasks in scientific research collaboration. *Human-Computer Interaction,* 1988b, 3, p. 31-58.

158. Kretschmer H. Patterns of behaviour in coauthorship networks of invisible colleges. *Scientometrics,* 1997, 40 (3), p. 579-591.

159. Kretschmer H. Cooperation structure, group size and productivity in research groups. *Scientometrics,* 1985, 7 (1-2), p. 39-53.

160. Kuhn TS. *The structure of scientific revolutions*. Chicago: University of Chicago Press, 1962.

161. Latour B. Visualización y cognición: pensando con los ojos y con las manos. *La Balsa de la Medusa,* 1998, 45-46, p. 77-128.

162. Laudel G. What do we measure by co-authorship? *Research Evaluation,* 2002, 11 (1), p. 3-15.

163. Lee CK. A scientometric study of the research performance of the Institute of Molecular and Cell Biology in Singapore. *Scientometrics,* 2003, 56 (1), p. 95-110.

164. Lee S; Bozeman B. The impact of research collaboration on scientific productivity. *Social Studies of Science,* 2005, 35 (5), p. 673-702.

165. Leydesdorff L; Vaughan L. Co-ocurrence matrices and their applications in Information science: extending ACA to the Web environment. *Journal of the American Society for Information Science and Technology,* 2006, 57 (12), p. 1616-1628.

166. Liberman S; Wolf KB. The flow of knowledge: scientific contacts in formal meetings. *Social Networks,* 1997, 19 (3), p. 271-283.

167. Lin X; White HD; Buzydlowski JW. Real-time author co-citation mapping for online searching. *Information Processing and Management,* 2003, 39, p. 689-706.

168. Lindsey D. Production and citation measures in the Sociology of Science: the problem of multiple authorship. *Social Studies of Science,* 1980, 10, p. 145-162.

169. Liu X; Bollen J; Nelson ML; van de Sompel H. Co-authorship networks in the digital library research community. *Information Processing and Management,* 2005, 41, p. 1462-1480.

170. Lotka AJ. The frecuency distribution of scientific productivity. *Journal of the Washington Academy of Sciences,* 1926, 16, p. 317-326.

171. Luukkonen T; Tijssen RJW; Persson O; Sivertsen G. The measurement of international scientific collaboration. *Scientometrics,* 1993, 28 (1), p. 15-36.

172. MacRae D. Direct factor analysis of sociometric data. *Sociometry,* 1960, 23 (4), p. 360-371.

173. MacRoberts MH; MacRoberts BR. Problems of citation analysis. *Scientometrics,* 1996, 36 (3), p. 435-444.

174. Mählck P. Mapping gender differences in scientific careers in social and bibliometric space. *Science, Technology and Human Values,* 2001, 26 (2), p. 167-190.

175. Mählck P; Persson O. Socio-bibliometric mapping of intra-departmental networks. *Scientometrics,* 2000, 49 (1), p. 81-91.

176. Maltrás B; Vega J; Quintanilla MA. Measuring multinational cooperation in science & technology: different methods applied to the European Framework Programs. *International Conference of the International Society for Scientometrics and Informetrics*, 5º, 1995. Medford: Learned Information, 1995. P. 303-312.

177. Marsden PV. Network data and measurement. *Annual Review of Sociology,* 1990, 16, p. 435-463.

178. Martin BR. The use of multiple indicators in the assessment of basic research. *Scientometrics,* 1996, 36 (3), p. 343-362.

179. Martin BR; Etzkowitz H. *The origin and evolution of the University species.* Brighton: Science and Technology Policy Research, 2000. (Electronic working paper series, nº 59).

180. Matia K; Nunes Amaral LA; Luwel M; Moed HF; Stanley HE. Scaling phenomena in the growth dynamics of scientific output. *Journal of the American Society for Information Science and Technology,* 2005, 56 (9), p. 893-902.

181. Mattessich PW; Murray-Close M; Monsey BR. *Collaboration: what makes it work*. Saint Paul: Wilder Foundation, 2001.

182. Mauleón E; Bordons M. Indicadores bibliométricos por género en tres áreas del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). *International Conference on Multidisciplinarity Information Sciences and Technologies*, I, 2006. Badajoz: Instituto Abierto del Conocimiento, 2006.

183. McCain KW. Mapping authors in intellectual space: a technical overview. *Journal of the American Society for Information Science,* 1990, 41 (6), p. 433-443.

184. McCain KW. Longitudinal author cocitation mapping: the changing structure of macroeconomics. *Journal of the American Society for Information Science,* 1984, 35 (6), p. 351-359.

185. McCormick BH; Defanti TA; Brown MD. Visualization in scientific computing. *Computer Graphics,* 1987, 21 (6), p. 129-147.

186. Meadows AJ. *Communicating research*. San Diego: Academic Press, 1998.

187. Melin G. Pragmatism and self-organization research collaboration on the individual level. *Research Policy,* 2000, 29, p. 31-40.

188. Melin G; Persson O. Studying research collaboration using co-authorships. *Scientometrics,* 1996, 36 (3), p. 363-377.

189. Méndez-Vásquez RI; Suñén-Pinyol E; Sanz G; Camí J. *Caracterización bibliométrica de los grupos de investigación en temática cardio-cerebrovascular. España 1996-2004*. [En

línea]. 2007a. <http://bibliometria.prbb.org/GruposCardiocerebrovascular/>. [Consulta: 3-12-2007a].

190. Méndez-Vásquez RI; Suñén-Pinyol E; Torrens M; Castro-Fornieles J; Camí J. *Caracterización bibliométrica de los grupos de investigación en psiquiatría, psicología clínica y drogodependencias. España 1996-2004*. [En línea]. 2007b. <http://www.prbb.org/psiquiatria>. [Consulta: 3-12-2007b].

191. Merton RK. Behavior patterns of scientists. *American Scholar,* 1969, 38, p. 197-225.

192. Milgram S. Behavioral study of obedience. *Journal of Abnormal and Social Psychology,* 1963, 67 (4), p. 371-378.

193. Milgram S. The small world problem. *Psychology Today,* 1967, 1 (May), p. 60-67.

194. Ministerio de Educación y Ciencia. *Programa CONSOLIDER-INGENIO 2010*. [En línea]. Madrid: Ministerio de Educación y Ciencia, 2006. <http://www.ingenio2010.es>. [Consulta: 6-10-2007].

195. Miquel JF; Okubo Y; Narváez N; Frigoletto L. Les scientifiques sont-ils ouverts à la coopération internationale? *La Recherche,* 1989, 20 (206), p. 116-118.

196. Moed HF. *Citation analysis in research evaluation*. Dordrecht: Springer, 2005. (Information science and knowledge managemen, 9).

197. Moed HF; Luwel M; Houben JA; Spruyt E; van den Berghe H. The effects of changes in the funding structure of the flemish universities on their research capacity, productivity and impact during the 1980's and early 1990's. *Scientometrics,* 1998, 43 (2), p. 231-255.

198. Moed HF; van Raan AFJ. Indicators of research performance: Applications in university research policy. En: *Handbook of Quantitative Studies of Science and Technology*. Amsterdam: Elsevier, 1988. P. 177-192.

199. Molas-Gallart J; Salter A. *Diversidad y excelencia: consideraciones sobre política científica.* Sevilla: Institute for Prospective Technological Studies, 2002. (The IPTS Report, nº 66).

200. Molina JL. *El análisis de redes sociales: una introducción*. Barcelona: Bellaterra, 2001. (Serie General Universitaria, 10).

201. Molina JL; Muñoz J; Losego P. Red y realidad: aproximación al análisis de redes científicas. *Congreso Nacional de Psicología Social*, VI, 2000. Oviedo: 2000.

202. Molina JL; Muñoz JM; Domenech M. *Redes de publicaciones científicas: un análisis de la estructura de coautorías*. [En línea]. 3. 2002. <http://revista-redes.rediris.es/html-vol1/vol1_3.htm>. [Consulta: 15-6-2004].

203. Monfort N. *Discovering communities through information structure and dynamics: a review of recent research.* Pennsylvania: Universidad, 2004. (Technical Report, nº MS-CIS-04-18).

204. Montoya JM; Rodríguez MA; Hawkins BA. Food web complexity and higher-level ecosystem services. *Ecology Letters,* 2003, 6, p. 587-593.

205. Montoya JM; Solé RV. Small world patterns in food webs. *Journal of Theoretical Biology,* 2002, 214, p. 405-412.

206. Montoya JM; Solé RV. Topological properties of food webs: from real data to community assembly models. *Oikos,* 2003, 102 (3), p. 614-622.

207. Moreno JL. *Who shall survive? A new approach to the problem of human interrelations*. Washington: Nervous and Mental Disease, 1934.

208. Moreno JL. *Who shall survive? Foundations of sociometry, group psychotherapy and sociodrama*. Nueva York: Beacon House, 1953.

209. Morillo F; Bordons M; Gómez I. Interdisciplinarity in science: a tentative typology of disciplines and research areas. *Journal of the American Society for Information Science and Technology,* 2003, 54 (13), p. 1237-1249.

210. Morris MA; Yen GG. Crossmaps: visualization of overlapping relationships in collections of journal papers. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,* 2004, 101 (suppl.1), p. 5291-5296.

211. Moya-Anegón F. *Indicadores científicos de la producción andaluza en Biomedicina y Ciencias de la Salud*. Sevilla: Consejería de Salud, 2004b.

212. Moya-Anegón F. *Indicadores bibliométricos de la actividad científica española: ISI Web of Science 1998-2002*. Madrid: Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología, 2004a.

213. Moya-Anegón F. *Indicadores bibliométricos de la actividad científica española 2004*. Madrid: Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología, 2005a.

214. Moya-Anegón F. *Indicadores científicos de Andalucía: ISI Web of Science 2002*. Granada: Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa, 2005b.

215. Moya-Anegón F. *Indicadores científicos de Galicia: ISI Web of Science, 1990-2003*. La Coruña: Dirección Xeral de Investigación e Desenvolvemento, 2005c.

216. Moya-Anegón F. *Indicadores bibliométricos de la actividad científica española (1990-2004)*. Madrid: Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología, 2006.

217. Moya-Anegón F; Chinchilla-Rodríguez Z; Corera-Álvarez E; Vargas-Quesada B; Muñoz-Fernández FJ; Herrero-Solana V. Análisis de dominio institucional: la producción científica de la Universidad de Granada (SCI 1991-1999). *Revista Española de Documentación Científica,* 2005a, 28 (2), p. 170-195.

218. Moya-Anegón F; Chinchilla-Rodríguez Z; Vargas-Quesada B; Corera-Álvarez E; Muñoz-Fernández FJ; González-Molina A; Herrero-Solana V. Coverage analysis of Scopus: a journal metric approach. *Scientometrics,* 2007, 73 (1), p. 53-78.

219. Moya-Anegón F; Jiménez Contreras E; Moneda Corrochano M. Research fronts in library and information science in Spain. *Scientometrics,* 1998, 42 (2), p. 229-246.

220. Moya-Anegón F; Vargas-Quesada B; Chinchilla-Rodríguez Z; Corera-Álvarez E; Herrero-Solana V; Muñoz-Fernández FJ. Domain analysis and information retrieval through the construction of heliocentric maps based on ISI-JCR category cocitation. *Information Processing and Management,* 2005b,

221. Moya-Anegón F; Vargas-Quesada B; Herrero-Solana V; Chinchilla-Rodríguez Z; Corera-Álvarez E; Muñoz-Fernández FJ. A new technique for building maps of large scientific domains based on the cocitation of classes and categories. *Scientometrics,* 2004, 61 (1), p. 129-145.

222. Mrvar A. *Network analysis using Pajek*. [En línea]. Liubiana: Universidad, 2000. <http://mrvar.fdv.uni-lj.si/sola/info4>. [Consulta: 6-10-2007].

223. Myrdal G. *Teoría económica y regiones subdesarrolladas*. México: Fondo de Cultura Económica, 1964.

224. Nagpaul PS; Sharma L. Research output and transnational cooperation in Physics subfields: a multidimensional analysis. *Scientometrics,* 1994, 31 (1), p. 97-122.

225. Narin F; Stevens K; Whitlow ES. Scientific co-operation in Europe and the citation of multinationally authored papers. *Scientometrics,* 1991, 21 (3), p. 313-323.

226. Nascimento MA; Sander J; Pound J. Analysis of SIGMOD's co-authorship graph. *ACM SIGMOD Record,* 2003, 32 (3), p. 8-10.

227. Newman MEJ. The structure and function of complex networks. *SIAM Review,* 2003, 45 (2), p. 167-256.

228. Newman MEJ. Detecting community structure in networks. *European Physical Journal B,* 2004b, 38, p. 321-330.

229. Newman MEJ. Coauthorship networks and patterns of scientific collaboration. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,* 2004a, 101 (suppl. 1), p. 5200-5205.

230. Newman MEJ. The structure of scientific collaboration networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,* 2001c, 98 (2), p. 404-409.

231. Newman MEJ. Scientific collaboration networks I. Network construction and fundamental results. *Physical Review E,* 2001a, 64, p. 016131-1-016131-8.

232. Newman MEJ. Scientific collaboration networks II. Shortest paths, weighted networks and centrality. *Physical Review E,* 2001b, 64, p. 016132-1-016132-7.

233. Nicolaisen J. *Social behavior and scientific practice: missing pieces of the citation puzzle*. [Tesis Doctoral]. Copenhague: Royal School of Library and Information Science, 2004.

234. Nicolaisen J. Citation analysis. *Annual Review of Information Science and Technology,* 2007, 41, p. 609-641.

235. Nooy W; Mrvar A; Batagelj V. *Exploratory social network analysis with Pajek*. Cambridge: Cambridge University Press, 2005.

236. Noyons ECM. Bibliometric mapping of science in a science policy context. *Scientometrics,* 2001, 50 (1), p. 83-98.

237. Noyons ECM; Moed HF; van Raan AFJ. Integrating research performance analysis and science mapping. *Scientometrics,* 1999, 46 (3), p. 591-604.

238. Noyons ECM; van Raan AFJ. Advanced mapping of science and technology. *Scientometrics,* 1998b, 41 (1-2), p. 61-67.

239. Noyons ECM; van Raan AFJ. Monitoring scientific developments from a dynamic perspective: self-organized structuring to map neural network research. *Journal of the American Society for Information Science,* 1998a, 49 (1), p. 68-81.

240. Nunes Amaral LA; Scala A; Barthélemy M; Stanley HE. Classes of small-world networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,* 2000, 97 (21), p. 11149-11152.

241. Okubo Y. *Bibliometric indicators and analysis of research systems: methods and examples.* París: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, 1997. (STI Working Papers, nº GD(97)41).

242. Okubo Y; Miquel JF; Frigoletto L; Doré JC. Structure of international collaboration in science: typology of countries through multivariate techniques using a link indicator. *Scientometrics,* 1992, 25 (2), p. 321-351.

243. Okubo Y; Zitt M. Searching for research integration across Europe: a closer look at international an inter-regional collaboration in France. *Science and Public Policy,* 2004, 31 (3), p. 213-226.

244. Olmeda Gómez C; Ortiz-Repiso Jiménez V; Aragón González I; Ovalle-Perandones MA; Perianes-Rodríguez A. *Indicadores científicos de Madrid: ISI Web of Science, 1990-2003*. Madrid: Dirección General de Universidades e Investigación, 2007.

245. Olmeda Gómez C; Perianes-Rodríguez A; Ovalle-Perandones MA. Medir y evaluar la excelencia de la investigación científica: retos y soluciones. *Encuentros Internacionales sobre Sistemas de Información y Documentación*, X, 2005. Zaragoza: 2005.

246. Olmeda Gómez C; Perianes-Rodríguez A; Ovalle-Perandones MA; Gallardo-Martín A. *La investigación en colaboración de las universidades españolas (2000-2004)*. Madrid: Ministerio de Educación y Ciencia, 2006. (Programa de Estudios y Análisis, EA 2006-0024).

247. Osareh F. Bibliometrics, citation analysis and co-citation analysis: a review of literature I. *Libri,* 1996a, 46, p. 149-158.

248. Osareh F. Bibliometrics, citation analysis and co-citation analysis: a review of literature II. *Libri,* 1996b, 46, p. 217-225.

249. Palla G; Derényi I; Farkas I; Vicsek T. Uncovering the overlapping community structure of complex networks in nature and society. *Nature,* 2005, 435, p. 814-818.

250. PECAR. *Análisis reticular*. [En línea]. Madrid: Universidad Complutense, 2004. <http://www.ucm.es/info/pecar/Analisis.htm>. [Consulta: 6-10-2007].

251. Peña-Sánchez D. *Análisis de datos multivariantes*. Madrid: McGraw-Hill, 2002.

252. Pérez López C. *Métodos estadísticos avanzados con SPSS*. Madrid: Thomson, 2005.

253. Perianes-Rodríguez A; Olmeda Gómez C; Ovalle-Perandones MA; Aragón González I; Ortiz-Repiso Jiménez V. Visualización de redes de colaboración Universidad - Administración - Empresa en la Comunidad de Madrid. 1995-2003. *Internacional Conference on Multidisplinary Information Science*, I, 2006. Badajoz: Instituto Abierto del Conocimiento, 2006.

254. Persson O. The intellectual base and research fronts of JASIS 1986-1990. *Journal of the American Society for Information Science,* 1994, 45 (1), p. 31-38.

255. Persson O; Glänzel W; Danell R. Inflationary bibliometric values: the role of scientific collaboration and the need for relative indicators in evaluative studies. *Scientometrics,* 2004, 60 (3), p. 421-432.

256. Pizarro N. *Tratado de metodología de las Ciencias Sociales*. Madrid: Siglo XXI, 1998.

257. Podolny JM; Page KL. Network forms of organization. *Annual Review of Sociology,* 1998, 24, p. 57-76.

258. Price DJ. Policies for science? *Melbourne Journal of Politics,* 1969, 2, p. 1-8.

259. Price DJ. A general theory of bibliometric and other cumulative advantage processes. *Journal of the American Society for Information Science,* 1976, 27 (5), p. 292-306.

260. Price DJ. Networks of scientific papers. *Science,* 1965, 149, p. 510-515.

261. Qurashi MM. Publication-rate and size of two prolific research groups in departments of inorganic chemistry at Dacca University (1944-1965) and zoology at Karachi University (1966-1984). *Scientometrics,* 1991, 20 (1), p. 79-92.

262. Qurashi MM. Dependence of publication-rate on size of some university groups and departments in UK and Greece in comparison with NCI, USA. *Scientometrics,* 1993, 27 (1), p. 19-38.

263. Radicchi F; Castellano C; Cecconi F; Loreto V; Parisi D. Defining and identifying communities in networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,* 2004, 101 (9), p. 2658-2663.

264. Rathert NA. Knowledge visualization using dynamic SVG charts. En: Geroimenko V and Chen C. *Visualizing information usuing SVG and X3D: XML-based technologies for the XML-based Web*. Londres: Springer, 2005. P. 245-255.

265. Reichardt J; BornHoldt S. Detecting fuzzy community structures in complex networks with a potts model. *Physical Review Letters,* 2004, 93 (21), p. 218701-1-218701-4.

266. Rey-Rocha J; Garzón-García B; Martín-Sempere MJ. Scientists' performance and consolidation of research teams in Biology and Biomedicine at the Spanish Council for Scientific Research. *Scientometrics,* 2006, 69 (2), p. 183-212.

267. Rey-Rocha J; Martín-Sempere MJ; Garzón-García B. Research productivity of scientists in consolidated vs non-consolidated teams: the case of Spanish university geologists. *Scientometrics,* 2002, 55 (1), p. 137-156.

268. Riba Vilanova M; Leydesdorff L. Why Catalonia cannot be considered as a regional innovation system. *Scientometrics,* 2001, 50 (2), p. 215-240.

269. Rodríguez JA. *Análisis estructural y de redes*. Madrid: Centro de Investigaciones Sociológicas, 1995. (Cuadernos metodológicos, 16).

270. Rogers EM; Kincaid DL. *Communication networks: toward a new paradigm for research*. Nueva York: Free Press, 1981.

271. Rossignac JR; Novak M. Research issues in model-based visualization of complex data sets. *IEEE Computer Graphics and Applications,* 1994, 14 (3), p. 83-85.

272. Rousseau R. Are multi-authored articles cited more than single-authored ones? Are collaborations with authors from other countries more cited than collaborations within the country? A case of study. *Berlin Workshop on Scientometrics and Informetrics*, 2º, 2000. Berlín: Free University, 2000. P. 173-176.

273. Rousseau R. Breakdown of the robustness property of Lotka's law: the case of adjusted counts for multiauthorship attribution. *Journal of the American Society for Information Science,* 1992, 43 (10), p. 645-647.

274. Russell JM. Scientific communication at the beginning of the Twenty-First Century. *International Social Science Journal,* 2001, 53 (168), p. 271-282.

275. Sandström U. *The University and the new research landscape: a research programme.* Estocolmo: Swedish Institute for Studies in Education and Research, 1998. (Electronic papers form the research landscape project, nº 1).

276. Sanz Menéndez L. *Indicadores relacionales y redes sociales en el estudio de los efectos de las políticas de ciencia y tecnología.* Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 2001.

277. Scharage M. *No more teams: mastering the dynamics of creative collaboration*. Nueva York: Currency and Doubleday, 1995.

278. Schubert A; Glänzel W; Braun T. Against absolute methods: relative scientometric indicators and relational charts as evaluation tools. En: *Handbook of Quantitative Studies of Science and Technology*. Amsterdam: Elsevier, 1988. P. 137-169.

279. Schvaneveldt RW. *Pathfinder associative Networks: studies in knowledge organization*. Norwood: Ablex, 1990.

280. Schvaneveldt RW; Durso FT; Dearholt DW. Network structures in proximity data. En: Bower GH. *The psychology of learning and motivation*. San Diego: Academic Press, 1989. (Advances in research and theory, 24). P. 249-284.

281. Scott J. *Social network analysis: a handbook*. Londres: Sage, 1992.

282. Seglen PO. How representative is the journal impact factor? *Research Evaluation,* 1992, 2 (3), p. 143-149.

283. Seglen PO; Aksnes DW. Scientific productivity and group size: a bibliometric analysis of Norwegian microbiological research. *Scientometrics,* 2000, 49 (1), p. 125-143.

284. Shneiderman B. Direct manipulation: A step beyond programming languages. *IEEE Computer,* 1983, 16 (8), p. 57-69.

285. Shneiderman B. The eyes have it: a task by data type taxonomy for information visualizations. *Proceedings of the IEEE Symposium on Visual Languages*, 1996. Colorado: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1996. P. 336-343.

286. Shrum W; Mullins N. Network analysis in the study of science and technology. En: *Handbook of Quantitative Studies of Science and Technology*. Amsterdam: Elsevier, 1988. P. 107-133.

287. Small HG. Cited documents as concept symbols. *Social Studies of Science,* 1978, 8, p. 327-340.

288. Small HG. A co-citation model of a scientific specialty: a longitudinal study of collagen research. *Social Studies of Science,* 1977, p. 139-166.

289. Small HG. Co-citation context analysis and the structure of paradigms . *Journal of Documentation,* 1980, 36 (3), p. 183-196.

290. Small HG. Citation context analysis. *Progress in Communication Sciences,* 1982, 3, p. 287-310.

291. Small HG. Navigating the citation network. *Annual Meeting of the American Society for Information Science,* 1995, 32, p. 118-126.

292. Small HG. Update on science mapping: creating large document spaces. *Scientometrics,* 1997, 38 (2), p. 275-293.

293. Small HG. Visualizing science by citation mapping. *Journal of the American Society for Information Science,* 1999, 50 (9), p. 799-813.

294. Small HG. A SCI-Map case study: building a map of AIDS research. *Scientometrics,* 1994, 30 (1), p. 229-241.

295. Small HG. Co-citation in the scientific literature: a new measure of the relationship between two documents. *Journal of the American Society for Information Science,* 1973, p. 265-269.

296. Small HG; Garfield E. The geography of science: disciplinary and national mapping. *Journal of Information Science,* 1985, 11, p. 147-159.

297. Small HG; Griffith BC. The structure of scientific literatures I: identifying and graphing specialties. *Science Studies,* 1974, p. 17-40.

298. Smith D; Katz JS. *Collaborative approaches to research.* Brighton: Science Policy Research Unit, 2000.

299. Soler JM. Separating the articles of authors with the same name. *Scientometrics,* 2007, 72 (2), p. 281-290.

300. Sonnenwald DH. Expectations for a scientific collaboratory: a case study. *Proceedings of the International ACM SIGGROUP Conference on Supoorting Group Work*, 2003a. Florida: Association for Computing Machinery, 2003a. P. 68-74.

301. Sonnenwald DH. The conceptual organization: an emergent organizational form for collaborative R&D. *Science and Public Policy,* 2003b, 30 (4), p. 261-272.

302. Sonnenwald DH. Scientific collaboration. *Annual Review of Information Science and Technology,* 2007, 41, p. 643-681.

303. Sonnenwald DH; Li B. Scientific collaboratories in higher education: exploring learning style preferences and perceptions of technology. *British Journal of Educational Technology,* 2003, 34 (4), p. 419-431.

304. Sonnenwald DH; Maglaughlin KL; Whitton MC. Designing to support situation awareness across distances: an example from a scientific collaboratory. *Information Processing and Management,* 2004, 40, p. 989-1011.

305. Sonnenwald DH; Whitton MC; Maglaughlin KL. Evaluating a scientific collaboratory: results of a controlled experiment. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction,* 2003, 10 (2), p. 150-176.

306. Stokes TD; Hartley JA. Coauthorship, social structure an influence within specialties. *Social Studies of Science,* 1989, 19, p. 101-125.

307. Subramanyam K. Bibliometric studies of research collaboration: a review. *Journal of Information Science,* 1983, 6 (1), p. 33-38.

308. Tijssen RJW. *Cartography of science: scientometric mapping with multidimensional scaling methods*. Leiden [Holanda] : DSWO, 1992.

309. Tijssen RJW; Visser MS; van Leeuwen TN. Benchmarking international scientific excellence: are highly cited research papers an appropriate frame of reference? *Scientometrics,* 2002, 54 (3), p. 381-397.

310. Tufte ER. *The visual display of quantitative information*. Cheshire: Graphics Press, 1991.

311. Tufte ER. *Envisioning information*. Cheshire: Graphics Press, 1995.

312. Tufte ER. *Visual explanations: images and quantities, evidence and narrative*. Cheshire: Graphics Press, 1997.

313. Unión Europea. *7th Research Framework Programme*. [En línea]. Bruselas: Comisión Europea, 2006. <http://ec.europa.eu/research/fp7/index_en.cfm>. [Consulta: 6-10-2007].

314. van Hooydonk G. Fractional counting of multiauthored publications: consequiences for the impact authors. *Journal of the American Society for Information Science,* 1997, 48 (10), p. 944-945.

315. van Leeuwen TN; Moed HF. Characteristics of journal impact factors: the effects of uncitedness and citation distribution on the understanding of journal impact factors. *Scientometrics,* 2005, 63 (2), p. 357-371.

316. van Raan AFJ. Measuring science. En: *Handbook of quantitative science and technology research*. Dordrecht: Kluwer Academic, 2004. P. 19-50.

317. van Raan AFJ. Performance-related differences of bibliometric statistical properties of research groups: cumulative advantages and hierarchically layered networks. *Journal of the American Society for Information Science and Technology,* 2006a, 57 (14), p. 1919-1935.

318. van Raan AFJ. Statistical properties of bibliometric indicators: research group indicator distributions and correlations. *Journal of the American Society for Information Science and Technology,* 2006b, 57 (3), p. 408-430.

319. Vargas-Quesada B; Moya-Anegón F. *Visualizing the structure of science*. Berlín: Springer, 2007.

320. Vega-Redondo F; Slanina F; Marsili M. Clustering, cooperation and search in social networks. *Journal of the European Economic Association,* 2005, 3 (2-3), p. 628-638.

321. Vidal J; Villarroel R. The dynamics of research groups: representation and interpretation problems in collaboration analysis. *International Conference of the International Society for Scientometrics and Informetrics*, 5º, 1995. Medford: Learned Information, 1995. P. 607-616.

322. Visauta Vinacua B; Martori i Cañas JC. *Análisis estadístico con SPSS para WINDOWS: Volumen II. Estadística multivariante*. Madrid: McGraw-Hill, 2003.

323. von Tunzelmann N; Ranga M; Martin BR; Geuna A. *The effects of size on research performance: a SPRU review.* Brighton: University of Sussex, 2003.

324. Vuckovic-Dekic L. Authoship-coauthorship. *Archive of Oncology,* 2003, 11 (3), p. 211-212.

325. W3C. *Scalable Vector Graphics (SVG) Full 1.2 Specification*. [En línea]. World Wide Web Consortium, 2005. <http://www.w3.org/TR/SVG12>. [Consulta: 6-10-2007].

326. Wagner CS. Six case studies of international collaboration in science. *Scientometrics,* 2005, 62 (1), p. 3-26.

327. Wagner CS; Leydesdorff L. Network structure, self-organization and the growth of international collaboration in science. *Research Policy,* 2005, 34, p. 1608-1618.

328. Walsh JP; Maloney NG. Collaboration structure, communication media, and problems in scientific work teams. *Journal of Computer-Mediated Communication,* 2007, 12 (2),

329. Wasserman S; Faust K. *Social network analysis: methods and applications*. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.

330. Watts DJ; Strogatz SH. Collective dynamics of small-world networks. *Nature,* 1998, 393, p. 440-442.

331. Wellman B; Koku EF; Hunsinger J. Networked scholarship. En: *The international handbook of virtual learning environments*. Berlín: Springer, 2006. (Springer International Handbooks of Education, 14).

332. White HD. Author co-citation analysis: overview and defense. En: *Scholarly communication and bibliometrics*. Newbury Park [California]: Sage, 1990. P. 84-106.

333. White HD. Pathfinder networks and author cocitation analysis: a remapping of paradigmatic information scientists. *Journal of the American Society for Information Science and Technology,* 2003, 54 (5), p. 423-434.

334. White HD. Cocited author retrieval online: an experiment with the social indicators literature. *Journal of the American Society for Information Science,* 1981, 32, p. 16-22.

335. White HD; Griffith BC. Authors as markers of intellectual space: co-citation in studies of science, technology and society. *Journal of Documentation,* 1982, 38 (4), p. 255-272.

336. White HD; McCain KW. Visualizing a discipline: an author co-citation analysis of information science 1972-1995. *Journal of the American Society for Information Science,* 1998, 49 (4), p. 327-355.

337. White HD; McCain KW. Visualization of literatures. *Annual Review of Information Science and Technology,* 1997, 32, p. 99-168.

338. Williams J; Sochats KM; Morse E. Visualization. *Annual Review of Information Science and Technology,* 1995, 30, p. 161-207.

339. Wilson RJ; Watkins JJ. *Graphs : an introductory approach : a first course in discrete mathematics*. Nueva York: Wiley, 1990.

340. Wray KB. The epsitemic significance of collaborative research. *Philosophy of Science,* 2002, 69 (marzo), p. 150-168.

341. Wu F; Huberman BA. Finding communities in linear time: A physics approach. *European Physical Journal B,* 2004, 38 (2), p. 331-338.

342. Zare RN. Knowledge and Distributed Intelligence. *Science,* 1997, 275 (5303), p. 1047.

343. Ziman JM. Information, communication, knowledge. *Nature,* 1969, 224, p. 318-324.

344. Ziman JM. *Prometeus bound: science in a dynamic steady state*. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.

345. Zitt M. Scientometric indicators: a few challenges. Data mine-clearing; knowledge flows measurements; diversity issues. *COLLNET Meeting*, 7º, 2006. Nancy: INIST, 2006.

346. Zitt M; Barré R; Sigogneau A; Laville F. Territorial concentration and evolution of science and technology activities in the European Union: a descriptive analysis. *Research Policy,* 1999, 28, p. 545-562.

347. Zitt M; Bassecoulard E. Internationalization of communication a view on the evolution of scientific journals. *Scientometrics,* 1999, 46 (3), p. 669-685.

348. Zulueta MA; Bordons M. A global approach to the study of teams in multidisciplinary research areas through bibliometric indicators. *Research Evaluation,* 1999, 8 (2), p. 111-118.

349. Zulueta MA; Cabrero A; Bordons M. Identificación y estudio de grupos de investigación a través de indicadores bibliométricos. *Revista Española de Documentación Científica,* 1999, 23 (3), p. 333-347.