

**ADVERTIMENT.** La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX ([www.tesisenxarxa.net](http://www.tesisenxarxa.net)) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

**ADVERTENCIA.** La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR ([www.tesisenred.net](http://www.tesisenred.net)) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

**WARNING.** On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX ([www.tesisenxarxa.net](http://www.tesisenxarxa.net)) service has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized neither its spreading and availability from a site foreign to the TDX service. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service is not authorized (framing). This rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author



Càtedra UNESCO de Sostenibilitat



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

# **PROCESOS SOCIALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE: UN ÁMBITO DE APLICACIÓN PARA LA CIENCIA DE REDES**

MEMORIA DE TESIS DOCTORAL

Presentada por:·

**Sergi Lozano Perez**

Dirigida por:

**Dr. Álex Arenas Moreno (Director)**

**Dr. Xavier Álvarez del Castillo (Tutor)**

Terrassa, Enero de 2008

# ÍNDICE

## I. INTRODUCCIÓN Y CONCEPTOS BÁSICOS

<b>1</b>	<b>Introducción .....</b>	<b>2</b>
	1.1. Crisis ambiental global y sus aspectos sociales.	
	1.2. El estudio de los sistemas sociales desde una perspectiva estructural.	
	1.3. Motivaciones y objetivos.	
	1.4. Estructura de la tesis.	
<b>2</b>	<b>Desarrollo Sostenible .....</b>	<b>10</b>
	2.1. El concepto de Desarrollo Sostenible.	
	2.2. Algunas ideas respecto al concepto de Desarrollo Sostenible.	
	2.3. Aproximación sistémica.	
	2.4. Conclusiones del capítulo	
<b>3</b>	<b>Interacción entre estructura y dinámica en sistemas sociales .....</b>	<b>27</b>
	3.1. Análisis de Redes Sociales.	
	3.2. Evolución del estudio de la estructura social: De la Sociometría a la <i>Ciencia de Redes</i> .	
	3.3. Conceptos estructurales básicos y modelos relacionados.	
	3.4. Conclusiones del capítulo	

## II. PERSPECTIVA DE REDES COMPLEJAS APLICADA AL ESTUDIO DE ASPECTOS SOCIALES DEL DESARROLLO SOSTENIBLE.

<b>4</b>	<b>Incorporación de conceptos relacionados con la estructura social a la investigación en Sostenibilidad .....</b>	<b>51</b>
	4.1. El papel de la estructura social en el Desarrollo Sostenible.	
	4.2. Algunos conceptos aplicables.	
	4.3. Conclusiones del capítulo	
<b>5</b>	<b>Herramientas de análisis y prospectiva de redes sociales aplicables al estudio de la Sostenibilidad .....</b>	<b>61</b>
	5.1. Herramientas utilizadas habitualmente en la modelización relacionada con el DS.	
	5.2. Limitaciones de los modelos de campo medio aplicados a la modelización de sistemas socio-ecológicos.	
	5.3. Potencialidades de los modelos basados en una aproximación de redes complejas.	
	5.4. Ámbitos de aplicación en el trabajo e investigación sobre Desarrollo Sostenible.	
	5.5. Conclusiones del capítulo.	

### III. MODELOS MULTIAGENTE APLICADOS A LA INVESTIGACIÓN SOBRE DESARROLLO SOSTENIBLE.

<b>6</b>	<b>El rol de las comunidades en los procesos de cooperación .....</b>	<b>78</b>
6.1.	Planteamiento	
6.2.	Análisis del papel de las comunidades en la cooperación mediante un modelo basado en el Dilema del Prisionero	
6.3.	Conclusiones y futuras líneas de trabajo	
<b>7</b>	<b>Resiliencia en sistemas económicos regionales .....</b>	<b>96</b>
7.1.	Resiliencia de sistemas socioeconómicos regionales y Desarrollo Sostenible. El papel de la diversidad.	
7.2.	Modelizando el efecto de la diversidad sobre la resiliencia de las organizaciones en situaciones de incertidumbre.	
7.3.	Conclusiones y futuras líneas de trabajo	
<b>8</b>	<b>Cambio social desde una perspectiva estructural: Análisis dinámico de la cohesión social .....</b>	<b>114</b>
8.1.	Movimientos sociales y perspectiva dinámica de la cohesión social.	
8.2.	Análisis dinámico de la cohesión social mediante un modelo coevolutivo.	
8.3.	Experimento.	
8.4.	Conclusiones y futuras líneas de trabajo	

### IV. CONCLUSIONES, LÍNEAS FUTURAS Y REFERENCIAS.

<b>9</b>	<b>Conclusiones generales y posibles extensiones .....</b>	<b>136</b>
9.1.	Conclusiones	
9.2.	Posibles líneas de investigación futuras	
<b>10</b>	<b>Referencias .....</b>	<b>142</b>
10.1.	Lista general.	
10.2.	Referencias clasificadas por categorías.	
<b>11</b>	<b>Currículum investigador .....</b>	<b>162</b>

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Crisis ambiental global y sus aspectos sociales.**

A pesar de lo que se suele considerar, los desastres ecológicos no son algo exclusivo de la sociedad industrial en la que vivimos. Los problemas derivados de la deforestación, la polución, la degradación del suelo o la contaminación de aguas y alimentos han acompañado a la Humanidad desde que ésta tiene capacidad para alterar su entorno (Mebratu, 1998) y, de hecho, hay estudios que apuntan al colapso de ecosistemas como una de las principales razones del ocaso de ciertas civilizaciones. Por ejemplo, en (Niragu, 1994), se relaciona la contaminación por metales pesados (especialmente plomo) con la decadencia del Imperio Romano. Lo que hace diferente la situación actual es la escala del impacto ambiental generado. Partiendo de una situación inicial en la que éste se centraba en regiones concretas, la capacidad de transformación ambiental de la Humanidad y su escala ha ido creciendo aceleradamente desde la 1ª Revolución Industrial (y, especialmente, a partir de la 2ª Guerra Mundial), hasta llegar a un momento en el que empezamos a observar fenómenos ambientales de origen antropogénico de escala global como el Cambio climático, la incidencia sobre la capa de ozono, la contaminación generalizada o la destrucción sistemática de recursos naturales en amplias regiones de todos los continentes (en forma de reducción de la biodiversidad, deforestación, desertización, etc.).

Según Jiménez (1997), este proceso se ve agravado por el hecho de que no comprendemos hasta qué punto la Naturaleza y la Sociedad están fuertemente interrelacionadas. Aunque sabemos que la Naturaleza y la Sociedad son dos sistemas interdependientes, el creciente poder tecnológico y social de la Humanidad ha ido alimentando la percepción inconsciente de que éstas están separadas (Mebratu, 1998), y que evolucionan según dinámicas propias y relativamente independientes. Esta idea de separación tiene un doble efecto negativo: Por un lado, 'quita hierro' a la amenaza que supone la crisis ambiental global para el bienestar y la supervivencia de la Humanidad (por ejemplo, la extinción de especies o la deforestación se convierten en simples ejemplos de “el daño que le hace el Hombre a la Tierra”, como si la Humanidad no viviera en y de la Tierra y, por lo tanto, pudiera verse afectada); Por el otro, esta separación hace más difícil darse cuenta y convencer a otros de que los problemas ambientales tienen causas sociales (Jiménez, 1997).

Respecto al origen antropogénico de los impactos ambientales, no se trata sólo de fijarse en las causas directas de origen tecnológico (las fuentes de energía y la eficiencia de su uso, la gestión de los residuos, el impacto ambiental de una infraestructura concreta, etc.) sino también en otras dimensiones de la Sociedad como las características culturales y organización social (que, al fin y al cabo, son la base del comportamiento de una Sociedad desde el nivel individual al institucional). Algunos ejemplos concretos de factores sociales/culturales que están en el origen de los impactos ambientales, serían los modelos de producción-consumo de los países ricos y poblaciones ricas de países pobres (impactos de producción y consumo excesivo), la política demográfica (o la falta de ella), o los efectos ligados a las desigualdades sociales (producción ineficiente y muy contaminante, sobreexplotación de recursos, efectos derivados de la migración hacia el medio urbano).

Finalmente, como consecuencia de esta incomprensión de la interrelación entre los procesos ambientales y sociales a la que nos referíamos más arriba, nos encontramos con que las soluciones propuestas para contrarrestar los problemas ambientales globales generan, en ocasiones, nuevos problemas de tipo social o agravan los ya existentes. Vemos un ejemplo de ello en los biocombustibles, cuya demanda como alternativa a los combustibles fósiles ya se empieza a relacionar con el encarecimiento de los alimentos usados para generarlos (es el caso del maíz en México, base de la alimentación de la población más pobre, cuyo precio se ha visto incrementado por la presión de la demanda estadounidense).

Ante esta situación, se hace evidente que la cuestión de la viabilidad a largo plazo de la vida humana en condiciones dignas (que es, de hecho, el objetivo del Desarrollo Sostenible) sólo se puede afrontar de manera integral, es decir, abarcando la sostenibilidad de los procesos ambientales, económicos y sociales conjuntamente. Este 'cambio de estrategia' implica un cambio cultural (Folch, 2005) hacia lo que Jiménez viene a llamar *Paradigma Sostenible Global* (Jiménez, 1997), un paradigma que sí tenga en cuenta los aspectos sociales y la interdependencia entre éstos y los ambientales.

## **1.2. El estudio de los sistemas sociales desde una perspectiva estructural.**

Aunque la investigación sobre la estructura social, sus peculiaridades y la influencia que ejerce sobre los comportamientos individuales y de los grupos, es un ámbito de investigación con una tradición de varias décadas, nos encontramos en un momento en el que las redes sociales han cobrado un protagonismo inédito. El número de trabajos de investigación publicados al respecto ha crecido de una forma muy importante a lo largo de los últimos años (Freeman, 2005) (Borgatti, 2003), y la aplicación de diferentes técnicas de extracción de información a partir de la estructura social en campos como el marketing, la administración de empresas o la participación, han tenido una importante repercusión en los medios.

En parte, esa gran actividad y notoriedad se debe a que, durante la última década, el Análisis de Redes Sociales se ha enriquecido con aportaciones de disciplinas que hasta entonces le eran prácticamente ajenas, convirtiéndose en un ámbito de investigación realmente transdisciplinar que algunos autores han calificado de *Ciencia de Redes*. Este ámbito de investigación integra, por un lado, el conocimiento sobre las redes sociales y las herramientas de prospectiva y análisis propias de la investigación 'clásica' sobre redes sociales y, por el otro, el interés por la interdependencia entre estructura y dinámica y las herramientas de análisis usadas para estudiar los sistemas naturales complejos desde la física y la biología. Esta integración de perspectivas y herramientas nos proporciona nuevas posibilidades metodológicas para profundizar, ya no sólo en las características estructurales propias de las redes sociales y en como nos influencia el hecho de ocupar una posición en ellas, sino también en su origen (cómo emergen de la acción conjunta de varios procesos sociales) y evolución (qué mecanismos las forjan y cómo lo hacen).

Estas nuevas posibilidades metodológicas, que se amplían día a día merced al gran dinamismo del campo, permiten afrontar el estudio de diversos aspectos de la organización social capturando parte de su complejidad.

### 1.3. Motivaciones y objetivos.

A partir de lo expuesto en los apartados anteriores, podemos plantear las motivaciones de esta tesis y, consecuentemente, los objetivos que se pretenden alcanzar mediante su realización.

#### 1.1.1. Motivaciones

Resumiendo lo expuesto en los apartados anteriores, dos circunstancias han motivado la realización de esta tesis.

Por una parte la evidencia de que tradicionalmente, a la hora de plantear un modelo de desarrollo sostenible, los aspectos sociales han quedado relegados a un segundo plano en beneficio de otros aspectos más estrictamente ambientales y técnicos, y de que es necesario cambiar esta situación mediante un cambio de paradigma cultural. A la práctica, este cambio implica transferir a la Sociedad en general, de la forma más eficiente posible, la urgencia de un cambio en el modelo de desarrollo y las posibles consecuencias de no producirse, implicar a los diferentes actores sociales en ese cambio de paradigma, y estudiar, desarrollar y proporcionar los mecanismos sociales necesarios para la realización efectiva del concepto de Desarrollo Sostenible. Concretando un poco más, esto conlleva la determinación de criterios, indicadores y políticas concretas de Sostenibilidad que incidan más en los aspectos sociales. Paralelamente, implica buscar las herramientas adecuadas para convencer de la idoneidad y necesidad de estos criterios, medir los indicadores y comprobar la efectividad de las políticas.

El segundo hecho que motiva esta tesis es la emergencia de un ámbito de investigación centrado en la interdependencia entre estructura y dinámica en diferentes tipos de sistemas complejos (que algunos autores han venido a denominar *Ciencia de Redes* o *Teoría de redes*), en el que han destacado especialmente los trabajos que estudian la relación entre estructura y fenómenos sociales. Este ámbito de investigación, inmerso en el momento de expansión al que nos referíamos más arriba, puede contribuir de forma importante a completar los requisitos del párrafo anterior, tanto por la visión holística que le proporciona su pluridisciplinariedad, como por el inciso que hace en las relaciones (entre individuos, entre grupos, respecto al individuo frente al grupo..), un aspecto difícilmente tratable mediante otras herramientas. Con la ayuda de la *Ciencia de Redes*, se pueden hacer importantes avances en el estudio de temas como la participación, la gobernabilidad local, la

difusión y asimilación de conceptos e ideas por parte de una comunidad, o la economía local, todos ellos aspectos socioeconómicos relacionados con los procesos a los que nos referíamos.

En definitiva, la principal motivación de esta tesis es la constatación de que nos encontramos ante una necesidad (de metodologías para profundizar en los subestimados aspectos sociales del Desarrollo Sostenible) y un conjunto de soluciones aplicables (en forma de conceptos y metodologías desarrolladas para el estudio de las redes complejas en general, y la interacción de redes y fenómenos sociales en particular).

### *1.1.2. Objetivos generales y específicos*

El objetivo de la tesis queda, a la vista de lo anterior, bastante claro: Poner de manifiesto las posibilidades de aplicar las herramientas, conceptos y metodologías propias de la perspectiva de redes complejas al estudio de diferentes aspectos sociales del Desarrollo Sostenible, haciendo especial hincapié en aquellos relacionados con la organización social.

Este objetivo general se concreta en otros tres más específicos:

1. Destacar la importancia de los aspectos sociales en general, y la organización social en particular, en las relaciones entre la Sociedad (sistema social) y los diferentes ecosistemas que soportan su desarrollo (sistema natural), como punto de partida para entender qué es el Desarrollo Sostenible.
2. Argumentar la utilidad de aplicar los conceptos y herramientas de modelización y análisis propios de la 'Ciencia de Redes', al estudio de la relación entre la organización social y determinados fenómenos sociales que podemos relacionar con el Desarrollo Sostenible.
3. Finalmente, presentar ejemplos concretos de esta aplicación, desarrollados en el marco de esta tesis.

#### 1.4. Estructura de la tesis

Teniendo en cuenta los objetivos planteados, el resto del texto queda dividido en las siguientes cuatro partes:

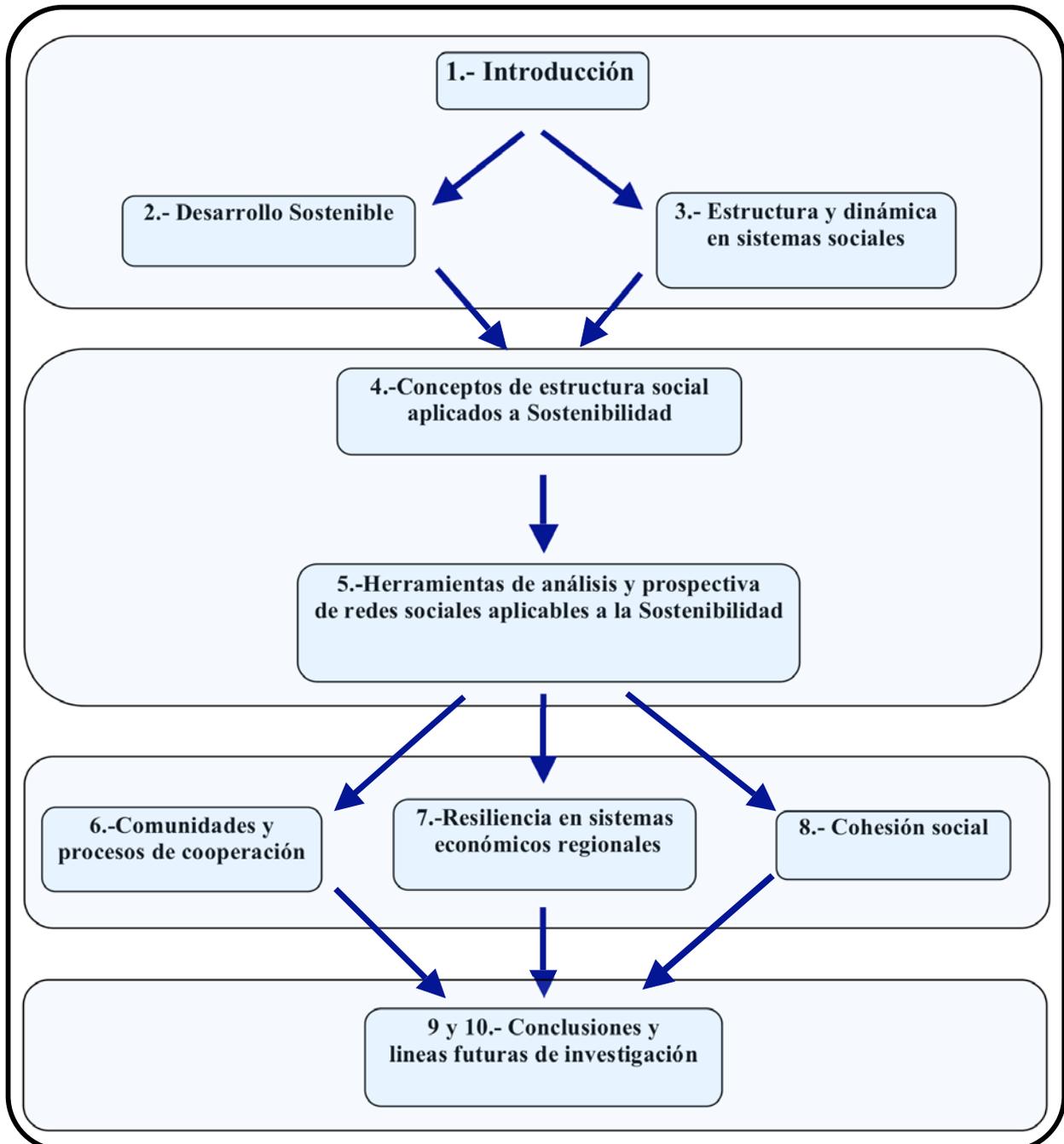
1. Conceptos básicos. Empezamos presentando los ámbitos de investigación que pretendemos relacionar (Desarrollo Sostenible y análisis de los sistemas sociales a partir de la interrelación entre estructura y dinámica), proporcionando así una base de conocimientos a partir de la cual desarrollar el resto de la tesis. El contenido de esta parte corresponde, básicamente, al Proyecto de Tesis y al artículo (Lozano, 2006).

2. Aplicación de la aproximación estructuralista a la investigación en Desarrollo Sostenible. Hecha la introducción de los ámbitos por separado, en esta segunda parte planteamos de qué manera pueden combinarse o ser aplicados conjuntamente (tanto a nivel conceptual como de herramientas de modelización y análisis), y apuntamos posibles campos de aplicación concretos. Las ideas más importantes de esta parte, se presentaron previamente en dos contribuciones a la *International Conference on Sustainability Measurement and Modelling* y en el artículo (Lozano y Álvarez, 2007).

3. Modelos computacionales aplicados a la investigación sobre Desarrollo Sostenible. Cada uno de los tres capítulos que componen esta parte, es un trabajo completo e independiente en el que hemos diseñado un modelo computacional como herramienta para trabajar alguna cuestión que relaciona la organización social con el Desarrollo Sostenible. Los tres trabajos han sido presentados en congresos y seminarios de ámbito internacional, y artículos: (Lozano *et al.*, 2008), (Lozano y Arenas, 2007) y (Lozano *et al.*, 2008b).

4. Conclusiones, líneas futuras y referencias. En esta parte, que cierra la tesis, presentamos las conclusiones principales de todo el trabajo realizado, apuntamos posibles líneas futuras de trabajo y proporcionamos, clasificada en varios temas, la bibliografía utilizada en esta tesis. También se ha incluido, a modo de currículum investigador, un listado de la actividad investigadora desarrollada por el doctorando en el marco de la misma.

La Fig. 1.1 ilustra la estructura de la tesis de manera que el lector puede captar fácilmente qué capítulos de la tesis corresponden a cada una de las cuatro partes, y las dependencias existentes entre ellos.



*Fig. 1.1 Estructura de la tesis. Principales capítulos de la tesis y sus dependencias. Las cuatro partes en las que se divide la tesis según el texto, corresponden a las cuatro áreas sombreadas.*



## 2. DESARROLLO SOSTENIBLE

El objetivo de este capítulo es introducir algunos conceptos básicos sobre el Desarrollo Sostenible (DS), haciendo especial hincapié en los aspectos sociales/culturales en general y en el papel de la organización social en particular.

Para ello, hemos dividido el capítulo en cuatro apartados. En el primero, partiendo de su definición más común, presentamos algunas ideas generales sobre el concepto de DS. En el segundo apartado, destacamos algunas reflexiones sobre el DS que pueden ser de utilidad para capítulos posteriores de la tesis. En el tercero, abordamos la aproximación sistémica al concepto de Desarrollo Sostenible, un tipo de aproximación que nos permite entender mejor la relación entre el DS y la estructura de los sistemas sociales. Finalmente, el cuarto apartado recoge las conclusiones del capítulo.

### 2.1. El concepto de Desarrollo Sostenible

En el capítulo de introducción hemos resaltado las raíces sociales/culturales de la crisis ambiental global y, consecuentemente, la importancia de tener en cuenta los aspectos sociales a la hora de plantear un modelo de desarrollo sostenible, es decir, centrado en asegurar el bienestar humano a largo plazo. Seguidamente veremos como, partiendo de una concepción básicamente economicista, los aspectos sociales del DS han ido cobrando importancia hasta llegar a la idea de Desarrollo Humano Sostenible.

#### 2.1.1. Precedentes y evolución del concepto

La definición más común de Desarrollo Sostenible lo entiende como: “(..) *aquel que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades.*“ (WCED, 1987)<sup>1</sup>. La ambigüedad de esta definición ha supuesto un problema a la hora de establecer objetivos concretos que lleven a resolver el problema de 'nuestro futuro común' (Robinson, 2004) (Keiner, 2003). Sin embargo, según Mebratu (1998), esta definición (tal vez precisamente por su ambigüedad) tiene el mérito de haber conseguido un

---

<sup>1</sup> Traducción al castellano de la definición original extraída de (Jiménez, 1997).

amplio consenso respecto a la necesidad de abordar de una forma global (planetaria) la cuestión del desarrollo y su relación con el medio ambiente.

El estudio pormenorizado de la expresión *Desarrollo Sostenible* y las implicaciones de la definición de la Comisión Brundtland, se escapan al alcance de este capítulo, pero en referencias como (Naredo 1997) (Mebratu, 1998) (Keiner 2003) (Robinson 2004) o (Ríos *et al.*, 2004) pueden encontrarse profundos análisis al respecto desde diferentes puntos de vista (conceptual, académico, geopolítico, etc.). Lo que sí abordaremos aquí, son algunos de los precedentes del concepto de DS y su evolución hacia la idea de *Desarrollo Humano Sostenible*, un concepto que incide especialmente en los aspectos sociales, en línea con la orientación del capítulo y de la tesis entera.

Dos de las teorías comúnmente consideradas como predecesoras del concepto de DS, y que inciden especialmente en la relación entre economía y medio ambiente, son la de los *límites ambientales* de Malthus y Ricardo y la de la *escala de las organizaciones* plasmada por Schumacher en (1973).

La teoría de los límites ambientales planteada por Robert Malthus y David Ricardo se basa en la idea de que los recursos naturales son limitados y, por lo tanto, insuficientes para soportar de forma indefinida un crecimiento económico y demográfico como el que viene dándose desde la I Revolución Industrial. Malthus se centra en la existencia de un límite en la capacidad del Planeta para proveer productos agrícolas con los que alimentar a una población que, por su parte, crece exponencialmente. Ricardo añade que, antes incluso de llegar a ese límite, el crecimiento económico puede verse amenazado por la escasez y peor calidad de las materias primas disponibles. Aunque es evidente que la aplicación de la tecnología al aumento de la productividad de los recursos naturales, hecho que ni Malthus ni Ricardo tuvieron en cuenta en sus modelos, desvirtúa cualquier predicción concreta que pudieran realizar respecto al momento en que se alcanzaría ese límite ambiental, no cabe duda de que la idea de los límites ambientales está en la base misma del concepto de Desarrollo Sostenible.

La otra idea que podemos relacionar con los orígenes del DS es la del impacto de la escala de las organizaciones, y la necesidad de una economía descentralizada y 'cercana' a las necesidades y recursos disponibles en cada lugar. Encontramos los principios básicos de esta corriente de pensamiento en (Schumacher, 1973). Para Schumacher y otros autores afines a esta teoría, las

grandes estructuras organizativas que emergen en la sociedad industrial conllevan impersonalidad e insensibilidad a las particularidades de cada individuo y lugar, alienando a los individuos y facilitando la rápida destrucción de los ecosistemas. Como alternativa, plantean la *belleza de lo pequeño*, la economía de escala local y regional y el concepto de *tecnología intermedia o adecuada* (seleccionada y aplicada en cada escenario teniendo en cuenta el contexto cultural y los recursos humanos y naturales disponibles). Esta focalización en la descentralización para facilitar una gestión de los recursos disponibles adecuada a las necesidades y capacidades particulares de cada caso, es la mayor contribución de esta corriente de pensamiento al Desarrollo Sostenible.

A parte de estos y otros precedentes teóricos, lo que llevó a la propuesta del concepto de Desarrollo Sostenible fue un marco político favorable al debate relativo al modelo de desarrollo y su impacto ambiental. Dos hechos ocurridos en 1972 contribuyeron significativamente a ello: La celebración en Estocolmo de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano, y la presentación de un informe sobre la crisis ambiental global por parte del Club de Roma (un grupo formado por científicos, economistas, políticos, etc. de reconocido prestigio) (Meadows *et al.*, 1972). Tanto la declaración aprobada en la conferencia de Estocolmo, como el informe del Club de Roma ponían de manifiesto la gravedad de la crisis ambiental mundial, y la responsabilidad del modelo de desarrollo económico en esa crisis. La idea de que el desarrollo y el Medio Ambiente no podían seguir en conflicto se fue consolidando, y empezó a surgir el debate respecto a posibles fórmulas para compatibilizarlos.

Al calor de ese debate, se propusieron conceptos como '*Medio Ambiente y Desarrollo*', '*Desarrollo sin destrucción*' o '*eco-desarrollo*' (Mebratu, 1998). Finalmente, en 1987, el término *Desarrollo Sostenible*, y la definición reproducida al principio de este capítulo, fueron incluidos en el informe *Our common future* de la *World Commission on Environment and Development* (WCED, también conocida como Comisión Brundtland). El enfoque de la definición se basa en dos conceptos fundamentales (Jiménez, 1997):

- a. El de las necesidades, especialmente las esenciales de los más pobres, que deberían ser atendidas de forma prioritaria.
- b. La idea de las limitaciones impuestas por el medio ambiente (en cuanto a provisión de recursos y capacidad de absorber los efectos de la actividad humana), el estado de la tecnología

y la organización social.

A pesar de las referencias a la organización social y a las necesidades esenciales de los más pobres, esta definición todavía corresponde a una visión economicista, orientada a hacer compatible desarrollo (estrictamente económico) y medio ambiente, y que no tiene en cuenta suficientemente los aspectos sociales y culturales (Naredo, 1990). De hecho, según el informe de la Comisión Brundtland, el cumplimiento del objetivo de atender a las necesidades de los más pobres debería pasar, precisamente, por un fuerte crecimiento económico a escala mundial (Jiménez, 1997).

La toma de conciencia del papel central de los aspectos sociales (al mismo nivel que los económicos y ambientales) para un desarrollo sostenible, se generalizó a principios de los 1990's con el replanteamiento del concepto de *Desarrollo* más allá de su faceta económica. Contribuyeron muy especialmente a esta revisión los informes del PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo) sobre Desarrollo Humano, y el debate entorno a la implementación práctica del DS (según la definición de la WCED) en regiones y culturas completamente diferentes, surgido durante el proceso de preparación de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo y que impregnó las actividades realizadas durante la misma.

### *2.1.2. Valorización de los aspectos sociales: De Río 92 al Desarrollo Humano Sostenible.*

En 1990 el PNUD inició la labor de presentar un informe anual titulado “Desarrollo Humano” incluyendo un Índice de Desarrollo Humano (IDH) que combina cuestiones de tipo económico (que suelen valorarse mediante índices económicos clásicos como el Producto Nacional Bruto) con otros aspectos sociales como la esperanza de vida o el acceso a la educación o la sanidad. De esta manera, el PNUD sacaba a la luz de la política internacional un debate que ya se planteaba a un nivel académico, el del significado y objetivos del *Desarrollo*.

Otro acontecimiento importante fue la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, celebrada en Rio de Janeiro en 1992 y comúnmente conocida como *Conferencia de Río* o *Cumbre de la Tierra*. Sin dejar de valorar la importancia de los acuerdos multilaterales entre gobiernos alcanzados durante la conferencia (por ejemplo, el Tratado de Kyoto sobre reducción de emisiones de efecto invernadero), resulta especialmente interesante el proceso de preparación de la Cumbre y los eventos celebrados paralelamente a la misma. Respecto al proceso de preparación,

Jiménez (1997) destaca que la labor de difusión y popularización del concepto de DS por todo el mundo previo a la conferencia, puso de manifiesto las diferencias existentes en cada región y cultura a la hora de interpretar el significado de *necesidades* y concretar el papel de la organización social en el Desarrollo Sostenible. En lo relativo a las actividades paralelas a Río, Cruz (2007) destaca la celebración del Forum Global, en el que diferentes organizaciones ligadas a la Sociedad Civil de todo el mundo reflejaron la necesidad de afrontar la cuestión del desarrollo estableciendo unos objetivos comunes (globales), y trabajando de forma coordinada pero local, es decir, teniendo en cuenta las particularidades de cada región y cultura.

A partir de este momento, el concepto de DS se enriquece con aspectos sociales y culturales procedentes de ese debate sobre el concepto de Desarrollo, incorporando características de la aproximación de *Desarrollo Humano*, que se podría resumir por: “(..) *advancing the richness of human life, rather than the richness of the economy in which human beings live, which is only a part of it.(..)*” (Sen en (Cruz, 2007)). Esta aproximación enfatiza las *potencialidades o capacidades (capabilities)* humanas, de manera que el objetivo del desarrollo pasa a ser el de proporcionar a los individuos mayores oportunidades para realizar sus propias potencialidades, de manera que ellos mismos, desarrollando esas potencialidades en libertad, puedan actuar sobre su entorno social mejorando las condiciones de vida del conjunto de la población (Sen, 1999). De esta manera, el papel de los individuos en el desarrollo pasa de ser el de receptores pasivos de recursos para satisfacer sus necesidades, a agentes activos que contribuyen al bienestar común desde su perspectiva particular (Sen, 2000).

La incorporación de esta aproximación a la idea de Desarrollo Sostenible, lleva a una definición alternativa que pretende integrar el enfoque humano y la sostenibilidad ambiental en el concepto de Desarrollo Humano Sostenible (DHS), enfatizando que el objetivo central del Desarrollo deben ser los seres humanos y el incremento de sus capacidades (Anand y Sen, 2000), y que la viabilidad de los sistemas naturales debe asegurarse a largo plazo en la medida de que la supervivencia y bienestar humanos depende de ello. Más concretamente, la definición de DHS sería: “(..) *un proceso que mejora la suerte de los seres humanos (un proceso que es holístico, integrado e integrador de los elementos que conforman la totalidad ambiental); un proceso en el cual los elementos y las partes sólo pueden ser evaluados significativamente en su relación con el todo. Los humanos son tanto los actores como los beneficiarios del proceso y su supervivencia y bienestar*

*son su razón de ser.*”(Jiménez, 1997)<sup>2</sup>.

Para profundizar en la relación entre los conceptos de Desarrollo Sostenible y Desarrollo Humano, conviene consultar referencias especializadas como (Cruz, 2007).

## **2.2. Algunas ideas respecto al concepto de DS**

A partir de lo explicado a lo largo del apartado respecto al concepto de Desarrollo Sostenible, podemos desarrollar algunas ideas-resumen que nos serán útiles en apartados y capítulos posteriores.

### *2.2.1. El DS es una cuestión cultural*

Aunque es evidente que el impacto ambiental de las actividades humanas depende, y mucho, de aspectos tecnológicos (eficiencia energética, energías renovables, materiales reciclables..), los aspectos culturales (qué hacemos con la tecnología, cómo lo hacemos y por qué) son, si cabe, aun más importantes (Maya, 1996) (Ríos, 2004) (Folch, 2005). Esto salta a la vista si comparamos las huellas ecológicas<sup>3</sup> de ciudadanos medio de países diferentes (EUA y Finlandia, por ejemplo) o de clases sociales diferentes dentro de un mismo país (especialmente en países empobrecidos, en los que las clases más adineradas insisten muchas veces en mantener patrones de consumo despilfarradores, propios de países enriquecidos, soportados por sistemas productivos ineficientes). Si a esta influencia de la cultura en la relación Sociedad-Naturaleza, le añadimos una concepción del Desarrollo centrada en los seres humanos y la mejora de sus condiciones de vida (que es una cuestión abstracta, cuya implementación concreta depende de cuestiones éticas y culturales de cada individuo y colectivo), nos encontramos con que plantear la sostenibilidad del desarrollo implica, como ya afirmábamos en el capítulo de introducción, un cambio de paradigma cultural que incluya la toma de conciencia de la relación Naturaleza-Sociedad (Jiménez, 1997) y que afecta, aunque de

---

2 Conferencia de Naciones Unidas sobre Salud y Ambiente en el Desarrollo Humano Sostenible. Washington, octubre de 1995.

3 Mathis Wackernagel y William Rees de la Universidad de la Columbia Británica, en el año 1995, definieron la huella ecológica (footprint o ecological footprint) como el área de territorio ecológicamente productivo (cultivos, pastos, bosques o ecosistema acuático) necesaria para generar los recursos utilizados y para asimilar los residuos producidos por una población definida con un nivel de vida específico indefinidamente, donde sea que se encuentre esta área. (Portal de la sostenibilidad: [http://portalsostenibilidad.upc.edu/detall\\_01.php?numapartat=2&id=41](http://portalsostenibilidad.upc.edu/detall_01.php?numapartat=2&id=41) )

forma diferente en cada caso (dado que no somos todos iguales), a nuestra escala de valores, nuestras actitudes y comportamientos individuales y colectivos (Folch, 2005) (Ríos, 2004).

### *2.2.2. El DS es un concepto que relaciona efectos globales y actividades locales*

Cuando se trabaja con el concepto de DS, hay que tener en cuenta su doble vertiente local-global. Para empezar, es un concepto necesariamente global, pues sólo tiene sentido plantearse la sostenibilidad del desarrollo de toda la Humanidad en su conjunto. Por otra parte, se trata de un concepto local porque, como ya hemos visto más arriba, requiere ser redefinido localmente sobre la base de las características de cada escenario y está estrechamente relacionado con la cultura.

Esta dualidad de escalas local-global es completamente opuesta al planteamiento propio de la globalización economicista, que tiende a homogeneizar los escenarios, a considerar que las necesidades y los objetivos del desarrollo son exactamente los mismos para todos los grupos humanos (resumidos, básicamente, en el crecimiento económico) y, por lo tanto, que se pueden aplicar las mismas estrategias de desarrollo y de la misma manera en cualquier región del Mundo. Dado que esta impresión es completamente errónea (porque los escenarios reales presentan diferencias derivadas de la diversidad cultural a la que nos referíamos en el punto anterior), la globalización economicista genera importantes impactos ambientales y sociales (Jiménez, 1997). Este razonamiento nos devuelve a las críticas de Schumacher a las grandes organizaciones (la 'belleza de lo pequeño') y a los impactos de las decisiones tomadas desde la distancia sin tener en cuenta las particularidades locales, y está relacionado con otros discursos que insisten en la importancia de las escalas de las organizaciones como, por ejemplo, el del 'Desarrollo a Escala Humana' de Max-Neef (1998).

Las consecuencias prácticas de esta dualidad local-global del DS podrían resumirse mediante la ya famosa frase 'Piensa globalmente, actúa localmente', es decir, aunque el objetivo sea global (la viabilidad a largo plazo de unas condiciones de vida adecuadas para toda la Humanidad) hay que actuar de forma local (centrándose en las necesidades más cercanas a partir de los recursos naturales y humanos disponibles principalmente a nivel local y regional). Este es, de hecho, la base del planteamiento de iniciativas como las llamadas Agendas 21 (planes locales de sostenibilidad para intentar cumplir los puntos del Programa 21 aprobado en la Cumbre de la Tierra).

### 2.2.3. DS y crecimiento económico

El debate entorno al papel del crecimiento económico en el desarrollo es una constante en la literatura sobre DS (Daly, 1996) (Jiménez, 1997) (Mebratu, 1998) (Bifani, 1999).

Por un lado encontramos posiciones *reformistas*, que insisten en separar el crecimiento económico del crecimiento material (de población y sus consumos físicos) y que consideran que el desarrollo sostenible se puede alcanzar a través de la *desmaterialización* de la economía (pasar de 'producir más' a 'producir mejor', es decir, primar la calidad y la eficiencia a la cantidad). De esta manera, en teoría, se podrían respetar los límites ambientales sin necesidad de cuestionar las bases del sistema económico mundial y, especialmente, el objetivo final del crecimiento económico (de ahí el nombre de reformistas).

Frente a estas opiniones encontramos a otros autores, con Herman Daly a la cabeza, que niegan la viabilidad de cualquier opción basada en el crecimiento económico: “*El desarrollo sostenible vendría a ser una adaptación cultural hecha por la sociedad cuando cobra conciencia del 'no crecimiento', porque ni siquiera un crecimiento 'verde' o 'ecológico' es realmente sostenible* (Daly en (Jiménez, 1997))“. Estos autores apuestan por la idea del *estado estacionario* (*Steady-state*), un estado en el que la economía mundial ha detenido su crecimiento en una escala que no entorpece el funcionamiento y capacidad de renovación de la Naturaleza, y que evoluciona se renueva continuamente mejorando en conocimiento, organización, eficacia técnica y sabiduría (Daly, 1990).

Ambas opciones pueden ser cuestionadas. Por una parte, la desmaterialización de la economía tiene límites y, aunque no los tuviera, una expansión económica completamente desligada del mundo físico dejaría de tener sentido desde el punto de vista del bienestar humano (Naredo, 1990). Por su parte, la teoría del estado estacionario asume implícitamente un escenario económico mundial homogéneo cuando habla de que una economía mundial detenida en una escala óptima, pero no explica cómo alcanzar ese escenario a partir de la situación actual de grandes desequilibrios Norte-Sur.

En todo caso, cuando trabajamos con el concepto de DS, conviene tener clara la diferencia entre crecimiento económico y desarrollo. Para Jiménez (1997), los elementos que tradicionalmente han diferenciado el desarrollo del crecimiento son la transformación estructural y los aspectos

cualitativos. Efectivamente, crecer significa simplemente aumentar de tamaño, mientras que desarrollar es un concepto más amplio que implica evolución hacia estados cada vez más perfectos o complejos. Teniendo en cuenta lo visto más arriba sobre desarrollo y DHS, la principal conclusión respecto al papel del crecimiento económico en el DS, es que éste debería dejar de ser el objetivo del desarrollo para convertirse en una herramienta más del mismo. Es decir, el desarrollo de una región (basado en objetivos de incremento de oportunidades para su población) puede incluir determinadas etapas en las que el crecimiento económico (e incluso el crecimiento material) sea una prioridad, pero también otras en las que pase a ser algo secundario y se pueda llegar a situaciones similares al estado estacionario.

Por ejemplo, es evidente que en el caso de regiones empobrecidas (ya sea por una guerra, un desastre natural o un sistema económico injusto que las asfixia económicamente), hay que priorizar el crecimiento económico para recuperar el capital perdido (en forma de infraestructuras físicas, organización social y administración pública, sistemas productivos, etc.), asumiendo que esto puede implicar ciertos impactos ambientales y sociales a corto plazo. Sin embargo, también debería quedar claro que, conforme se va alcanzando este objetivo temporal, la prioridad debería reorientarse a garantizar las condiciones de vida y el bienestar presente y asegurar su viabilidad a largo plazo, invirtiendo el capital acumulado en la capacidad de los ecosistemas para proporcionar los servicios a los que nos referíamos más arriba y en proporcionar oportunidades a los individuos de realizar sus potencialidades (siguiendo la aproximación de desarrollo humano de Sen). Naredo resume esta idea en el siguiente fragmento: “(..). *Para ello habría que bajar del pedestal que hoy ocupa la propia idea del crecimiento económico como algo globalmente deseable e irrenunciable y advertir que la sostenibilidad no será fruto de la eficiencia y del desarrollo económico, sino que implica sobre todo decisiones sobre la equidad actual e intergeneracional*” (Naredo, 1996).

En el apartado 7 de la tesis, volveremos sobre este debate economía-desarrollo aplicado a un caso práctico sobre desarrollo regional.

### 2.2.4. *El DS es un concepto dinámico*

A lo largo de este capítulo, hemos hecho muchas referencias a cuestiones dinámicas. Por ejemplo, el papel de los individuos como agentes del desarrollo en vez de meros receptores de recursos (Sen, 2000), la importancia del comportamiento individual (Folch, 2005), la idea de interdependencia

entre las evoluciones de la Naturaleza y la Sociedad o, la idea de que el crecimiento económico debe ser una herramienta más al servicio del desarrollo, aplicable de forma diferente según los momentos y situaciones. Teniendo esto en cuenta, el DS debe verse como un proceso complejo y dependiente de muchas variables cambiantes en el tiempo, no como un objetivo estático a alcanzar para quedarse en él.

Conviene destacar que este punto de vista se opone a ciertos discursos puramente conservacionistas que, en algunos casos, defienden que la consecución del DS pasa por la preservación de los ecosistemas 'tal y como están', minimizando cualquier tipo de intervención humana sobre ellos. Estos discursos olvidan la interdependencia entre Naturaleza y Sociedad a la que nos referíamos en el capítulo anterior, ya que cualquier forma de desarrollo pasa por la transformación del entorno de las poblaciones humanas. No se trata de separar la Sociedad y la Naturaleza para proteger a la segunda de los abusos de la primera, sino precisamente de lo contrario, de buscar la manera de integrar las actividades humanas en los mecanismos y ciclos propios de los ecosistemas.

En este punto volvemos a entender la importancia de la perspectiva local, ya que facilita un mayor conocimiento de los ecosistemas y los procesos sociales a integrar y, por lo tanto, una mayor facilidad para decidir la forma más adecuada de actuar en cada caso. En determinados casos de extrema fragilidad de los ecosistemas, esto puede llegar a implicar su preservación total como única manera de conservar sus potencialidades a largo plazo. En otros, sin embargo, la mejor opción pasa por una intervención humana 'blanda' en unos ecosistemas que, de hecho, llevan siglos siendo transformados por los humanos. Por ejemplo, el aspecto que presentan los bosques de Catalunya actualmente se ha ido forjando a lo largo de siglos de intervención humana combinada con la acción de las dinámicas propias de cada ecosistema. En esta situación, si se inhibe completamente la presencia humana, los ecosistemas siguen evolucionando hacia estados que pueden perjudicar el desarrollo en vez de favorecerlo (por ejemplo, puede crecer el sotobosque favoreciendo la propagación de incendios).

#### *2.2.5. La complejidad del DS requiere una aproximación transversal*

A lo largo de los puntos anteriores, hemos visto que el DS es una cuestión de una gran complejidad, ya que hay que tener en cuenta la interdependencia entre los procesos de la Naturaleza y la Sociedad, está planteado de forma global pero hay que implementarlo localmente y, además, no

persigue un objetivo concreto y estático, sino que es en si mismo un proceso dinámico que depende de las circunstancias.

Tal y como se afirma en (Ríos *et al.*, 2004) citando a Morin (1994), el fracaso del reduccionismo positivista en proporcionar modelos capaces de explicar cuestiones de gran complejidad como es el DS, conlleva la necesidad de abordar dichas cuestiones de forma transversal, teniendo en cuenta el mayor número de perspectivas posibles. A la práctica, esto implica la superación de la especialización sectaria de las diferentes disciplinas, la 'apertura de miras' de los investigadores hacia perspectivas y metodologías de diferentes disciplinas, y el establecimiento de grupos de trabajo pluridisciplinarios que aprovechen las sinergias generadas por la puesta en común de puntos de vista y conocimientos. Esta misma idea, aunque planteada desde perspectivas y principios diferentes, se traduce en conceptos como la *ciencia posnormal* (Funtowicz y Ravetz, 2000) y la *Sustainability Science* (Kates *et al.*, 2001), o en la perspectiva transversal del *Desarrollo a Escala Humana* (Max-Neef, 1998).

En el siguiente apartado veremos esta complejidad del concepto de DS puede ser abordada mediante una aproximación sistémica.

### **2.3. Aproximación sistémica.**

La complejidad del concepto de DS ha llevado, como decíamos al principio del capítulo, a una amplia ambigüedad a la hora de establecer definiciones. Esta ambigüedad, a su vez, hace difícil traducir el objetivo estratégico que es la sostenibilidad del desarrollo humano en objetivos operacionales concretos a alcanzar. Sin embargo, tal y como dice Manderson en (2006), algunas características del DS como su dependencia del contexto espacial y temporal en el que lo planteemos, o la complejidad que conlleva el intentar compatibilizar objetivos sociales, económicos y ambientales, lo convierten en una cuestión especialmente interesante para estudiar desde el punto de vista de sistemas complejos.

Podemos encontrar en la literatura varias definiciones del concepto de DS desde una perspectiva sistémica. Seguidamente, transcribimos dos de ellas que trasladan a este tipo de aproximación buena

parte de las ideas sobre el DS expuestas en el apartado anterior:

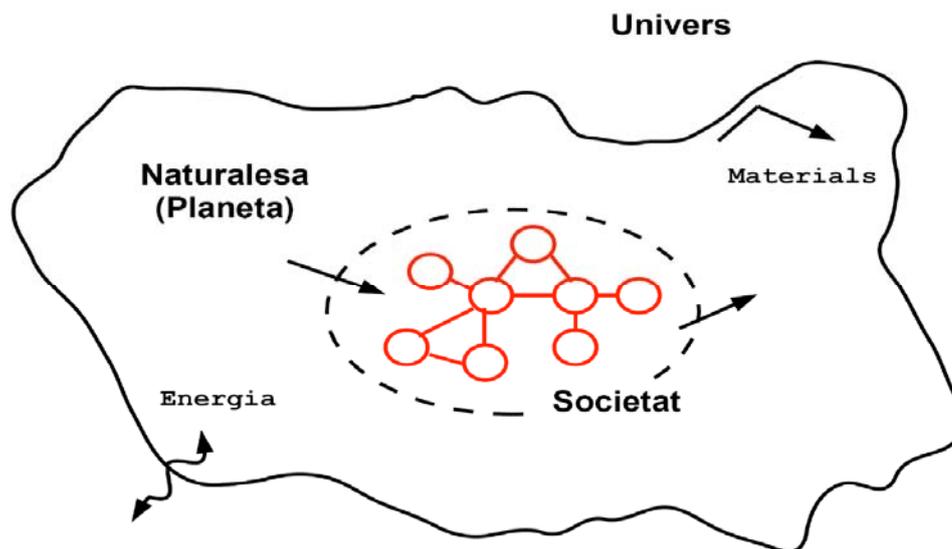
*"Conjunto de relaciones entre sistemas (naturales y sociales), dinámica de procesos (energía, materia e información) y escala de valores (ideas y ética). En la medida que los sistemas económicos, ecológicos y sociales interactúan entre sí de forma interdependiente, su estabilidad dependerá de su capacidad para resistir fluctuaciones, mantener la integridad del conjunto y garantizar sus funciones básicas.*

*Los valores necesarios para asignar y distribuir los recursos con equidad entre los seres humanos y las otras especies vivas tienen que estar soportados por ideas que propicien la Sostenibilidad Integral. Por su parte, los procesos dinámicos tienen que mantener unas determinadas características de equilibrio, velocidad, trayectoria, intensidad, etc. definidos como vectores afectados por una serie de variables endógenas y exógenas relativas a condiciones físicas, económicas, sociales y políticas que pretenden ser sostenibles en el tiempo, según diferentes contextos espaciales y temporales." (Jiménez, 2000).*

*"(..)a relationship between dynamic human economic systems and larger, dynamic, but normally slowerchanging ecological systems, such that human life can continue indefinitely, human individuals can flourish, and human cultures can develop—but also a relationship in which the effects of human activities remain within bounds so as not to destroy the health and integrity of self-organizing systems that provide the environmental context for these activities." (Tal cual se cita a (Norton, 1992) en (Troyer, 2002), pp. 213-214).*

Para entender adecuadamente estas definiciones, conviene tener claras algunas ideas respecto a la aproximación sistémica. Podemos considerar el binomio Sociedad - Naturaleza como dos sistemas que constituyen uno mayor (ver Fig. 2.1). Por una parte, los seres humanos nos organizamos y actuamos en Sociedad (sistema social) y, por otra, la Naturaleza es un conjunto de procesos auto-regulados en red (sistema natural) que constituyen el medio ambiente que soporta el desarrollo humano (Antequera et al, 2005). Para entender como evoluciona este escenario en el tiempo, debemos tener en cuenta lo siguiente: a) Cada uno de los subsistemas presenta una estructura interna de relaciones que suelen corresponder a patrones heterogéneos; b) Cada uno de los

subsistemas tiene sus dinámicas propias, y éstas son interdependientes con la estructura propia del subsistema; y c) Los dos subsistemas no están aislados, sino que las dinámicas están mutuamente influenciadas por el otro subsistema.



**Fig. 2.1.** Representación de la aproximación sistémica del conjunto Sociedad-Naturaleza. La Sociedad (subsistema social) es un sistema abierto a la Naturaleza (subsistema natural) y la organización social (representada mediante una red social) juega un papel importante en las interacciones entre los dos subsistemas. Fuente: Adaptación de una ilustración de (Antequera et al, 2005).

Teniendo en cuenta este planteamiento, podemos entender cualquier modelo de desarrollo humano como un conjunto de cambios experimentados por el subsistema social, es decir, cambios organizativos a todos los niveles, en las formas de producción y consumo de bienes y servicios, en las escalas de valores y, consecuentemente, en los comportamientos individuales, etc. Teniendo en cuenta lo dicho más arriba respecto a la interdependencia entre los dos subsistemas, estos cambios en el sistema social repercuten en el subsistema natural en forma de perturbaciones (entradas y salidas de energía y materia) que inciden en su estructura y dinámica. Dado que el subsistema natural es adaptativo (Margalef, 1992), intenta mantener el estado en el que se encuentra reorganizándose. Dependiendo del tipo e importancia de la perturbación introducida, esta adaptación se produce de forma suave y el subsistema natural permanece en el mismo estado o, por el contrario, provoca un cambio de estado. Tanto en un caso como en el otro, y en virtud de la interdependencia entre subsistemas a la que nos referíamos más arriba, los cambios en el subsistema natural generan nuevas perturbaciones que afectan ahora al subsistema social en mayor o menor medida. En cierta manera, podemos resumir todo el proceso diciendo que las presiones del

subsistema social sobre el subsistema natural vuelven al primero en una forma y magnitud que no siempre son fáciles de prever, dado que ambos sistemas son complejos.

Un ejemplo ilustrativo de lo anterior es el de una población humana a orillas de un lago. En condiciones normales, el lago proporciona a la población humana ciertos servicios importantes para su desarrollo como el de alimentación, ocio o depuración de residuos. Si la presión de la población humana (el subsistema social) sobre el lago (el subsistema natural) aumenta ligeramente, es posible que el lago pueda adaptarse a la nueva situación manteniendo los servicios prestados a niveles muy similares (por ejemplo, el lago puede depurar e incorporar en forma de nutrientes cierta concentración de aguas sanitarias mediante procesos biológicos). Sin embargo, si la presión sobre el lago sigue aumentando, llega un momento en que los mecanismos de adaptación del lago llegan al punto de saturación y éste experimenta un cambio de estado importante (por ejemplo, se produce una superpoblación de algas debido al exceso de nitratos y fosfatos) que incide en los servicios prestados al subsistema social (el exceso de algas impide la supervivencia de los peces de los que alimentarse y el disfrute del lago como zona de recreo). Dependiendo del grado de adaptabilidad del subsistema social respecto a los cambios en esos servicios (o, dicho de otra manera, su capacidad para prescindir o sustituir a los mismos) este cambio de estado del lago puede representar un ligero contratiempo o una grave crisis.

Desde este punto de vista, y según las definiciones de Jiménez y Norton reproducidas más arriba, el Desarrollo Sostenible sería aquél en el que las perturbaciones generadas desde el sistema social pudieran ser 'encajadas' por el natural sin suponer un cambio de estado que, a su vez, condicione fuertemente las dinámicas propias del sistema social. Para alcanzar este objetivo se requieren dos cosas: Limitar el impacto de las perturbaciones producidas por el sistema social, e incrementar la capacidad de los dos subsistemas para adaptarse a las perturbaciones.

Respecto a la necesidad de limitar las perturbaciones producidas desde el subsistema social, podemos verlo como una extensión, más dinámica y completa, de la teoría del límite ambiental de Malthus y Ricardo. Ahora el límite a las actividades humanas no está definido por la cantidad de recursos naturales disponibles, sino por la capacidad de adaptación del subsistema natural. Así, si decíamos más arriba que los límites definidos por Malthus y Ricardo podían extenderse aplicando la tecnología para *intervenir* en los procesos de generación de recursos naturales para aumentar su

productividad, la 'estrategia' a seguir para ampliar este nuevo límite dinámico requiere *sincronizar* las actividades humanas con los ciclos del subsistema natural, de manera que éstas acompañen a las dinámicas naturales en vez de oponerse a ellas o estorbarlas. Aunque este proceso de integración también implica a la tecnología (en lo que se refiere, por ejemplo, a la manera de obtener y utilizar la energía), el auténtico objetivo a alcanzar es una adaptación cultural, ya que es la cultura la que define cómo y para qué debe utilizarse esa tecnología.

Por ejemplo, adoptar fuentes de energía renovables (soluciones tecnológicas efectivamente integradas en los ciclos naturales) para combatir el impacto ambiental de la generación de energía deja de ser práctico cuando la demanda de energía no para de crecer, ajena a los problemas derivados de su generación. Es necesario combinar esta medida puramente tecnológica con un cambio de comportamientos individuales y colectivos en el sentido de disminuir el consumo general de energía y, en la medida de lo posible, intentar adaptar las actividades que consumen energía a su disponibilidad y no al revés.

En cuanto al segundo requisito, la relación entre la capacidad de adaptación de ambos subsistemas y su sostenibilidad, se puede abordar desde el punto de vista de la *resiliencia* que, tal y como veremos en el capítulo 4, es la propiedad de los sistemas de mantener ciertos niveles de funcionalidad adaptándose a las perturbaciones mediante procesos de autoorganización. La resiliencia es un concepto ampliamente trabajado desde el punto de vista de los ecosistemas pero que, tal y como veremos en el capítulo 8, podemos considerar de una manera más amplia abarcando también a los sistemas sociales.

La aproximación sistémica también permite profundizar en la cuestión de las diferentes escalas del DS. Los sistemas complejos en general (y, como ya hemos comentado, tanto el natural como el social pertenecen a esta categoría) presentan jerarquías o escalas en el sentido de que cada sistema complejo puede ser dividido en subsistemas interconectados de complejidad cada vez menor. Traducido a nuestro escenario de dos subsistemas (social y natural), esto implica que el esquema reproducido en la Fig. 2.1 se produce simultáneamente a diferentes escalas geográficas. Así, tal y como muestra Manderson (2006) en la figura reproducida en Fig. 2.2 para el caso concreto de la producción agraria, el camino hacia el DS (a escala global), pasa por resolver la sostenibilidad en escenarios progresivamente más complejos y geográficamente extensos a partir del escenario local

(en principio, más fácil de abarcar y con características propias). Nótese que este planteamiento es completamente coherente con lo que decíamos más arriba respecto al 'Pensar globalmente y actuar localmente' y a la necesidad de plantear el desarrollo en cada caso particular (teniendo en cuenta características culturales y recursos disponibles de cada caso concreto).



*Fig 2.2. El camino hacia el DS, que es un objetivo global, pasa por resolver la sostenibilidad del desarrollo humano partiendo de la escala local y aumentando progresivamente la escala geográfica y la complejidad del escenario. Aquí se ilustra este planteamiento desde el punto de vista de la producción agrícola. Fuente: (Manderson, 2006)*

Resumiendo todo lo comentado en este apartado, la aproximación sistémica al DS nos sirve para destacar la importancia de la organización social en general y su estructura en particular, cumpliendo así con el primero de los objetivos concretos de la tesis establecidos en el capítulo anterior. Si partimos de que la organización social es una expresión de la complejidad intrínseca del sistema social, tanto desde el punto de vista de la heterogeneidad de su estructura (las redes sociales) como de la no-linealidad de sus dinámicas (los fenómenos sociales), es completamente razonable plantearse que la organización social juega un papel importante en las relaciones entre los dos subsistemas (social y natural). Más concretamente, la organización social es determinante para alcanzar los objetivos marcados más arriba, es decir, integrar las actividades humanas en los ciclos del subsistema natural mediante cambios culturales, e incrementar la capacidad de 'encajar' perturbaciones (la resiliencia) de ambos subsistemas.

## **2.4. Conclusiones del capítulo**

En este capítulo hemos abordado el concepto de Desarrollo Sostenible, identificando algunos de sus precedentes teóricos y el marco sociopolítico que ha permitido hacer evolucionar el concepto desde la idea de conciliación de crecimiento económico y Medio Ambiente hasta el Desarrollo Humano Sostenible, una aproximación que incorpora los aspectos culturales y el debate respecto al concepto mismo de desarrollo.

También hemos tratado ciertas cuestiones importantes alrededor del concepto de DS, y que conviene tener presentes a lo largo de la lectura de esta tesis, como son la importancia de la cultura en el planteamiento del DS, la dualidad global-local, el papel del crecimiento económico, el carácter dinámico del DS o la necesidad de afrontar su definición desde una perspectiva transversal dada su complejidad.

Finalmente, hemos planteado que la aproximación sistémica es adecuada para trabajar con el concepto de DS porque aporta un entorno en el que plantear de forma operativa las diferentes cuestiones apuntadas y, por otra parte, permite destacar la importancia de la organización social para el DS (que es uno de los objetivos concretos planteados en el primer capítulo de esta tesis).

### **3. INTERACCIÓN ENTRE ESTRUCTURA Y DINÁMICA EN SISTEMAS SOCIALES.**

Este capítulo está dedicado al segundo de los ámbitos de investigación que pretendemos relacionar en esta tesis, que es el estudio de los sistemas sociales desde el punto de vista de su estructura y de la interacción entre ésta y los procesos sociales. Hemos dividido el capítulo en tres apartados. En el primero presentamos el Análisis de la Redes Sociales (ARS), que es el estudio de los sistemas sociales desde un punto de vista estructural. En el segundo, vemos como la progresiva integración de este campo (eminentemente social) con la perspectiva de redes complejas (propia de disciplinas de las ciencias naturales como la física o la biología), está dando lugar a lo que algunos autores han venido a llamar *Ciencia de las Redes*, un ámbito de trabajo transversal en el que se desarrolla una importante actividad centrada en la interdependencia entre estructura y dinámica social. Finalmente, en el tercer apartado definimos algunos de los conceptos que la literatura sobre redes complejas está aportando a esta Ciencia de las Redes, y que serán de utilidad más adelante en esta memoria.

#### **3.1. Análisis de Redes Sociales**

En su libro sobre la Historia del Análisis de Redes Sociales, Linton C. Freeman escribe: "*In social science, the structural approximation that is based on the study of interaction among social actors is called social network analysis.*" (Freeman, 2005). Efectivamente, la principal característica del Análisis de Redes Sociales (ARS) es que se centra en la estructura de las relaciones existentes entre los actores sociales (individuos y/o organizaciones), diferenciándose así de otras disciplinas dentro de las ciencias sociales que inciden más en los atributos de los individuos y su percepción del entorno.

Para entender mejor el por qué de esta perspectiva estructuralista, hay que tener en cuenta que los vínculos entre actores sociales son una representación de las interacciones que se producen entre ellos a nivel local (intercambios, transmisiones, solicitudes, etc..) y que éstas, a su vez, dependen de los atributos de los actores sociales implicados (por ejemplo, aficiones, nacionalidad, profesión o nivel socioeconómico si hablamos de individuos, y tamaño o tipo de actividad en el caso de las organizaciones). Por lo tanto, tal y como podemos leer en el siguiente fragmento, las redes sociales son representaciones macroscópicas de las características individuales de los actores sociales: "*In*

### 3. Interacción entre estructura y dinámica en sistemas sociales

*Social Network Analysis the observed attributes of social actors (such as race or ethnicity of people, or size or productivity of collective bodies such as corporations or nation-states) are understood in terms of patterns or structures of ties among units. Relational ties among actors are primary and attributes of actors are secondary" (Wasserman y Faust, 1994).*

Partiendo de esta idea, los analistas de redes sociales estudian los patrones estructurales de las redes sociales (tales como la distribución estadística del número de vínculos por actor, la concentración de éstos en ciertas regiones de la red, la mayor o menor centralidad de los diferentes actores..) con la intención final de obtener información, tanto de los individuos (la capacidad de coordinar o de hacer de intermediario, por ejemplo) como del grupo (cohesión, robustez ante los intentos de desestabilizar el grupo, flexibilidad en situaciones de cambio..).

Pero el ARS también se basa en la idea intuitiva de que el comportamiento de los individuos está condicionado por el sustrato social en el que están inmersos. En base a esta idea, los investigadores en ARS intentan entender estos condicionamientos estableciendo paralelismos entre los diferentes patrones estructurales y el comportamiento de los individuos y organizaciones ante fenómenos de toma de decisiones, difusión de ideas, cooperación, integración, etc.

Resumiendo, el Análisis de Redes Sociales estudia la relación entre la estructura y las diferentes dinámicas sociales. Esta relación es de interdependencia, es decir, la red condiciona el comportamiento del individuo (limitándolo en ciertos casos y favoreciéndolo en otros) pero, al mismo tiempo, los procesos sociales 'modelan' continuamente la topología a nivel microscópico mediante el fortalecimiento, debilitamiento, destrucción o creación de vínculos.

#### **3.2. Evolución del estudio de la estructura social: De la Sociometría a la Ciencia de Redes.**

Este apartado tiene un doble objetivo. Por un lado se trata de dar una visión general de cómo se ha desarrollado el estudio de los sistemas sociales a partir de su estructura durante los últimos 70 años. Por el otro, pretendemos poner de manifiesto que este campo de trabajo ha tenido siempre un marcado carácter pluridisciplinar, inicialmente de una forma más restringida (implicando básicamente a disciplinas de las ciencias sociales como la sociología, la antropología o la psicología

social), pero que los últimos años ha superado la barrera del ámbito social atrayendo investigadores procedentes de otras disciplinas como la física o la biología.

### 3.2.1. *Las primeras aproximaciones pluridisciplinarias al estudio de la estructura social.*

Una de las tesis más extendidas sobre el nacimiento del estudio de la estructura social como tal lo relaciona con la publicación, por parte de Jacob Moreno, del trabajo *Who shall survive?. Foundations of Sociometry, Group psychotherapy and Sociodrama* (Moreno, 1934). Sin embargo, la importancia de este trabajo de Moreno no radica solo en ese carácter 'fundacional' del campo (aportando herramientas tan básicas como el sociograma, es decir, la representación gráfica de las redes sociales en forma de nodos y aristas). Si no que también se trata de un ejemplo significativo de asimilación del trabajo realizado por autores desde disciplinas diferentes, entre las que encontramos la psicología del desarrollo y la educación, la sociología y la antropología.

De las primeras, Moreno habría adoptado las metodologías de recopilación de información relacional (materia que Elizabeth Hagman había unificado en 1933) y, según John Scott (Scott, 2000), también la idea de focalizar su investigación en las interacciones en el seno de grupos pequeños (una especialidad ampliamente trabajada por una corriente psicológica alemana, llamada *gestalt*, durante la década de los 20). Por lo que respecta a la sociología, Moreno se habría inspirado en diversos sociólogos de los catalogados como 'estructuralistas' dado el papel central que le otorgaban a los patrones de relación, una corriente que empezó, según Freeman (2004), con los orígenes mismos de la sociología como ciencia de la mano de August Comte, y que tuvo en Georg Simmel un exponente contemporáneo a Moreno. Finalmente, la técnica gráfica del sociograma se basaría en trabajos de antropólogos del siglo XIX como Lewis Henry Morgan i Alexander Macfarlane, dedicados sobre todo a las relaciones de parentesco en culturas tan diversas como la Antigua Roma o las americanas precolombinas.

Paralelamente al trabajo que llevaron a cabo Moreno y sus colaboradores, en la *School of Business Administration* de la *Harvard University* se desarrollaba otra línea de investigación que John Scott denomina 'Antropología estructural-funcional' (Scott, 2000). William Lloyd Warner y George Elton Mayo encabezaron este grupo de Harvard dedicado inicialmente al estudio de las relaciones interpersonales en entornos industriales (combinando la experiencia en etnografía de Warner con el

### 3. Interacción entre estructura y dinámica en sistemas sociales

interés de Mayo por la influencia de los factores ambientales sobre la productividad de los trabajadores), pero que fue ampliando su interés a las relaciones entre distintos tipos de grupos sociales (clases sociales, oficios, categorías profesionales, razas, etc.) en contextos más generales.

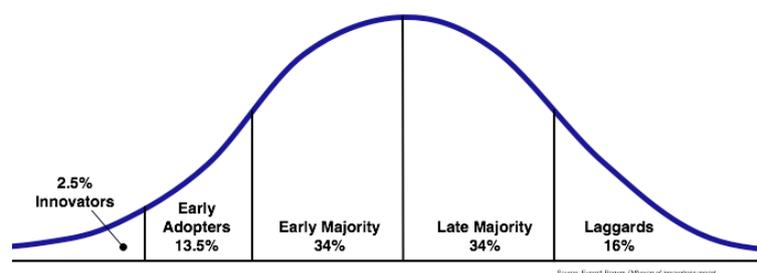
Uno de los trabajos más representativos de este grupo fue el proyecto *Deep South*, que empezó en 1933. Este proyecto pretendía obtener, a partir del estudio de las afinidades personales entre individuos, la estructura de clases existente internamente en cada una de las dos comunidades raciales segregadas (blancos y negros) de Natchez, una población del estado norteamericano de Mississippi. El libro que recoge la información sobre dicho proyecto (Davis *et al*, 1941), constituye toda una referencia desde el punto de vista metodológico, especialmente en lo que respecta al uso de diagramas y tablas para organizar la información empírica obtenida, que es muy similar a como se hace actualmente. Además, este y otros trabajos del grupo contribuyeron decisivamente al campo gracias a la integración de perspectivas propias de la antropología y la psicología social, conduciendo al desarrollo de conceptos como el de *cluster o clique* y el de *block*, elementos básicos de la detección y definición de subgrupos dentro de estructuras sociales más grandes a partir del análisis estructural de las relaciones microscópicas entre individuos.

#### 3.2.2. La etapa 'oscura' de mediados del siglo XX

Si los años 1930 supusieron el establecimiento de las bases del ARS tal y como lo conocemos actualmente, los años 1940 trajeron el principio de una etapa que duraría varias décadas, y durante la cual en vez de encontrar integración de perspectivas e investigación básica sobre estructura social, vemos un conjunto de experiencias aisladas y orientadas a aplicaciones y/o disciplinas concretas. No obstante, cabe destacar algunos autores cuyas aportaciones han resultado ser ejemplos pioneros de aplicaciones actuales del ARS en diferentes ámbitos.

Uno de estos casos es el de Everett M. Rogers, que a mediados de los 1950 inició el estudio de la difusión de innovaciones desde un punto de vista estructuralista. Rogers entró en contacto con la perspectiva estructuralista en 1955 cuando, buscando herramientas analíticas con las que tratar ciertos datos empíricos para su tesis doctoral (dedicada a la difusión de innovaciones tecnológicas en una comunidad agrícola del estado Iowa), descubrió la sociometría de Moreno y sus colaboradores. A partir de esos trabajos, Rogers fue construyendo la idea (completamente asumida en la literatura actual) de que los procesos de difusión de innovaciones siguen siempre un conjunto

de etapas, y que estas etapas están condicionadas por el rol asumido por los actores implicados en el proceso de difusión y por la estructura de relaciones existentes entre ellos. En (Rogers y Beal, 1958), Rogers clasificó con nombres concretos estos diferentes roles, estableciendo así una clasificación (*innovators*, *early adopters*, *late majority* y *laggards*) que sigue en vigor entre los investigadores en difusión de innovaciones. En el capítulo 7, trataremos más detalladamente el papel de la estructura social y los roles de los individuos en los procesos de difusión de innovaciones.



**Fig. 3.1.** Clasificación, y proporción aproximada en la Sociedad, de los cinco roles adoptados por los individuos durante la difusión de una innovación, según la propuesta de E.M. Rogers. Fuente: (<http://en.wikipedia.org/wiki/Image:DiffusionOfInnovation.png>).

Otro ejemplo destacable, en este caso europeo, es el del geógrafo sueco Torsten Hägerstrand. Aparte de su formación de base en Geografía e Historia del arte, Hägerstrand se interesó por otros campos como la Física, la Sociología y las Matemáticas, y estudió los trabajos de Jacob Moreno y Kurt Lewin (uno de los representantes más destacados del *gestalt*, el grupo de psicólogos alemanes al que nos hemos referido más arriba). Esta transversalidad permitió a Hägerstrand integrar los conceptos de espacio y tiempo y la visión estructuralista de las relaciones sociales, y aplicarlos al análisis de datos muy exhaustivos sobre fenómenos de migración en Suecia durante los siglos XIX y XX. Dos ejemplos concretos de esta integración son: (1) La relación que estableció entre el número de matrimonios celebrados entre individuos de dos poblaciones determinadas y la distancia 'real' y no sólo física entre éstas (partiendo de la idea de que menos matrimonios implicaba más dificultad para viajar de una población a otra, bien por las características del territorio, bien por el tipo de infraestructuras existentes, etc.), y el estudio de la transformación del territorio a partir de la evolución en el tiempo de estas 'distancias'; y (2) la elaboración de mapas representando la

### 3. Interacción entre estructura y dinámica en sistemas sociales

evolución temporal de la expansión de una determinada innovación tecnológica, para poder demostrar como este proceso de difusión dependía tanto de las características físicas del territorio como de la estructura de las relaciones existentes entre poblaciones humanas y sus movimientos.

Aunque en su momento el impacto del trabajo de Hägerstrand se limitó al campo de los geógrafos sociales, su idea de incorporar el factor espacial al ARS puede considerarse como un precedente de trabajos actuales que relacionan datos relacionales con otros de tipo geográfico (Faust *et al.*, 2000) (de Moraes y Krafta, 2001) (Axhausen, 2003) (Molina *et al.*, 2005) (Axhausen *et al.*, 2006).

Otros autores especialmente destacables de esta etapa fueron Alex Bavelas, que fundó el *Group Networks Laboratory* en el MIT, y Claude Levi-Strauss, con sus trabajos sobre las relaciones de parentesco (Levi-Strauss, 1949/1969).

#### 3.2.3. El renacimiento del estudio de la estructura social como disciplina de investigación

Entre finales de los años 60 y principios de los 70, la situación cambió. Uno de los principales escenarios de este cambio fue la *Harvard University* y su artífice Harrison Colyer White. La contribución de White al ARS fue doblemente relevante.

Como investigador, la aplicación conjunta de herramientas y conceptos de diferentes campos a la perspectiva estructuralista, hacen el trabajo de White comparable al de Moreno. Si aquél había asimilado metodologías propias de la psicología y la antropología a sus estudios empíricos sobre relaciones sociales en grupos pequeños, White, gracias a su doble formación doctoral en Física teórica y Sociología, encontró la manera de aplicar herramientas matemáticas formales a la modelización de aspectos propios de la sociología y la antropología, como el parentesco (White, 1963) o la movilidad social (White, 1970). Además, gracias a la aptitud para la docencia, White supo transmitir la importancia de la perspectiva estructuralista y el uso de estas herramientas formales dentro del campo de la Sociología a un grupo de estudiantes de Harvard que, más adelante, han jugado un papel importante en el campo, como Barry Wellman o Mark Granovetter.

Tal y como se afirma en (Freeman 2004), el gran volumen de trabajo generado desde principios de los 1970 por White y sus estudiantes en materia de redes sociales, así como la clara ruptura con las

posiciones del *establishment* académico de la sociología que suponía la perspectiva estructuralista, hizo muy difícil que la investigación sobre redes sociales pasara desapercibida dentro del colectivo de científicos sociales de finales de la década. Este hecho contribuyó a que grupos de todo el mundo y de disciplinas diferentes como la Sociología, la Psicología social, la Antropología, las Ciencias políticas y la Geografía, empezaran a tomar conciencia de la posibilidad de crear un único campo de investigación, que llegaría a ser el actual ARS.

Este proceso de acercamiento se fue acentuando desde finales de los 70 con la celebración de todo tipo de encuentros y conferencias más o menos informales. Ante la necesidad de hacer más continuo el contacto entre los diferentes investigadores del campo, el verano de 1977 se fundó en Toronto, el INSNA (*International Network for Social Network Analysis*) y su boletín *Connections*. Un año más tarde vería la luz la revista científica *Social Networks*. En 1981, los diferentes encuentros que se venían realizando dieron lugar a la conferencia anual oficial del INSNA, la Annual Sunbelt Social Network Conference y, finalmente, el año 1989 este encuentro se fusionó con su equivalente europea y, desde entonces, cada tres años la SUNBELT se celebra en el continente europeo (este año 2007 en Corfú, Grecia).

Durante los años 1970s también se produjeron importantes avances respecto a la consolidación del Análisis de Redes Sociales como campo de investigación pluridisciplinar. Contribuyeron a ello el importante desarrollo de la teoría de grafos y el incremento de la capacidad de cálculo de los centros de computación en centros de investigación (Wasserman y Faust, 1994), así como la aparición de aplicaciones informáticas específicas para ARS. Sin embargo, la verdadera transversalidad del ARS no se produciría hasta más adelante, concretamente alrededor del año 2000, con la incorporación masiva de investigadores procedentes de disciplinas como la física o la biología.

#### 3.2.4. Integración de las perspectivas estructuralistas social y natural: La Ciencia de Redes

El punto de inflexión de este proceso de extensión del ARS más allá del ámbito social, se produjo con la publicación de un trabajo de Watts i Strogatz en *Nature* (1998), en el que presentaban un modelo muy simple para crear redes con una característica estructural de especial interés tanto para investigadores de disciplinas sociales como para físicos i biólogos: El fenómeno de 'Mundo

Pequeño' (*small-world*)<sup>4</sup>.

Con este trabajo, Watts y Strogatz consiguieron llamar la atención de investigadores de varias disciplinas. Por una parte, su modelo representaba una herramienta para estudiar una propiedad estructural que presentaban no sólo las redes sociales (tal y como ya puso de manifiesto Milgram en su famoso experimento de los seis grados de separación entre dos individuos cualquiera (Milgram, 1967)<sup>5</sup>), sino también otro tipo de redes como biológicas (neuronales, por ejemplo) o tecnológicas (como las de distribución eléctrica). Por otra parte, su trabajo permitía capturar parte de la complejidad de todas esas redes 'reales', algo especialmente útil para estudiar la dependencia de determinados procesos (como la difusión de enfermedades infecciosas) respecto a estructuras relacionales más realistas que las utilizadas hasta el momento (básicamente, completamente regulares o aleatorias).

A partir de este y otros trabajos similares, algunos investigadores de disciplinas como la física o la biología vieron en los sistemas sociales un ejemplo más de redes complejas<sup>6</sup> que presentaban muchas similitudes con los sistemas complejos naturales que habían estudiado previamente, y en el análisis de redes sociales se convirtió para ellos en un campo de aplicación atractivo para las metodologías de análisis y modelización propias de sus disciplinas. Desde esa perspectiva de redes complejas, hay dos aspectos de los sistemas sociales que han recibido una atención especial por parte de estos investigadores: Sus características estructurales y los fenómenos sociales emergentes.

Respecto a la estructura de las redes sociales, éstas presentan ciertas características estructurales que también encontramos en sistemas naturales. Podemos encontrar referencias a algunos ejemplos (como el ya citado fenómeno de 'mundo pequeño') en (Newman, 2003) (Dorogovtsev y Mendes, 2003) o (Watts, 2004). Teniendo en cuenta que la estructura social es el resultado del efecto de diferentes procesos sociales, estos científicos centran su atención en encontrar los mecanismos básicos que rigen estas dinámicas de crecimiento y transformación de redes sociales. En el apartado 3.3, explicaremos este punto con más detalle y daremos ejemplos concretos de propiedades estructurales y modelos para reproducirlas.

---

4 El fenómeno de Mundo pequeño (*small-world*) se trata adecuadamente en el apartado 3.3.

5 Reproducido recientemente mediante el correo electrónico:<http://smallworld.columbia.edu/>

6 Las redes complejas son aquéllas que presentan características topológicas no triviales (en el apartado 3.3 presentamos algunas de esas características no triviales).

Por otra parte, los fenómenos emergentes son comportamientos de un sistema que no podemos explicar a partir de las características generales (macroscópicas) de éste, sino que hay que estudiar su organización interna y las interacciones no lineales entre los elementos que lo componen para entender el origen y evolución de dichos fenómenos. Algunos ejemplos de fenómenos emergentes observables en poblaciones o grupos de individuos (es decir, sistemas sociales) son los fenómenos de sincronización, la difusión de comportamientos o la autoorganización (por ejemplo, en la formación espontánea de colas o de sentidos de circulación en espacios densamente ocupados).

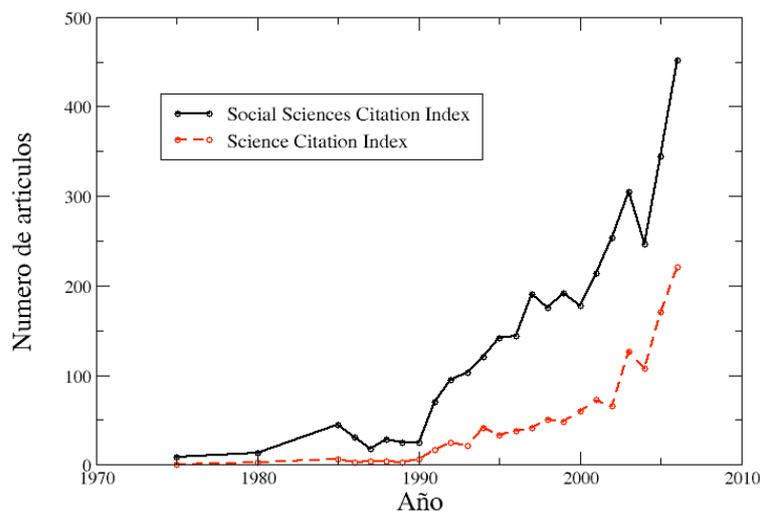
En definitiva, la incorporación de estos científicos al estudio de los sistemas sociales está impulsando una profundización en la interdependencia entre estructura y dinámica, un aspecto importante en el ARS (tal y como hemos visto en el apartado anterior), pero que tradicionalmente ha quedado en un segundo plano según algunos autores como Watts (2003). Sin embargo, lo que resulta especialmente interesante de esta incorporación es el proceso de integración en sí mismo, y la perspectiva que tiene, en general, cada uno de los colectivos respecto al trabajo del otro.

El punto de vista de los físicos queda reflejado y/o explícitamente expuesto en libros como (Barabási, 2002) o (Watts, 2003). Su posición es de respecto al gran trabajo realizado y al conocimiento alcanzado por los investigadores de áreas sociales respecto a aspectos estáticos (puramente estructurales) de las redes, pero voluntad de aportar en cuanto a los aspectos dinámicos y de análisis formal, a pesar de ser un colectivo relativamente 'recién llegado'. Según Watts, eso es una característica intrínseca a la manera de investigar de los físicos: "*..happy to borrow ideas and techniques from anywhere if they think that they might be useful, and delighted to stomp all over someone else's problem. (..)Mathematicians do the same thing occasionally, but none descends with such fury and in so great in number as a pack of hungry physicist, adrenalized by the scent of a new problem.*" (Watts, 2003).

Desde el punto de vista de los investigadores de disciplinas 'tradicionales' dentro del campo del ARS, como la sociología o la antropología, la entrada de los físicos tiene una cara positiva y una negativa. La positiva es la innegable aportación de trabajo y la contribución a la popularización del ARS realizada a través de publicaciones de gran impacto como *Science* o *Nature*. La negativa es un reconocimiento considerado insuficiente al trabajo llevado a cabo por la comunidad ARS durante

### 3. Interacción entre estructura y dinámica en sistemas sociales

décadas, que en el entorno académico se traduce en citaciones a los artículos. El siguiente texto de Linton C. Freeman resulta un perfecto ejemplo de esta postura: "In 1998 a young physicist, Duncan J. Watts, worked with en mathematician, Steven H. Strogatz, and together they published an artículo on the small world phenomenon in Nature. At that time, they knew very little about the research tradition described here. They cited Milgram's (1967) paper, but were unaware of the earlier work by Pool and Kochen (1978) or the more than 200 follow-up papers on the subject that have been published by network analysts." (Freeman, 2004).



**Fig. 3.2.** Evolución temporal del número de artículos en revistas indexadas relacionados con 'Social Networks' (en inglés). Se aprecia claramente la importancia adquirida por el ARS en el ámbito científico social desde principios de los 1990s y, sobretudo, el efecto de la integración de perspectivas estructuralistas a partir del año 2000. Elaboración propia a partir de datos en ISI-WebOfKnowledge.

A pesar de estas diferencias, cabe destacar que los dos principales medios de debate e intercambio de ideas de que se ha dotado el INSNA (la lista de discusión electrónica SOcNET y SUNBELT, el encuentro anual en la que se me refería más arriba) cuentan, desde hace ya algunos años, con la participación de físicos, biólogos y expertos en computación. Además, aunque de forma lenta, se

producen colaboraciones entre investigadores de disciplinas diferentes, y se constituyen equipos transversales, contribuyendo a la integración de las dos perspectivas estructurales (la correspondiente a sistemas sociales y naturales). Algunos autores, ante las nuevas posibilidades de esta integración de perspectivas y metodologías, usan el término *Ciencia de las Redes* (Buchanan, 2002) (Barabási, 2002) (Watts, 2003) para referirse a este nuevo ámbito de investigación que estudia las redes desde la perspectiva de sistemas complejos integrando, por una lado, los conocimientos sobre estructuras sociales acumulados a lo largo de décadas de ARS y las herramientas de prospectiva y análisis para obtenerlos y, por el otro, un mayor inciso en la interdependencia entre estructura y dinámica y las herramientas de modelización aportadas desde disciplinas como la física estadística.

En este apartado siguiente, que cierra el capítulo sobre el análisis estructural de sistemas sociales, repasaremos algunos conceptos relacionados con la estructura de las redes complejas en general, y las redes sociales en particular, que nos iremos encontrando en capítulos posteriores de la tesis.

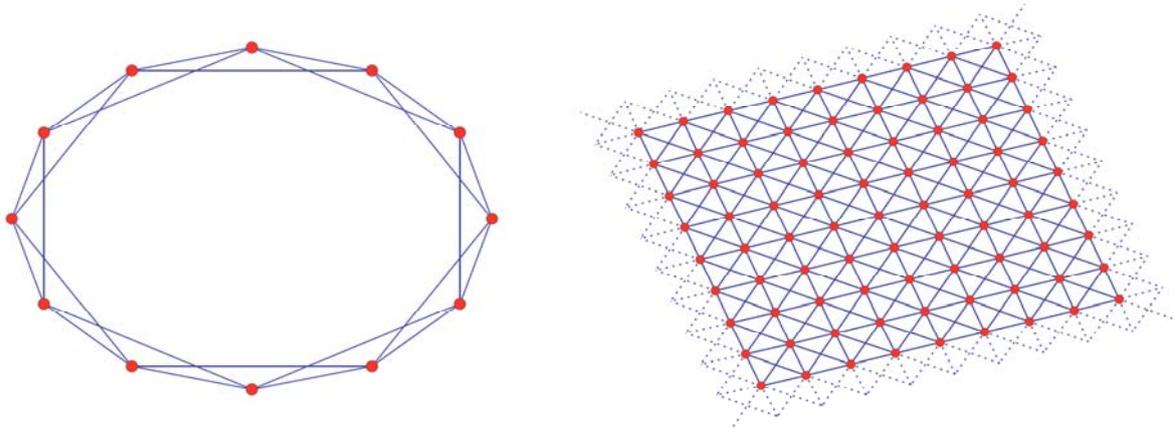
### **3.3. Conceptos estructurales básicos y modelos relacionados.**

Tal y como decíamos más arriba, uno de principales los intereses de los investigadores procedentes de ciencias 'duras' que se han incorporado al análisis estructural de sistemas sociales, ha sido el estudio de las propiedades estructurales características de las redes sociales desde la perspectiva de los procesos que las 'forjan'. Para llevar a cabo este trabajo, se han diseñado numerosos modelos matemáticos que reproducen esas propiedades estructurales y, en ocasiones, su interrelación con los procesos que las hacen emerger. En este apartado, hacemos un repaso a algunas de estas propiedades, la mayoría de las cuales volverán a aparecer más adelante en la tesis, y a diferentes modelos propuestos durante los últimos años para reproducirlas.

El lector que quiera obtener más información sobre otros conceptos estructurales o profundizar en alguno de los aspectos tratados aquí, puede consultar manuales de carácter general sobre ARS como (Wasserman y Faust, 1994) (Scott, 2000) (Carrington *et al.*, 2005), o artículos recopilatorios centrados en la interdependencia entre estructura y dinámica en todo tipo de sistemas (no sólo sociales) como (Newman, 2003) (Dorogovtsev y Mendes, 2003) (Bocaletti *et al.*, 2006).

### 3.3.1. Mallas regulares

Las mallas regulares son redes en las que todos los nodos tienen el mismo *grado* ( $k$ ), es decir, el mismo número de enlaces a otros nodos de la red. En la Fig. 3.3 podemos ver dos ejemplos de mallas regulares, en ambos casos los nodos están ligados a primeros y segundos vecinos. Su alta homogeneidad y simplicidad permite calcular fácilmente algunas características estructurales.



**Fig. 3.3** Ejemplos de mallas regulares de dimensión  $D=1$  (izquierda) y  $D=2$  (derecha).

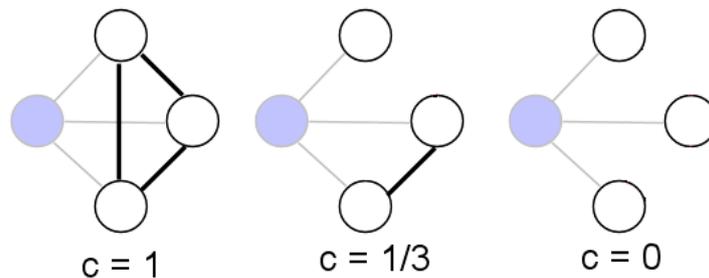
La primera de las propiedades estructurales en la que nos fijamos es la *distribución de grado*, es decir, la proporción de nodos de la red con un grado determinado  $k_i$  para cada posible valor de  $k$ . Dicho de otra manera, la distribución de grados viene dada por las diferentes probabilidades  $p(k_i)$  de que, al escoger al azar un nodo de la red, éste sea de grado  $k_i$ . Dado que, por definición, todos los nodos de una red regular tienen el mismo grado, en este caso la distribución de grado es 1 para un valor concreto de  $k=K$  y 0 para el resto de valores posibles.

Otro parámetro estructural relevante es la *distancia geodésica media* ( $l_{med}$ ), es decir, el número medio de vértices que atravesamos al trazar el camino mínimo entre dos nodos dados. En el caso de las redes sociales, ésta correspondería al número medio de intermediarios necesarios para poner en contacto a un par de individuos. Para el caso de mallas regulares, tenemos que:

$$l_{med} \propto N^{\frac{1}{D}}$$

Donde  $N$  es el tamaño del sistema y  $D$  es la dimensión (ver Fig. 3.3).

Finalmente, la tercera propiedad estructural que vamos a examinar es el *coeficiente de clustering*<sup>7</sup> ( $C$ ), que podemos entender como una cuantificación de la expresión '*Los amigos de mis amigos, son mis amigos*'. El coeficiente de clustering de un nodo es la fracción de sus vecinos que son también vecinos entre ellos (ver Fig. 3.4). El coeficiente de clustering de una red se calcula promediando el de cada uno de los nodos que la forman. En el caso de las mallas regulares, dado que los nodos vecinos comparten muchos de los vecinos (ver los ejemplos de la Fig. 3.3),  $C$  suele presentar valores altos (cercanos a 1).



**Fig. 3.4** Coeficiente de clustering ( $C$ ) del nodo de color gris para diferentes situaciones. En el caso de la izquierda todos los vecinos están conectados y, por lo tanto,  $C$  es el máximo. El caso de la derecha representa la situación completamente opuesta, como ninguno de los vecinos está conectado, la  $C$  es 0. El otro caso corresponde a una situación intermedia. Fuente: Modificación de: [http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Clustering\\_coefficient\\_example.png](http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Clustering_coefficient_example.png)

A pesar de que los sistemas sociales reales no suelen presentar topologías tan regulares, este tipo de redes se han utilizado como primera aproximación para estudiar el efecto de la estructura sobre diferentes tipos de procesos sociales, por ejemplo, en Teoría de Juegos (Szabó, 2007). Las mallas regulares también se pueden utilizar como estructura inicial a partir de la cual construir otro tipo de topologías mediante diferentes modelos (Watts y Strogatz, 1998).

<sup>7</sup> Aunque la traducción literal del término inglés '*clustering coefficient*' sería algo así como 'coeficiente de aglomeración' o 'coeficiente de agrupamiento', en la literatura de habla hispana sobre ARS se suele utilizar el término 'coeficiente de clustering'.

### 3.3.2. Grafos aleatorios

La generación de grafos aleatorios a partir de variables aleatorias es otra manera simple o 'trivial' de generar redes. Los primeros ejemplos de este tipo de aproximaciones corresponden a Solomonoff y Rapoport (1951) primero y, poco después, a Erdős y Renyi (Erdos y Renyi, 1959). y colaboradores

Uno de los modelos más utilizados para construir redes de tipo aleatorio fue presentado por Erdős y Renhy en (1959). Para construir este tipo de grafos, se parte de  $N$  nodos aislados y se van conectando parejas de nodos con una probabilidad constante  $p$ , de manera que si  $p=0$  los nodos permanecen aislados, y si  $p=1$  se obtiene un grafo completo (una red en la que todos los nodos están conectados los unos con los otros). Nótese que, por construcción, la red resultante presenta una estructura muy homogénea (como  $p$  es la misma para todos los nodos, todos ellos tienen más o menos el mismo número de enlaces). Esta característica condiciona las propiedades estructurales de este tipo de grafos, tal y como veremos a continuación.

Respecto a la distribución de grado, dado que cada enlace entre dos nodos se establece según una probabilidad constante  $p$ , la probabilidad  $p(k_i)$  de encontrar un nodo que haya acumulado  $k_i$  enlaces sigue una distribución de probabilidades binomial con parámetros  $p$  (la probabilidad de establecer un enlace), y  $N-1$  (el número de intentos, es decir el máximo número de enlaces que puede establecer un nodo). En algunos textos encontramos referencias a las redes generadas mediante este tipo de grafos como 'grafos aleatorios poissonianos' (Newman, 2003) (Bocaletti et al., 2006) debido a que, si  $N$  es lo suficientemente grande, la distribución binomial puede ser aproximada por una de Poisson:

$$P(k_i) = \binom{N-1}{k_i} p^{k_i} (1-p)^{N-1-k_i} \simeq \frac{e^{-pN} pN^{k_i}}{k_i!}$$

Respecto a la distancia media entre nodos, en (Bollobas, 2001) se demuestra que el diámetro (la distancia máxima entre dos nodos) de una red de tipo Erdős-Rényi (ER a partir de ahora) es:

$$l_{max} = \frac{\ln N}{\ln \langle k \rangle}$$

Donde  $\langle k \rangle$  es el grado medio. Dada la homogeneidad del grafo, podemos esperar que la distancia media entre nodos sea del mismo orden:

$$l_{med} \propto \frac{\ln N}{\ln \langle k \rangle}$$

Nótese que, fijado el grado medio, la distancia media entre dos nodos es poco sensible a los cambios del tamaño de la red. Esto difiere completamente del caso regular, en el que la distancia crece rápidamente conforme aumentamos  $N$ .

Finalmente, el valor del coeficiente de clustering de una red de tipo ER también se puede deducir teniendo en cuenta como se construyen este tipo de redes. Dado que cada uno de los nodos establece sus enlaces de forma independiente, la probabilidad de que dos vecinos de un mismo nodo sean a su vez vecinos es igual a  $p$ , la probabilidad de que dos nodos cualesquiera sean vecinos. Así, el coeficiente de clustering de una red aleatoria ER es:

$$C_{ER} = p = \frac{\ln \langle k \rangle}{N}$$

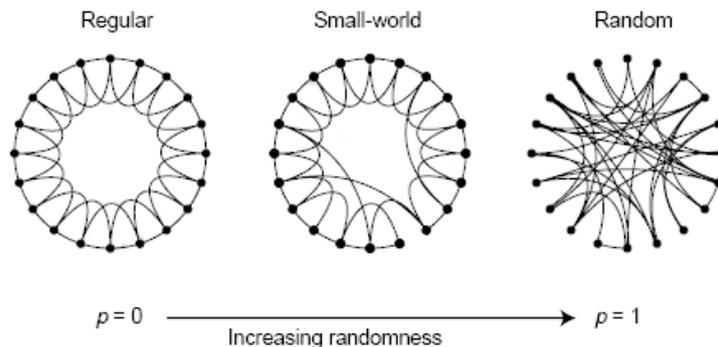
Este resultado implica que el valor de  $C$  correspondiente a redes de tipo ER tiende a ser pequeño, contrastando de nuevo con las redes regulares que, como hemos visto más arriba, presentan valores altos de clustering.

Las redes ER son un poco más 'realistas' que las mallas regulares, porque presentan una característica importante de las que aquellas carecían: La distancia media entre nodos es pequeña respecto al tamaño de  $N$ . De hecho, es un tipo de grafos muy utilizado en la literatura sobre modelización como ejemplo de estructura aleatoria homogénea (aquella en las que todos los nodos presentan características similares). Sin embargo, ni la distribución de grado binomial (o poissoniana) ni los valores bajos del coeficiente de clustering se corresponden con las topologías observables empíricamente, ya sean sociales, biológicas o artificiales (Newman, 2003). Seguidamente, presentaremos otros modelos de redes más cercanas a las reales desde este punto de vista.

### 3.3.3. Redes de 'Mundo pequeño' (small world)

Como decíamos más arriba, Watts y Strogatz propusieron en (1998) un modelo para construir redes más parecidas a las topologías reales que las mallas regulares o las de tipo ER. El punto de partida del modelo es la observación de que las redes reales presentan distancias medias entre nodos pequeñas (como las redes aleatorias) pero valores altos de coeficiente de clustering (como las redes regulares), es decir, que se encuentran 'a medio camino' entre las regulares y las completamente aleatorias.

Teniendo esto en cuenta, Watts y Strogatz propusieron un procedimiento muy simple, ilustrado en la Fig. 3.5, para conseguir redes correspondientes a este caso intermedio. Partiendo de una red regular en forma de anillo, se redirecciona cada uno de los enlaces existentes en la red con probabilidad  $p$ . Así, para  $p=0$  se conserva el caso regular, si  $p=1$  se obtiene una red completamente aleatoria y para valores intermedios de la probabilidad aparece un tipo de redes que ellos llamaron *small world networks*, y que se caracterizan por tener altos valores de coeficiente de clustering y distancias medias cortas entre nodos (de ahí el nombre de redes 'de mundo pequeño').



**Fig. 3.5** Modelo de redes Small-world de Watts y Strogatz. Partiendo de una red regular de dimensión baja (en este caso  $D=1$ ), se redireccionan enlaces en función de cierta probabilidad  $p$ . Para valores intermedio de  $p$ , la topología resultante presenta propiedades de redes regulares (alto coeficiente de clustering) y de redes aleatorias (distancia media entre nodos corta) simultáneamente. Fuente: <http://en.wikipedia.org/wiki/Image:WS1111.jpg>

El trabajo de Watts y Strogatz ha tenido un gran impacto en cuanto a la captura de (parte de) la complejidad exhibida por las redes reales, que queda reflejado en la gran cantidad de trabajos que

utilizan redes del tipo SW para estudiar la influencia de estructuras complejas sobre diferente tipo de procesos sociales como la cooperación (Abramson y Kuperman, 2001)(Kim *et al.*, 2002), dinámicas de opinión (Barrat y Weigt, 2000) (Hauert y Szabó, 2005) o procesos de difusión (Moore y Newman, 2000). Sin embargo, este tipo de redes todavía presentan diferencias importantes con las redes reales estudiadas.

#### 3.3.4. Redes con distribución libre de escala (*scale-free networks*)

La más significativa de las diferencias entre las redes obtenidas mediante el modelo de Watts-Strogatz y las redes reales observables, se refiere a la distribución de grados. Mientras que las redes del tipo SW presentan una distribución de grados muy homogénea (es decir, todos los nodos tienen un grado muy parecido), en muchas redes empíricas nos encontramos con que hay pocos nodos con un grado muy elevado mientras la gran mayoría presentan grados mucho menores. Esta distribución de grados más realista se expresa matemáticamente de la siguiente manera:

$$P(k) \propto k^{-\alpha}$$

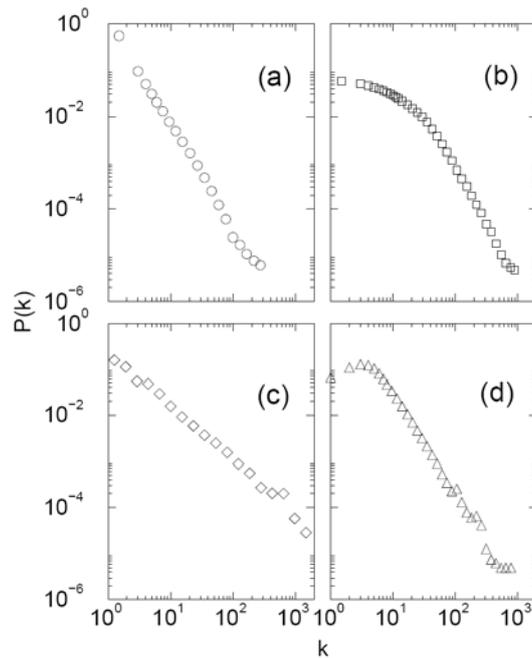
y las redes que presentan esta característica reciben el nombre de *redes libres de escala* (*scale-free networks* en inglés) porque conservan esta propiedad característica independientemente del tamaño que tengan. En la Fig. 3.6 mostramos algunos casos de redes construidas a partir de datos relacionales reales que presentan una distribución de grados libre de escala.

En 1999, Barabási y Albert presentaron un modelo que permite construir redes 'libres de escala'. La importancia de este trabajo es doble porque, no sólo se centra en reproducir una característica estructural importante de las redes reales, sino que se centra en el proceso de formación de la red que lleva a esta característica topológica, es decir, intenta explicar *qué mecanismos dinámicos forjan esa característica estructural real*.

Según Barabási y Albert (1999), la formación de redes complejas de este tipo se basa en la combinación de dos mecanismos: El crecimiento y el 'vínculo preferencial' (*preferential attachment* en el artículo original). Por una parte, las redes reales se forman progresivamente mediante la adición de nuevos nodos que se van enlazando a los que ya pertenecen a la red. Por otra, esta vinculación entre nodos 'nuevos' y nodos 'antiguos' no se produce de forma arbitraria, sino que los

### 3. Interacción entre estructura y dinámica en sistemas sociales

vértices 'antiguos' con un grado mayor (más conectados) tienen más probabilidades de atraer enlaces nuevos, aumentando aun más su grado y, por lo tanto, su ventaja. Cabe destacar que esta idea del *preferential attachment* se basa en conceptos previos como el de *cumulative advantage* (Derek de Sola Price), o *the rich get richer* (Herbert Simon), tal y como pone de manifiesto Newman en (2003).



**Fig. 3.6** Ejemplos de distribuciones de grado de redes reales que presentan la característica de ser libres de escala: (a) Internet, (b) Red de actores en base a la aparición conjunta en películas, (c) Red de coautorías de físicos de alta energía y (d) Red de coautorías de neurocientíficos. Cuando se representa en escala doble logarítmica, una distribución de grado libre de escala aparece como una recta de pendiente igual al exponente de la distribución. Fuente: Accesible libremente en: <http://xxx.arxiv.org/abs/cond-mat/0106096>

El procedimiento concreto del modelo presentado en (Barabási y Albert, 1999) es el siguiente: Partiendo de un grupo pequeño de nodos conectados entre ellos, se van incorporando nuevos nodos que establecen  $m$  enlaces con los vértices ya existentes de manera que la probabilidad  $\Pi_i$  de que un nodo 'antiguo'  $i$  de grado  $k_i$  sea enlazado es:

$$\Pi_i = \frac{k_i}{\sum_j k_j}$$

Las redes generadas mediante este modelo presentan una distribución de grados de tipo potencial

con un exponente de  $-3$ , que coincide con el de algunas redes reales que presentan este tipo de distribución.

A partir de la presentación del trabajo de Barabási y Albert, muchos investigadores (especialmente en física estadística) han desarrollado una intensa labor de estudio de las características estructurales de las redes generadas mediante este modelo, así como de diseño de variaciones del mismo. Podemos encontrar recopilaciones detalladas de estos trabajos en (Dogorovtsev y Mendes, 2003) (Newman, 2003) (Newman *et al.*, 2006).

Sin embargo, las redes reales no siempre responden a las características de las redes generadas por modelos como el de BA, ya que no todas las redes se configuran basándose en el vínculo preferencial y, en algunos casos, los nodos tienen limitaciones respecto al número de enlaces que pueden mantener (Guimerà, 2002). Por ejemplo, imaginemos una red social en la que los nodos son individuos y los enlaces representan conversaciones telefónicas entre ellos a lo largo de un día. Evidentemente, habrá individuos con un grado bastante más elevado que la media debido a aspectos como el carácter (son más sociables) o el tipo de trabajo (son gestores o comerciales, por ejemplo). Sin embargo, el número de llamadas que puede mantener una persona al cabo del día es limitado y, por lo tanto, en esta red el mecanismo de *preferential attachment* puede servir hasta cierto punto a partir del cual los nodos de mayor grado tienen que ceder enlaces a otros nodos con menor preferencia. Siguiendo con el ejemplo de la red basada en llamadas, todos los ciudadanos de cualquier población querrían llamar directamente al alcalde para tratar todo tipo de cuestiones. Conforme el número de habitantes aumenta, llega un momento en que eso ya no es posible y hay que redirigir las llamadas a otros cargos municipales (regidores, coordinadores, técnicos municipales..).

Dadas estas limitaciones del *preferential attachment*, hay que buscar otros mecanismos que nos ayuden a entender cómo emergen las propiedades características de las redes sociales.

### 3.3.5. Modelos de sociales basados en mecanismos diferentes del *preferential attachment*

Algunos investigadores han propuesto modelos en ese sentido. Seguidamente presentaremos dos ejemplos de ese tipo de modelos. Ambos modelos están relacionados, de una u otra manera, con el trabajo presentado en capítulos posteriores de la tesis, y son representativos de dos planteamientos

diferentes. Mientras que el primero (Boguñá *et al.*, 2004) tiene una perspectiva estática (la red se crea de una vez y no evoluciona), en el segundo (Eguíluz *et al.*, 2005) la topología emerge progresivamente como resultado de un proceso social.

#### 3.3.5.1. Enlaces basados en la distancia social

Si en el modelo de Barabási y Albert el mecanismo que daba lugar a las redes era el '*preferential attachment*', en el caso del modelo propuesto en (Boguñá *et al.* 2004) tenemos que hablar de un '*social distance attachment*', es decir, un vínculo basado en la distancia social.

El procedimiento concreto para construir las redes es el siguiente. Partimos de un conjunto de  $N$  nodos aislados y de un espacio social definido por una o más características culturales (profesión, aficiones, clase social o tendencias políticas, por ejemplo). A cada uno de los nodos le asignamos aleatoriamente una posición en el espacio social (valores numéricos concretos correspondientes a sus coordenadas). Finalmente, para cada par de nodos en el sistema  $i$  y  $j$ , calculamos la probabilidad  $r_{i-j}$  de enlazarlos. A diferencia del modelo ER, comentado más arriba, la probabilidad  $r_{i-j}$  no es constante, si no que depende básicamente de dos parámetros: La distancia social entre los dos nodos a enlazar<sup>8</sup>, y la homofilia (*homophily*), que es la preferencia individual de cada uno a establecer y mantener vínculos con gente con la que se comparten (o se creen compartir) características sociales (McPherson *et al.*, 2001).

Una vez establecidos los enlaces en función de las probabilidades correspondientes, las redes resultantes presentan varias propiedades estructurales características de las redes sociales reales. Particularmente, presentan un valor alto de coeficiente de clustering (alrededor de 0.75) para valores lo suficientemente altos de la homofilia, y son *asortativas*. Que una red sea asortativa significa que los nodos tienen tendencia a enlazarse con otros nodos de un grado similar, formando estructuras fuertemente jerarquizadas en las que es poco probable encontrar enlaces entre nodos de grado muy alto y nodos de grado muy bajo. Se trata de una característica muy marcada en las redes sociales que las diferencia de otro tipo de redes de tipo biológico o tecnológico. Además, la asortatividad tiene un impacto importante en procesos como, por ejemplo, la difusión de enfermedades contagiosas o los rumores (Bocaletti *et al.*, 2006).

---

8 Calculada como el promedio de las distancias cartesianas en cada una de las dimensiones del espacio social.

El lector puede encontrar más detalles sobre el modelo presentado en (Boguñá *et al.*, 2004) y un ejemplo concreto de aplicación en el capítulo 7.

#### 3.3.5.2. Estructura que emerge de un proceso de colaboración.

Como decíamos más arriba, el modelo de (Boguñá *et al.*, 2004) está planteado de forma estática, en el sentido de que el objetivo es crear una topología estática que reproduzca las redes sociales reales y, para ello. Sin embargo, podemos encontrar otros modelos cuyos objetivos se centran más en el proceso mismo de crecimiento y/o transformación de la red, y en la interdependencia entre ésta y los procesos sociales.

Un ejemplo de este tipo de modelos se presenta en (Eguíluz *et al.*, 2005), en el que los autores estudian la emergencia de ciertas propiedades estructurales a partir de la interacción entre la estructura social y los procesos de cooperación. Por una parte, la estructura condiciona la colaboración, ya que los individuos deciden colaborar o no en función del comportamiento de sus vecinos (los agentes con los que interactúan a través de la estructura social). Por el otro, el comportamiento de los individuos modifica la estructura a partir del concepto que los autores llaman *plasticidad social*, y que definen como la mayor o menor facilidad de los individuos para ir modificando su conectividad a lo largo del tiempo en función de la satisfacción que les proporciona cada enlace. Si la plasticidad es nula, los individuos no pueden eliminar ningún enlace aunque mantenerlos les resulte insatisfactorio lo que, traducido al contexto del modelo, significa que no pueden sustituir ningún enlace aunque no exista cooperación entre el individuo y el vecino con el que está ligado. Al contrario, si la plasticidad es máxima, los individuos sustituyen cualquier enlace que no les proporcione un rendimiento en términos de cooperación.

A partir de una situación inicial con una topología de tipo ER y unos comportamientos iniciales asignados aleatoriamente, el modelo evoluciona a partir de la interdependencia entre estructura y dinámica hasta alcanzar un estado estacionario, es decir, una situación en la que ni la estructura ni el comportamiento de los individuos cambia con el paso del tiempo. En (Eguíluz *et al.*, 2005), los autores estudian la estructura social en el estado estacionario y ponen de manifiesto que, para determinados valores de la plasticidad, la estructura resultante presenta propiedades propias de las redes sociales reales como el fenómeno de 'mundo pequeño' o una estructura fuertemente

jerárquica.

Los modelos como el que acabamos de presentar reciben el nombre de *modelos coevolutivos* porque se basan en la evolución simultánea e interdependiente de la estructura y la dinámica. Este tipo de coevolutivos reflejan perfectamente la idea que venimos repitiendo a lo largo del capítulo respecto a la interdependencia entre estructura y dinámica en sistemas sociales. Podemos encontrar otros ejemplos de modelos coevolutivos aplicados a aspectos sociales como las dinámicas de opinión y el consenso (Holme y Newman, 2006)(Kozma y Barrat, 2007), el marketing (Leskovec *et al.*, 2007) o la difusión de enfermedades infecciosas (Zanette, 2007). En la misma línea, el capítulo 8 de la tesis presenta un trabajo sobre el concepto de cohesión social basado en un modelo coevolutivo.

#### **3.4. Conclusiones del capítulo**

En este capítulo hemos presentado algunas nociones básicas sobre estudio de los sistemas sociales desde la perspectiva de su estructura y la interdependencia de ésta con los fenómenos sociales.

Partiendo de los orígenes del ámbito de investigación que tradicionalmente ha estudiado las características de la estructura social, el Análisis de Redes Sociales (ARS), hemos hecho un repaso de la evolución histórica del campo poniendo especial interés en su carácter pluridisciplinar. Una pluridisciplinariedad que se ha visto culminada los últimos años con la incorporación de investigadores procedentes de las ciencias naturales (físicos y biólogos especialmente), que han aportados al campo nuevas metodologías y perspectivas basadas en la experiencia de sus disciplinas en el estudio de los sistemas naturales complejos.

Dada la importancia de ese proceso de integración de científicos naturales, tanto desde el punto de vista cuantitativo (número de científicos implicados y de trabajos publicados) como cualitativo (posibilidades de aproximaciones como la importancia de la interdependencia estructura-dinámica), hemos dedicado la parte final del capítulo a lo que algunos autores han denominado Ciencia de las Redes, que es el campo de investigación en el que se pretende integrar los conocimientos del ARS sobre estructura social con las aportaciones metodológicas y conceptuales de los científicos naturales. Más concretamente, hemos mostrado alguno de los modelos computacionales propuestos

por físicos y biólogos para reproducir y explicar el origen de las características estructurales que presentan las redes sociales.

## **4 INCORPORACIÓN DE CONCEPTOS RELACIONADOS CON LA ESTRUCTURA SOCIAL A LA INVESTIGACIÓN EN SOSTENIBILIDAD.**

Cuando nos planteamos como podría aplicarse la perspectiva estructural de la *Ciencia de Redes* a la investigación de aspectos sociales y culturales del Desarrollo Sostenible, lo hacemos básicamente desde dos puntos de vista: Uno, más teórico, que concibe la Ciencia de Redes como un paradigma, una manera de aproximarse al sistema social-cultural que permite profundizar en algunas ideas de la literatura sobre Desarrollo y Sostenibilidad que hacen inciso en la organización social; El otro, de tipo más práctico o aplicado, que ve la Ciencia de Redes como un conjunto de metodologías y herramientas de análisis y simulación que podrían complementar las que ya se utilizan en proyectos de diferentes ámbitos relacionados con el DS. Entre este capítulo y el siguiente, trataremos la aplicabilidad de la perspectiva estructuralista al DS (presentados y explicados separadamente en capítulos anteriores) mediante la profundización en las dos perspectivas presentadas.

Más concretamente, en este capítulo profundizaremos en el papel de la estructura social (como expresión de la organización social) en el Desarrollo Sostenible y, como ejemplos ilustrativos, haremos referencia a dos conceptos que han recibido los últimos años una atención especial por parte de los investigadores sobre sistemas sociales complejos, y que se pueden aplicar en diversos ámbitos de la investigación sobre DS.

### **4.1. El papel de la estructura social en el Desarrollo Sostenible**

En el capítulo 2, planteábamos que una manera de aproximarse al concepto de Desarrollo Sostenible (y, de hecho, a cualquier modelo de desarrollo humano) era centrarse en las interdependencias y flujos entre los subsistemas social-cultural y natural. También decíamos que esta perspectiva sistémica implica, necesariamente, tener en cuenta de qué manera estas interacciones entre subsistemas están condicionadas por la complejidad intrínseca de cada uno de ellos.

Hace tiempo que esta idea está interiorizada con respecto a la complejidad intrínseca de los sistemas naturales (como mínimo en el ámbito académico correspondiente), ya que podemos encontrar extensa literatura que estudia cómo las complejas dinámicas de los ecosistemas les proporcionan la capacidad para depurar residuos, fijar carbono o proporcionar alimentos y servicios en determinadas

#### 4. Incorporación de conceptos relacionados con ...

circunstancias. En cambio, la influencia de la complejidad propia de los sistemas sociales-culturales sobre sus interacciones con el sistema natural que los soporta no ha recibido la misma atención, exceptuando casos muy concretos como los de (Maya, 1996) (Ríos, 2004) ya referenciados en el capítulo 2, o (Folch, 2005): "*El veritable canvi propugnat pel sostenibilisme és cultural*".

Siguiendo esta idea, si vemos la organización social como una expresión de la complejidad propia del sistema social, es razonable preguntarnos qué relación hay entre la manera de organizarse de los grupos humanos y sus interacciones con el medio que soporta su desarrollo. El siguiente fragmento de un texto de Maya refuerza esta afirmación: "*La relación entre problemática ambiental y organización social ha sido menos estudiada y, sin embargo, tiene una importancia decisiva. (..) La relación entre el ecosistema y la cultura no se da solamente a través de la técnica, si no que involucra igualmente la manera en cómo los hombres se relacionan entre si. La relación con la naturaleza está mediada por la relación entre los hombres. Involucra también la red simbólica con la que se teje y transmite la cultura* (Maya, 1999).

Entonces, una vez aceptado que la organización social juega un papel central en las interacciones entre los subsistemas social y natural y, consecuentemente, que es necesario incorporarla a la investigación sobre el Desarrollo Sostenible, tenemos que determinar cuál de las diversas maneras de aproximarse al concepto de organización social es la más adecuada en este caso. El estudio de la organización social a través del análisis de su estructura resulta especialmente interesante por dos razones. Por una parte, porque hay una experiencia de más de 70 años de investigación en la materia (el ARS) y, por la otra, porque la estructura social se puede cuantificar con relativa facilidad, hecho que ayuda a incorporarla a los modelos que podemos construir como herramienta básica de investigación, tal y como veremos en el capítulo siguiente y, sobre todo, en la tercera parte de esta tesis.

Teniendo en cuenta este razonamiento, se establece un vínculo, quizás a primera vista poco intuitivo, entre la estructura social (como forma de representación observable y cuantificable de la organización social) y el concepto de desarrollo humano (como conjunto de relaciones entre el sistema social-cultural y el natural), que algunos autores han incorporado a su discurso. Podemos encontrar referencias que ponen de manifiesto este vínculo en textos de Schumacher (1973), Max-Neef (1998), Maya (1999) o Manderson (2006), entre otros autores.

Como ya hemos comentado más arriba, en su colección de ensayos con el título "*Small is beautiful*"

(Schumacher, 1973), Schumacher critica un modelo de desarrollo basado en estructuras organizativas fuertemente jerarquizadas y cada vez mayores, que concentran sus beneficios en el centro e ignoran sus crecientes impactos (ambientales, sociales y económicos) en la periferia. Como alternativa, Schumacher propone modelos de desarrollo basados en organizaciones más descentralizadas y pequeñas, que acerquen aquellos que toman las decisiones a los escenarios en los que se producen las consecuencias e impactos de éstas.

Por otra parte, en diferentes trabajos en torno a la idea del Desarrollo a escala Humana (Ver (Max-Neef et al., 1986)), Max-Neef y sus colaboradores incorporan la organización social en el planteamiento de diferentes aspectos de su discurso, de los que destacamos tres: La necesidad de encontrar formas de articulación micro-macro construidas de abajo a arriba y que favorezcan los procesos sinérgicos entre microespacios (organizaciones a nivel local); El concepto de autodependencia, entendido como una característica de los grupos humanos para desarrollarse equilibrando la necesaria relación con otros grupos humanos y la conservación de las características culturales propias; y la importancia de las redes de microorganizaciones como ejemplo práctico ilustrativo de los otros dos puntos.

Finalmente, tal y como ilustra claramente la Fig. 2.2, para Manderson (2006) el camino hacia el DS pasa por plantear la sostenibilidad de escenarios progresivamente más complejos desde el punto de vista organizativo. Más concretamente, Manderson propone empezar por la gestión local de los recursos más próximos que, en principio, debería ser el escenario más simple porque considera que todos los factores de orden organizativo superior (el mercado, por ejemplo) son variables externas independientes (que inciden en el escenario pero no pueden ser controladas). Una vez resuelta la sostenibilidad de ese escenario más sencillo, se tendría que pasar a un nivel de organización superior que incluyera la gestión de algunas de las 'variables externas independientes' anteriores. De esta manera, se irían abarcando escenarios más complejos hasta llegar al escenario global, cuya sostenibilidad vendría facilitada por la de todos los niveles inferiores.

#### **4.2. Algunos conceptos aplicables.**

Algunos de los discursos y propuestas que relacionan desarrollo y organización social como las que hemos referenciado en el apartado anterior, no se han podido concretar o profundizar por falta de

#### 4. Incorporación de conceptos relacionados con ...

herramientas conceptuales con las que trabajar. Los conocimientos sobre organización social obtenidos a partir de la observación de la estructura social durante décadas de investigación en ARS, y el impulso que ha supuesto la incorporación reciente de investigadores procedentes de las ciencias naturales a la que hacíamos referencia en el capítulo 3, nos proporcionan un buen marco conceptual para emprender la profundización de estos discursos.

Como ejemplo de eso, en este capítulo presentamos dos conceptos que han recibido una atención especial los últimos años por parte de los investigadores involucrados en la Ciencia de las Redes, el de *comunidad* y el de *resiliencia*, y los relacionamos con algunas de las ideas propuestas por los autores referenciados en el apartado anterior.

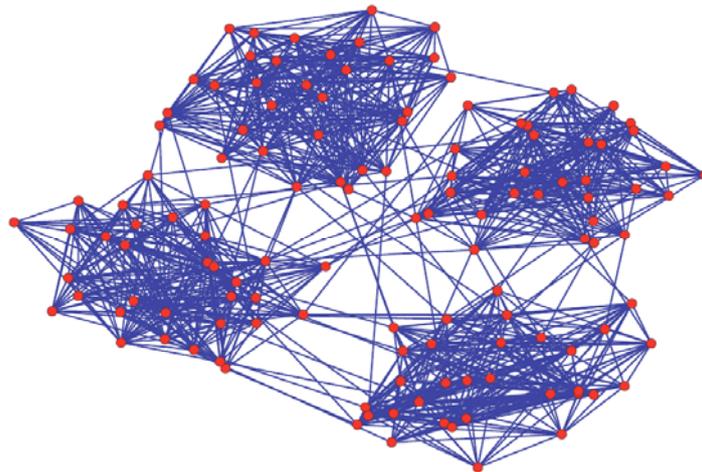
##### 4.2.1. El concepto de comunidad y el análisis a nivel mesoscópico

El interés de Schumacher por el impacto de la escala de las organizaciones en el ambiente que las soporta (Schumacher, 1973), y de Max-Neef por encontrar formas de articulación micro-macro que permitan conciliar la satisfacción de las necesidades de los grupos humanos con la configuración de su entorno social y ambiental (Max-Neef et al., 1986), o el planteamiento del DS a escalas progresivamente mayores de Manderson (2006), ponen de manifiesto hasta qué punto es importante para el desarrollo la manera de integrar las organizaciones de escala local y regional en otras de escala superior. Profundizar en esta cuestión requiere un análisis de las redes sociales a nivel mesoscópico, es decir, una aproximación que se centre en las propiedades de la red a niveles intermedios o de grupo, a medio camino entre el microscópico (correspondiente a cada uno de los individuos) y el macroscópico (de la red entera). En este sentido, el concepto de comunidad (estrechamente relacionado con otros más habitualmente manejados en la literatura sociológica como *cluster* o *clique*) con el que se trabaja actualmente en la literatura sobre redes complejas, puede resultar muy útil.

En términos estructurales, una comunidad es un conjunto de nodos conectados más densamente entre ellos que con el resto de los nodos de la red (Newman, 2003), tal como podemos ver en el ejemplo de la Fig. 4.1.

La división de una red social en las comunidades que la componen permite disponer de una información relativa a su estructura y su interacción con los procesos sociales relacionados que, si se analizara la red en su conjunto (nivel macroscópico) o a nivel individual (microscópico), no sería posible obtener. Por ejemplo, analizar la estructura interna y composición de cada comunidad

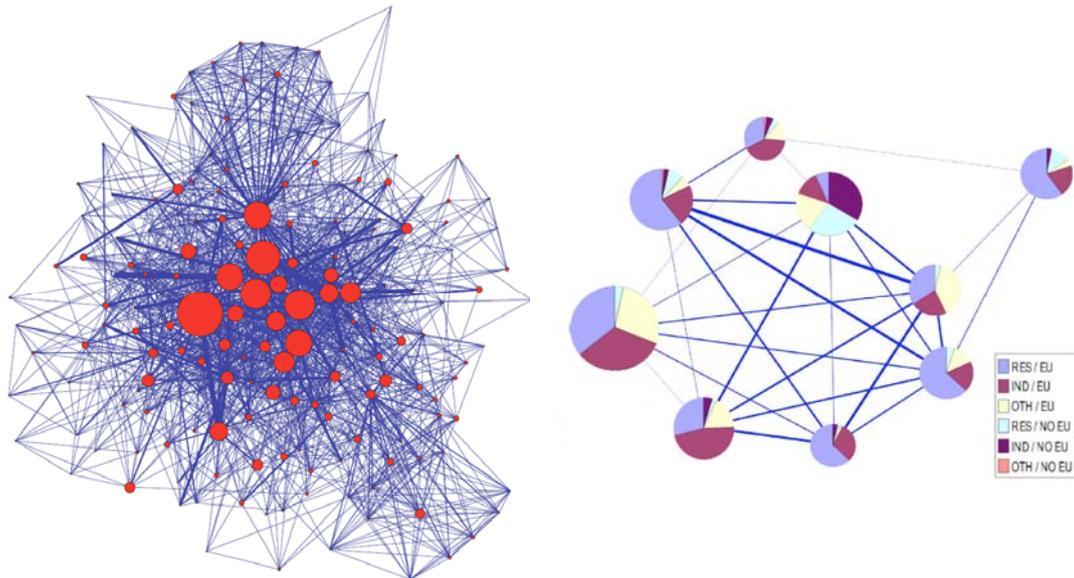
y de los vínculos existentes entre ellas es útil para visualizar los grupos formales o informales en los que se organiza una población, especialmente cuando ésta está formada por muchos individuos. La figura 4.2 muestra dos ilustraciones correspondientes a (Lozano *et al.*, 2007a), un trabajo en el que la determinación de la estructura de comunidades se utiliza para estudiar una red de más de 3000 organizaciones relacionadas entre ellas a través de su pertenencia a diferentes proyectos dentro del 6º Programa Marco de la Unión Europea (FP6). Entre otros resultados destacables, el método aplicado en este trabajo permite visualizar las relaciones entre los diferentes sectores (automoción y transporte, automoción y electrónica, aeronáutica y telecomunicaciones..), obtener datos sobre el grado de integración de la iniciativa privada y los sistemas públicos de investigación de cada país comunitario, o comprobar qué papel jugaron las organizaciones investigadoras de fuera de la UE en el FP6.



*Fig. 4.1* Concepto estructural de comunidad. En este ejemplo se pueden apreciar fácilmente cuatro comunidades, es decir, cuatro conjuntos de nodos más conectados entre ellos que con el resto de la red. Elaboración propia a partir del algoritmo presentado en (Newman y Girvan, 2004).

Por otra parte, si nos fijamos en cómo evoluciona un fenómeno social dentro de cada una de las comunidades, la manera como los comportamientos en el seno de una comunidad ejercen cierta influencia sobre las otras y, finalmente, cómo contribuyen las evoluciones de cada comunidad al comportamiento global observado en la población entera, podremos entender mejor la organización del sistema social objeto de estudio con respecto al fenómeno estudiado e, incluso, determinar qué características de la estructura organizativa son más deseables de cara a potenciar o dificultar este fenómeno. Un ejemplo en esa línea es (Lozano *et al.* 2007b), un trabajo en el que se pone de manifiesto cómo la estructura interna de las comunidades y los vínculos existentes entre ellas

condiciona fuertemente la emergencia y persistencia de la cooperación en redes sociales reales. El capítulo 6 de esta tesis incluye los detalles de este trabajo y un análisis más profundo de sus resultados.



**Fig. 4.2** Ejemplo de aplicación del cálculo de la estructura de comunidades. En (Lozano et al. 2006), se estudia la composición de las comunidades de una red formada por organizaciones que participaron en proyectos de investigación del FP6 de la Unión Europea (más de 3000 organizaciones), así como los vínculos entre comunidades. A la izquierda se muestra la estructura mesoscópica obtenida, donde los nodos son comunidades y los enlaces corresponden a vínculos cruzados; el diámetro de los nodos y el grosor de los enlaces indican, respectivamente, el tamaño de las comunidades y la cantidad de vínculos cruzados. A la derecha encontramos un detalle de esa estructura de comunidades en la que únicamente aparecen las comunidades más importantes (formadas por más de 60 organizaciones), con su composición y conectividad; la composición está clasificada mediante un código de colores a partir de dos criterios: nacionalidad (pertenecientes a la UE o no) y tipo de actividad (investigación RES, industria IND o otras OTH).

Precisamente, la investigación centrada en la relación entre la estructura social a nivel de grupo y la dinámica (entendida como la evolución de los fenómenos y procesos sociales), constituye un buen ejemplo de la potencialidad ganada por el ARS con la incorporación de investigadores procedentes de las ciencias naturales. Por una parte, por las contribuciones en forma de nuevos procedimientos y algoritmos para dividir las redes en las comunidades que las forman (Danon et al., 2005). Por la otra, por determinados trabajos aportados desde la biología que relacionan algunas funcionalidades de los sistemas complejos naturales con su estructura a nivel mesoscópico (Holme et al, 2003) (Guimerà y Amaral, 2005), y que aportan ideas y conceptos que se pueden aplicar a cuestiones parecidas pero del ámbito social como, por ejemplo, el estudio y diseño de organizaciones.

Los trabajos presentados en los capítulos 6 y 7 de esta tesis, son un ejemplo de cómo se puede aplicar el análisis mesoscópico en el estudio de la relación entre una funcionalidad (la cooperación entre los individuos de una población o la capacidad de generar y difundir innovaciones, en los casos citados) y la estructura a nivel de comunidades.

#### 4.2.2. Resiliencia

En el apartado 2.3, cuando analizábamos el concepto de DS desde una aproximación sistémica, destacábamos la importancia de incrementar la capacidad de los dos subsistemas (social-cultural y natural) para *encajar* o adaptarse a las perturbaciones externas manteniendo su estado, es decir, sus características más importantes. Esta idea, aplicada concretamente al subsistema social, constituye un nuevo ejemplo de como un concepto trabajado en la Ciencia de Redes puede servir para profundizar en el papel de la organización social en el desarrollo.

Buscando en la literatura en torno a la idea de Desarrollo a escala humana, encontramos referencias en este sentido. En (Max-Neef et al., 1986) se afirma que, para alcanzar un desarrollo a escala humana, los grupos humanos tienen que presentar una serie de características, entre las que destaca la necesaria combinación de capacidad de adaptación a su entorno socioeconómico y protección de su identidad cultural respecto a agentes externos (expresado mediante el concepto de *autodependencia*, que hemos mencionado en el apartado anterior). Esta idea de conciliación entre adaptabilidad y resistencia se puede relacionar con otro concepto central en la literatura reciente sobre *Ciencia de Redes*: la *resiliencia*.

La definición más común *resiliencia*, procedente de la Ciencia de Materiales, la asocia a la cantidad de energía que puede absorber un material antes de experimentar una deformación irreversible<sup>1</sup>. Sin embargo, en la literatura sobre sistemas complejos adaptativos este concepto se interpreta como la capacidad de un sistema para permanecer en un estado concreto (relacionado con un determinado tipo de funcionalidad) ante una perturbación externa, gracias a un proceso de autoorganización. Esta segunda definición, que relaciona la resiliencia con la interdependencia entre dinámica y estructura de un sistema, la ha convertido en un concepto especialmente interesante a los ojos de científicos implicados en el estudio de todo tipo de sistemas complejos, desde los ecológicos a los económicos y otro tipo de sistemas sociales. En particular, este concepto ha pasado a ocupar un papel central en el análisis de sistemas complejos desde la perspectiva estructuralista de las redes complejas.

---

<sup>1</sup> Basado en la definición incluida en la Wikipedia: <http://es.wikipedia.org/wiki/Resiliencia>

En el marco de las redes complejas, el concepto de resiliencia se suele relacionar con el de robustez de la red a la eliminación de alguno de sus elementos. Más concretamente, se suele asimilar a la capacidad de mantener altos grados de conectividad ante la desaparición o anulación de nodos por fallos aleatorios o ataques intencionados (Albert *et al.*, 2000) (Newman, 2003) (Fontoura, 2004). Otros científicos se han centrado en las consecuencias dinámicas de la eliminación de nodos como, por ejemplo, la congestión (Moreno *et al.*, 2003) (Duch y Arenas, 2007), las avalanchas de fallos (Motter y Lai 2002) (Crucitti *et al* 2004), o la reorganización de los elementos que componen el sistema para configurar topologías determinadas (Jain y Krishna, 2002). Este tipo de perspectiva ha limitado la aplicabilidad del concepto de resiliencia, dentro del marco de las redes complejas, a determinados ámbitos en los que la conectividad es el factor más importante a tener en cuenta, como la movilidad, el transporte, las comunicaciones, etc.

Sin embargo, el concepto de resiliencia tiene un significado mucho más amplio en otros campos también relacionados con los sistemas complejos. De hecho, la resiliencia es un concepto muy común en la ecología, en cuya literatura podemos encontrar ejemplos de trabajos que estudian la resiliencia de ciertos ecosistemas a perturbaciones de sus condiciones ambientales (Holling, 1973) (Pimm, 1984) debidas, por ejemplo, a cambios climáticos o a la polución (Gunderson, 2000). Con respecto a los sistemas sociales, en cambio, el uso de este término es más reciente y menos común.

Un buen ejemplo de cómo se puede entender la resiliencia en sistemas sociales es la siguiente definición, extraída de la WEB de la International Strategy for Disaster Reduction de las Naciones Unidas: *The capability of a system, community or society potentially exposed to hazards to adapt, by resisting or changing in order to reach and maintain an acceptable level of functioning and structure* (ISDR 2007). Relacionado con lo anterior, una aproximación interesante al concepto de resiliencia aplicado a sistemas sociales es el que presenta la *Resilience Alliance*, una organización multidisciplinar dedicada al estudio de las dinámicas propias de los sistemas socio-ecológicos, es decir, las interacciones entre sistemas sociales y ecosistemas (RA, 2007). Partiendo de la experiencia acumulada en la investigación de la resiliencia en sistemas naturales, estos investigadores proponen 'trasladar' a determinadas aplicaciones sociales lo aprendido respecto a los mecanismos desarrollados por los ecosistemas para aumentar su resiliencia. Aunque las aplicaciones sociales que interesan principalmente a los investigadores de la *Resilience Alliance* son aquéllas relacionadas con la gestión de recursos naturales (Berkes *et al.*, 2003) (Bodin 2006), este planteamiento también puede aplicarse a otros aspectos relacionados con la organización

social, por ejemplo, trasladando el concepto de biodiversidad a determinados aspectos organizativos, tal y como veremos en el capítulo 7.

Si combinamos esta concepción ampliada de la resiliencia en sistemas sociales, que abarca otras funcionalidades a parte de la conectividad, con la idea de interdependencia estructura-dinámica propia de la Ciencia de Redes, pasamos a una aproximación al concepto de resiliencia según la cual la red deja de ser el elemento central cuya integridad hay que mantener, para pasar a ser considerada como una parte del sistema que condiciona su capacidad de reorganización ante el efecto de las fuerzas externas procedentes de su entorno social o ambiental. Este tipo de aproximación puede resultar especialmente útil para el estudio de la relación entre la organización social de determinados sistemas sociales y su resiliencia a perturbaciones en su entorno ambiental y socio-económico. Más concretamente, podría utilizarse para desarrollar ideas como la de *autodependencia* planteada en (Max-Neef, 1998) y citada más arriba.

En el capítulo 7 de esta tesis, en el que presentamos un ejemplo de aplicación relacionado con el Desarrollo Regional, analizamos más profundamente esta aproximación al concepto de resiliencia. Más concretamente, relacionamos la introducción de diversidad en ciertos aspectos organizativos de los sistemas económicos regionales con la resiliencia de éstos a cambios en su entorno socio-económico.

### **4.3. Conclusiones del capítulo**

En este capítulo nos hemos centrado en la aplicación de la perspectiva estructural de la *Ciencia de Redes* desde un punto de vista conceptual, es decir, utilizando conceptos propios de la aproximación de redes complejas para profundizar en determinadas ideas de la literatura sobre Desarrollo y Sostenibilidad (aquéllas que hacen inciso en la organización social).

Primero, hemos establecido un vínculo entre el concepto de *Desarrollo* y la estructura social. Para ello, hemos recuperado la aproximación sistémica al concepto de Desarrollo Sostenible del apartado 2.3 y la importancia de la organización social como expresión de la complejidad intrínseca del subsistema social, y hemos defendido la estructura social como una expresión cuantitativa de dicha organización que lleva décadas siendo estudiada. Para ilustrar este vínculo, hemos hecho una breve referencia a tres autores que presentan discursos en los que se relaciona, de forma más o menos

#### 4. Incorporación de conceptos relacionados con ...

explícita, la estructura social con el Desarrollo Humano (Schumacher en (1973), Max-Neef en (1986) y Manderson en (2006)).

Después, hemos presentado dos conceptos (el de *comunidad* y el de *resiliencia*) que han recibido una especial atención en el ámbito de la Ciencia de Redes, y que pueden servir para profundizar en los discursos de los autores referidos en el párrafo anterior.

Respecto al primero de los dos conceptos (comunidad), hemos destacado la importancia de considerar la estructura social a nivel intermedio o *mesoscópico* entre el nivel individual (micro) y el global (macro) (es decir, a nivel de grupos), para entender cuestiones como la integración de organizaciones de pequeña escala (local y regional) en otras de escala superior, o cómo el comportamiento de una población de individuos está condicionada por la estructura interna de los grupos que la forman y las relaciones entre ellos (en el capítulo 6 presentamos un ejemplo concreto de trabajo en este sentido).

Finalmente, hemos definido el concepto de resiliencia como la propiedad de los sistemas complejos que les permite adaptarse a las perturbaciones externas, manteniendo sus principales características, mediante mecanismos de reorganización. Este concepto ha sido largamente estudiado respecto a los ecosistemas, pero su uso para referirse a los sistemas sociales es más reciente y limitado. Aquí hemos argumentado que una concepción más amplia de la resiliencia de sistemas sociales estaría en línea con lo que decíamos en el capítulo 2 respecto a la necesidad de que ambos subsistemas (social y natural) presenten mayores capacidades de adaptación para alcanzar un DS. Como ejemplo concreto de esta afirmación, nos hemos referido al trabajo presentado en el capítulo 7.

## **5 HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS Y PROSPECTIVA DE REDES SOCIALES APLICABLES AL ESTUDIO DE LA SOSTENIBILIDAD.**

Una vez planteada la aplicabilidad de la perspectiva estructuralista al DS desde un punto de vista conceptual, en este capítulo profundizaremos en una aproximación más aplicada, relacionada con la utilización de herramientas de análisis y modelización propias del análisis estructural de sistemas sociales en diferentes ámbitos de la investigación sobre el DS. Primero analizaremos cómo son las herramientas de modelización utilizadas habitualmente en el análisis de sistemas socio-ecológicos (es decir, en el estudio de las relaciones entre los subsistemas social y natural), cuáles son sus ventajas y sus limitaciones. Después, veremos cómo las herramientas propias de la Ciencia de Redes pueden complementar las primeras, contribuyendo a superar sus carencias. Finalmente, concretaremos algunos ámbitos de aplicación relacionados con la investigación y trabajo sobre el DS en los que las herramientas de prospectiva y modelización propias de la Ciencia de redes pueden resultar especialmente útiles.

### **5.1. Herramientas utilizadas habitualmente en la modelización relacionada con el DS.**

Cuando se modelizan sistemas socio-ecológicos es habitual utilizar aproximaciones de campo medio, que son aquellas que describen el comportamiento global de un sistema (nivel macro) como el resultado de la agregación homogénea de sus elementos básicos (nivel micro). Dicho de otra manera, los modelos de campo medio homogeneizan las características y los comportamientos de los elementos individuales, y trabajan con unas características y comportamientos promediados o 'estandarizados'. Este tipo de aproximación simplifica la modelización y permite una resolución analítica del modelo (mediante ecuaciones lineales), operación que se complica enormemente conforme se incorporan al modelo diferentes formas de heterogeneidad.

Desde el punto de vista metodológico, estos modelos de campo medio aplicados a la investigación en Desarrollo Sostenible se basan generalmente en la Dinámica de Sistemas. Con respecto al concepto de Dinámica de Sistemas, la *System Dynamics Society* propone la siguiente definición: “*System dynamics is a methodology for studying and managing complex feedback systems, such as one finds in business and other social systems. In fact it has been used to address practically every sort of feedback system. While the word system has been applied to all sorts of situations, feedback*

## 5. Herramientas de análisis y prospectiva de redes sociales ...

*is the differentiating descriptor here. Feedback refers to the situation of X affecting Y and Y in turn affecting X perhaps through a chain of causes and effects. One cannot study the link between X and Y and, independently, the link between Y and X and predict how the system will behave*"<sup>2</sup>. Por lo tanto, la Dinámica de Sistemas es una herramienta formal adecuada para el estudio de escenarios complejos, en los que las diferentes variables dependen las unas de las otras de forma recursiva. Desde este punto de vista, es completamente lógico utilizar esta metodología en el estudio de la relación de interdependencia entre los sistemas sociales y los naturales.

Este tipo de modelos de campo medio basados en la dinámica de sistemas han sido ampliamente utilizados, resultando especialmente útiles en dos tipos de aplicaciones: Aquéllas orientadas a la descripción de escenarios geográficamente extensos (en los que las particularidades y comportamientos individuales, así como sus efectos, quedan 'diluidos' en una población muy grande); y las que consisten en un análisis de interacciones entre conceptos (por ejemplo, cómo se relacionan las diferentes 'influencias' o 'fuerzas' que actúan en un momento dado en la toma de una decisión). Dos ejemplos concretos que ilustran estos dos tipos de aplicación de los modelos de campo medio serían (Aguirre, 2004) y (Otto y Struben, 2004). El primero utiliza un modelo basado en dinámica de sistemas para analizar la relación entre el crecimiento económico y la emisión de CO<sub>2</sub> a escala estatal (Aguirre, 2004); el otro muestra como la participación de diferentes sectores de la población en la definición de un modelo para analizar un problema de explotación de recursos naturales en el que están implicados, no sólo enriquece considerablemente el modelo, si no que ayuda en el establecimiento de relaciones entre ellos y en la comprensión mutua de posicionamientos respecto a la cuestión analizada (Otto y Struben, 2004).

Merecen una mención aparte un conjunto de entornos integrados de análisis diseñados para asistir al usuario en la toma de decisiones como, por ejemplo, GLOBESIGHT (de GLOBAL foreSIGHT), IF (*International Futures*) o IMAGE (*Integrated Model to Assess the Global Environment*). En este tipo de aplicaciones el modelo es sólo una parte de la herramienta, ya que ésta también contiene otros módulos para almacenar información y permitir la interacción con el usuario. Algunos ejemplos de trabajos que han utilizado GLOBESIGHT en diversas actividades de investigación y docencia en torno a la GENIE (*Global problematique Education Network Initiative*) son:

---

2 Definición extraída de la WEB de la *System Dynamics Society* (<http://www.albany.edu/cpr/sds/>). Puede encontrarse más información en la WEB del capítulo latinoamericano de la misma organización: (<http://dinamicasistemas.utralca.cl/presentacion.htm#DinSis>).

(Xercavins, 1999), que analiza la capacidad de carga<sup>3</sup> en la región sub-sahariana de África o (Sureda et al., 2004), que expone las posibilidades de esta aplicación como herramienta docente para el estudio de los diferentes indicadores de sostenibilidad. IMAGE está diseñado para proyectar posibles escenarios futuros en relación al Cambio Climático Global evaluando, por ejemplo, las interacciones entre los diferentes factores (demográficos, tecnológicos, socio-económicos..) que inciden en la emisión de gases de efecto invernadero a escala global<sup>4</sup>.

Resumiendo, en modelización de sistemas socio-ecológicos es habitual el uso de aproximaciones de campo medio, es decir, homogeneizar las particularidades de los individuos para poder considerar unos comportamientos y características medios o estandarizados, hecho que simplifica los modelos. Esta simplificación permite modelizar escenarios complejos, y ese es precisamente el motivo por el que se utilizan este tipo de modelos para estudiar las relaciones entre los sistemas sociales y naturales.

## **5.2. Limitaciones de los modelos de campo medio aplicados a la modelización de sistemas socio-ecológicos.**

En el apartado anterior, hemos visto que los modelos utilizados normalmente para estudiar sistemas socio-ecológicos son de campo medio, ya que la simplificación que comporta este tipo de aproximación permite centrar los modelos en la complejidad de las interacciones entre los sistemas sociales y naturales.

No obstante, este tipo de aproximaciones no son tan útiles en casos en los que la heterogeneidad de las características o el comportamiento individual tienen más peso (cuándo trabajamos con escenarios locales o regionales, por ejemplo), o cuando estamos estudiando fenómenos emergentes del sistema en cuestión, es decir, fenómenos que tienen su origen en la complejidad interna del sistema ('emergen' del interior del sistema sin que el análisis de las propiedades generales de éste nos ayude a entender porqué se producen). En estos casos, la simplificación que supone la aproximación de campo medio puede llevar a resultados erróneos. En la literatura sobre

---

3 La capacidad de carga es la máxima población de cualquier especie que podría soportar indefinidamente un hábitat determinado. Es una magnitud que puede variar en función de las características del hábitat (como la cantidad y calidad de los alimentos) y de la especie (eficiencia en el aprovechamiento de los recursos, por ejemplo).

4 Consultar la WEB de IMAGE para obtener más información : <http://arch.rivm.nl/image/index.html>?

modelización, encontramos diversos trabajos comparativos que ponen de manifiesto como pueden llegar a cambiar los resultados de un modelo teniendo en cuenta o no ciertas formas de heterogeneidad.

Seguidamente hacemos referencia a dos de estos trabajos comparativos que, aunque no pertenezcan propiamente a la literatura sobre modelización de sistemas socio-ecológicos, reflejan claramente el papel de la heterogeneidad. Se centran en dos cuestiones evidentes y que pueden ser importantes para algunos fenómenos, pero que los modelos de campo medio no pueden incorporar: Que los individuos se distribuyen en el espacio de forma heterogénea (concentrándose en regiones concretas) y que, normalmente, no actúan de forma sincronizada (aquí, tendríamos que ver la sincronía como una forma de homogeneización temporal).

### *5.2.1. Consecuencias de no tener en cuenta una distribución espacial heterogénea*

El primero de los dos trabajos es (Shnerb *et al.*, 2000). En este artículo se plantea un escenario con dos especies, A y B, que habitan un espacio común y mantienen una relación del tipo cazador-presa. La densidad de individuos de cada especie se fija inicialmente a unos valores determinados ( $n_A$  y  $n_B$ ) que, en el caso de la especie A, consideramos que se mantiene constante. Los individuos de la especie B, en cambio, mueren a un ritmo constante, y se reproducen (con una cierta probabilidad) si se encuentran con un individuo de la especie A (su presa).

Para estudiar este escenario, los autores utilizan dos modelos diferentes: Por un lado, un modelo de campo medio que asume, implícitamente, que los individuos de las dos especies están distribuidos uniformemente en el espacio y, por lo tanto, que todos tienen la misma probabilidad de encontrarse los unos con los otros; El otro es un modelo numérico computacional discreto, que tiene en cuenta que cada individuo ocupa una posición determinada en el espacio de forma independiente y puede desplazarse, de manera que la población de individuos puede concentrarse en regiones concretas del escenario analizado.

La figura 5.1, extraída del artículo original, reproduce la evolución temporal de la población B para unos valores determinados de los parámetros que rigen los dos modelos. La gráfica muestra claramente que el hecho de considerar o ignorar la heterogeneidad en la distribución espacial de los individuos, no sólo introduce diferencias cuantitativas en los resultados, si no que lleva a conclusiones cualitativamente opuestas: la supervivencia (en el modelo discreto) o la extinción (en

el modelo homogéneo o continuo) de la especie B.

### *5.2.2. Consecuencias de no tener en cuenta comportamientos asíncronos.*

El segundo trabajo comparativo al que queremos hacer referencia aquí, centrado en la importancia de la sincronización temporal, es (Huberman y Glance, 1993). En este trabajo, los autores recuperan un modelo presentado en un artículo anterior que asumía que todos los individuos toman decisiones de forma síncrona (Nowak y May, 1992), y lo redefinen para introducir cierta asincronía.

El modelo, pensado para estudiar los fenómenos de cooperación en entornos sociales, consiste en una población de individuos situados sobre una cuadrícula de 100 X 100 posiciones, que juegan de forma iterativa el Dilema del prisionero<sup>5</sup> con sus 'vecinos' (los individuos situados en las posiciones contiguas). El trabajo de Nowak y May (la versión original del modelo, con toma de decisiones síncrona) identifica situaciones determinadas en las que hay individuos que, a pesar de encontrarse en un escenario adverso, insisten al cooperar, y atribuye este resultado a un efecto de la estructura de la red (la cuadrícula sobre la que juegan). En el trabajo de Huberman y Glance, los autores utilizan una versión asíncrona como modelo (que permite que los individuos decidan su estrategia en momentos diferentes) para generar nuevos resultados y compararlos con los de Nowak y May.

La figura 5.2, extraída de (Huberman y Glance, 1993), ilustra la principal conclusión de la comparación entre los resultados de las dos versiones del modelo: Cuando se introduce heterogeneidad en el momento de decidir, algunas de las situaciones detectadas por Nowak y May de cooperación en situaciones claramente adversas desaparecen.

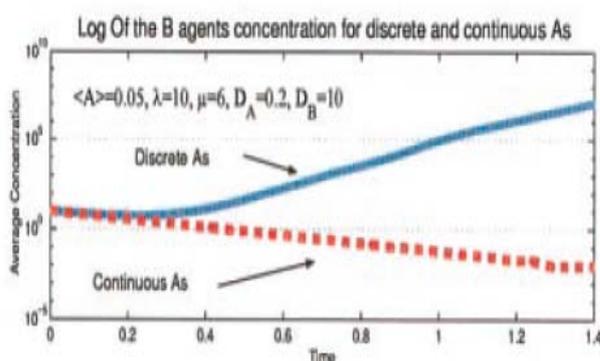
### *5.2.3. La necesidad de disponer de modelos capaces de incorporar heterogeneidad.*

Los dos ejemplos anteriores dejan claro que, dentro de la modelización de sistemas socio-ecológicos, hay aplicaciones para las que los modelos basados en campo medio no son adecuados, ya que la simplificación que supone considerar características y comportamientos 'promediados' deja de lado diferentes formas de heterogeneidad presentes en los sistemas sociales (asincronía, patrones relacionales diversos, comportamiento individualizado..), y que están relacionados con ciertos fenómenos sociales que pueden ser de interés para los profesionales e investigadores de

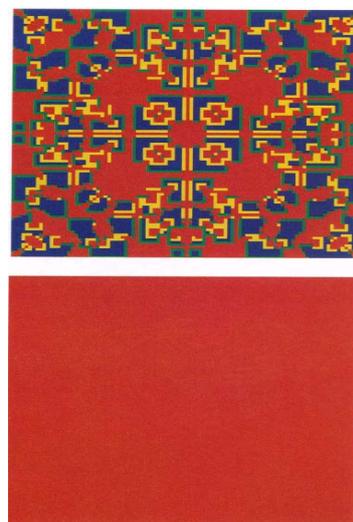
---

5 El juego del 'Dilema del prisionero' consiste en que dos jugadores tienen que decidir si colaboran entre ellos o no. Si ambos escogen colaborar, se llevan una recompensa de valor medio  $R$ ; si uno de los dos se niega a colaborar, el 'traidor' se lleva una recompensa alta  $T$  y el otro recibe un castigo o recompensa baja  $S$ ; y si ambos se niegan a colaborar, reciben la misma recompensa baja o castigo  $P$ , cuyo valor es igual o superior a  $S$ .

campos relacionados con el DS como, por ejemplo, las avalanchas en procesos de difusión (de tecnologías, hábitos de comportamiento, conocimientos..), el consenso o la cooperación.



**Fig. 5.1:** Evolución temporal de la población de individuos B para una densidad de individuos A determinada. Se aprecia como las dos aproximaciones muestran tendencias opuestas. Imagen extraída de (Shnerb et al., 2000).



**Fig. 5.2:** Estrategia adoptada por los agentes del modelo de Nowak y May asumiendo sincronización (arriba) o no (abajo). Los colores azul y amarillo indican colaboración, el rojo y verde traición. Imagen extraída de (Huberman y Glance, 1993).

Resulta, entonces, necesario complementar el abanico de herramientas de análisis de sistemas socio-ecológicos de que disponemos con técnicas de prospectiva y modelización que permitan capturar e incorporar, respectivamente, estas diferentes formas de heterogeneidad. Los modelos que se utilizan actualmente en la investigación en Ciencia de Redes pueden ser soluciones válidas para satisfacer estas necesidades, tal como argumentamos en los apartados siguientes.

### 5.3. Potencialidades de los modelos basados en una aproximación de redes complejas.

Los modelos con los que se trabaja habitualmente en el ámbito de la Ciencia de Redes, tienen unas características que facilitan la incorporación de la heterogeneidad de los sistemas socioecológicos a la que hacíamos referencia al apartado anterior. A continuación, exponemos alguna de estas propiedades.

### 5.3.1. *Redes como patrones relacionales.*

Resulta evidente que las interacciones entre individuos son, de forma natural, estructuralmente heterogéneas. Por ejemplo, en el caso de los seres humanos y haciendo referencia a una cuestión que ha recibido bastante atención en el ámbito de las redes sociales, es evidente que los patrones relacionales con respecto a los contactos sexuales entre personas, presenta un amplia diversidad que depende de factores como el género, la edad o diferentes aspectos de tipo cultural. Hay casos, cuando construimos modelos para reproducir escenarios reales, en los que esta heterogeneidad no se puede obviar. En el primero de los dos trabajos comparativos referenciados más arriba, por ejemplo, hemos visto que el modelo que consideraba que cada cazador estaba en contacto con el mismo número medio de presas (un patrón relacional completamente homogéneo), no daba los mismos resultados que el que asumía un escenario con diferentes concentraciones de individuos de las dos especies, que correspondería a un patrón relacional más heterogéneo.

Tal y como hemos visto más arriba en el capítulo 3, incorporar esta heterogeneidad de la estructura relacional es una de las principales características de los modelos propios de la Ciencia de Redes y, por lo tanto, una de sus principales ventajas ante modelos homogéneos basados en campo medio. Las décadas de análisis estructural de sistemas sociales y los recientes años de investigación intensiva desde una aproximación de redes complejas, han permitido desarrollar numerosas herramientas de prospectiva para estudiar las redes sociales, y analizar muchas de sus propiedades universales (como el fenómeno de 'mundo pequeño' o *small world*), además de algunos de los mecanismos que las generan (*preferential attachment*, por ejemplo). Todo este conocimiento se puede aprovechar para incorporar en los modelos socioecológicos la complejidad de los patrones relacionales humanos, ya sea aplicando técnicas de prospección sobre el escenario real que se quiere analizar, ya sea trabajando con redes sociales sintéticas (generadas artificialmente a partir de algoritmos que reproducen los mecanismos sociales que se ha descubierto que dan forma a las redes sociales reales).

### 5.3.2. *Modelización basada en agentes.*

A parte de los aspectos estructurales, los modelos aplicados a la investigación sobre redes sociales complejas presentan importantes potencialidades en lo que respecta a la dinámica. El hecho de utilizar modelización basada en agentes implica que la dinámica se define a nivel microscópico, es decir, que el sistema no se comporta como un bloque en función de variables globales, si no que cada agente puede tomar decisiones independientemente en función de lo que pasa en su entorno

## 5. Herramientas de análisis y prospectiva de redes sociales ...

más próximo. Esto permite incorporar a los modelos cierta heterogeneidad de comportamientos individuales a partir de la definición de reglas o características propias de cada agente.

El nivel de detalle o de particularización utilizado en esta definición de los agentes (los individuos del modelo) viene siendo, durante los últimos años, motivo de intenso debate entre investigadores de diferentes disciplinas. Por un lado, algunos (mayoritariamente de disciplinas sociales) defienden una definición de los agentes individuales lo más exhaustiva y realista posible, a pesar de que ello implique limitaciones a otros aspectos del modelo (como el número de agentes que puede incluir o la complejidad de patrones relacionales entre ellos), y que el gran número de variables pueda dificultar la utilización de modelos como herramienta de análisis y toma de decisiones. Otros investigadores (con los físicos a la cabeza), apuestan por una simplificación al máximo de la definición a nivel microscópico (individual) que permita trabajar con modelos de sistemas más grandes y con topologías más complejas y que, gracias al número reducido de variables introducidas, permita el establecimiento de relaciones causa-efecto entre las (pocas) variables del modelo y los resultados obtenidos. El posible inconveniente en este caso es que se lleguen a desarrollar modelos tan simplificados que no sean aplicables a escenarios reales.

Tal y como ya hemos comentado en el apartado del tercer capítulo dedicado a la evolución del estudio de la estructura social, durante los últimos años se han ido constituyendo puntos de encuentro y foros de intercambio entre los investigadores de diferentes disciplinas relacionadas con la Ciencia de Redes. Uno de los temas tratados de forma recurrente en este tipo de foros ha sido, precisamente, la manera de orientar los modelos multiagente. Es previsible que las sinergias generadas mediante este tipo de iniciativas lleven a la consecución de modelos multiagente suficientemente sencillos y realistas.

### 5.3.3. *Asincronía.*

Tal y como hemos podido comprobar en el trabajo comparativo comentado en el apartado 5.2.2, el hecho de que toda la población actúe de forma no sincronizada (como pasa, generalmente, en el mundo real) puede introducir diferencias en los resultados de los modelos. La asincronía es una de las características que presenten alguno de los modelos que analizan la interrelación entre los aspectos dinámicos de los fenómenos sociales y la estructura de la red sobre la que se produce y, por lo tanto, es otra de las potenciales que puede aportar la Ciencia de Redes a la modelización de sistemas socio-ecológicos.

Existen varias técnicas para introducir asincronía en modelos basados en agentes. Como la dinámica de este tipo de modelos consiste en la repetición periódica, por parte de cada uno de los agentes que forman el sistema, de una serie de instrucciones o pasos, el grado de sincronización (más o menos desfase) y su alcance (mayor o menor fracción de la población sincronizada) se pueden ajustar imponiendo que los agentes realicen sus operaciones en momentos diferentes. De esta manera es posible construir todo tipo de escenarios, desde individuos o grupos pequeños desincronizados respecto a una mayoría, hasta diferentes grupos sincronizados internamente pero desincronizados entre ellos., etc.

#### **5.4. Ámbitos de aplicación en el trabajo e investigación sobre desarrollo sostenible.**

Una vez visto, en el apartado anterior, que se pueden utilizar las técnicas de prospectiva y modelización propias de la Ciencia de las Redes para complementar (y resolver ciertas limitaciones de) las herramientas más habituales en modelización de sistemas socio-ecológicos, a continuación veremos algunas aplicaciones concretas, dentro del trabajo o investigación relacionados con el DS, que se podrían abordar mediante el uso de este tipo de herramientas.

##### *5.4.1. Acciones de transformación social hacia un DS.*

Como ya hemos comentado en diferentes puntos más arriba, la insostenibilidad de las sociedades industriales tiene un origen cultural y, por lo tanto, los verdaderos cambios que nos tienen que llevar hacia un modelo de desarrollo sostenible son esencialmente de tipo cultural. En este sentido, la promoción y organización de todo tipo de estrategias, acciones políticas y actividades orientadas a la asunción general del concepto de DS, más allá del punto de vista estrictamente ambiental, como algo transversal que incluye aspectos sociales y económicos, es uno de los principales retos de los investigadores, técnicos y otros colectivos implicados en la consecución de un desarrollo sostenible. Respecto a esta cuestión, dos ejemplos de campos de aplicación del tipo de herramientas vistas en el apartado anterior son las acciones de concienciación y formación orientadas a una necesaria transformación de la Sociedad, y la coordinación entre grupos de investigación y trabajo relacionados con el DS.

##### *5.4.1.1. Acciones de concienciación y formación.*

En relación al primer campo de aplicación, no podemos dejar de lado el efecto que tiene la

## 5. Herramientas de análisis y prospectiva de redes sociales ...

estructura de las relaciones sociales en la formación y difusión de opiniones, hábitos y valores. Hay dos líneas de trabajo a la literatura sobre análisis de redes sociales que pueden resultar especialmente útiles en estos aspectos. Por una parte, encontramos numerosos ejemplos de trabajos que estudian la interdependencia entre la estructura social y algunos fenómenos de difusión (de hábitos, innovaciones, rumores, opiniones, enfermedades, etc.), tanto desde una perspectiva puramente aplicada (mediante metodologías de prospectiva y análisis, como las que podemos encontrar comentadas en diversos ejemplos presentados en (Rogers, 2003)), como teórica (a partir de modelos como los que presenta Thomas Valente en (Carrington et al., 2005)). La otra línea de trabajo se centra en el uso de modelos para estudiar como la difusión y combinación de rasgos culturales intervienen en cuestiones como la supervivencia de la diversidad cultural en escenarios adversos o el papel de los *mass media* en el homogeneización cultural. Esta segunda línea de trabajo, iniciada con un artículo del sociólogo Robert Axelrod (Axelrod, 1997), es especialmente interesante por la transversalidad disciplinaria de los investigadores que han trabajado en ella (encontramos desde artículos marcadamente sociológicos o físicos, a otros en los que colaboran filósofos).

### 5.4.1.2. Coordinación de grupos relacionados con el DS.

En relación a la organización y puesta en común de los diferentes grupos que se dedican a la investigación y difusión de aspectos del DS, actualmente hay un gran número de proyectos de todo tipo (institucionales, asociativos, empresariales..) en torno a diferentes aspectos del DS que, a menudo, desconocen la existencia mutua. El trabajo conjunto y lo más coordinado posible de estos grupos, favorecería la consecución del objetivo común. Una posibilidad interesante sería, por ejemplo, plantear 'mapas' de las relaciones entre los diferentes grupos (de investigación, de difusión, de concienciación..) existentes a nivel local y regional, que podrían servir para hacer un diagnóstico de la situación, observar su evolución a lo largo del tiempo, valorar el efecto generado por acciones concretas de intercambio de ideas y colaboración (organización de encuentros, edición de publicaciones, proyectos comunes, etc.). Podemos encontrar la descripción de las herramientas de muestreo, análisis y modelización necesarias para llevar a cabo todo esto, así como ejemplos aplicados, en trabajos correspondientes a la literatura sobre estructura de organizaciones (Guimerà, 2002) (Bogartti y Foster, 2003) y desarrollo regional (Krebs y Holley, 2002). Finalmente, el trabajo presentado al capítulo 7 de esta tesis (especialmente con respecto a las posibles extensiones del modelo que se propone, apuntadas en las conclusiones del mismo capítulo), también es aplicable a este cuestión.

#### 5.4.2. Generación de conocimiento y DS.

El DS plantea serios retos respecto a la generación de conocimiento, no sólo en relación al debate en torno al concepto de DS en sí (Mebratu, 1998) (Ríos et al., 2004) (Robinson, 2004), sino también a las nuevas formas de ciencia y tecnología que éste requiere (Ciencia post-normal (Funtowicz y Ravetz, 2000)), que pasan por una visión transversal que atraviese las barreras entre disciplinas y nuevas formas de organización de los sistemas de generación y aplicación de conocimiento (Cash *et al.*, 2003). Dejando de lado que el mismo análisis de sistemas sociales desde una perspectiva estructural es un caso *in vivo* de interacción entre disciplinas muy diferentes, podemos encontrar en su literatura ejemplos de trabajos en torno al papel de la estructura social en la localización de información y su contextualización para generar conocimiento (Cross *et al.*, 2001) (Leydesdorff, 2006), así como respecto a la gestión del conocimiento en organizaciones (Molina y Marsal, 2002). Por otra parte, esta cuestión ha motivado el desarrollo de numerosos modelos computacionales como, por ejemplo, algunos que combinan estructuras sociales con el *Naming Game*<sup>6</sup> (Baronchelli et al., 2006).

#### 5.4.3. Desarrollo local y regional a partir de redes de micro-organizaciones

En (Max-Neef, 1998) los autores destacan como, en respuesta a situaciones de crisis, los sectores invisibles crean micro-organizaciones productivas y comunitarias guiadas por la ética solidaria. En su opinión, el fortalecimiento de este tipo de organizaciones puede representar, más allá de una estrategia de pura supervivencia, la base de un modelo de desarrollo ligado al Territorio que saque provecho de la creatividad social, la solidaridad y las iniciativas autogestionadas de la población. Los autores también consideran que para alcanzar este objetivo, es estrictamente necesario estimular la configuración de redes horizontales entre las organizaciones y plantear proyectos compartidos en los que éstas se apoyen mutuamente. Modelos de desarrollo muy parecidos, todos ligados al Territorio y basados en redes de micro-organizaciones, también han sido estudiados y defendidos como válidos para situaciones socioeconómicas completamente diferentes al de (Max-Neef, 1998), como los primeros años de Silicon Valley (Saxenian, 1994), algunos casos de reconversión post-industrial de Europa y los Estados Unidos de América (Gertsberger, 2004) o ciertos distritos del norte de Italia, basados en la producción semi-artesana compartida entre pequeñas empresas (Staber, 2001) (Perry, 1999).

---

<sup>6</sup> El *Naming game* es un experimento ideado para estudiar el proceso de formación del léxico en grupos humanos. Para averiguar más al respecto, consultar: <http://www.csl.sony.fr/Research/Experiments/NamingGame/index.php>

## 5. Herramientas de análisis y prospectiva de redes sociales ...

En la literatura de ARS, encontramos diversos ejemplos de trabajos que han estudiado las redes de micro-organizaciones surgidas como respuesta a situaciones de crisis del sistema 'formal' como, por ejemplo, la crisis argentina de 1989 (Forni, 2002) o la caída del régimen soviético (Sedaitis, 1998), pero también como medio de supervivencia de colectivos permanentemente marginados por este sistema 'formal' (Forni y Longo, 2004). A partir del estudio de las metodologías utilizadas y los resultados obtenidos en estos trabajos sobre sectores invisibles, y de otros que destacan la importancia de las redes sociales en el desarrollo local y regional (Krebs y Holley, 2003) (Hagen et al., 1997) (Saxenian, 1994), se pueden realizar análisis parecidos en otros escenarios locales o regionales y determinar las acciones a emprender, y las herramientas de análisis y toma de decisiones más adecuadas para ponerlas en marcha.

El capítulo 7 de esta tesis se enmarca en este ámbito de trabajo, más concretamente en el papel que juega la diversidad introducida por las micro-organizaciones en la resiliencia<sup>7</sup> de los sistemas económicos regionales ante cambios radicales en su entorno socioeconómico.

### *5.4.4. Agendas 21 y experiencias de participación en general*

En una línea de trabajo parecida encontramos las agendas 21. Igual que en el caso anterior, el ámbito geográfico de aplicación de las agendas 21 es limitado (local) y, por lo tanto, las relaciones entre individuos y organizaciones ganan importancia y son más fácilmente analizables. Concretamente, tomando como referencia la Carta de Aalborg de ciudades y pueblos europeos hacia la Sostenibilidad (Aalborg, 1994), aunque no se hace referencia textual a las redes sociales, es directo ver la utilidad de aplicar la perspectiva estructuralista a aspectos como la implicación de todos los sectores de la comunidad en la implementación de los procesos Agenda 21 (puntos 1.13 y 3 de la carta) y en el enfoque eco-sistémico de la gestión urbana (punto 1.14). A la vista de trabajos de la literatura del ARS relacionados con la gobernabilidad local y la autoorganización de comunidades y centrados en grupos tan diferentes como una pequeña comunidad aborígen de la Argentina (Teves *et al.*, 2002) o ciudadanos en zonas urbanas de Estonia (Hansson, 1998), parece razonable integrar herramientas de prospectiva y análisis de perspectiva estructuralista en el desarrollo de éste y otros tipos de proyectos en los que la participación colectiva ocupe un papel central, ya sea en una fase inicial (diagnóstico previo a la implantación del proyecto), durante el planteamiento de la experiencia o posteriormente (evaluación de los resultados).

---

<sup>7</sup> En el capítulo 4 de esta tesis se puede encontrar un subapartado dedicado al concepto de resiliencia.

Con este capítulo cerramos la segunda sección de esta memoria de tesis, que pone de manifiesto la idoneidad de aplicar los conceptos y las herramientas propias de la Ciencia de Redes a aspectos sociales y culturales de la investigación sobre DS. Una vez justificada esta idoneidad pasaremos a la última sección de la tesis, constituida por trabajos concretos que abordan diferentes aspectos relacionados con el Desarrollo Sostenible con la ayuda de modelos y otras herramientas propias del ARS.

## 5.5. Conclusiones del capítulo

En este capítulo hemos tratado la aplicación práctica de las herramientas de prospectiva y modelización propias de la *Ciencia de Redes* a la investigación y trabajo sobre el DS. Más concretamente, nos hemos centrado en dos aspectos: Las posibilidades de este tipo de herramientas como complemento a las ya utilizadas habitualmente en el estudio de los sistemas socio-ecológicos, y la determinación de ámbitos de aplicación, de interés desde el punto de vista del DS, para los que este tipo de herramientas serían especialmente útiles.

Para ello, hemos empezado poniendo de manifiesto que las herramientas utilizadas habitualmente para el estudio de los sistemas socio-ecológicos y el planteamiento de escenarios, se basan en una aproximación que homogeneiza las características y los comportamientos individuales. Este tipo de simplificación, conocida como aproximación de *campo medio*, resulta muy útil para afrontar problemas en los que la heterogeneidad de los individuos no sea un factor importante (por ejemplo, cuando corresponden a escenarios geográficamente muy extensos).

Sin embargo, podemos encontrar casos en los que esta diversidad sí incide en el comportamiento del modelo, pudiendo llevar a conclusiones completamente opuestas en función de si se tiene en cuenta o no dicha heterogeneidad. Para ilustrar esa limitación de la aproximación de campo medio, hemos presentado dos ejemplos de trabajos basados en modelos computacionales, (Shnerb *et al.*, 2000) y (Huberman y Glance, 1993), que ponen de manifiesto la importancia la heterogeneidad en la distribución espacial y la asincronía (que puede entenderse como un ejemplo de heterogeneidad en el tiempo), respectivamente.

## 5. Herramientas de análisis y prospectiva de redes sociales ...

Frente a esas limitaciones de la aproximación habitual en las herramientas de modelización de sistemas socio-ecológicos, hemos puesto de manifiesto las potencialidades de ciertas herramientas habituales en la Ciencia de Redes, como el hecho de se basen en modelización multi-agente (permitiendo la definición de comportamientos individualizados e, incluso, asíncronos), o de que los patrones de interacción entre individuos se incorporen al modelo utilizando redes sociales empíricas (capturadas mediante herramientas de prospectiva) o sintéticas pero con las mismas características que las empíricas (construidas mediante modelos como los que presentamos en el capítulo 3).

Finalmente, hemos presentado una lista de posibles campos de aplicación especialmente adecuados para aprovechar estas posibilidades o potencialidades, y que hemos agrupado en cuatro categorías: Acciones de transformación social hacia un DS, Generación de conocimiento, Desarrollo local-regional y experiencias de participación. Para cada uno de ellos, a parte de explicar de qué manera se podrían aplicar las metodologías propias de la Ciencia de Redes, hemos destacado bibliografía propia de la Ciencia de redes que podría ser adecuada.

**MODELOS MULTIAGENTE APLICADOS  
A LA INVESTIGACIÓN SOBRE  
DESARROLLO SOSTENIBLE.**

Una vez vistas, en la sección anterior, las posibilidades de aplicar la perspectiva estructuralista al estudio de diferentes aspectos sociales relacionados con el DS, pasaremos a ver algunos ejemplos concretos de aplicación desarrollados por el doctorando en el marco de la tesis. Desde el punto de vista de los objetivos planteados en la tesis, destacamos dos aspectos de los trabajos que presentamos seguidamente. Por una parte pretenden profundizar en el estudio de procesos sociales relacionados con el DS y, por otra, sirven para ilustrar la aplicación de herramientas y metodologías propias del ARS y la Ciencia de las Redes a cuestiones de interés para la investigación sobre DS.

El primero de los trabajos estudia como la estructura social a nivel mesoscópico (intermedio entre el nivel micro o individual y el macro o global) puede influenciar los fenómenos de cooperación. Para ello, partimos de dos redes sociales obtenidas de poblaciones reales y de un modelo computacional basado en el Dilema del Prisionero. Las conclusiones del trabajo ponen de manifiesto la importancia de la estructura mesoscópica en este tipo de procesos, y apuntan algunas características estructurales que pueden ayudar a favorecer la colaboración en grupos humanos.

El segundo caso se orienta hacia aspectos socio-económicos del DS. Más concretamente, se refiere a la resiliencia de sistemas económicos regionales a cambios en las condiciones de su entorno socio-económico. La metodología utilizada en este caso consiste básicamente en reproducir cuantitativamente las descripciones y conclusiones cualitativas de un trabajo anterior ampliamente referenciado en la literatura sobre distritos industriales y desarrollo regional. Hemos reproducido las características de dos distritos industriales en términos de organización social y diversidad de estrategias de los agentes económicos implicados, las hemos sometido a diferentes condiciones ambientales y hemos observado su respuesta. Los resultados, completamente coherentes con las observaciones del trabajo tomado como referencia, confirman la importancia de las características estructurales y de la diversidad de posicionamientos para la capacidad de reacción y reorganización de los sistemas de innovación regionales y locales.

El último de los tres casos que presentamos hace una aproximación dinámica al concepto de cohesión social, muy importante desde el punto de vista de la relación entre organización social y DS. Más concretamente, utilizamos un modelo coevolutivo (denominado así porque la estructura social y el comportamiento de los individuos evolucionan en el tiempo de forma interdependiente, es decir, 'coevolucionan'), para estudiar de qué manera los cambios en el entorno social y político de un grupo humano (nivel macroscópico) ejercen cierta influencia sobre los vínculos entre individuos (nivel microscópico), y hacen emerger ciertos fenómenos de grupo (nivel mesoscópico) como las

movilizaciones espontáneas o los movimientos sociales organizados.

## **6. EL ROL DE LAS COMUNIDADES EN LOS PROCESOS DE COOPERACIÓN**

En este capítulo presentamos un trabajo que estudia como la organización en comunidades de un grupo humano condiciona la cooperación entre los individuos que forman parte de éste. Esta cuestión es doblemente interesante para el estudio de los aspectos sociales del Desarrollo Sostenible: Primero, porque la cooperación es un concepto clave para el DS. Segundo, porque, tal y como ya hemos comentado en capítulos anteriores, el concepto de comunidad juega un papel clave en la interdependencia entre la estructura social y diversos fenómenos sociales.

El capítulo se estructura en tres partes. Primero justificamos el interés de estudiar la cooperación en el marco del Desarrollo Sostenible así como el papel que juega la organización social (y las comunidades en particular), y también presentamos la principal herramienta en la que se basa este trabajo: El Dilema del Prisionero. En la parte central del capítulo analizamos, utilizando un modelo computacional y dos redes sociales reales, como la organización en comunidades condiciona la cooperación en una población de individuos. Finalmente, el tercer apartado del capítulo está dedicado a la interpretación de los resultados obtenidos desde la perspectiva del Desarrollo Sostenible y la propuesta de nuevas líneas de investigación.

### **6.1. Planteamiento**

#### *6.1.1. Cooperación, Desarrollo Sostenible y organización en comunidades.*

Podemos ver la cooperación como la acción coordinada de diversos individuos a favor de un objetivo conjunto a medio o largo plazo que, normalmente, conlleva la renuncia a otra opción que proporciona beneficios individuales a corto plazo. A la luz de esta interpretación, y teniendo en cuenta lo que hemos visto en el capítulo 2 de esta tesis con respecto al concepto de Desarrollo Sostenible, entendemos que la cooperación es un fenómeno social básico para el planteamiento del Desarrollo Sostenible. Por ejemplo, ideas como la solidaridad intergeneracional y la necesidad de plantear el desarrollo a largo plazo, que se encuentran en la base de la idea de Desarrollo Sostenible, se pueden relacionar con la cooperación tal y como la hemos definido aquí.

De forma más concreta, la cooperación entre individuos es una componente estrictamente necesaria en ciertos ámbitos de trabajo e investigación relacionados con el Desarrollo Sostenible. Tomando como referencia dos de los ejemplos mencionados en el capítulo 5, no podemos concebir un

desarrollo regional basado en redes de micro-organizaciones o los proyectos de participación local propios de una agenda 21, sin tener en cuenta el concepto de cooperación.

Por otra parte, como ya hemos explicado en la sección anterior de esta tesis, en éstos y otros ámbitos relacionados con el Desarrollo Sostenible la organización social también puede jugar un papel muy importante, y una de las características estructurales que define la manera de organizarse de los grupos humanos es la presencia de comunidades.

Dada esta relación doble del Desarrollo Sostenible con los conceptos de cooperación y organización en comunidades, en este capítulo analizaremos cómo la presencia de comunidades puede influenciar la evolución de la cooperación en el seno de los grupos humanos.

### *6.1.2. La investigación sobre cooperación y el Dilema del Prisionero*

El surgimiento de la cooperación y su 'supervivencia' en condiciones adversas ha sido, desde hace tiempo, una cuestión de interés para los investigadores de disciplinas tan diversas como la biología, la sociología o la economía (Dugatkin, 1997) (Hamerstein, 2003) (Gintis *et al.*, 2005). Fruto de este interés, durante los últimos cuarenta años se ha adelantado en el estudio de algunos aspectos relacionados con la cooperación como, por ejemplo, la reciprocidad (Triverso, 1971), las interacciones repetidas (Axelrod y Hamilton, 1981), o la reciprocidad indirecta (Nowak y Sigmund, 1998), pero todavía quedan cuestiones pendientes de analizar a fondo. Los dilemas sociales, situaciones en los que la racionalidad individualista a corto plazo desemboca en escenarios que perjudican al conjunto del grupo, son un ejemplo de ello (Kollock, 1998).

El análisis de los dilemas sociales se lleva a cabo, generalmente, en el marco de la teoría de juegos evolucionarios. Uno de los juegos más conocidos y ampliamente utilizados para estudiar la cooperación es el Dilema del Prisionero (DP), que ha sido adoptado mayoritariamente como formulación simple para capturar la paradoja de la persistencia del altruismo en situaciones en las que el egoísmo proporciona grandes beneficios a corto plazo. En este juego, dos jugadores escogen entre cooperar C o desertar D (o traicionar, dependiendo de como se traduzca el término original inglés *defect*). Si coinciden en cooperar o traicionar, reciben una 'recompensa' o un 'castigo' de magnitud R y P respectivamente. Si uno de ellos elige D y el otro decide C, el primero consigue un premio T y el otro obtiene S (Fig. 6.1). Teniendo en cuenta que las magnitudes de las diferentes recompensas cumplen la siguiente regla:  $T > R > P > S$ , se observa fácilmente cual es el dilema: Aunque la elección racional individual es desertar, si los dos jugadores escogen esta opción van a

parar a una situación completamente ineficiente comparada con la alcanzada cuando los dos individuos cooperan.

	<b>C</b>	<b>D</b>
<b>C</b>	<b>R</b>	<b>S</b>
<b>D</b>	<b>T</b>	<b>P</b>

$$T > R > P > S$$

	<b>C</b>	<b>D</b>
<b>C</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
<b>D</b>	<b>b</b>	<b>0</b>

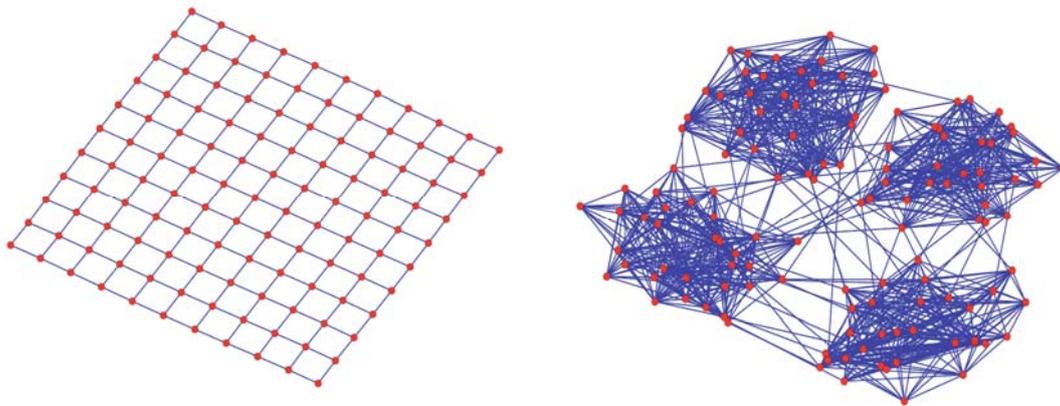
**Fig. 6.1** Matriz de pagos del Dilema del Prisionero. A la izquierda, descripción general de las recompensas recibidas por el jugador fila cuando juega contra el jugador columna. A la derecha, definición utilizada en este trabajo, propuesta por primera vez en (Nowak y May, 1992).

El caso es que, a pesar de no ser la elección racional, en situaciones reales en las que los individuos están sometidos al Dilema del Prisionero se observa la emergencia de la cooperación, y encontrar las condiciones que favorecen esta 'supervivencia' o 'persistencia' del altruismo (y las posibilidades de que ocurra) se ha convertido en un importante objeto de estudio. En (Szabó, 2007), podemos encontrar un completo repaso a diferentes trabajos desarrollados alrededor de cuatro posibles mecanismos o condicionantes: La estrategia adoptada a largo plazo por cada individuo para obtener el máximo beneficio, la información disponible en cada momento respecto a comportamientos y resultados anteriores (propios y del resto de individuos), el valor concreto de los pagos del juego (R, S, T y P) y, finalmente, la estructura relacional entre individuos, es decir, con quién puede jugar al DP cada uno de los individuos.

De entre esta gran cantidad de trabajos que abordan el altruismo basándose en el Dilema del Prisionero, en este caso nos interesan especialmente los que modelizan una población como un conjunto de agentes con cierta capacidad de raciocinio, y que juegan al DP repetidamente y de forma local (es decir, no interaccionan con el conjunto de la población sino con un grupo reducido, los agentes más próximos a ellos) (Nowak y May, 1992) (Huberman y Glance, 1993) (Nowak *et al.*, 1994) (Esbel *et al.*, 1998) (KirchKamp, 2000) y (Schweitzer *et al.*, 2002). En este tipo de trabajos, es habitual incorporar la localidad en los modelos considerando que los agentes están situados en una estructura en forma de red cuadrículada regular como la que se muestra a la Fig. 6.2 (izquierda), y que sólo pueden relacionarse (jugar al DP) con los 'vecinos' que ocupan las posiciones contiguas.

El concepto de aprendizaje, por su parte, se incorpora al modelo mediante la imitación: Después de cada jugada, los agentes miran a sus vecinos y copian la estrategia del agente del vecindario que ha conseguido una recompensa más alta. Conviene remarcar que, pese a ser un mecanismo muy simple, el uso de la imitación para modelar este aprendizaje se puede justificar a partir de trabajos basados en evidencias experimentales (Selten y Apesteguia, 2005) (Apesteguia *et al.*, 2006), y estudios psicológicos sobre los procesos de reafirmación y refutación de ideas (Strang y Macy, 2001).

Teniendo en cuenta sólo estos dos ingredientes (localidad y aprendizaje), los modelos son capaces de generar escenarios en los que aparecen grupos de cooperadores que se resisten a la desertión agrupándose en regiones homogéneas donde no hay desertores. Sin embargo, la representatividad de estos resultados se ha puesto en duda en trabajos posteriores, entre otras cosas, por el hecho de que los grupos humanos reales no se organizan normalmente siguiendo estructuras completamente regulares.



**Fig. 6.2** *Dos ejemplos de redes sobre las que se puede jugar el Dilema del Prisionero. A la izquierda, una red regular cuadrada. A la derecha, una red más parecida a las topologías sociales reales formada por cuatro comunidades fácilmente identificables.*

Respecto a esta cuestión, el hecho de que las estructuras sociales reales no tienen forma de redes regulares, algunos autores han centrado su interés en analizar la influencia de determinados rasgos estructurales (que, habitualmente, se observan en redes sociales reales) sobre la evolución de la cooperación (Abramson y Kuperman, 2001) (Duran y Mulet, 2005) y (Santos *et al.*, 2006). Así, Abramson y Kuperman (2001) estudian el efecto del fenómeno de mundo pequeño (*small-world*)

(Watts y Strogatz, 1998), y encuentran una cierta dependencia entre la densidad de cooperadores en una población y la existencia de vínculos de largo alcance<sup>1</sup>, mientras que Santos y sus coautores (2006) encuentran interesantes resultados con respecto a la influencia de redes libres de escala (*scale-free*) sobre el juego del Dilema del Prisionero. La conclusión general de este tipo de trabajos es que la heterogeneidad en la distribución de grado (la cantidad de vecinos que tiene cada agente) juega un papel central en esta cuestión, favoreciendo la aparición de la cooperación. Sin embargo, a pesar de ser aproximaciones valiosas y aportar resultados interesantes, ninguno de estos estudios trata con redes sociales reales, sino que utilizan redes generadas artificialmente que presentan determinadas propiedades 'sociales' separadamente. Así, el trabajo que presentamos aquí representa un paso más allá en un doble sentido. Por una parte, utiliza redes sociales obtenidas directamente por prospección sobre poblaciones reales (Wasserman y Faust, 1999); De la otra, se centra en la organización en comunidades, que es una propiedad genuinamente social.

Resumiendo, el objetivo de este capítulo es estudiar cómo la organización en comunidades condiciona la cooperación entre los individuos que constituyen los grupos humanos. Esta relación entre la presencia de comunidades y la cooperación tiene un interés especial desde el punto de vista del estudio de los aspectos sociales relacionados con el Desarrollo Sostenible. Para alcanzar este objetivo, hemos construido un modelo computacional basado en el juego del Dilema del Prisionero y en dos redes sociales obtenidas a partir del muestreo de las relaciones entre individuos en dos escenarios reales: Una universidad y el conjunto de usuarios de un sistema de encriptación de mensajes electrónicos basado en la asignación, compartición y firma (reconocimiento mutuo) de claves de encriptación.

## **6.2. Análisis del papel de las comunidades en la cooperación mediante un modelo basado en el Dilema del Prisionero**

En esta apartado detallamos los diferentes aspectos del estudio realizado. Primero, presentamos las redes y la versión del juego del DP que hemos utilizado en nuestras simulaciones. Después, mostramos los resultados obtenidos jugando el juego sobre los dos sustratos sociales reales, que ponen de manifiesto que la presencia de comunidades en los grupos humanos puede tener efectos

---

<sup>1</sup> Los vínculos de largo alcance son aquellos que no se establecen entre agentes cercanos, si no que conectan regiones del sistema (grupos de la población) apartados. La existencia de vínculos de largo alcance es la base del fenómeno de 'Mundo pequeño' o *small-world*.

completamente opuestos sobre la cooperación. Finalmente, razonamos que ciertas propiedades estructurales son las responsables de la diversidad de resultados observados, y lo comprobamos realizando más simulaciones sobre redes generadas artificialmente con características *ad hoc*.

### 6.2.1. Las redes y el modelo de Dilema del Prisionero utilizados

#### 6.2.1.1. Las redes

La primera red se obtuvo a partir del tráfico de mensajes de correo electrónico entre cuentas de la *Universitat Rovira i Virgili* (URV). Los nodos representan cuentas de correo individuales, y los enlaces entre ellos indican comunicación bidireccional (el envío de, como mínimo, un mensaje en cada sentido) (Guimerà *et al.*, 2003). En este caso, hemos trabajado con la componente conexa de mayor tamaño, compuesta por una población de 1133 agentes y que presenta un grado medio (un número medio vecinos por nodo)  $\langle k \rangle = 9,6$  y un coeficiente de clustering  $C = 0,254$ . Para obtener más información respecto al resto de propiedades de esta red y al proceso seguido para construirla, se puede consultar (Guimerà *et al.*, 2003).

En el caso de la segunda red social (que, de ahora en adelante, llamaremos red PGP) los nodos corresponden a usuarios del sistema de encriptación de mensajes *Pretty-Good-Privacy* (origen de las siglas PGP)<sup>2</sup>, y los enlaces representan las relaciones de confianza establecidas entre dos de estos individuos que se firman (reconocen) mutuamente las claves públicas. Esta red está formada por una población de 10680 agentes con un grado medio  $\langle k \rangle = 4.55$ , y un coeficiente de clustering  $C=0.3$ . (Boguñá *et al.*, 2004) es un artículo donde se puede encontrar más información con respecto a esta red.

Finalmente, como elementos de control, hemos utilizado una serie de redes aleatorias con las mismas distribuciones de grado que las redes sociales reales pero que, por el hecho de ser aleatorias, no presentan la organización en comunidades propia de las redes sociales reales. El objetivo es simular el juego del DP también sobre las dos redes aleatorias, y comparar los resultados obtenidos con cada red real y con su versión aleatoria. Dado que la característica más importante que las diferencia es la organización en comunidades, las diferencias que se observen entre los resultados obtenidos con unas y con otras se pueden atribuir, precisamente, a la presencia de comunidades.

Para generar estas redes aleatorias a partir de las reales, hemos utilizado un procedimiento de

---

<sup>2</sup> Para ver una explicación detallada sobre el algoritmo de encriptación *Pretty-Good-Privacy*, se puede consultar la definición colgada en la Wikipedia: <http://en.wikipedia.org/wiki/OpenPGP>

redefinición de enlaces (*rewiring*, en inglés) presentado en (Roberts, 2000), y que se basa en repetir las siguientes operaciones un número suficientemente elevado de veces:

- Escoger aleatoriamente dos nodos de la red social original.
- Escoger (también de forma aleatoria) a un vecino de cada uno de estos dos nodos.
- Intercambiar los vecinos.

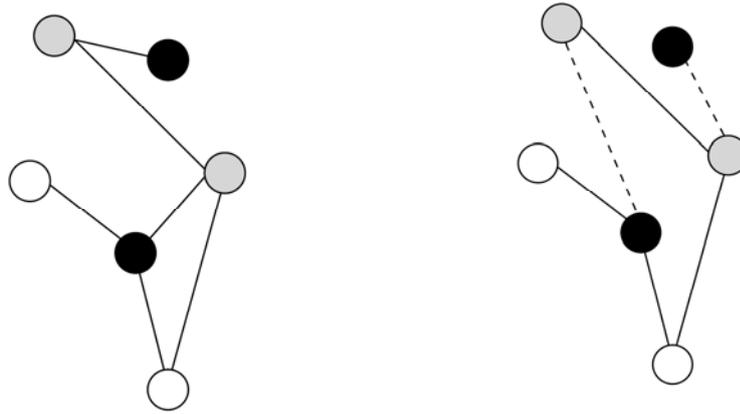
Esta técnica permite deshacer las comunidades sin cambiar el número de vecinos de cada nodo (y, por lo tanto, la distribución de grado del conjunto de la red). La Fig. 6.3 representa una iteración de este procedimiento de aleatorización de redes.

#### 6.2.1.2. La dinámica del juego

En lo que respecta a las reglas que han regido la dinámica de nuestras simulaciones, hemos utilizado las mismas que trabajos anteriores como (Nowak y May, 1992) (Huberman y Glance, 1993) o (Nowak *et al.*, 1994), es decir:

- Las estrategias (Cooperar o Desertar) iniciales de cada agente se asignan aleatoriamente, de manera que haya la misma proporción de cooperadores y de desertores (hemos hecho pruebas con escenarios iniciales diferentes, obteniendo resultados muy parecidos).
- Se repiten los siguientes pasos hasta alcanzar un estado estacionario, es decir, una situación en la que los agentes no cambian su estrategia a lo largo del tiempo.
  - Cada pareja de agentes (cada agente con cada uno de sus vecinos) juega el Dilema del Prisionero. Los valores de las recompensas que rigen el juego son:  $R=1$ ,  $T=b$  ( $b>1$ ) y  $S=P=0$ , de manera que la única variable es  $b$  (la tentación de desertar, es decir, el premio que se lleva un desertor si el otro jugador quiere cooperar). En la Fig. 6.1 se muestra un cuadro con el significado de las diferentes recompensas.
  - Se calcula la puntuación obtenida por cada agente como resultado de jugar con cada uno de sus vecinos.
  - Cada agente decide la estrategia para el siguiente turno (cooperar o desertar). Para tomar esta decisión, observa las puntuaciones obtenidas por sus vecinos e imita al que ha tenido más éxito.

Una vez alcanzado el estado estacionario, se calcula la proporción de agentes que han acabado cooperando. Esta proporción, que llamamos *Densidad de Cooperadores*, es nuestro indicador del grado de cooperación existente en el sistema bajo estudio.



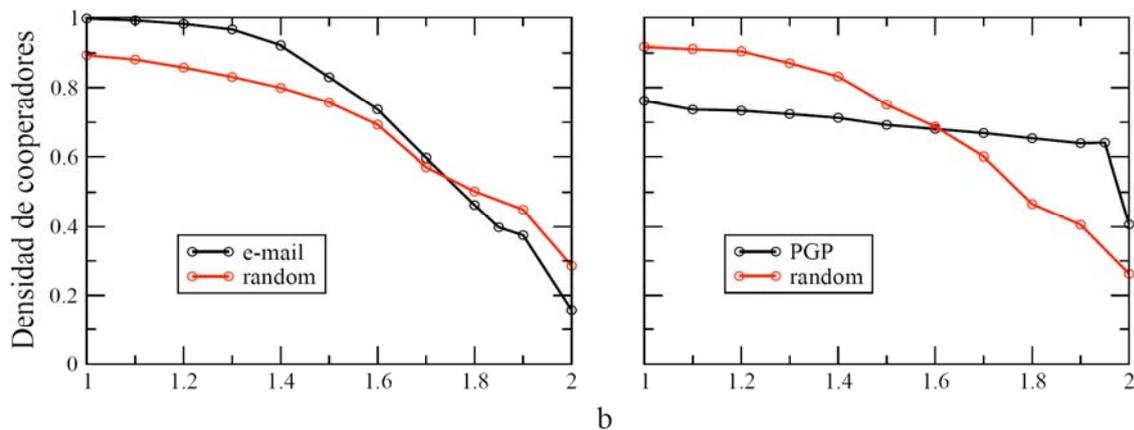
**Fig. 6.3** Una iteración del procedimiento de aleatorización. A la izquierda vemos, en negro y gris respectivamente, los dos nodos escogidos aleatoriamente y los vecinos que se intercambiarán. A la derecha, después del cambio, los enlaces originales han desaparecido y los nuevos aparecen marcados con un trazo discontinuo.

En las gráficas de la Fig. 6.4 mostramos la *Densidad de cooperadores* (medida en el estado estacionario) en función de la variable  $b$ . Como ya hemos mencionado más arriba,  $b$  es un parámetro de la versión espacial del Dilema del Prisionero que corresponde al premio que obtiene un jugador desertor cuando traiciona a un cooperador. Podemos considerar que este parámetro controla el grado de individualismo o tentación individual de sacar provecho a corto plazo, ya que cuanto más alto es su valor más beneficio se puede obtener jugando contra un cooperador, mientras que los réditos que se reparten dos cooperadores siempre son los mismos. Por otra parte, la *Densidad de cooperadores* es un indicador de 'el ambiente de cooperación' en el sistema comúnmente aceptado en la literatura sobre Teoría de juegos aplicada al estudio de la cooperación.

Como ya hemos comentado en el apartado anterior, en este trabajo también hemos computado el algoritmo sobre dos redes aleatorias que presentan la misma distribución de grado que las originales pero que, mediante el proceso de aleatorización reseñado, han perdido la estructura de comunidades. Con esto pretendemos observar el efecto de la organización en comunidades (que se manifestará en las simulaciones sobre las redes originales, pero no sobre las aleatorias) separadamente de aquellos que pueda introducir la distribución de grados (estudiados en trabajos anteriores como, por ejemplo, (Duran y Mulet, 2005) y (Santos *et al.*, 2006)), que aparecerán en los dos tipos de red de la misma manera.

Podemos observar que, aunque las dos redes sociales presentan organización en comunidades, si comparamos los resultados de cada una de ellas con los de sus versiones aleatorias, vemos

comportamientos opuestos. Por una parte, la densidad de cooperadores en la red de correo electrónico se mueve entre valores extremos (por encima de los valores correspondientes al caso aleatorio cuando la  $b$  es baja e inferiores cuando la  $b$  se acerca a su límite superior). La red PGP, en cambio, presenta un comportamiento sin cambios significativos para un amplio rango de valores de  $b$ , y es mucho más estable que su versión aleatorizada.



**Fig. 6.4** Nivel de cooperación alcanzado, en función del parámetro de tentación individual  $b$ , en las simulaciones sobre la red de correo electrónico (izquierda) y la PGP (derecha). La comparación entre los comportamientos de las redes originales y sus versiones aleatorias muestra el efecto que tiene la organización en comunidades en cada caso: En la red de correo electrónico, la presencia de comunidades hace que el sistema sea más sensible a la tentación individual de sacar provecho a corto plazo (controlado por el parámetro  $b$ ). En el caso de la red PGP, en cambio, las comunidades juegan un papel estabilizador que proporciona cierta independencia del grado de cooperación respecto del parámetro  $b$ .

A la vista de estos resultados, no podemos determinar si la organización en comunidades (por sí misma) es un factor que favorece o dificulta la cooperación en el seno del grupo cuando la tentación de comportarse de forma egoísta (es decir, el beneficio individual que se puede obtener a corto plazo) aumenta. Teniendo esto en cuenta, tenemos que ir más allá y buscar qué diferencias estructurales entre las dos redes sociales pueden influenciar la cooperación, y provocar estos resultados tan opuestos.

### 6.2.2. Estudio y explicación de los resultados.

En la literatura dedicada al estudio de la influencia de las redes sociales sobre la cooperación (reseñada más arriba), es habitual explicar los fenómenos observados a partir de las características estructurales a nivel macroscópico (especialmente la distribución de grado). Sin embargo, esta

aproximación no sirve en nuestro caso, ya que las versiones aleatorizadas de las redes reales muestran comportamientos diferentes de las originales a pesar de presentar la misma distribución de grado.

Teniendo en cuenta esto, y aprovechando el concepto de comunidad presentado en el capítulo 4 de esta memoria, en vez de centrarnos en las características de las redes a nivel microscópico (individual de cada agente) o macroscópico (general de la red), tenemos que plantear un estudio mesoscópico (a nivel intermedio, correspondiente a las características de las comunidades).

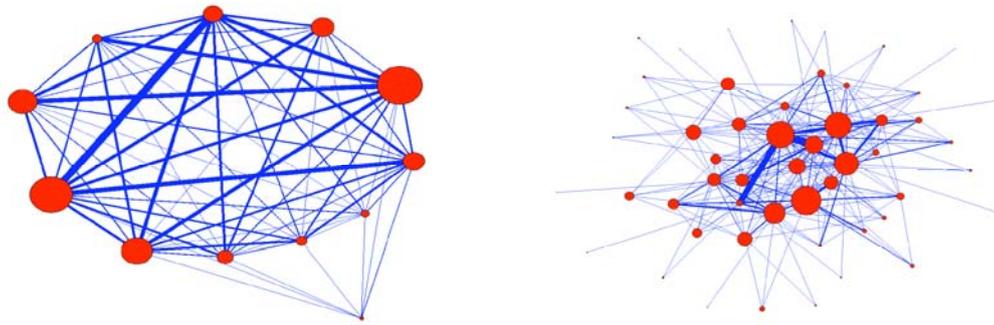
Para poder realizar este análisis a nivel mesoscópico, necesitamos saber más sobre las comunidades que forman cada una de las dos redes sociales. Actualmente, existe una gran variedad de algoritmos que nos permiten determinar cuántas comunidades componen una red y qué nodos pertenecen a cada una de ellas (Danon *et al.*, 2005). Para este caso, hemos escogido uno basado en Optimización Extrema (*Extremal Optimization*) (Boetcher y Percus, 2001), presentado y explicado detalladamente en (Duch y Arenas, 2005). Una vez determinada la organización en comunidades de las dos redes, nos hemos centrado en dos características estructurales de nivel mesoscópico: La conectividad entre comunidades y su organización interna.

#### 6.2.2.1. Conectividad entre comunidades

Para estudiar la primera cuestión, de qué manera están conectadas las comunidades entre ellas dentro de cada una de las dos redes sociales, hemos construido las dos redes que presentamos en la Fig. 6.5. En estas redes, cada nodo corresponde a una comunidad y los enlaces entre nodos representan la agregación de todos los enlaces entre miembros de las dos comunidades. Así, las dimensiones de los nodos y de los enlaces representan, respectivamente, el número de nodos que pertenecen a cada comunidad y el número de enlaces que hay entre cada par de comunidades. Comparando las redes correspondientes a cada uno de nuestros ejemplos de sistemas sociales reales, se hace evidente que mientras las comunidades de la red de correo electrónico están estrechamente interconectadas (de hecho, prácticamente están completamente ligadas las unas con las otras), las de la red PGP presentan una conectividad entre comunidades poco densa.

Para entender de qué manera pueden contribuir estas diferencias a los resultados observados en el apartado anterior, tenemos que imaginar cómo afectaría a la dinámica del juego del Dilema del Prisionero dentro de una comunidad el hecho de que esta comunidad estuviera completamente aislada, y después deducir qué pasaría si esta comunidad fuera estableciendo, progresivamente, un

número creciente de contactos con el resto de la red.



**Fig. 6.5** Estructura de comunidades, representada en forma de red, de los dos casos estudiados. Los nodos corresponden a comunidades y los enlaces a relaciones cruzadas. Si comparamos las dos redes, apreciamos que las comunidades de correo electrónico (izquierda) están densamente interconectadas, mientras que las que forman la red PGP (derecha) presentan una estructura de estilo 'libre de escala' (scale-free), con un núcleo más conectado que la periferia.

Una comunidad prácticamente aislada se puede ver como una pequeña red independiente donde el juego del DP evoluciona hacia un estado estacionario que depende de las condiciones iniciales locales (densidad inicial de cooperadores y desertores dentro de la comunidad, básicamente) y de la estructura de la comunidad. No obstante, conforme aumentamos el número de enlaces con el resto de la red, la dinámica cada vez depende menos de las condiciones internas de la comunidad y más de las correspondientes al conjunto de la red, es decir, la dinámica del juego dentro de la comunidad pasa a depender cada vez más de lo que pasa fuera de la comunidad. Conforme se acentúa este proceso de 'globalización', la dinámica del juego dentro de la comunidad es más vulnerable a fenómenos de alcance macroscópico (global) como, por ejemplo, la influencia de nodos de otras comunidades con grados muy elevados (y que, por lo tanto, pueden acumular puntuaciones muy altas) o avalanchas de deserciones llegados desde otras comunidades.

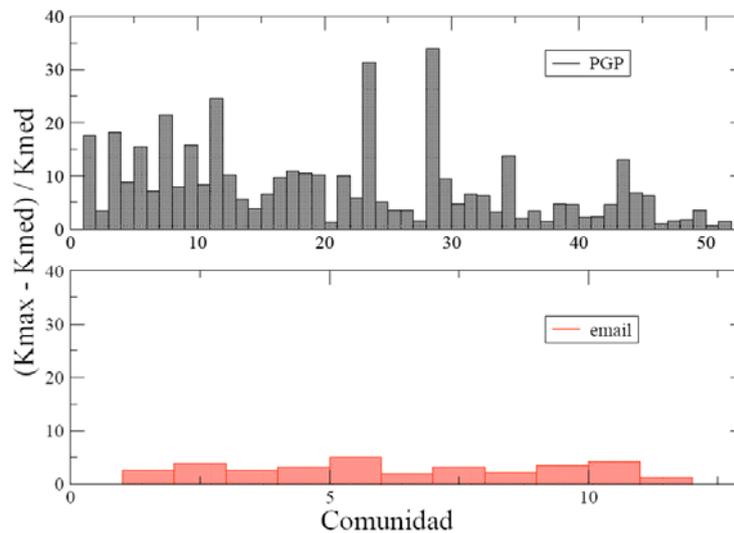
#### 6.2.2.2. Estructura interna de las comunidades

La estructura interna de las comunidades que forman las dos redes sociales estudiadas también presenta diferencias que pueden contribuir a explicar los resultados obtenidos. Más concretamente, nosotros nos hemos centrado en cómo la distribución de grado interna puede influenciar la evolución del Dilema del Prisionero.

Como las redes estudiadas están formadas por un gran número de comunidades (especialmente la

red PGP), no resulta viable calcular la distribución de grado de cada una de las comunidades y hacer la comparación entre las comunidades de una y otra red. Un procedimiento de análisis alternativo, que aporta menos información pero que permite hacer una comparación a simple vista entre las redes, pasa por obtener el grado medio y el grado máximo de cada comunidad y calcular la diferencia ponderada (la diferencia entre máximo y media dividida por la media). La Fig. 6.6 muestra el valor de esta magnitud para todas las comunidades, separadas en función de la red a la que pertenecen.

Comparando los valores correspondientes a las comunidades de cada red, observamos que las estructuras internas son diferentes en cada caso. Por una parte, en la mayoría de las comunidades de la red PGP encontramos nodos con un grado máximo que destaca mucho con respecto al valor medio. Son lo que llamamos *hubs* o *líderes locales*, nodos que tienden a ser imitados por los otros nodos de la comunidad porque su elevado grado les permite acumular puntuaciones muy altas. En cambio, las comunidades de la red de correo electrónico tienden a una estructura más homogénea, en la que todos los nodos tienen un grado muy similar y no hay líderes locales.



**Fig. 6.6** Diferencias ponderadas entre los valores máximos y medios de los grados internos de cada comunidad. Las grandes diferencias que presentan muchas de las comunidades de la red PGP indican la presencia de líderes locales. En cambio, las diferencias en las comunidades de la red de correo electrónico son pequeñas, poniendo de manifiesto distribuciones de grado bastante homogéneas.

## 6. El rol de las comunidades en el proceso de cooperación

Teniendo en cuenta trabajos anteriores que ponen el acento la importancia de los *hubs* o líderes a escala macroscópica en la evolución del Dilema del Prisionero (Eguíluz *et al.*, 2005), es razonable concluir que la presencia de estos líderes locales (o su ausencia, en el caso de la red de correo), tiene que tener algún tipo de efecto sobre la dinámica del juego en nuestras redes. Más concretamente, creemos que estos *líderes locales* juegan un doble papel de estabilización de estrategias: Por una parte, como están conectados directamente a muchos de los agentes de la comunidad (porque tienen un grado muy alto), la comunidad entera tiende a imitar su estrategia (C o D). De la otra, si un miembro de la comunidad se desmarca de la estrategia mayoritaria al grupo (imitando a un agente externo a la comunidad), la influencia del líder local impedirá o, como mínimo, dificultará la propagación de esta nueva estrategia. Conviene señalar que, tanto en un caso como en el otro, la influencia del líder local es especialmente significativa en los casos en que éste contribuye a mantener la comunidad entera en disposición a cooperar. Por ejemplo, si en una comunidad de cooperadores aparece un desertor, la única posibilidad de que la deserción no se extienda es que haya un miembro con bastante número de vecinos como para contrarrestar su ventaja a corto plazo.

### 6.2.2.3. Justificación de los resultados obtenidos.

Teniendo en cuenta la combinación de los efectos sobre la dinámica del Dilema del Prisionero de la conectividad entre comunidades y de la estructura interna de cada una de ellas, podemos explicar los resultados obtenidos más arriba en función de las diferencias estructurales a nivel mesoscópico entre las dos redes estudiadas.

Así, la homogeneidad en la distribución de grado dentro de las comunidades que forman la red de correo electrónico, y el gran número de conexiones existentes entre ellas, impone una alta sensibilidad de la cooperación global a los cambios de valor del parámetro  $b$  (que regula la cooperación a nivel individual). En cambio, las características a nivel mesoscópico de la red PGP (conectividad poco densa entre comunidades y presencia de *líderes locales*, ambas propiedades estabilizadoras) contribuyen en un escenario con una gran estabilidad contra el aumento de los valores de tentación o tendencia individual a desertar.

### 6.2.3. Comprobación de la hipótesis mediante redes de características preestablecidas

El argumento expuesto en el punto anterior para explicar los diferentes comportamientos de las dos redes reales en función de sus características estructurales mesoscópicas es razonable. Sin embargo,

lo hemos desarrollado a partir de la observación del comportamiento de sólo dos redes reales. Para poder asegurar la representatividad de nuestra hipótesis, deberíamos repetir el análisis realizado a un conjunto mucho mayor de redes reales.

Dado que la disponibilidad de redes sociales reales con un tamaño y características adecuadas es escasa, hemos optado por hacer las simulaciones sobre cuatro redes sintéticas (obtenidas artificialmente, no a partir del muestreo de poblaciones reales) representativas de los cuatro casos extremos que se obtienen combinando valores altos y bajos de conectividad inter-comunidades (CI) y heterogeneidad interna de éstas (HI). Nótese que las redes sociales reales estudiadas podrían encuadrarse en dos de estos cuatro casos. Más concretamente, la de correo correspondería a CI alta y HI baja, mientras que la PGP a CI baja y HI alta. Así, si nuestra hipótesis es correcta, las dos redes sintéticas correspondientes a estos dos casos deberían presentar el mismo tipo de comportamientos que los observados en las redes sociales reales.

#### 6.2.3.1. Construcción de las redes de prueba

Para construir las redes sintéticas hemos seguido los siguientes pasos:

- Separar el conjunto de la población de  $N$  agentes en  $m$  comunidades del mismo tamaño.
- Determinar la estructura interna de cada comunidad. Para los casos en los que necesitábamos una estructura homogénea, hemos utilizado el modelo de Erdős-Renyi (Bollobas, 2001). Para los otros casos, hemos optado por el modelo de Barabási-Albert (1999)<sup>3</sup>.
- Construir la red mediante la conexión de las comunidades. Para ello, hemos definido una probabilidad de conexión entre dos comunidades ( $p_{inter}$ ) y le hemos dado valores altos o bajos para construir, respectivamente, redes con comunidades densa o escasamente conectadas.
- Comprobar la estructura en comunidades de las redes resultantes. Para asegurar la validez de las redes sintéticas es imprescindible que las redes resultantes conserven la división en las  $m$  comunidades determinadas en el primer punto. Para comprobar que esto se cumple, hemos aplicado a las redes resultantes el mismo algoritmo de determinación de comunidades utilizado con las redes sociales reales.

Siguiendo el procedimiento presentado, hemos construido las cuatro redes con  $N=10000$  y  $m=75$ .

---

<sup>3</sup> En el capítulo 3 pueden encontrar-se explicaciones sobre los modelos de Erdős-Renyi y Barabási-Albert.

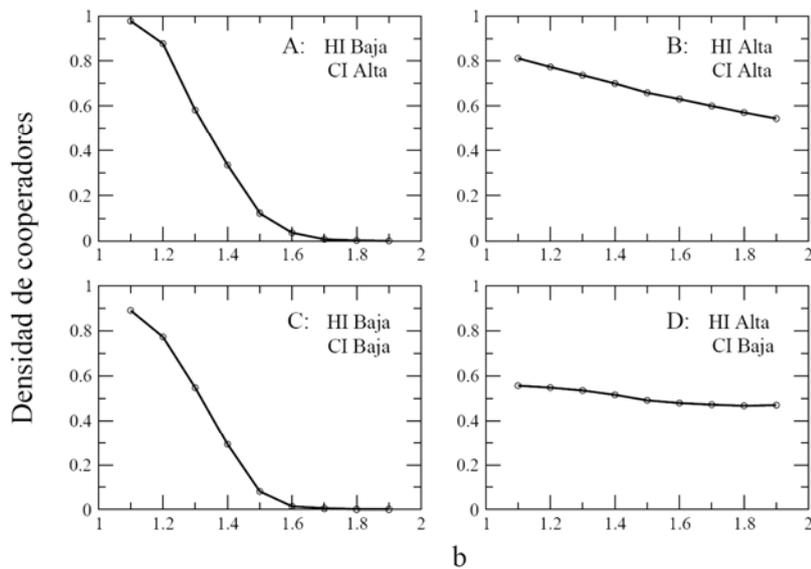
### 6.2.3.2. Resultados

En la Fig. 6.7, mostramos el comportamiento de la cooperación en función de  $b$  para cada una de las cuatro redes construidas.

Si nos fijamos primero en los casos A y D (los equivalentes sintéticos de las redes de correo y PGP, respectivamente) vemos que presentan comportamientos cualitativamente similares a las redes reales estudiadas y, de hecho, los fenómenos observados en las redes se reproducen de una forma acentuada en las redes sintéticas. Mientras que la red del caso D presenta valores de densidad de cooperadores muy similares al inicial (0.5) para todo el rango de valores de  $b$  (demostrando un alto grado de estabilidad), la red del caso A muestra una sensibilidad a los cambios de  $b$  mayor que la observada para la red de correo.

Finalmente, la comparación de estos dos casos con las otras dos gráficas mostradas en la figura 6.7 (casos B y C) permite entender mejor cómo influyen cada una de las dos características mesoscópicas (HI y CI) en las dinámicas de cooperación. Comprobamos, por ejemplo, que incrementar la HI (pasar del caso A al caso B, o del C al D) favorece fuertemente la estabilización frente a cambios en el valor de  $b$ , y que la reducción de la CI (pasar del caso A al C, o del B al D) contribuye en menor medida a la estabilización y disminuye los valores de la densidad de cooperadores.

Como conclusión de este ejercicio de comprobación, podemos afirmar que: (1) Las características mesoscópicas estudiadas (HI y CI) son suficientes para explicar el comportamiento de las dos redes reales, confirmando nuestra hipótesis; (2) Aunque las dos propiedades tienen efectos distintos sobre la dinámica de cooperación, es necesario el efecto combinado de ambas para reproducir los comportamientos observados (no se puede pasar, por ejemplo, del caso A al D modificando sólo una de las características).



**Fig. 6.7** Evolución de la cooperación en cuatro redes sintéticas. Los casos A y D corresponden, respectivamente, a las versiones artificiales de las redes sociales reales de correo electrónico y de PGP. En el caso A, las comunidades se han construido mediante el modelo de Erdős-Renyi ( $p=1.5 \cdot 10^{-1}$ ), y una probabilidad de interconexión entre comunidades ( $p_{inter}$ ) de  $5 \cdot 10^{-2}$ . Las comunidades del caso D se han obtenido como redes libres de escala (scale-free) independientes, y después se han conectado ( $p_{inter}=1.5 \cdot 10^{-5}$ ). El caso B se ha obtenido a partir del D incrementando la  $p_{inter}$  hasta  $3.4 \cdot 10^{-4}$ , y el caso C corresponde al A reduciendo la  $p_{inter}$  a  $7.5 \cdot 10^{-4}$ .

### 6.3. Conclusiones y futuras líneas de trabajo

La principal conclusión del trabajo realizado es que la organización de una población en comunidades efectivamente puede influenciar el comportamiento de los individuos que la forman en términos de cooperación, y que esta influencia depende de ciertas características estructurales. Concretamente, hemos detectado dos de estas características estructurales mesoscópicas (correspondientes a un nivel intermedio, de comunidades): La conectividad entre las comunidades y la estructura interna de cada una de ellas.

Dada la generalidad de esta conclusión y las nuevas posibilidades de investigación que se pueden establecer a partir de este trabajo, dedicaremos los siguientes puntos a interpretar los resultados obtenidos desde el punto de vista del Desarrollo Sostenible y plantear posibles líneas futuras de investigación.

*6.3.1. Interpretación de los resultados obtenidos en el experimento.*

La aplicación de las conclusiones de nuestro trabajo a casos concretos pasa por tener presentes las dos variables del experimento: La tentación individualista, y las propiedades estructurales de la organización bajo estudio.

Por ejemplo, imaginamos un escenario en lo que queremos aplicar las conclusiones de este trabajo a la organización de un proyecto de participación en el que diferentes grupos y organizaciones locales de naturaleza diversa, que corresponderían a las comunidades, tienen que colaborar de forma puntual en la planificación de algún proyecto o acción posterior. Como en este caso los individuos tendrían un valor bajo del parámetro  $b$  (porque estarían predispuestos a la cooperación), y las gráficas de la Fig. 6.4 nos dicen que la red de correo electrónico se comporta mejor (favorece más la cooperación) para  $b$  bajas, nos interesaría reproducir una estructura organizativa parecida a la de la red de correo, con muchas conexiones entre miembros de diferentes comunidades y sin la necesidad de un control o consenso claro dentro de cada comunidad.

En cambio, en un escenario de trabajo más general y continuado en el tiempo en el que, por ejemplo, diversos grupos de investigación de disciplinas diferentes (las comunidades) tuvieran que colaborar, tendríamos que tener en cuenta la posibilidad de que la predisposición a la cooperación fuera disminuyendo, y los individuos tendieran a una actitud individualista. En este caso, la mejor opción desde el punto de vista de la cooperación hacia un objetivo común sería una topología del tipo PGP, con referencias claras dentro de cada comunidad (mediante jerarquías bien definidas con responsables predispuestos a la cooperación, por ejemplo) y colaboraciones entre grupos más bien escasas.

Por otra parte, las conclusiones también se podrían aplicar a la inversa, es decir, hacer un diagnóstico de la 'fragilidad' de la cooperación en el seno de un grupo de individuos a partir de una estructura organizativa dada. Por ejemplo, si en el caso del párrafo anterior nos encontráramos con una estructura organizativa previa más parecida a la red de correo electrónico que en la red de PGP y no la pudiéramos cambiar, tendríamos que tener en cuenta la importancia de mantener un clima de predisposición a la cooperación y la motivación hacia un objetivo común, porque los comportamientos individualistas podrían minar la cooperación del grupo entero.

### *6.3.2. Posibles mejoras y líneas de trabajo futuras con relación a esta cuestión.*

Tanto los resultados obtenidos como la metodología utilizada en este trabajo se pueden aplicar en futuros trabajos de investigación.

La extensión directa de este trabajo pasaría por buscar otras propiedades relacionadas con la organización en comunidades y determinar su influencia sobre la evolución de la cooperación, además de ampliar el estudio a otras redes sociales obtenidas de escenarios reales en los que sea interesante estudiar la cooperación como, por ejemplo, los proyectos locales de participación o las redes de micro-organizaciones a las que hacíamos referencia al principio del capítulo.

Por otra parte, analizando el trabajo presentado desde el punto de vista de su aplicabilidad a la gestión del conocimiento en organizaciones en general (y, en particular, a aplicaciones como la coordinación de grupos relacionados con el Desarrollo Sostenible o la generación de conocimiento en torno a éste), vemos que el establecimiento de estructuras organizativas similares a la red PGP del trabajo puede resultar interesante para favorecer la 'resistencia' a actitudes egoístas. En cambio, otros trabajos de la literatura como (Newman, 2003) concluyen que topologías parecidas a la de la red de correo electrónico favorecen funciones de las organizaciones relacionadas con el conocimiento como, por ejemplo, la difusión de ideas o la minimización de impactos generados por la falta de algún miembro de la organización. Una investigación más profunda centrada en el papel de la organización en comunidades, podría conducir a la determinación de estructuras organizativas mixtas (a medio camino entre las redes PGP y de correo que hemos visto) que presentaran buenos comportamientos tanto con respecto a favorecer la cooperación como a las otras características comentadas.

Con respecto a la metodología utilizada en este trabajo, basada en estudiar la influencia de redes sociales obtenidas a partir de la prospección de escenarios reales sobre comportamientos sociales modelizados con algoritmos procedentes de la teoría de juegos, su uso podría extenderse a otras aplicaciones de interés desde el punto de vista del Desarrollo Sostenible ya mencionadas en otros puntos de esta tesis como, por ejemplo, la difusión de ideas en procesos de concienciación.

## 7. RESILIENCIA EN SISTEMAS ECONÓMICOS REGIONALES

En este capítulo estudiamos cómo los aspectos organizativos condicionan la capacidad de adaptación y reacción de los sistemas económicos regionales frente a alteraciones de su entorno socioeconómico, es decir, analizamos cómo incide la manera de organizarse de los agentes locales y regionales sobre la resiliencia de la economía local y regional. Más concretamente, hemos utilizado un modelo computacional multiagente para reproducir numéricamente las conclusiones cualitativas de un trabajo anterior sobre esta cuestión. Desde el punto de vista del estudio de los aspectos sociales del Desarrollo Sostenible, el tema tratado aquí puede relacionarse con algunos de los discursos de autores como Max-Neef o Schumacher referenciados en el capítulo 4.

El capítulo se estructura en tres partes. La primera introduce, a partir de lo ya comentado en el capítulo 4, el concepto de resiliencia en sistemas económicos, su interés desde el punto de vista del Desarrollo Sostenible y, finalmente, la relación entre la diversidad (entendida de forma amplia) y este tipo de resiliencia. En la parte central del capítulo, presentamos el trabajo en el que nos hemos basado (y que ha sido ampliamente referenciado en la literatura sobre sistemas económicos regionales) y, utilizando un modelo computacional, reproducimos y comentamos sus conclusiones. Finalmente, el tercer apartado del capítulo está dedicado a la interpretación de los resultados obtenidos desde de la óptica del Desarrollo Sostenible (centrándonos especialmente en la relación entre resiliencia en sistemas socioeconómicos y diversidad), y proponemos posibles extensiones del trabajo presentado.

### **7.1. Resiliencia de sistemas socioeconómicos regionales y Desarrollo Sostenible. El papel de la diversidad.**

#### *7.1.1. Resiliencia de sistemas socioeconómicos regionales y Desarrollo Sostenible.*

Una de las ideas en la que más insistimos en el capítulo de la tesis dedicado al concepto del Desarrollo Sostenible, es que el DS no debe verse como un estado estático y permanente sino como un *proceso*, algo dinámico orientado a asegurar la continuidad a largo plazo de ciertos servicios prestados por los sistemas naturales (alimentación, eliminación de residuos, energía, ocio, etc.)<sup>4</sup>, que constituyen la base del sistema social-cultural. En ese capítulo afirmamos además que, dado

---

4 En (Costanza *et al.*, 1998) se desarrolla esta idea de los servicios prestados por los ecosistemas a la Sociedad.

que las interacciones entre los sistemas sociales y naturales son diferentes en cada lugar y cambiantes en el tiempo, la consecución de este objetivo implica una gran flexibilidad y capacidad de adaptación a entornos y situaciones cambiantes. Resumiendo, concluimos que un desarrollo sostenible requiere de los sistemas sociales la capacidad de adaptarse a un entorno variable para asegurar su propia continuidad a largo plazo. Más adelante, en el capítulo 4, presentábamos el concepto de resiliencia que, aplicado a sistemas, corresponde a la capacidad de 'encajar' las perturbaciones externas adaptándose y reorganizándose para poder seguir manteniendo niveles óptimos de ciertas funcionalidades. Enlazando estas dos ideas, hablar de DS implica necesariamente analizar cómo la estructura social y otras características intrínsecas de los sistemas socioeconómicos influyen en su resiliencia, tal y como se afirma en (Turner *et al.*, 2003), un trabajo que pretende establecer las bases del análisis de vulnerabilidades (*vulnerability analysis*) en el marco de la sostenibilidad<sup>5</sup>.

Por otra parte, otra de las ideas desarrolladas en el capítulo 2 entorno al concepto de DS, era la importancia de la proximidad geográfica. Efectivamente, si un desarrollo sostenible implica una mayor conciencia de las interdependencias entre los sistemas sociales y naturales, y sabemos que los escenarios son distintos en cada lugar, llegamos a la conclusión de que la definición de las prioridades de los sistemas sociales, así como el diseño de las estrategias para implementarlas deben llevarse a cabo, preferentemente, en el mismo entorno geográfico. En otras palabras, cada región tiene sus peculiaridades (tanto en necesidades como recursos) y la política económica (orientada a la gestión de los recursos para satisfacer las necesidades) debe tener eso en cuenta. Una estrategia adoptada con éxito en un lugar puede no ser adecuada para otro y, de la misma manera, las estrategias diseñadas desde la distancia sin tener en cuenta las particularidades (tanto ambientales como sociales) del lugar en el que van a ser implementadas, corren el riesgo de fracasar<sup>6</sup>.

Teniendo en cuenta estas dos ideas (relación entre DS y resiliencia e importancia del factor proximidad), el trabajo presentado aquí es interesante desde el punto de vista del DS porque incide en como diferentes aspectos de la organización social a nivel regional (que, como decíamos en capítulos anteriores, es una expresión de la complejidad intrínseca de los sistemas

---

5 Entendemos por *vulnerabilidad*, el grado de daño sufrido por un sistema, subsistema o componente de un sistema debido a la exposición a determinado peligro, perturbación o elemento estresante. Tradicionalmente, el análisis de vulnerabilidades se ha centrado en la naturaleza y magnitud de las perturbaciones, obviando aspectos como la estructura y dinámicas internas del sistema estudiado que pueden condicionar, por ejemplo, la capacidad del sistema para adaptarse a la perturbación o, por el contrario, amplificar sus consecuencias (Turner *et al.*, 2003).

6 Nótese que esta conclusión es coherente con el discurso de Schumacher (1973) respecto al impacto del tamaño de las organizaciones y la 'belleza de lo pequeño'.

socioeconómicos) favorecen un mayor o menor nivel de resiliencia a cambios en el entorno socioeconómico.

### 7.1.2. *La diversidad como factor de resiliencia de sistemas socioeconómicos*

En el apartado dedicado a la resiliencia en el capítulo 4, explicábamos que la aproximación más común a este concepto en la literatura sobre redes complejas es estrictamente estructural, pero que es posible plantear la resiliencia de una forma más amplia. Por una parte, se pueden tener en cuenta otras formas de perturbación externa al sistema (a parte de la eliminación de vértices, ya sea aleatoria o fruto de un ataque intencionado). Por la otra, se puede analizar el efecto de esas perturbaciones externas sobre diferentes tipos de funcionalidad (más allá de la conectividad en sí misma), y explorar de qué manera ciertas propiedades del sistema (no necesariamente estructurales) pueden mejorar su resiliencia a esas perturbaciones externas.

La diversidad (entendida, de una forma amplia, como heterogeneidad de perspectivas, comportamientos, características, perfiles, etc.) es una de esas propiedades que pueden contribuir al incremento de la resiliencia de los sistemas a cierto tipo de cambios externos. Un ejemplo clásico, puesto de manifiesto por la Ecología (Peterson *et al.*, 1998), es la relación entre biodiversidad y resiliencia de los ecosistemas a alteraciones de su entorno. También hay ejemplos de incremento de resiliencia de sistemas sociales debido a la diversidad. En mercados financieros, por ejemplo, se tiende a diversificar la cartera de inversión a fin de minimizar los riesgos derivados de cambios imprevistos (Markowitz, 1970).

En línea con esta idea de que la diversidad puede contribuir a la resiliencia de los sistemas sociales, hemos estudiado como la introducción de heterogeneidad en determinados aspectos organizativos puede mejorar la resiliencia de ciertos sistemas sociales a entornos socioeconómicos inciertos. Nuestro punto de partida es un caso de estudio ampliamente referenciado en la literatura sobre distritos industriales y desarrollo regional (Saxenian 1994). De la misma manera que otros trabajos dedicados a casos particulares de distritos industriales “Marshallianos”<sup>7</sup>, como la Tercera Italia<sup>8</sup> (Piore y Sabel 1984) o el Condado de Orange (Scott y Paul 1990), este trabajo pone el acento en el papel desarrollado por empresas pequeñas e innovadoras, inmersas en una red de colaboraciones

---

7 Se utiliza el calificativo “Marshalliano” para indicar la influencia o parecido con un modelo de distrito industrial, propuesto por Alfred Marshall en su libro *Principles of Economics* (Marshall, 1891), basado en pequeñas empresas altamente especializadas y flexibles.

8 Recibe el nombre de ‘Tercera Italia’ el área geográfica que comprende el noreste y centro de Italia (las otras dos Italias serían el noroeste y el sur). Se trata de regiones que experimentaron una fuerte industrialización después de la Segunda Guerra Mundial.

cruzadas a nivel regional que les facilita el desarrollo de la innovación y la gestión de crisis (Freeman 1995). En este caso concreto estudiado por Saxenian, la autora describe dos polos industriales estadounidenses de alta tecnología con características organizativas completamente diferentes (Silicon Valley y Boston's Route 128), y establece un vínculo entre esas diferencias a nivel organizativo y la, completamente opuesta, evolución experimentada por ambos distritos industriales a finales de los 1980's. En esa época, el mercado internacional de la electrónica se volvió extraordinariamente competitivo e incierto ante, entre otros motivos, la irrupción de los Tigres asiáticos (Hong Kong, Singapur, Corea del Sur, y Taiwán) y, mientras Silicon Valley se adaptó a la nueva situación y se convirtió en un modelo a escala mundial, Boston Route 128 no pudo responder a la incertidumbre del nuevo escenario y sufrió una importante crisis.

En la descripción hecha por Saxenian de los dos distritos industriales, Silicon Valley aparece como una densa red de empresas cuya organización era flexible, y la información fluía con cierta libertad entre compañías (incluso, a veces, competidoras), una red que también comprendía centros de investigación y organismos públicos locales y regionales. Además, Saxenian interpreta los altísimos niveles de cambio de trabajo y de creación de empresas como un indicador de iniciativa individual e independencia por parte de los profesionales. En cambio, describe Boston's Route 128 como un escenario dominado por grandes corporaciones altamente autárquicas y muy jerárquicas, en las cuales la toma de decisiones era centralizada y el grueso de la compañía obedecía de forma 'sincronizada'.

Nótese que lo observado por Saxenian puede verse como un ejemplo concreto que ilustra lo que decíamos más arriba respecto a la relación entre diversidad y resiliencia. Primero, ambos distritos industriales eran sistemas económicos orientados a la creación y difusión de innovaciones (la funcionalidad a mantener). Segundo, la autora destaca que el incremento en el dinamismo y competitividad del mercado de la electrónica a finales de los 80 lo convirtió en un escenario incierto (la perturbación o efecto externo que amenaza la funcionalidad). Finalmente, Saxenian atribuye a la heterogeneidad de ciertas características organizativas de Silicon Valley, especialmente su particular estructura social y su riqueza de iniciativas individuales, la gran capacidad de Silicon Valley para adaptarse al nuevo escenario.

Sin embargo, esta interpretación del trabajo de Saxenian desde la perspectiva de la resiliencia es únicamente cualitativa. Para profundizar en este y otros casos de estudio parecidos, necesitamos describir la heterogeneidad cuantitativamente y definir algún tipo de indicador de resiliencia para

poder medirla. Para poder hacer esta aproximación cuantitativa al problema, hemos construido un modelo simplificado de los sistemas de innovación a partir de las descripciones de Saxenian, y hemos observado la evolución de su funcionalidad en términos de eficiencia en diferentes situaciones (desde muy tranquilas a altamente competitivas).

En el siguiente apartado de este capítulo damos más detalles sobre la construcción de los modelos, incidiendo especialmente en cómo hemos incorporado las observaciones de Saxenian y hemos cuantificado la funcionalidad de sistema de innovación. También presentamos e interpretamos los resultados numéricos obtenidos y, finalmente, mostramos pruebas adicionales realizadas para comprobar la robustez del modelo.

## **7.2. Modelizando el efecto de la diversidad sobre la resiliencia de las organizaciones en situaciones de incertidumbre socioeconómica.**

### *7.2.1. Difusión de innovaciones a través de redes sociales.*

Dado que pretendemos modelar ambos distritos industriales como sistemas de innovación, tenemos que empezar por hacer un pequeño repaso a la investigación existente respecto a la difusión de innovaciones en sistemas sociales.

En el capítulo 3 de esta memoria veíamos la importante contribución de E.M. Rogers al estudio de la difusión de innovaciones. Partiendo de su clasificación en cinco roles (ilustrada en la Fig. 3.1), muchos científicos han centrado su trabajo en el papel que juega el comportamiento individual en los procesos de difusión de innovaciones, y como la decisión de adoptar o no una innovación viene condicionada por las decisiones adoptadas previamente por otros. Una de las aproximaciones más comunes a esta cuestión son las '*bandwagon theories*'<sup>9</sup>, basadas en la idea de que cada nueva adopción de la innovación ocurrida en una población incrementa la presión a favor de adoptarla sobre los individuos que no lo han hecho todavía. Cada individuo tiene un cierto umbral (*threshold*) de resistencia a esta presión, que puede ser alcanzado conforme nuevas adopciones incrementan la presión. Si eso ocurre, el individuo deja de resistirse y adopta la innovación, contribuyendo así a incrementar la presión sobre los que todavía no han adoptado. En la literatura podemos encontrar diferentes tipos de presión a favor de adoptar, relacionados con conceptos como la rentabilidad

---

<sup>9</sup> Hemos conservado la expresión original '*bandwagon theories*' dado el origen de su significado: [http://en.wikipedia.org/wiki/Bandwagon\\_effect#Origin\\_of\\_the\\_Phrase](http://en.wikipedia.org/wiki/Bandwagon_effect#Origin_of_the_Phrase)

(*profitability*) (Davies 1979), el aprendizaje (Mansfield 1961) o las modas (Meyer y Rowan 1977).

Sin embargo, no es realista asumir que cuando un individuo adopta una innovación toda la población lo percibe, y que el incremento de presión sobre todos los que todavía no han adoptado sea el mismo independientemente de su relación o semejanza con el que la ha adoptado. Siguiendo este razonamiento, encontramos trabajos que estudian cómo afecta al alcance y velocidad de la difusión de innovaciones el hecho de que las poblaciones reales estén organizadas según patrones estructurales complejos (Burt 1981) (Granovetter 1985). Estos trabajos subrayan el papel de las redes sociales como canales de difusión de información útil respecto a las innovaciones y las adopciones anteriores (por ejemplo, cuántos individuos cercanos la han adoptado) (Burt 1987). Debido a esta función del sustrato social, la cantidad de información de que dispone un individuo que se plantea adoptar o no una innovación, depende de la estructura social y de su posición concreta en la red (Abrahamson y Rosenkopf 1997).

Para poder profundizar en esta influencia de los comportamientos individuales y de la estructura de las organizaciones sobre la difusión de innovaciones, muchos científicos han desarrollado modelos computacionales. Podemos encontrar excelentes recopilaciones e ideas generales sobre ellos en (Valente 1995), (Abrahamson y Rosenkopf 1997) y (Valente 2005).

### 7.2.2. *Un modelo simple de difusión de innovaciones tecnológicas*

Nuestros modelos de ambos escenarios descritos por Saxenian están basados en un modelo muy simple de difusión de innovaciones presentado por Guardiola y colaboradores en (Guardiola *et al.* 2002). En este modelo, el sistema está formado por una población de  $N$  agentes que forman una red constituida por  $E$  enlaces. Cada agente está caracterizado por una variable real  $a_i$ , que podemos interpretar, por ejemplo, como su nivel tecnológico. El otro parámetro importante del modelo es la resistencia al cambio  $C$ . Cuando un agente  $i$  incrementa su valor  $a_i$ , todos sus vecinos (los agentes a los que está conectado) advierten el cambio y evalúan si les interesa o adoptar el incremento de nivel. Para ello, comparan su interés (la presión que reciben) por el incremento (correspondiente a la diferencia entre los valores de  $a$  de los dos agentes) con la resistencia al cambio  $C$ . De esta manera, el valor de  $C$  controla la imitación entre agentes, mecanismo clave del proceso de difusión.

La dinámica del modelo consiste en la repetición de las siguientes operaciones:

1. A cada paso de tiempo, se escoge aleatoriamente un agente  $i$  y se incrementa el valor de  $a_i$  :

$$a_i \rightarrow a_i + \Delta_i$$

donde  $\Delta_i$  es una variable aleatoria de media  $\lambda$ .

2. Todos los agentes  $j \in \Gamma(i)$ , donde  $\Gamma(i)$  es el conjunto de vecinos del agente  $i$ , deciden si quieren incrementar su nivel o no en función de la siguiente regla:

$$a_i - a_j \geq C \Rightarrow a_j = a_i$$

donde  $C$  es, por simplicidad, una constante (la misma para todos los agentes)

3. Si algún agente  $j \in \Gamma(i)$  imita a  $i$ , sus correspondientes vecinos advierten esta nueva adopción y tienen la oportunidad de decidir si adoptan o no, iniciando una avalancha de imitaciones que concluye cuando ningún agente quiere cambiar su nivel  $a$ . Asumimos que la escala de tiempo del proceso de imitación es mucho más pequeña que la de los incrementos aleatorios de  $a_i$  del punto 1, de tal manera que las avalanchas de innovaciones se suceden en el sistema sin coincidir.

Este modelo considera que cada incremento individual del valor de  $a$  implica un coste, que es constante e independiente del nivel tecnológico alcanzado. Teniendo esto en cuenta, una situación ideal sería aquella en la que el sistema alcanza un determinado nivel tecnológico medio con el mínimo coste posible, es decir, con el mínimo número de ajustes (incrementos) individuales posibles. Encontrar la configuración del sistema (que consiste, básicamente, en el valor de  $C$  y la red que vincula a los agentes) que lleve a esa situación óptima no es trivial. Por ejemplo, si  $C$  es bajo, como todos los agentes tienden a adoptar cualquier innovación que aparezca en el sistema, es fácil alcanzar valores altos del nivel tecnológico a costa de realizar muchos ajustes (alto coste). Por el contrario, si  $C$  es alto se produce la situación contraria, el nivel tecnológico medio resultante es bajo porque hay pocas actualizaciones.

Teniendo en cuenta la dificultad de satisfacer este compromiso entre incremento de nivel medio y coste total, resulta útil definir un indicador para averiguar si una configuración concreta del sistema se acerca o no al caso óptimo o, dicho en otras palabras, el grado de adaptación de esa configuración al proceso de difusión de innovaciones. En (Guardiola *et al.* 2002) este indicador macroscópico se llama *mean rate of advance* y se define de la siguiente manera:

$$\rho \equiv \lim_{T \rightarrow \infty} \rho(T) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{\sum_{t=1}^T H(t)}{\sum_{t=1}^T s(t)},$$

Donde  $T$  es el número de ciclos de la dinámica (el número de avalanchas),  $H(t)$  es el incremento total conseguido por el sistema mediante una avalancha (la suma de los incrementos en los valores de  $a$  experimentados por todos los agentes del sistema) y  $s(t)$  corresponde al tamaño de la avalancha (el número de agentes involucrados en ella).

Aunque la simplicidad del modelo lo convierte en un buen punto de partida para un análisis cuantitativo como el que nos planteamos aquí, no es lo suficientemente realista como para reproducir los dos escenarios descritos por Saxenian. Consecuentemente, hemos modificado el modelo de Guardiola y colaboradores para capturar dos características de los distritos industriales descritas en (Saxenian 1994): La topología del sustrato social de cada caso, y los comportamientos individuales de cada agente innovador frente a un proceso de difusión. Hay dos motivos que hacen estas dos características especialmente interesantes desde el punto de vista de nuestro trabajo sobre resiliencia y diversidad. Primero, Saxenian afirma que estas características son dos de las causas de la mayor capacidad de Silicon Valley para adaptarse a los cambios en el escenario económico, es decir, su resiliencia a la incertidumbre del mercado. Segundo, ambos pueden ser descritos en términos de niveles de diversidad de ciertas propiedades organizativas.

### 7.2.3. Modelizando la topología social de ambos distritos industriales

Respecto a la estructura social, Saxenian explica que los profesionales de Silicon Valley utilizaban sus vínculos formales e informales para compartir información entre organizaciones diferentes, mientras que en Boston, debido a la autarquía y el secretismo impuesto, el intercambio de información se limitaba al grupo más cercano (compañía, división, departamento, o equipo de trabajo). Para reproducir estas particularidades estructurales, hemos usado un algoritmo propuesto en (Boguñá *et al.* 2004), al que ya hacíamos referencia más arriba (apartado 3.3). Este modelo permite construir redes con características topológicas similares a las de las redes sociales reales a partir de un parámetro llamado homofilia (*homophily*), que es la preferencia individual de cada uno a establecer y mantener vínculos con gente con la que se tiene algo en común (profesión, aficiones, clase social o tendencias políticas, por ejemplo) (McPherson *et al.*, 2001).

El algoritmo presentado en (Boguñá *et al.* 2004) se basa en la idea intuitiva de que la tendencia de los individuos a establecer vínculos de colaboración o amistad con otros individuos depende, en cierto sentido, de lo próximos que se sientan a ellos. De esta manera, cuantificando o graduando esta percepción de proximidad, se puede calcular la probabilidad de que dos individuos establezcan un enlace. Para ello, Boguñá y sus colaboradores utilizan dos parámetros: la distancia social (*social distance*) entre los individuos en un espacio social definido por una o más características culturales, y la homofilia ya descrita, que aquí se interpreta como el grado de sensibilidad de los individuos a la distancia social en cuanto a establecer y mantener el enlace. Así, dada una distancia social determinada entre dos individuos, cuanto más alta sea su homofilia menor será la probabilidad de que establezcan un enlace entre ellos. A un nivel macroscópico (global de la red), dada una población de agentes con una serie de características culturales, valores altos de homofilia dan lugar a topologías compuestas por escasos enlaces establecidos de una forma muy restrictiva (sólo entre individuos con distancias sociales muy cortas), mientras que homofilias pequeñas favorecen estructuras en las que los enlaces se establecen sin tener muy en cuenta la distancia social.

Volviendo a nuestro caso de estudio, la red de Boston se corresponde con grandes homofilias, porque los innovadores tienden a intercambiar información en grupos cerrados y homogéneos (con pequeñas distancias sociales). En cambio, Silicon Valley presentaría valores bajos de homofilia, debido a las interacciones entre organizaciones y grupos diferentes. A partir de este punto, y respetando la nomenclatura propuesta en (Boguñá *et al.* 2004), utilizaremos el símbolo  $\alpha$  para referirnos a la homofilia.

### 7.2.4. Modelizando la heterogeneidad de comportamientos individuales

La alta iniciativa individual e independencia de los profesionales observada en Silicon Valley, puede ser representada como una amplia diversidad de alguna característica individual de los agentes relacionada con su comportamiento (para resaltar la idea de que cada individuo tiene su propia perspectiva). En cambio, la rígida jerarquía y la obediencia presentes en Boston correspondería a una configuración más uniforme donde, una vez tomadas las decisiones, los agentes actuaran de la misma forma.

Nótese que, en el modelo de difusión de innovaciones descrito más arriba, el comportamiento individual de los agentes se limita a la capacidad de decidir si adoptan o no las innovaciones (los incrementos de la variable  $a$ ). Dado que esta decisión depende del valor de la resistencia al cambio

$C$ , una manera sencilla y directa de introducir diversidad en los comportamientos individuales en el modelo, es permitir que cada uno de ellos tenga su propia resistencia al cambio. Para explicar adecuadamente esta modificación, necesitamos introducir un nuevo concepto que hemos denominado *perfil de resistencias* (*resistance profile*).

El perfil de resistencias de un sistema es un concepto similar al de distribución de grados en una red que presentábamos en el apartado 3.3, y podría definirse como la distribución de probabilidades de que un agente del sistema elegido al azar presente un valor determinado de resistencia al cambio. Por ejemplo, como en el modelo original de (Guardiola *et al.* 2002) todos los agentes presentaban la misma resistencia al cambio, el perfil de resistencias sería una función Delta (es decir, 1 para un valor concreto de  $C$  y 0 para el resto). Este perfil de resistencias no es ni mucho menos realista, ya que en un escenario real esperaríamos encontrar cierta dispersión de los valores de resistencia alrededor del valor medio. Por lo tanto, si queremos reproducir artificialmente un perfil de resistencias realista, tenemos que asignar los valores de  $C$  de los agentes siguiendo una distribución de probabilidad más amplia. Además, para reproducir un escenario con una gran variedad de comportamientos (un perfil de resistencias amplio) necesitamos una distribución con una varianza elevada. Y al contrario, una varianza pequeña generaría un perfil de resistencias estrecho, simulando un escenario muy homogéneo.

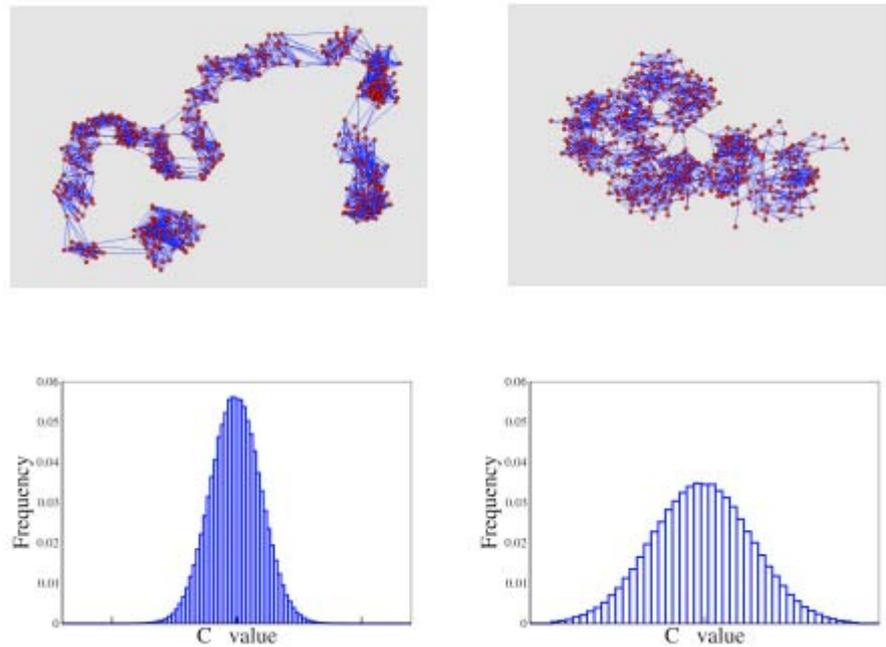
Dados esos requisitos, hemos utilizado una distribución de probabilidades Gaussiana con una varianza elevada para reproducir la heterogeneidad de Silicon Valley, y otra de varianza pequeña para Boston Route 128. Por lo tanto, la función de distribución de probabilidades que describe el perfil de resistencias es la siguiente:

$$P(C) = \frac{1}{\sqrt{2\sigma}} \exp\left(-\frac{(C - \langle C \rangle)^2}{2\sigma^2}\right)$$

Donde  $\langle C \rangle$  es el valor medio de la resistencia al cambio, y  $\sigma$  la desviación estándar que determina el grado de heterogeneidad del comportamiento individual.

Resumiendo, hemos desarrollado un modelo simple de difusión de innovaciones a través de un sustrato social caracterizado por dos propiedades organizativas: La topología de la red social y el comportamiento individual de los agentes frente a un proceso de difusión de innovaciones. El primer escenario (Silicon Valley) presenta altos niveles de diversidad en ambas propiedades. En cambio, tanto el patrón relacional como los comportamientos individuales son más homogéneos en

el segundo escenario (Boston Route 128). En la Fig. 7.1 representamos las diferencias entre los distritos industriales simulados.



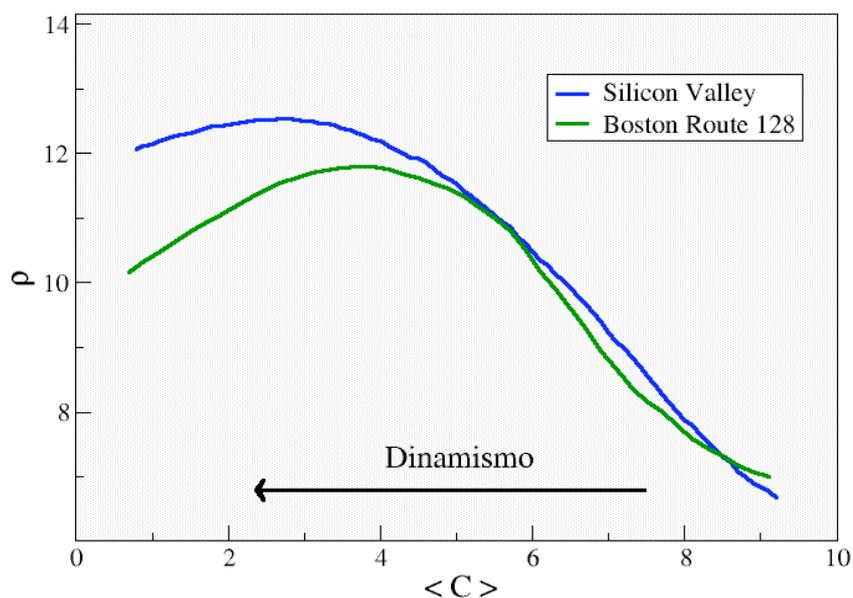
**Fig. 7.1.** Características de los modelos sintéticos representando Silicon Valley (derecha) y Boston Route 128 (izquierda). Para cada configuración, mostramos la topología (arriba) y el perfil de resistencias (abajo). Ambos modelos están compuestos por 500 agentes.

#### 7.2.5. Resultados

Una vez diseñadas las dos versiones del modelo original que reproducen los dos distritos industriales, ya se pueden hacer simulaciones de procesos de difusión de innovaciones y analizar el comportamiento de cada uno de los modelos. Para medir la capacidad de adaptación de cada modelo a diferentes escenarios, utilizaremos la *mean rate of advance*, previamente definida. Pero también tenemos que definir una variable independiente que represente los cambios o dinamismo del escenario y, para ello, volveremos a recurrir a la idea de utilizar la resistencia a los cambios para representar los comportamientos individuales. En un entorno muy dinámico, los agentes económicos tienden a adoptar las novedades fácilmente debido a la competencia (intentan minimizar el riesgo de pérdida de ventaja competitiva en el caso de que la innovación 'funcione') (Abrahamson y Rosenkopf 1993) y, consecuentemente, el valor medio de la resistencia al cambio es bajo. Por el contrario, en una situación tranquila y estable (cuando la competencia es menor), se vuelven más conservadores y la resistencia al cambio aumenta. Por lo tanto, podemos asumir que

valores medios de la resistencia al cambio en una población son bajos en situaciones estables y altos en situaciones dinámicas. Teniendo esto en cuenta, hemos expresado el dinamismo del entorno como el opuesto de la resistencia media al cambio en la población.

En la Fig. 7.2 se muestra la evolución de  $\rho$  en función del dinamismo económico para ambas configuraciones. Podemos observar que, mientras para valores bajos del dinamismo las curvas son muy similares, las diferencias se hacen evidentes para escenarios más dinámicos. La curva correspondiente a Silicon Valley alcanza valores superiores a los de Boston Route, y cuando empieza a declinar el valor de  $\rho$  para Boston Route ya a perdido aproximadamente un 15% respecto a su máximo. Dado que interpretamos la *mean rate of advance* como un indicador del nivel de funcionalidad de cada distrito industrial (en términos de difusión de innovaciones) en cada situación, estos resultados implican que la configuración organizativa correspondiente a Silicon Valley se adapta mejor a escenarios más competitivos que la de Boston Route. Resiste (e, incluso, aprovecha) niveles medios y altos de dinamismo, y empieza a perder funcionalidad (aunque muy lentamente) sólo cuando la competitividad es realmente alta.



**Fig. 7.2.** Evolución de la adaptabilidad de cada uno de los sistemas regionales simulados, en términos de *mean rate of advance*, en función del dinamismo del entorno (calculado como el opuesto de la resistencia media al cambio). Estos resultados han sido obtenidos promediando 100 realizaciones independientes, cada una de las cuales consistente en 5000 iteraciones de la dinámica de tres pasos presentada arriba.

A la vista de que las únicas diferencias entre los modelos son las indicadas en la Figura 7.1, y que el modelo de partida es muy simple (por lo que no cabe plantearse que algún otro parámetro, fuera de nuestro control, pudiera introducir diferencias adicionales), concluimos que la mejor adaptación mostrada por el modelo de Silicon Valley se debe a su diversidad en términos del sustrato relacional y perspectivas e iniciativas individuales.

Esta conclusión sirve de apoyo cuantitativo al paralelismo establecido más arriba en el texto de forma cualitativa: El trabajo de Saxenian respecto a los comportamientos de Silicon Valley y Boston Route 128 frente a los cambios en el mercado de la electrónica de finales de los 1980's, puede ser interpretado como un ejemplo de la diversidad como factor de resiliencia en sistemas socioeconómicos. Es decir, que podemos afirmar que la heterogeneidad en ciertas características organizativas de sistemas económicos regionales frente a escenarios de incertidumbre de la misma manera que, por ejemplo, se da por hecho que la ausencia de concentradores (*hubs*) en redes de comunicaciones mejora su resiliencia (en términos de conectividad) a ataques intencionados.

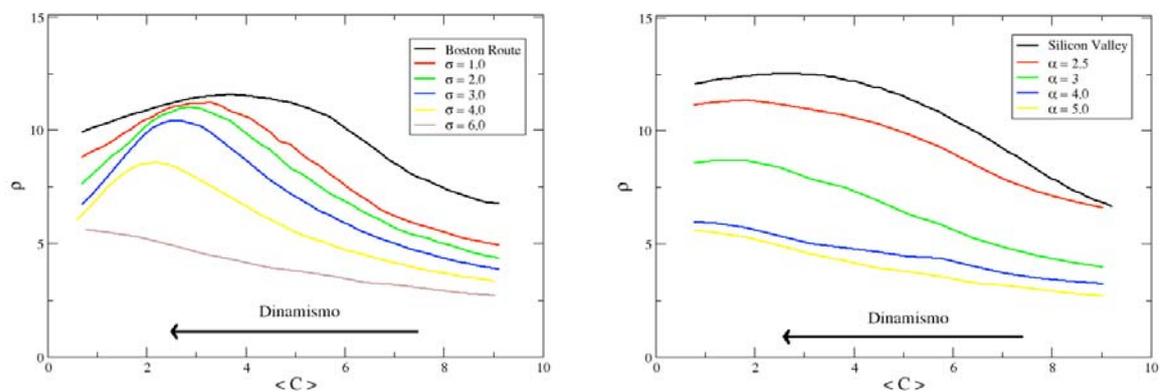
#### 7.2.6. Comprobando la robustez del modelo

Llegados a este punto, hemos comprobado que la configuración correspondiente Silicon Valley alcanza valores de  $\rho$  superiores, y que presenta una respuesta mejor a situaciones muy dinámicas. Sin embargo, todavía nos queda una cuestión por aclarar: ¿En qué medida este resultado depende realmente del efecto combinado de las dos características (baja homofilia y ancho perfil de resistencias) o, por el contrario, podría obtenerse a partir de una sola de ellas? A fin de aclarar este punto, hemos computado varias configuraciones alternativas, obtenidas como variaciones de las dos anteriores. Los resultados se muestran en Fig. 7.3a y Fig. 7.3b.

En Fig. 7.3a, representamos los resultados correspondientes a configuraciones obtenidas manteniendo el perfil de resistencias de Silicon Valley, y aumentando el valor de la homofilia. La consecuencia más evidente de aumentar la homofilia (y, por lo tanto, limitar los vínculos entre agentes diferentes), es la reducción de los valores de  $\rho$ . Este fenómeno se puede explicar a partir de la limitación al alcance de cada agente que supone aumentar la homofilia: Nótese que, cuanto mayor es la homofilia, menor es la parte del sistema abarcada por un agente a través de sus vecinos directos.

Las curvas representadas en la Fig. 7.3b corresponden a configuraciones que se han obtenido a

partir de la de Boston Route, cambiando la varianza de su perfil de resistencias. En este caso, observamos que el incremento en la amplitud del perfil de resistencias (es decir, de la heterogeneidad de comportamientos individuales) tiene dos consecuencias principales: Una reducción de los valores de  $\rho$ , y un desplazamiento del máximo hacia situaciones más dinámicas. El primero de los fenómenos puede relacionarse con la traba que supone, para la difusión de innovaciones, la gran variedad de valores  $\sigma$  de resistencia al cambio. El segundo es coherente con la idea, ya presentada más arriba en este capítulo, de que la diversificación es una buena estrategia contra la incertidumbre.



**Fig. 7.3a (izquierda) y 7.3b (derecha).** Efecto de modificar las configuraciones originales incrementando la amplitud del perfil de resistencias (controlado por la desviación  $\sigma$ ), y la homofilia (mediante el parámetro  $\alpha$ ) respectivamente. Igual que en la figura 7.2, estas curvas son el resultado de promediar 100 realizaciones de 5000 pasos de nuestra dinámica.

Adicionalmente, hemos simulado otras posibles variaciones del experimento. Tal y como se muestra en la tabla 7.1, los comportamientos observados en esos casos (resumidos aquí en términos del valor máximo de  $\rho$ , y el valor de  $\langle C \rangle$  para el que se ha alcanzado ese máximo) concuerdan con los explicados más arriba.

A la vista de estos resultados, podemos concluir que ambas características organizativas (baja homofilia y alta diversidad de comportamientos individuales) son necesarios para reproducir el comportamientos de la configuración de Silicon Valley. Por ejemplo, imaginemos que queremos mejorar la tolerancia de Boston Route a escenarios más inciertos (dinámicos). Podríamos intentarlo incrementando la amplitud del perfil de resistencias (o, dicho en términos 'organizativos', estimulando la iniciativa individual en el seno de las compañías), pero manteniendo un valor alto de homofilia (una estructura rígida de grupos cerrados). Por lo que vemos en la tabla 7.1, el resultado

de dicho experimento sería que efectivamente la resiliencia del sistema regional en escenarios dinámicos aumentaría, pero a costa de una reducción generalizada del valor de adaptabilidad.

		$\sigma$		
		0.8	2	6
$\alpha$	2.1	$\rho_{\max.}: 13.74$ < C >: 5	$\rho_{\max.}: 13.1$ < C >: 4	(SV) $\rho_{\max.}: 12.54$ < C >: 2.8
	5	(BR) $\rho_{\max.}: 11.8$ < C >: 3.7	$\rho_{\max.}: 10.99$ < C >: 2.9	$\rho_{\max.}: 10.635$ < C >: 1.83
	7	$\rho_{\max.}: 9.35$ < C >: 2.85	$\rho_{\max.}: 7.15$ < C >: 1.75	$\rho_{\max.}: 5.49$ < C >: 0.75

**Tabla 7.1.** Máximo valor de adaptación ( $\rho_{\max.}$ ) y su posición (<C>) para nueve configuraciones diferentes definidas por su ( $\alpha$ ) y la desviación estándar de su perfil de resistencias ( $\sigma$ ). Se han señalado las configuraciones correspondientes a (SV) y Boston Route (BR) como referencia. A pesar de que ambos parámetros del modelo inciden sobre la posición y valor máximo de la adaptabilidad, la dependencia respecto a  $\alpha$  parece ser más fuerte (ver texto para una explicación).

### 7.3. Conclusiones y futuras líneas de trabajo

Resumiendo, el trabajo presentado aborda el papel de la diversidad como factor que favorece la resiliencia de las organizaciones frente a entornos socio-económicos inciertos. A partir de las descripciones de un trabajo anterior (Saxenian, 1994), que relaciona ciertas características organizacionales con la capacidad de los distritos industriales de adaptarse a escenarios altamente competitivos, hemos construido un modelo computacional muy simple para estudiar el efecto de introducir diferentes grados de diversidad en dichas características.

En los siguientes puntos interpretamos los resultados obtenidos desde el punto de vista del Desarrollo Sostenible, y planteamos posibles extensiones de la metodología utilizada.

### *7.3.1. Implicaciones de este trabajo desde la perspectiva del Desarrollo Sostenible*

La principal conclusión del trabajo presentado, que coincide con la de Saxenian en (1994), es que la estructura social y otras características de los sistemas socioeconómicos regionales condicionan la resiliencia de éstos a entornos cambiantes. Aunque en el ejemplo abordado en este capítulo, el factor perturbador que amenaza la funcionalidad del sistema es la competitividad del mercado en el que trabajaban las empresas de los dos distritos industriales, la misma conclusión podría aplicarse a otro tipo de amenazas o fuentes de incertidumbre, ya sea de tipo social o ambiental.

En (Gerstlberger, 2004) encontramos un ejemplo que, además, nos devuelve al discurso sobre la relación entre resiliencia, DS y desarrollo regional del principio de este capítulo. En ese trabajo se comparan diferentes modelos de Sistemas de Innovación Regional (SIR) y se presenta a Silicon Valley como ejemplo paradigmático de SIR orientado exclusivamente a objetivos económicos, dejando de lado los otros dos aspectos del DS: Los sociales y los ambientales (ver capítulo 2 para un desarrollo sobre la idea de los tres pilares del DS). Durante la década de los 80, se fue estableciendo una densa red de interacciones entre los diferentes actores sociales regionales, que aunaron esfuerzos para crear un SIR basado en alta tecnología: El sistema educativo proporcionaba todo tipo de profesionales e investigación, la iniciativa privada soporte económico, la Administración el marco (desde las infraestructuras hasta los espacios de colaboración y sinergias entre actores sociales). Esta situación llevó al escenario descrito por Saxenian con una estructura social regional densamente interconectada y altas cotas de flexibilidad e iniciativa individual, una organización social capaz de adaptarse a cambios en su entorno socioeconómico (como ya hemos visto), y que rápidamente atrajo grandes inversiones exteriores y nueva población para cubrir la creciente demanda de mano de obra.

Sin embargo, la evolución lógica de este modelo economicista llevó al crecimiento de las empresas de Silicon Valley y a una creciente asignación de recursos para atender sus necesidades y prioridades, en detrimento de las de los otros actores sociales regionales. Tal y como muestra Gerstlberger en su trabajo mediante tablas comparativas, esta distribución tan desigual de los recursos regionales a favor de las actividades económicas del sector privado, ha llevado a la degradación de otros aspectos como la educación primaria y secundaria (la que no genera ni investigación tecnológica ni profesionales de alta cualificación), las infraestructuras y los ecosistemas regionales. Estos impactos sociales y ambientales empiezan a derivar, a su vez, en impacto económico, ya que cuestiones como la falta de personal de cualificación media o la incertidumbre respecto al suministro energético, minan la competitividad de las empresas de Silicon

Valley.

De esta manera, siguiendo un modelo de desarrollo estrictamente economicista, Silicon Valley ha llegado a las puertas de otro escenario incierto que amenaza la funcionalidad del sistema socioeconómico. Sin embargo, la organización social regional ya no es la que describía Saxenian (Gerstlberger, 2004): La estructura organizativa es más homofílica y menos densa que entonces, y los altos costes e incertidumbre de la situación han reducido la financiación de tipo capital riesgo, por lo que la iniciativa individual no puede presentar las cotas de antaño. Este escenario hace pensar que SV ha perdido resiliencia y puede tener problemas para adaptarse a la nueva situación, con lo que el objetivo prioritario del modelo de desarrollo (el crecimiento económico) podría resentirse como ya lo están los aspectos sociales y ambientales, tan sólo varias décadas después del escenario descrito por Saxenian.

La otra conclusión importante del trabajo presentado en este capítulo, es que la diversidad es un elemento que favorece la resiliencia de los sistemas socioeconómicos a entornos inciertos. Volviendo a la idea, expuesta más arriba, de buscar el paralelismo entre los ecosistemas y los sistemas socioeconómicos para analizar el papel de la diversidad, esta segunda conclusión está en línea con ciertos discursos de la literatura sobre ecología industrial<sup>10</sup>. En este tipo de bibliografía, se plantea que los sistemas socioeconómicos evolucionan siguiendo patrones parecidos a los de los ecosistemas, de manera que una organización económica sostenible (y, por lo tanto, resiliente a largo plazo) debería parecerse a la de un ecosistema maduro (estable y resiliente). Dado que la mayoría de los ecosistemas maduros se caracterizan por una alta diversidad y una estructura relacional entre organismos compleja (Allenby y Cooper, 1994), es lógico que los sistemas socioeconómicos regionales resilientes presenten también esas características organizativas (Korhonen, 2005).

Finalmente, podemos encontrar ejemplos concretos de regiones cuya economía se basaba en una única actividad industrial y que, tras comprobar la escasa resiliencia de ese modelo a perturbaciones de tipo económico (por ejemplo, deslocalizaciones industriales), ambiental (como el agotamiento de recursos naturales) o social (poca flexibilidad a cambios del contexto legal, por ejemplo), evolucionaron hacia modelos marcados por la diversidad y los patrones relacionales complejos

---

<sup>10</sup> La *ecología industrial* es una disciplina que estudia la organización de los ecosistemas (por ejemplo, los flujos de materia y energía), para aplicar estos conocimientos a la organización de distritos industriales y otro tipo de actividades humanas. Para obtener más información, consultar (Korhonen, 2004) y (Ehrenfeld, 2004).

entre actores sociales regionales. Estos casos difieren significativamente en lo que respecta a localización y características geográficas, pudiendo encontrarlos en el centro de Europa (Gerstlberger, 2004), Norteamérica<sup>11</sup> o América Latina (Helmsing, 2001), por ejemplo.

Resumiendo, el trabajo de modelización desarrollado en este capítulo corrobora la importancia de los aspectos organizativos en general, y de su heterogeneidad en particular, en relación a la resiliencia de los sistemas socioeconómicos regionales. Aunque en el trabajo usado como referencia (Saxenian, 1994) esta cuestión se trata desde un punto de vista estrictamente económico, hay precedentes teóricos y empíricos que inciden en la importancia de estos aspectos organizativos para el desarrollo regional desde un punto de vista transversal, incluyendo los aspectos sociales y ambientales.

### 7.3.2. Posibles extensiones del trabajo presentado

Desde un punto de vista metodológico, el procedimiento utilizado en este trabajo para analizar el caso de estudio, basado en un modelo numérico simple construido a partir de las conclusiones de un análisis cualitativo previo, podría resultar útil para otro tipo de aplicaciones o campos en los que se suelen realizar análisis cualitativos de datos estadísticos masivos.

Además, a nivel conceptual, una de las contribuciones más importantes de este trabajo a la Ciencia de redes es la introducción de la diversidad como elemento clave para incrementar la resiliencia entendida de una forma amplia, no necesariamente ligada a la preservación de la conectividad. Este hecho supone un paso adelante en lo que respecta al estudio, desde el punto de vista de redes complejas, de la robustez funcional de sistemas sociales y conceptos relacionados como la *capacidad adaptativa* (Folke et al., 2002), la *capacidad de aprendizaje colectivo* (Staber y Sydow 2002) o el *análisis de vulnerabilidades* (Turner et al., 2003)).

---

11 Para conocer la experiencia de Ramea, una isla de Nova Scotia (Canada), consultar:  
<http://www.wordplay.com/tourism/communities/ramea1.html>

## **8. CAMBIO SOCIAL DESDE UNA PERSPECTIVA ESTRUCTURAL: ANÁLISIS DINÁMICO DE LA COHESIÓN SOCIAL.**

Tal y como comentábamos más arriba en el capítulo 3, uno de los focos de interés de la Ciencia de Redes son los fenómenos emergentes, es decir, comportamientos del sistema que no pueden explicarse a partir de las características macroscópicas del mismo, sino que requieren profundizar en las interacciones entre sus elementos individuales.

Uno de los fenómenos sociales emergentes que, tradicionalmente, han atraído la atención de los investigadores en sociología son los fenómenos de masas, surgidos de forma más o menos espontánea, que movilizan a grupos de personas diferentes para actuar simultáneamente a favor de alguna causa o, en la mayoría de casos, en contra de una situación que se percibe como amenazadora. Recientemente hemos podido presenciar algunos ejemplos de como este tipo de movilizaciones espontáneas (que, en ocasiones, acaban 'cristalizando' en movimientos más o menos organizados y coordinados) pueden ejercer un gran poder de cambio político y social. Precisamente ese poder para provocar el cambio es lo que hace a estos fenómenos especialmente interesantes desde el punto de vista del DS, ya que, como ya hemos comentado más arriba en varios puntos de la tesis, el camino hacia un modelo de desarrollo sostenible implica cambios a nivel cultural.

En este capítulo presentamos un trabajo en el que, mediante un sencillo modelo computacional, analizamos este tipo de fenómenos relacionándolos con otro concepto clave de la sociología: La cohesión social. El diseño del modelo reproduce un camino causal que enlaza los cambios en el nivel ambiental de tensión o conflicto percibido por una población con las variaciones, tanto a nivel estructural como cognitivo, de su cohesión social. Sometido a variaciones abruptas en su nivel ambiental de conflicto, el modelo es capaz de reproducir ciertas características observadas en poblaciones reales en situaciones que culminan en movilizaciones de masas espontáneas.

El resto del capítulo se estructura de la siguiente manera. Primero profundizamos en el interés de la cuestión planteada desde el punto de vista del DS. Segundo, presentamos las características principales del modelo, deducidas previamente a partir del análisis de tres casos empíricos documentados en trabajos de las literaturas sociológica, económica y antropológica. Tercero, planteamos un experimento pensado para comprobar que el modelo reproduce comportamientos realistas, y analizamos los resultados obtenidos. Finalmente, igual que en los dos capítulos anteriores, presentamos las conclusiones, las analizamos desde el punto de vista del DS y

planteamos posibles extensiones del trabajo realizado.

## **8.1. Movimientos sociales y perspectiva dinámica de la cohesión social**

### *8.1.1. Cambio social, movilización y DS*

Tanto en la introducción como en el capítulo 2 de esta tesis, hemos insistido en que el camino hacia el desarrollo sostenible requiere un cambio cultural, una cierta transformación de la Sociedad. Resulta razonable entender que, para llevar a cabo cualquier tipo de cambio cultural, hace falta la implicación de las instituciones y administraciones, es decir, una voluntad política. Sin embargo, hay ocasiones en las que la necesidad de cambio es percibida por la Sociedad Civil pero no por las instituciones. En este tipo de situaciones suelen producirse fenómenos espontáneos de movilización que, en ocasiones, consiguen ejercer la influencia política necesaria para provocar el cambio en el nivel institucional.

Algunos ejemplos recientes que ilustran este poder de transformación política de este tipo de fenómenos serían la caída del régimen de Milosevic en Serbia, las movilizaciones espontáneas contra el gobierno del Estado Español el 13 de marzo de 2004 o las movilizaciones contra la Ley del Contrato de primer empleo (*contrat première embauche*) en Francia. En algunas ocasiones, encontramos ejemplos en los que estas movilizaciones acaban dando lugar a movimientos organizados que también han ejercido poder político. Podemos encontrar ejemplos de interés desde el punto de vista del DS en movimientos ligados al territorio como el de la *Plataforma en Defensa de l'Ebre*<sup>12</sup>. Esta plataforma, surgida de la Sociedad Civil de la zona del Delta del Ebro como respuesta al planteamiento del Plan Hidrológico Nacional por parte del gobierno español, tuvo un gran impacto incluso más allá del territorio involucrado. A parte de este ejemplo cercano, podemos encontrar otros casos de organizaciones surgidas de movilizaciones más o menos espontáneas contra conceptos amplios (como la globalización economicista) o ciertos proyectos que amenazan regiones concretas (sus ecosistemas, sus culturas o, directamente, la supervivencia de sus habitantes). En este apartado cabe destacar especialmente el papel de los movimientos campesinos en toda América Latina.

Por otra parte, estos fenómenos también resultan interesantes porque pueden ser relacionados con

---

12 <http://www.ebre.net/>

otro concepto importante desde el punto de vista del DS: La cohesión social. Efectivamente, el hecho de que los individuos que forman estos colectivos (en ocasiones, procedentes de grupos previamente enfrentados) se unan y hagan frente común ante unas circunstancias concretas (generalmente, en contra de una situación que les amenaza, como decíamos más arriba), nos da a entender que hay cierta cohesión social *dormida* o *inactiva* en toda población que sólo se manifiesta en ese tipo de situaciones de crisis, y que suele volver a desactivarse cuando el factor amenazante o estresante a cesado.

En los siguientes subapartados profundizaremos en esta aproximación dinámica a la cohesión social. Partiendo de un planteamiento teórico sobre el concepto de cohesión social y de algunos ejemplos de estudios sobre fenómenos de movilización, construiremos un modelo computacional que nos ayudará a entender esta perspectiva dinámica.

#### 8.1.2. Aproximación dinámica al concepto de cohesión social.

La *cohesión social* ha sido objeto de estudio por parte de la sociología desde su fundación moderna (Durkheim 1956), generalmente desde la perspectiva de cuestiones prácticas relacionadas como la estructura de comunidades (Wellman y Leighton, 1979) (Wellman et al., 1996) (Forrest & Kearns 2001), la exclusión/integración social (Room, 1995), los aspectos sociales de la salud (Wilkinson, 1996) (Kawachi & Kennedy, 1997) o la *embeddedness*<sup>13</sup> (Granovetter 1985) (Granovetter 1992). Como consecuencia, cualquier intento de desarrollar una teoría respecto a la cohesión social suele enfrentarse a dificultades como la existencia de definiciones previas parciales o literatura de diferentes escuelas de pensamiento dentro de la sociología con sus respectivas aproximaciones (Friedkin 2004).

Desde el punto de vista teórico, por ejemplo, el concepto de cohesión social en si mismo resulta difuso debido a la dificultad de diferenciarlo de otros estrechamente relacionados como solidaridad, inclusión o integración. Por ejemplo, en (Kearns & Forrest 2000) los autores identifican cinco facetas o dimensiones de la cohesión social (cultura común, solidaridad, redes y capital social, pertenencia territorial e identidad), cuyo manejo resulta complicado porque implica trabajar con aspectos cognitivos, sociales, estructurales y espaciales. Otra dificultad en este sentido reside en el hecho de que no está claro si la cohesión social debe ser considerada como una causa de otros

---

13 Resulta complicado traducir el término inglés *embeddedness* al castellano. Aunque su traducción literal sería algo así como *incrustación*, Granovetter propuso su uso para denominar la integración de un actor social en redes sociales orientadas a actividades económicas (empresas en sistemas económicos regionales o individuos en redes sociales de empleo, por ejemplo).

fenómenos sociales (como, por ejemplo, el bienestar humano (Wilkinson 1996)) o una consecuencia de procesos sociales relacionados, por ejemplo, con la dinámica de las comunidades (Putnam, 1993).

En Ciencias Sociales, cuando se presentan este tipo de dificultades a la hora de concretar la definición de un concepto es habitual operacionalizarlo, es decir, intentar llegar a la fijación del concepto a partir de su cuantificación y medición. Por ejemplo, en psicología cognitiva, el etéreo concepto de 'mente' pasó a ser analizado, mediante un proceso de operacionalización, como una construcción basada en el procesado de información. Siguiendo esa tendencia, podemos encontrar en sociología intentos de conceptualización del concepto de cohesión social, especialmente desde el punto de vista de redes sociales (Wasserman & Faust 1994) (Moody & White 2003), que permite el tratamiento matemático de las interacciones sociales.

Aunque el planteamiento estructural de un concepto tan interesante para el DS como es la cohesión social está completamente en línea con los objetivos de esta tesis, en este capítulo pretendemos aprovechar todavía más las posibilidades metodológicas de la Ciencia de Redes para aplicar la influyente propuesta estructural de Moody y White a entornos dinámicos. Nuestra intención es poner de manifiesto el hecho de que la cohesión social es un concepto dinámico, no estático. Si nos centramos en el estudio de la cohesión estructural (a partir de una 'imagen estática' del sistema social estudiado es decir, una estructura social concreta) estamos dejando de lado otras dimensiones del concepto (de tipo cultural y cognitivo) que sólo se perciben adecuadamente mediante un tratamiento evolutivo (es decir, con el sistema *en movimiento*). Este planteamiento coincide con lo que en sociología y antropología social se conoce como *Paradoja de Nadel* (DiMaggio, 1992), según la cual conforme profundizamos en el estudio de la estructura social (mediante abstracciones matemáticas, como decíamos más arriba), nos alejamos de los aspectos culturales concretos que dieron lugar a esa estructura (generalmente, más difíciles de cuantificar).

### 8.1.3. Análisis de casos reales

A modo de ilustración de esta aproximación dinámica a la cohesión social, y como guía para argumentar las principales características del modelo que presentaremos más adelante, a continuación comentamos tres ejemplos de trabajos centrados en la cohesión social y la movilización extraídos de la bibliografía sociológica (Gould, 1991), económica (Stark y Vedres, 2006) y antropológica (Murphy, 1957).

El artículo de Gould (1991) analiza la actividad insurgente durante el gobierno de la Comuna de París a lo largo de la primavera de 1871, alcanzado en el marco de una crisis económica y política acentuada por la guerra franco-prusiana. En este trabajo, así como en posteriores (Gould, 1993) (Gould, 1995), Gould pone de manifiesto la interdependencia entre la movilización social y los vínculos entre individuos. Por un lado, destaca la importancia de los vínculos personales (amistad, familia, trabajo, etc.) en el proceso de movilización popular. Por el otro, afirma que la movilización favorece la creación de nuevos vínculos entre individuos que previamente no se relacionaban, pero cuya participación conjunta en los actos de protesta crea un vínculo entre ellos.

El trabajo de Stark y Vedres (2006) está enmarcado en el reciente periodo de transición de Hungría (entre un régimen de tipo comunista-soviético y una democracia de mercado abierto), durante el cual se produjeron momentos de importante descontento político y económico. Los autores analizan los procesos de cohesión desde un punto de vista económico a partir de una gran cantidad de datos sobre la formación y disolución de *clusters* empresariales. Examinando la evolución política del país durante la década de los 1990's y los datos económicos recogidos y analizados en este trabajo, es posible establecer una cierta correlación entre ambos procesos. En ese periodo, la cohesión económica parece evolucionar, con un pequeño desfase temporal, como resultado de los movimientos sociales.

Finalmente, en el tercero de los trabajos reseñados, (Murphy, 1957), el autor se centra en las costumbres guerreras de un pueblo amazónico, los Mundurucú, de las que destaca los aspectos organizativos. A pesar de que la población Mundurucú se distribuía geográficamente en diferentes poblados independientes a lo largo de la cabecera del río Tapajó, formaban una sola cultura que se mostraba especialmente cohesionada a la hora de emprender acciones bélicas contra otros pueblos. Murphy pone de manifiesto que esta cooperación entre las comunidades Mundurucú de diferentes poblados se basaba en la existencia de vínculos de vecindad y parentesco que, normalmente, permanecían 'dormidos' y sólo se activaban en momentos de tensión y peligro, generalmente relacionados con la preparación de acciones bélicas. Respecto a esos vínculos, Murphy destaca, por ejemplo, que cada hombre Mundurucú era miembro de su poblado, en muchos casos había nacido en otro y, en ocasiones, había residido en el poblado de alguna esposa anterior (de la que estaba divorciado) pero, además, estaba ligado mediante vínculos de parentesco con todos los poblados en los que vivía alguno de sus familiares por línea paterna. De esta manera, los hombres Mundurucú

no veían limitado su concepción de *comunidad* al poblado en el que residían, sino que su *mundo social* era la cultura Mundurucú entera.

A la vista de los ejemplos anteriores, podemos destacar ciertos puntos comunes que se observan en los tres a pesar de corresponder a escenarios y aproximaciones académicas diferentes:

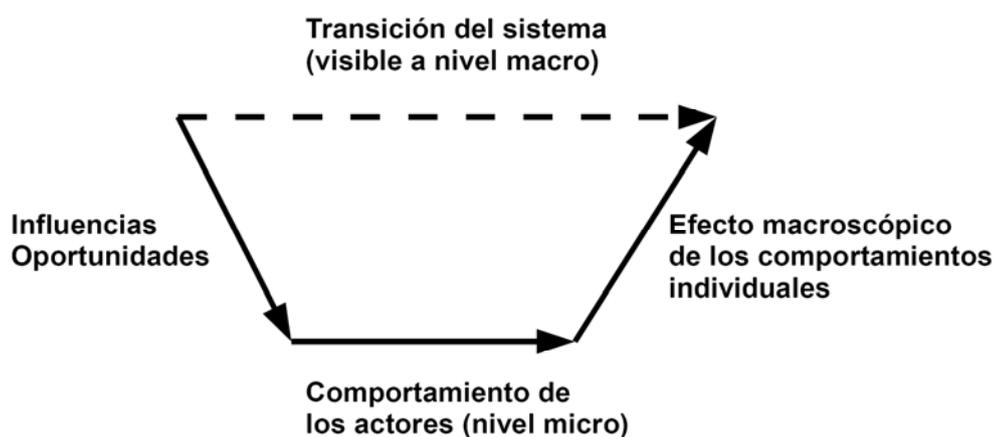
- Los tres trabajos se centran en el estudio de *procesos sociales*, es decir, no analizan la organización social congelada en un escenario estático, si no que consideran los cambios mostrados por ésta a lo largo de un periodo de tiempo determinado (el gobierno de la comuna de París, la transición húngara o un enfrentamiento bélico de los Mundurucú).
- En todos los casos encontramos algún tipo de *conflicto* que juega un papel decisivo. Nótese que aquí entendemos el *conflicto* de una forma amplia, incluyendo manifestaciones tan dispares como la guerra o problemas socioeconómicos (el paro, por ejemplo).
- La estructura social cambia durante el periodo de conflicto. En el trabajo de Gould esta dependencia de la estructura con el fenómeno se destaca explícitamente (la movilización modifica la estructura social mediante nuevos vínculos). En (Stark y Vedres, 2006), en cambio, esta relación se hace de una manera implícita, mostrando que la estructura empresarial húngara evolucionó durante el periodo de transición.

Analizando en profundidad estas tres coincidencias, podemos llegar a las conclusiones listadas a continuación, que podríamos considerar como los principios básicos del diseño de nuestro modelo computacional.

La única manera de capturar las componentes estructural y cognitiva de la cohesión social, es observar al sistema *en movimiento*. Efectivamente, así como la cohesión estructural puede observarse a partir de una 'fotografía' estática del sistema, la emergencia de la cohesión está relacionada con la movilización y el reclutamiento, que son fenómenos dinámicos que se dan a partir de cambios a nivel individual (Snow *et al.*, 1986).

Entender el comportamiento dinámico requiere analizar como interaccionan las variables macro, meso y micro, y como afectan estas interacciones a la cohesión. Si observamos la evolución de los

movimientos sociales y los cambios sociales a nivel de comunidad en general, veremos que éstos siguen un patrón causal bastante regular que empieza en el nivel institucional (macro), incide en el psicológico o individual (micro) y acaba activando los mecanismos que inducen el cambio a nivel de grupo (meso). En otras palabras, la movilización social empieza con un detonante que depende de factores macroestructurales de tipo demográfico, económico o ideológico, por ejemplo. Esos factores inciden en el individuo, haciendo que éste modifique su conectividad afectando, a su vez, a la estructura del grupo. Esta idea de que los fenómenos macrosociales se desarrollan a diferentes niveles estructurales, se corresponde con el planteamiento de Coleman en trabajos como (1966)(1986). Para Coleman, los cambios a nivel macro no se producen como resultado directo de efectos macro, sino que ejercen su influencia sobre los individuos y estos, al modificar su entorno, contribuyen al cambio global (Fig. 8.). En todo caso, se podría decir que en nuestro trabajo hacemos un inciso especial en el nivel intermedio (mesoscópico), que Coleman no contempla.



**Fig 8.1.** El 'barco de Coleman', llamado así porque la forma recuerda a una barca. La idea que representa este diagrama, es que para entender los cambios sociales que implican a grandes colectivos hay que hacer un análisis a nivel del comportamiento de los individuos (cómo éstos se ven condicionado por el sistema en general y, a su vez, como el resultado de la combinación de sus comportamientos provoca un cambio macroscópico en el sistema).

Teniendo en cuenta los puntos anteriores, en determinadas circunstancias es posible observar la manifestación de *cohesión social encubierta*, es decir, además de los enlaces que se perciben en condiciones normales, el conflicto activa nuevos vínculos que antes no existían y que contribuyen a un crecimiento de la cohesión social. Esta incidencia del conflicto sobre la cohesión estructural no es directa, sino que actúa influenciando el intercambio de información entre los individuos (despertando lo que en Hirsch (1990) llama *consciousness-raising*) facilitando, a su vez, el

establecimiento de enlaces entre grupos previamente desconectados y sacando a la luz una cohesión social que se manifiesta tanto a nivel estructural (nuevos enlaces que unen a los diferentes grupos) como cognitivo (conciencia y acercamiento entre diferentes posicionamientos y opiniones).

Nuestro modelo, que describiremos detalladamente en el siguiente apartado, asume tanto este papel del conflicto como la relación entre las componentes estructural y cognitiva de la cohesión social.

## **8.2. Análisis dinámico de la cohesión social mediante un modelo coevolutivo.**

En este apartado presentamos las principales características de nuestro modelo. Primero, partiendo de las conclusiones alcanzadas en el apartado anterior respecto a los ejemplos de la literatura, justificamos los principales elementos que componen el modelo. Después detallamos las soluciones concretas utilizadas para implementar dichos elementos.

### *8.2.1. Modelización de la cohesión social: Ideas principales*

Las ideas expuestas en el punto anterior ponen de manifiesto, de forma cualitativa, una serie de mecanismos subyacentes que facilitan la emergencia de la cohesión social. A partir de ellas, hemos diseñado un modelo para reproducir de forma cuantitativa dichos mecanismos.

Seguidamente desglosaremos las características más importantes del modelo que hemos desarrollado. Para ello, utilizaremos como guía los requisitos propuestos por Carley (1991) para poder considerar realista cualquier modelo social, a saber: (1) Un modelo de información estructurado, (2) Un mecanismo de *olvido* o *deformación* de la información, (3) Efectos institucionales o ambientales en el sentido de limitar o forzar las interacciones y, finalmente, (4) Un modelo de dinámica de la población de agentes o (5) un modelo de descubrimiento de información.

Respecto a la dinámica social (el número 4 de la lista de Carley), nos hemos basado en la idea de sistemas coevolucionarios de Lazer (2001). Según este autor, el cambio social no puede entenderse únicamente en términos del condicionamiento ejercido por el contexto sobre el individuo, ni tampoco sólo como el resultado de decisiones individuales tomadas independientemente, sino como una combinación de ambos. Efectivamente, tal y como ya comentábamos en el apartado sobre el ARS del capítulo 2, los comportamientos individuales están condicionados por las redes sociales y,

a su vez, los comportamientos individuales *modelan* o *forjan* la red. A la hora de incorporar este requerimiento a la dinámica de nuestro modelo, nos hemos basado en un modelo coevolutivo de Holme y Newman propuesto en (Holme y Newman, 2006). En este modelo, el sistema evoluciona en un doble sentido: Las opiniones de los individuos conectados a través de la red tienden a igualarse (la estructura induce cambios en los individuos) y, al mismo tiempo, se forman nuevos enlaces entre agentes con opiniones muy similares (la estructura es modificada en función de las características individuales).

Por otra parte, teniendo en cuenta que uno de los elementos más importantes de la integración es el grado de interacción entre los miembros de una comunidad, nuestro modelo de cohesión social incluye también la idea de *distancia o proximidad social* (que podemos relacionar con el número 1 en la lista de Carley). Para resolver esta cuestión, nos hemos fijado en trabajos como (Blau, 1977) (Blau y Schwartz, 1984) y (Fararo y Skvoretz, 1987), en los que se establece que la interacción entre agentes depende del número de características que tienen en común. Dado que esta relación entre el grado de interacción y la distancia también se observa en el plano estructural, ya que es más probable encontrar un enlace entre dos individuos si están *cerca* en el plano social (Granovetter, 1973), podemos cuantificar la relación definiendo una probabilidad de enlace entre dos individuos que dependa de la distancia social entre ellos. Para incorporar esta idea a nuestro modelo, hemos adoptado una definición de probabilidad de enlace entre dos agentes, propuesta en (Boguña et al. 2004), que se basa en la distancia entre ellos medida en un espacio social con un número determinado de dimensiones.

Esta ecuación que define la probabilidad de enlace entre dos individuos en función de su distancia social, incorpora un parámetro que podemos relacionar con el grado de conflicto en el ambiente social. En este caso, denominamos a este parámetro *temperatura social* para capturar la percepción de que situaciones de emergencia como las crisis políticas o las situaciones bélicas representan casos de temperatura social *alta*. Este parámetro puede relacionarse con el punto 3 de Carley, porque representa el efecto ambiental o institucional sobre el comportamiento de los individuos.

Finalmente, hay un último elemento del modelo que debe ser explicado con más detalle, y que correspondería al punto 2 de Carley. Se trata de un mecanismo que introduce pequeñas desviaciones o modificaciones en el conocimiento de cada uno de los agentes del sistema y que, tal y como explicamos más adelante en el texto, hemos denominado *ruido social*.

### 8.2.2. Descripción completa del modelo.

Después de la descripción general de las características de nuestro modelo, en este punto pasamos a detallar la implementación concreta de dichas características.

Consideramos una población de  $N$  agentes, conectados mediante un número variable de enlaces bidireccionales. Cada agente  $i$  presenta un valor  $h_i$ , que corresponde a su posición en un espacio social continuo y lineal de tamaño  $L$  (proporcional a  $N$ ). Teniendo en cuenta lo dicho en el apartado anterior, podría interpretarse como una opinión o posicionamiento del agente  $i$  respecto a cierta cuestión (en el campo de la religión o la política, por ejemplo).

Inicialmente, los valores  $h$  de todos los agentes son asignados a lo largo del espacio social lineal siguiendo una distribución aleatoria uniforme. Además, la configuración inicial de los enlaces corresponde a una topología con las mismas características estructurales que una red social real (alto coeficiente de clustering y asortatividad, por ejemplo). Para construir ese escenario inicial, utilizamos el mismo tipo de modelos que en el capítulo anterior de la tesis, propuesto en (Boguña et al., 2004) y que son capaces de construir redes con características macroscópicas (globales) similares a las sociales a partir de una definición de la probabilidad de enlace entre dos agentes (microscópica). El elemento clave de esta definición es la distancia social existente entre los dos agentes en un espacio social de dimensión  $d_H$  mayor o igual a 1. Dado que nuestro espacio social es lineal, en este trabajo utilizamos una versión simplificada de la probabilidad de enlace original en la que  $d_H=1$ :

$$r(h_i, h_j) = \frac{1}{1 + [b^{-1}d(h_i, h_j)]^\alpha} \quad (1)$$

Donde  $d(h_i, h_j)$  es la distancia social,  $b$  un parámetro que controla la escala del espacio lineal social y  $\alpha$  cuantifica la homofilia, es decir, lo restrictivo que es un individuo a la hora de relacionarse con otros en función de su afinidad social (McPherson et al., 2001). Así, dada una distancia social determinada entre dos agentes, diferentes combinaciones de  $b$  y  $\alpha$  llevan a diferentes probabilidades de enlace, de tal manera que cuanto mayor es la  $b$  y menor la homofilia, mayor es la probabilidad de enlace entre los dos agentes.

Tal y como comentábamos en el apartado anterior, el modelo evoluciona a partir del escenario

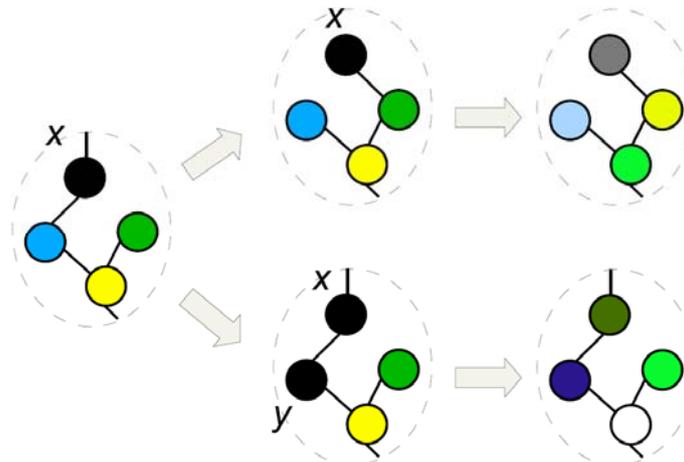
inicial en un doble sentido, ya que tanto la estructura como la distribución de los posicionamientos de los agentes en el espacio social experimentan cambios en el tiempo. Basándonos en el modelo coevolutivo propuesto por Holme y Newman en (2006), esta evolución de las dos componentes del modelo se produce de forma interdependiente mediante dos mecanismos: La redefinición de enlaces en función de la distancia social, y la imitación de valores de  $h_i$  entre vecinos (agentes enlazados).

Además, hemos incorporado un tercer mecanismo que reproduce pequeños cambios de opinión o posicionamiento que experimenta cualquier persona debido a circunstancias individuales y a las experiencias del día a día, unas modificaciones que se producen de forma continua pero (normalmente) sutil. Nótese que, a medio-largo plazo, esas pequeñas pero continuas modificaciones pueden cambiar significativamente la distancia social entre dos individuos, separando a dos agentes que previamente tenían posicionamientos muy cercanos o, por el contrario, acercando sus posicionamientos lo suficiente como para que se produzca un nuevo enlace entre ellos. Consecuentemente, la acumulación de ese tipo de cambios a escala microscópica puede llegar a cambiar el escenario macroscópico entero, perturbando tanto la distribución de agentes a lo largo del espacio social como la estructura de la red social. Teniendo en cuenta este efecto perturbador, muy similar al concepto de *ruido* utilizado en Física, hemos denominado a este mecanismo *ruido social*.

Los tres mecanismos (redefinición de enlaces, imitación y ruido social) se integran en la dinámica coevolutiva del modelo mediante la repetición de los dos pasos siguientes:

1. Se selecciona, aleatoriamente y con igual probabilidad, a un agente  $x$  al que se le aplica (con la misma probabilidad) redefinición o imitación.
  - La redefinición de enlaces consiste en volver a calcular sus enlaces utilizando la fórmula de probabilidad de enlace entre dos agentes (1).
  - La imitación se implementa seleccionando aleatoriamente a uno de los vecinos de  $x$  (que denominamos  $y$ ) y ajustando el valor de  $h_x$  a  $h_y$ , es decir, haciendo que  $x$  imite la opinión de  $y$ .
2. Se introduce el ruido social en el sistema sumando a los valores  $h$  de todos los agentes del sistema una cantidad aleatoria (obtenida de una distribución gaussiana de media 0 y varianza fija).

La Fig. 8.1 ilustra esta dinámica. En cada paso de tiempo, el sistema evoluciona siguiendo una de las dos posibles ramas del diagrama (imitación más ruido social, o redefinición de enlaces más ruido social) con la misma probabilidad.



**Fig. 8.1** Representación del paso básico de la dinámica coevolutiva del modelo, donde los colores representan los valores  $h$  de cada agente. En cada paso de tiempo, el sistema evoluciona siguiendo una de las dos ramas. La rama superior corresponde a una redefinición de enlaces (del agente  $X$ ) más un pequeño cambio de las posiciones, la inferior imitación ( $Y$  imita a  $X$ ) más un pequeño cambio de todas las opiniones.

Después de un cierto número de pasos de tiempo, el sistema alcanza un estado estacionario. En el contexto de este trabajo, eso significa que tanto la topología como la distribución de los posicionamientos de los agentes a lo largo del espacio social se estabilizan. La topología y distribución concretas alcanzadas en el estado estacionario depende, como veremos en el siguiente punto, de la intensidad del ruido social.

Finalmente, para completar nuestro modelo para estudiar la cohesión social y su interdependencia con los cambios en el ambiente social, necesitamos incluir dos elementos adicionales. Por una parte, el modelo debería ser capaz de simular diferentes temperaturas sociales (es decir, diferentes niveles de conflicto). Por otra parte, también debería incluir algún tipo de indicador de cómo esos cambios en el entorno ejercen su influencia sobre la cohesión social de la población.

El primer requisito, la introducción de cambios en la temperatura social, se ha modelizado mediante variaciones en el valor del parámetro  $b$  (aquel que controla la longitud de escala del espacio social). Esta solución se puede justificar como sigue. Cuando algún tipo de emergencia golpea a una

población, las distancias sociales entre individuos no cambian, pero se hacen menos importantes ante la necesidad de afrontar la situación. Esta relativización temporal de las distancias sociales no es otra cosa que un cambio en la longitud de las escalas con las que 'se miden'. Por lo tanto, una manera apropiada de introducir en nuestro modelo el efecto de las emergencias y posteriores relajaciones del nivel de conflicto, es elevar el valor de  $b$  (haciendo que las distancias se perciban como más cortas) y, después de un tiempo relativamente corto, volverlo a reducir.

Respecto a la monitorización de la cohesión social, hemos definido tres indicadores macroscópicos, que son: el grado medio  $\langle k \rangle$  (número medio de vecinos), el coeficiente de clustering  $C$  y el número de componentes o grupos independientes que forman la red  $G$ . Mientras los dos primeros indicadores nos dan una idea de la cohesión intra-grupal, el tercero corresponde a la cohesión intergrupala. Nótese que, tomados conjuntamente, estos tres son buenos indicadores de la cohesión social, ya que cuanto más cohesionada está una población mayores son su grado medio y su coeficiente de clustering, y menos grupos separados presenta.

### *8.2.3. El efecto del ruido social*

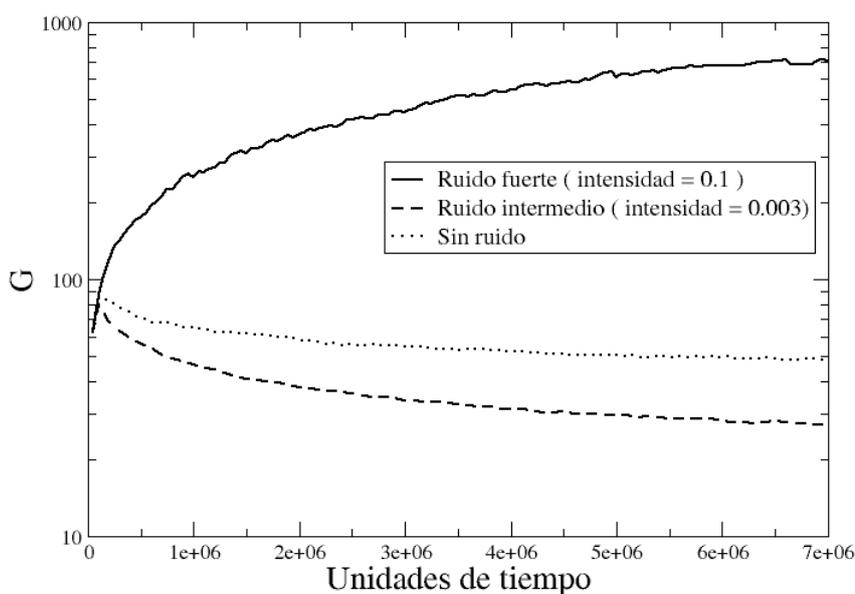
Como decíamos más arriba, el ruido social puede determinar la configuración del estado estacionario al que va a parar el modelo. Teniendo esto en cuenta, para completar la descripción del modelo tenemos que estudiar más a fondo la influencia del ruido social en la evolución del mismo. Dado que el ruido social se implementa en el modelo a partir de una variable gaussiana de media y varianza fijadas, tenemos que fijarnos en el único de los parámetros del ruido social que puede ser modificado: Su magnitud.

En el contexto de este trabajo, la magnitud del ruido social corresponde a la velocidad media de cambio que experimentan los posicionamientos individuales debido al ruido. Así, grandes ruidos sociales implican cambios bruscos de opinión a lo largo del espacio social lineal, mientras ruidos débiles corresponden a situaciones más estables.

Teniendo esto en cuenta, resulta sencillo prever el comportamiento del modelo para valores extremos del ruido social. Por una parte, un ruido social demasiado alto lleva a un escenario completamente ruidoso, en el que los agentes acabarían aislados dada la dificultad de mantener enlaces entre individuos que cambian continuamente de opinión. Por otra parte, si el ruido fuera demasiado débil, su efecto sobre la dinámica sería nulo, y ésta pasaría a estar controlada por los

otros dos mecanismos (la redefinición de enlaces y la imitación). A la vista de esto, podemos plantearnos algunas preguntas: ¿Qué significa exactamente que el ruido social es “demasiado débil” o “demasiado fuerte”?, y ¿Cuál es el efecto de valores de la magnitud del ruido social entre los dos límites?.

Para responder a estas preguntas, hemos analizado la influencia de diferentes magnitudes de ruido sobre el número de componentes separadas que forman la red  $G$  (el tercero de los indicadores presentados más arriba). En la Fig. 2.8, presentamos las evoluciones temporales de este indicador para tres valores de la magnitud de ruido representativos de los dos casos extremos y el intermedio. Los resultados corroboran las predicciones sobre el comportamiento de los casos extremos. Por otra parte, en contra de lo que se podría suponer, observamos que para valores intermedios del ruido el número de componentes aisladas en el estado estacionario es menor, es decir, vemos que el modelo tiende a una situación más compacta con un ruido intermedio que con un ruido muy débil.



**Fig 8.2.** Efecto del ruido social sobre la dinámica del modelo. Evolución temporal del número de componentes aisladas de la red ( $G$ ) para tres valores diferentes de la intensidad del ruido, correspondientes a los casos de ruido fuerte, intermedio y débil. Los resultados están promediados entre 25 realizaciones independientes.

Podemos relacionar este interesante, a la par que sorprendente, resultado con la capacidad del ruido social moderado de introducir cierta heterogeneidad interna en los diferentes grupos, una diversidad

que *flexibiliza* los grupos, permitiendo las interacciones cruzadas sin llegar a descomponerlos. Veamos esta explicación con más detalle. Cuando el ruido social es muy débil, la acción combinada de imitación y redefinición de enlaces lleva el modelo a un estado estacionario en el que los agentes tienden a un mismo valor de  $h$  (opinión o posicionamiento en el sistema social) y, consecuentemente, debido a la acción de la redefinición de enlaces, a un único grupo densamente conectado. Por el contrario, cuando la magnitud del ruido social es extremadamente alta, las diferencias entre los valores  $h_i$  de cada agentes (las distancias sociales) crecen a tal velocidad que no pueden ser contrarrestadas por el mecanismo de imitación y, cuando estas diferencias se hacen demasiado grandes como para mantener los enlaces entre vecinos, los grupos se disuelven progresivamente tendiendo a un escenario de aislamiento de todos los agentes. En un caso intermedio, la intensidad del ruido es lo suficientemente alta como para mantener cierta variedad de  $h_i$ , pero las diferencias entre estos valores se mantienen lo suficientemente pequeñas como para mantener a los agentes vinculados e, incluso en determinados casos, como para establecer nuevos enlaces con agentes de otros grupos, contribuyendo así a disminuir la cantidad de grupos aislados.

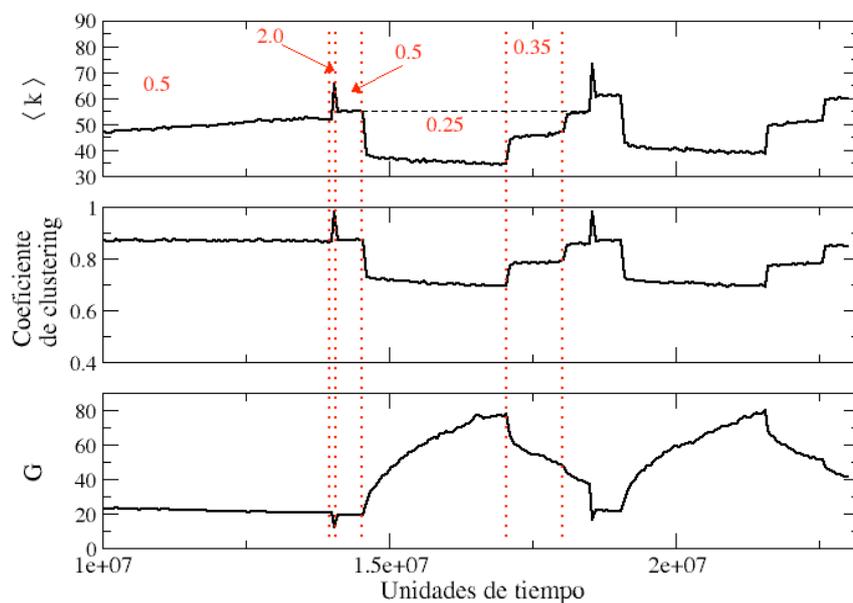
### **8.3. Experimento.**

Una vez completada la descripción del modelo, podemos pasar a comprobar su utilidad para estudiar el concepto de cohesión social desde un punto de vista dinámico y su relación con fenómenos emergentes de movilización social.

Para ello, hemos realizado un experimento consistente en dos ciclos de crisis (incremento brusco de la temperatura social seguido de un periodo reaccionario caracterizado por una temperatura social más baja de lo normal). Cada uno de los ciclos ha sido modelado mediante un periodo corto (5000 pasos de tiempo aproximadamente) con temperatura social alta, seguido de una caída a valores de  $b$  extraordinariamente bajos (reproduciendo, así, un comportamiento reactivo habitual en poblaciones reales después de una situación de emergencia) y, finalmente, una recuperación progresiva de la normalidad. Los valores de  $b$  seleccionados para representar cada uno de los periodos han sido 0.5 para la temperatura social 'normal', 2.0 para la situación altamente conflictiva y 0.25 - 0.35 para los intervalos reaccionarios.

Cuando observamos los resultados del experimento, mostrado en la Fig. 8.3, vemos que, para el

mismo valor 'normal' de  $b$  antes y después de la crisis, los indicadores muestran una mayor cohesión después de cada una de las emergencias. Este resultado es coherente una de las observaciones realizadas respecto a los tres casos empíricos referenciados más arriba, en el sentido de que la estructura social se ve modificada durante el periodo de conflicto. Por otra parte, es un resultado que podemos observar comúnmente en sistemas sociales reales. Cuando una población ha sido sometida a una situación estresante, es bastante habitual encontrar niveles de cohesión mayores que antes de la crisis. En cierta manera, este fenómeno podría verse como una *reminiscencia* de los altos valores de cohesión que caracterizan la situación de emergencia.



**Fig. 8.3** Evolución de la cohesión social de una población de  $N=1000$  agentes durante el experimento detallado en el texto. Las líneas rojas discontinuas verticales delimitan las regiones correspondientes a diferentes valores  $b$  (también escritos en rojo). Los otros parámetros importantes del modelo,  $\alpha$  y el ruido social, toman por valor 6 y 0.003, respectivamente. Se observan dos fenómenos importantes: Un incremento de la cohesión social después de cada crisis, y un efecto de memoria en el periodo entre crisis (representado aquí por una recta horizontal discontinua). Los resultados han sido obtenidos promediando 25 realizaciones independientes.

### 8.3.1. Análisis de los aspectos dinámicos de la cohesión social a niveles meso y micro.

En el punto anterior, hemos visto que el modelo reproduce como los cambios en la temperatura social (que es una variable macroscópica relacionada al ambiente social) induce cambios en la cohesión de una población de individuos (que aquí evaluamos mediante indicadores también

macroscópicos). Sin embargo, en el apartado anterior hemos argumentado que el análisis del concepto de cohesión social desde un punto de vista dinámico requiere una aproximación más completa al problema que también incluya el estudio del comportamiento del sistema a niveles meso y micro durante la crisis. Para ello, hemos estudiado como las dinámicas de nuestro modelo modifica la distribución de los posicionamientos de los agentes a lo largo del sistema social lineal (sus valores  $h_i$ ), y la consecuente transformación de la estructura social debido al efecto de los mecanismos coevolutivos.

En general, cuando representamos la distribución de las posiciones de los agentes en el espacio social cuando el sistema está en el estado estacionario, vemos que éstos se agrupan entorno a ciertas posiciones del espacio, y que las separaciones entre estas agrupaciones son bastante regulares (en la Fig. 8.4 reproducimos dos ejemplos). Teniendo en cuenta que la probabilidad de enlace entre dos agentes depende de la distancia social, podemos suponer que, estructuralmente hablando, estas agrupaciones del espacio social corresponden a grupos de agentes densamente conectados. Además, las separaciones regulares entre grupos tienden a un único valor que llamamos *distancia social crítica* ( $d_c$ ), que corresponde a la máxima distancia a la que se puede establecer un enlace entre dos agentes o, en otras palabras, es la distancia para la que la probabilidad de enlace entre dos agentes se hace 0:

$$d_c(h_i, h_j) = \lim_{r \rightarrow 0} d(h_i, h_j) = \lim_{r \rightarrow 0} b \sqrt[\alpha]{\frac{1}{r(h_i, h_j)} - 1} \approx \text{[REDACTED]} \quad (2)$$

A partir de esta definición, podemos entender como se llega a los escenarios de grupos separados regularmente en el estacionario a los que nos referíamos más arriba, ya que la acción combinada de imitación y redefinición de enlaces hace que cualquier agente situado a una distancia social menor que  $d_c$  de cualquier grupo tienda a enlazarse con ese grupo, y que dos grupos tiendan a fusionarse si están lo suficientemente cerca. Por lo tanto, en la situación estacionaria no solo la distancia social entre grupos, sino también su número y tamaño están relacionados con la distancia social crítica, ya que, cuanto más grande sea la  $d_c$ , menos grupos encontraremos y más separados estarán.

Además, vista la ecuación 2 (la de la distancia social), nos damos cuenta de la distancia social crítica depende de  $b$ . Dado que en nuestro modelo, este parámetro control la temperatura social, podemos establecer una relación causal entre las variaciones en la temperatura social y los cambios experimentados por la estructura social y el espacio social durante el experimento (que observamos

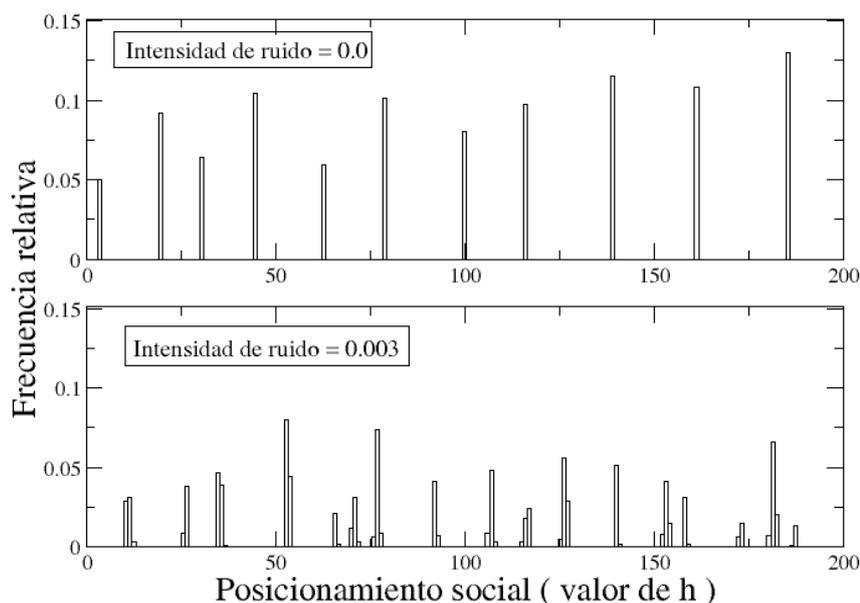
en la Fig. 8.3), a través de las reducciones e incrementos de la distancia crítica social.

Al principio del experimento, antes de la primera crisis, la distancia crítica queda definida por el valor 'normal' de  $b$  (0.5). Cuando la  $b$  sube hasta 2.0, la distancia crítica también se incrementa y, consecuentemente, los agentes entran en contacto con otros agentes que antes estaban fuera de su alcance. Visto desde un punto de vista global, esto implica que la población de agentes intenta organizarse formando menos grupos más grandes, y cuyos posicionamientos disten más los unos de los otros. Sin embargo, este proceso es interrumpido de forma abrupta (dado que las situaciones de emergencia tiene una duración muy corta), y algunos agentes son 'sorprendidos' a medio camino entre varios grupos.

Tras un periodo transitorio en el que el sistema se adapta a la nueva situación y alcanza un nuevo estado estacionario, encontramos un escenario en el que los agentes conservan parte de los enlaces 'antiguos' (anteriores a la crisis) pero, al mismo tiempo, también presentan algunos nuevos, especialmente gracias a esos agentes 'puente' a los que el final de la crisis les pilló entre varios grupos. Consecuentemente, si comparamos este escenario con el que teníamos antes de la crisis, encontramos que ahora los grupos son más grandes y que, debido a la alta conectividad interna de estos grupos, el grado medio y el coeficiente de clustering son mayores. Este fenómeno es lo que más arriba hemos llamado *reminiscencia* de la crisis respecto a la cohesión social de la población.

En este momento, los agentes están 'atrapados' en sus grupos. Sus opiniones son demasiado diferentes de las de los otros grupos como para establecer nuevos enlaces inter-grupales. Por otra parte, el papel del ruido social en este nuevo estado estacionario es muy importante, ya que genera pequeñas discrepancias en el interior de los grupos, hecho que favorece su escisión en grupos más pequeños cuando la temperatura social se 'enfría' ( $b$  cae hasta 0.25). Más tarde, cuando la población recupera su temperatura social 'normal' (y, consecuentemente, el valor de  $b$  vuelve a crecer gradualmente), la distancia crítica se incrementa otra vez y los grupos pequeños tienden a fusionarse y se recupera la situación estable de después de la crisis, presentando el segundo de los fenómenos observados, el efecto de memoria.

Finalmente, el comportamiento del modelo durante el segundo ciclo de crisis reproduce el comportamiento del primero: Mayor cohesión social que antes de la crisis, y efecto de memoria.



**Fig. 8.4.** Distribución de los posicionamientos de los agentes a lo largo del sistema social lineal, en el estado estacionario, sin ruido (arriba) y con una intensidad de ruido de 0.003. A pesar de que ambos casos presentan separaciones bastante regulares entre grupos (ver el texto para una explicación), la distribución interna de los grupos difiere. En el caso inferior, se aprecia la heterogeneidad interna de los grupos introducida por el ruido social.

#### 8.4. Conclusiones y futuras líneas de trabajo.

En este capítulo hemos analizado los fenómenos de movilización social explorado el concepto de *cohesión social* desde un punto de vista dinámico.

Para ello, hemos utilizado un modelo simple como herramienta de exploración que integra la sólidamente establecida componentes estructural (Moody & White 2003) con otra de tipo cognitivo. Partiendo de un escenario inicial determinado, el modelo evoluciona bajo el efecto de las variaciones del nivel de conflicto en el ambiente social redefiniendo, simultáneamente, la estructura social y el conocimiento o opiniones de una población de agentes (representadas como posiciones en un espacio social lineal). Postulamos que, más allá de perspectivas estáticas, la cohesión social de una población puede ser expresada en términos de esos cambios experimentados en las dimensiones estructural y cognitiva como respuesta a incrementos en el nivel de conflicto.

A partir de sólo tres mecanismos muy simples, la dinámica del modelo reproduce el comportamiento de una población social real ante una situación altamente conflictiva. Hemos probado esta afirmación de dos maneras diferentes. Primero, estudiando como los cambios en una variable macroscópica que hemos llamado *temperatura social* (correspondiente al grado de conflictividad ambiental) condiciona la evolución de tres indicadores que pueden ser fácilmente relacionados con la cohesión social (grado medio, coeficiente de clustering y cantidad de componentes aisladas de la red). Segundo, profundizando en el análisis de los aspectos dinámicos de la cohesión social a través de diferentes escalas topológicas: Los cambios en la temperatura social ocurren a un nivel institucional, influenciando las relaciones entre agentes (nivel microscópico), y estos cambios, a su vez, modifican el tamaño y composición de los grupos que conforman la población bajo estudio.

A partir de esas conclusiones, en los siguientes puntos planteamos la aplicabilidad de este trabajo desde el punto de vista del Desarrollo Sostenible, y apuntamos posibles extensiones de la metodología utilizada.

#### *8.4.1. Implicaciones del trabajo desde la perspectiva del DS.*

Respecto a las implicaciones de las conclusiones anteriores para el DS, en este capítulo no nos centramos tanto en determinar *estrategias* o soluciones para encaminar un modelo de desarrollo sostenible, sino en destacar la utilidad del modelo como herramienta para ayudarnos a entender los fenómenos emergentes de protesta y los movimientos organizados a los que hacíamos referencia al principio del capítulo

Respecto a los movimientos espontáneos de movilización, el modelo reproduce esa 'cadena causal' a través de diferentes niveles estructurales que ya apuntaba Coleman, dándole una importancia especial a lo que pasa a nivel individual (microscópico). Esto nos lleva a pensar en la importancia para este tipo de fenómenos de aspectos individuales como la implicación política o la facilidad de cada uno para 'activar' enlaces dormidos o inactivos.

Por otra parte, desde el punto de vista de la prolongación de estas movilizaciones espontáneas en forma de movimientos organizados, nos interesa destacar dos resultados: Las situaciones de crisis aumentan el nivel 'normal' de cohesión social, y este nuevo valor 'normal' de cohesión social se mantiene aunque 'enfriemos' el ambiente social de la población. Podemos entender que estos

fenómenos *alimentan* a los movimientos organizados, ya que les proporcionan la cohesión social necesaria. Esta afirmación es todavía más válida si tenemos en cuenta que, en muchos de los casos referidos más arriba, los factores macroscópicos que inducen el comportamiento de los individuos (desigualdades, abusos de poder, etc) perduran en el tiempo, favoreciendo el crecimiento de la cohesión social.

### 8.4.2. Posibles extensiones del trabajo presentado.

A pesar de haber demostrado su utilidad como herramienta de análisis de la relación entre el concepto de cohesión social y las movilizaciones espontáneas, hay algunos aspectos del modelo que podrían trabajarse más de cara a su aplicación a casos de estudio concretos (en vez de planteamientos teóricos). Seguidamente apuntamos dos de esas líneas de mejora del modelo.

Por un lado tenemos las condiciones iniciales, que en nuestro experimento consisten en una estructura social y una distribución de posicionamientos en el espacio social determinados. En este trabajo, hemos optado por una configuración simple (una red social sintética con características sociales reales, y una distribución uniforme de las opiniones) para demostrar que, a pesar de partir de un escenario tan trivial, nuestro modelo es capaz de reproducir fenómenos sociales reales que relacionan la cohesión social con los cambios en la *temperatura social*. Sin embargo, cada uno de los componentes de la configuración inicial podrían redefinirse separadamente. Podríamos, por ejemplo, sustituir la topología social sintética por una red social real (obtenida a partir de una población real mediante herramientas de prospectiva), o iniciar el experimento con una distribución de posicionamientos basada en un escenario de grupos preexistentes.

La otra posible extensión del modelo que queremos señalar aquí, se refiere a la manera de cuantificar la evolución de la cohesión social. Aunque los tres parámetros que hemos utilizado aquí son demasiado simples para representar la cohesión social de una población por separado, analizar la evolución temporal del conjunto nos ha resultado útil para entender los procesos dinámicos del modelo. Sin embargo, de cara a simplificar el análisis sería deseable definir un parámetro único (necesariamente más complejo) basado en trabajos previos como (White y Harary 2001) o (Moody y White 2003). Además, para ser coherentes con el objetivo del trabajo presentado de enriquecer la aproximación estructural a la cohesión social con una componente cultural, sería interesante definir un parámetro relacionado con la distribución de posicionamientos en el espacio social (basado, por ejemplo, en la máxima distancia social observable en el sistema).

## 9. CONCLUSIONES GENERALES Y POSIBLES EXTENSIONES

### 9.1. Conclusiones

En este documento de tesis hemos puesto de manifiesto las posibilidades de aplicar las herramientas, conceptos y metodologías propias de la perspectiva de redes sociales complejas al estudio de diferentes aspectos sociales del Desarrollo Sostenible, haciendo especial hincapié en aquellos relacionados con la organización social. A continuación, exponemos las principales conclusiones alcanzadas a lo largo del trabajo desarrollado.

La importancia de los aspectos culturales para el Desarrollo Sostenible puede apreciarse especialmente en dos cuestiones concretas. Por un lado, el cambio hacia un modelo de desarrollo sostenible es, ante todo, un cambio cultural. No es suficiente que una tecnología sea más 'verde' o 'ecológica' si se utiliza desde una mentalidad que ignora las interdependencias entre la Sociedad y la Naturaleza. Por otra parte, otra cuestión que acentúa el papel de los aspectos culturales en el DS es el concepto de Desarrollo Humano Sostenible, que pretende integrar el objetivo de sostenibilidad ambiental a largo plazo de la actividad humana (que es, al fin y al cabo, el origen del debate sobre el DS) con una concepción del desarrollo menos economicista y más centrada en las potencialidades y capacidades humanas, una concepción que depende mucho de cada perspectiva cultural concreta.

La aproximación sistémica al concepto de DS nos proporciona un marco teórico adecuado para tratar esa cuestión tan abstracta. Esta aproximación permite incorporar aspectos destacados por diferentes autores como el dinamismo (representado por los flujos e interacciones entre los subsistemas social y natural), la complejidad de las interdependencias entre Naturaleza y Sociedad, o el papel de las diferentes escalas organizativas en el desarrollo.

El estudio de los sistemas sociales desde el punto de vista de su estructura tiene casi un siglo de historia marcada por la pluridisciplinariedad del campo. Esta pluridisciplinariedad ha ido enriqueciendo el campo en herramientas metodológicas y ámbitos en las que aplicarlas, y ha crecido abarcando cada vez más disciplinas hasta llegar al punto actual, en el que se ha superado la *barrera disciplinaria* entre las ciencias sociales y las naturales con la entrada masiva al campo de científicos como biólogos o físicos. La integración de la experiencia de los investigadores 'tradicionales' del campo y sus herramientas de investigación (de prospectiva y análisis de la estructura social principalmente), con la perspectiva de los científicos naturales (muy focalizada en la relación entre estructura y funcionalidad) y sus herramientas de análisis y modelización

(desarrolladas, en principio, para el estudio de sistemas complejos naturales), representa una gran oportunidad en lo que a nuevas posibilidades metodológicas se refiere, muy especialmente aplicado al estudio de la interdependencia entre estructura y fenómenos sociales. Una de los campos de aplicación para esas nuevas posibilidades metodológicas es el estudio de fenómenos sociales relacionados con el DS.

Esta aplicación puede plantearse desde dos puntos de vista. Uno conceptual, que profundiza en la aproximación sistémica desde la perspectiva estructural. Y otro más práctico, que ve la Ciencia de Redes como un conjunto de metodologías y herramientas de análisis y simulación que se pueden incorporar a las ya disponibles para estudiar sistemas socioecológicos.

Desde el punto de vista conceptual, el paradigma de redes sociales complejas puede servirnos para profundizar en determinados discursos de autores que relacionan la estructura social con el DS, un vínculo que se establece a través del concepto de organización social (la estructura permite *visualizar* la organización social, y ésta, a su vez, condiciona las interacciones entre los sistemas natural y social). Hay dos conceptos que resultan especialmente interesantes desde el punto de vista de ese vínculo entre estructura social y DS, el de *comunidad* y el de *resiliencia*.

Podemos definir una *comunidad* como un conjunto de elementos más densamente conectados entre ellos que con el resto del sistema. La estructura en comunidades de una red, es decir, su división en las comunidades o grupos que la forman (lo que también se llama estructura a nivel mesoscópico, intermedio entre la macroscópica o global y la microscópica o individual), puede proporcionarnos mucha información respecto a la relación entre estructura y funcionalidad. Por ese motivo, en la literatura reciente sobre Ciencia de redes encontramos una gran cantidad de trabajos dedicados a proponer metodologías para determinar esa estructura en comunidades y estudiar esa relación estructura-dinámica. Por otra parte, entendemos por *resiliencia* la capacidad de ciertos sistemas de *adaptarse* a las perturbaciones externas, manteniendo su estado o características más importantes, mediante procesos de autoorganización. Aunque es una propiedad largamente estudiada en ecosistemas, su aplicación a sistemas sociales es mucho más reciente. Desde el punto de vista de su aplicación a planteamientos propios de la literatura sobre el desarrollo, el estudio de la estructura mesoscópica puede relacionarse con la importancia atribuida a la escala de las organizaciones por autores como Schumacher, Max-Neef o Manderson, y la resiliencia con algunos conceptos como el de *autodependencia*, que se plantea en la literatura sobre Desarrollo a Escala Humana.

Desde un punto de vista de la aplicación de herramientas, la ciencia de redes también puede

contribuir de forma significativa al estudio de los aspectos sociales del DS. Las herramientas de modelización comúnmente utilizadas para estudiar el impacto del comportamiento humano en los ecosistemas suelen basarse en una aproximación de campo medio, es decir, tienden a homogeneizar las características y comportamientos de los individuos. Esta simplificación, que resulta especialmente útil para determinadas aplicaciones (por ejemplo, ante escenarios geográficamente extensos), puede llevar a resultados completamente erróneos en otros casos en los que la heterogeneidad de los individuos puede ser determinante (casos contrarios, en los que el escenario es local o regional). En estos casos concretos, las herramientas habituales pueden ser substituidas por modelos basados en una perspectiva estructural, ya que estos permiten una definición individualizada de los comportamientos, características y patrones de interacción. Algunas de las aplicaciones prácticas en las sería interesante aplicar este tipo de herramientas serían las acciones de transformación social hacia un DS, la generación de conocimiento, el desarrollo local-regional o las experiencias de participación.

Teniendo en cuenta lo dicho en los párrafos anteriores, los conceptos y las herramientas de prospectiva, análisis y modelización propias de la Ciencia de Redes pueden aplicarse al análisis de diferentes cuestiones relacionadas con los aspectos sociales del DS. En los párrafos siguientes explicamos algunas de las metodologías posibles para llevar a cabo dicha aplicación, y analizamos los resultados obtenidos al aplicarlas a tres cuestiones relacionadas con aspectos sociales del DS: Los fenómenos de cooperación, la resiliencia de sistema socioeconómicos regionales y el papel de la cohesión social en los movimientos sociales de masas.

Una herramienta comúnmente utilizada para estudiar los fenómenos de cooperación es el Dilema del Prisionero. Diseñando modelos computacionales que combinen este juego con topologías sociales reales (obtenidas a partir del muestreo de las interacciones en poblaciones reales), se puede estudiar la influencia de determinadas características estructurales en la cooperación. Por ejemplo, en el capítulo 6 de la tesis, hemos visto que la estructura de una población a nivel mesoscópico (intermedio, de comunidades o grupos) puede condicionar el comportamiento de los individuos que la forman en términos de la estabilidad de la cooperación a la presencia de *free-riders* (individuos que tienden a comportamientos egoístas). Entre otras posibles implicaciones de este resultado, podemos destacar que esta relación entre la estructura a nivel de comunidades y la robustez del ambiente de cooperación podría tenerse en cuenta a la hora de organizar todo tipo de proyectos participativos. No es lo mismo, por ejemplo, la estructura organizativa de un evento que dure un día y al que los participantes acudan muy motivados, a otro que vaya a durar más tiempo y, por lo tanto, haya más riesgo de desánimo y frustración.

Los modelos computacionales también se pueden utilizar para cuantificar conclusiones presentadas de forma cualitativa en trabajos anteriores. En el capítulo 7 de la tesis hemos realizado este ejercicio para un trabajo sobre distritos industriales y desarrollo regional. La cuestión en la que queríamos profundizar en este caso era el papel de la diversidad (entendida como heterogeneidad de estrategias y perspectivas ante un problema, pero también en términos de patrones relacionales) como elemento de incremento de la resiliencia de sistemas socioeconómicos regionales frente a escenarios inciertos. Desde el punto de vista de los procesos sociales relacionados con el DS, este resultado es muy significativo por dos motivos. A parte de la importancia que tiene la cuestión de la resiliencia de sistemas socioeconómicos desde el punto de vista del DS (a la vista de lo que decíamos más arriba), el papel de la diversidad como elemento que favorece dicha resiliencia ha sido objeto de varios trabajos en la literatura de Ecología Industrial, que han comparado la diversidad tal y como la interpretamos aquí con la biodiversidad y los patrones relacionales complejos existentes en los ecosistemas.

Finalmente, los modelos computacionales propios de la Ciencia de la Redes también pueden utilizarse para analizar como se produce la interdependencia entre la estructura y ciertos fenómenos sociales. Por ejemplo, en el capítulo 8 hemos creado un modelo computacional coevolutivo (la estructura social y los comportamientos individuales evolucionan de forma interdependiente, es decir, coevolucionan), para estudiar como ciertos factores macroscópicos inciden en el ambiente social de una población y provocan un aumento de la cohesión social que, a su vez, se manifiesta en forma de fenómenos espontáneos de movilización que pueden conducir a movimientos organizados.

## **9.2. Posibles líneas de investigación futuras**

De forma coherente con el objetivo que se pretendía alcanzar, el planteamiento de esta tesis es eminentemente teórico. Se ha hecho un esfuerzo significativo por identificar y justificar las diferentes maneras de aplicar la perspectiva estructuralista al estudio de los aspectos sociales y, a pesar de dedicar los tres últimos capítulos de la tesis a presentar ejemplos aplicación de modelos computacionales, las aplicaciones prácticas de los resultados obtenidos se han señalado, pero no desarrollado. Teniendo esto en cuenta, la manera más natural de extender el trabajo presentado sería profundizar en cuestiones prácticas de la aplicación de la perspectiva estructural a los aspectos sociales del DS.

En este sentido, a continuación planteamos algunas líneas de investigación que se podrían

desarrollar en próximos trabajos, algunas de las cuales sabemos que ya han empezado a llevarse a cabo.

Como decíamos más arriba, las redes utilizadas en el capítulo 6 como patrones de interacción fueron obtenidas a partir del *muestreo* de las interacciones entre individuos (intercambios de correos electrónicos y reconocimiento mutuo de claves públicas respectivamente). A parte de esta manera de obtener redes empíricas, el Análisis de Redes Sociales ha desarrollado otras técnicas (generalmente basadas en entrevistas) que, en ocasiones, se aplican a proyectos de investigación aplicada. En esta línea, sería interesante llevar a cabo proyectos de investigación centrados en cuestiones prácticas relacionadas con el DS (participación, educación, sensibilización..) que combinaran este tipo de herramientas de prospectiva con modelos computacionales como los planteados en capítulos anteriores.

Por otra parte, la metodología presentada en el capítulo 7, consistente en reproducir cuantitativamente conclusiones cualitativas de trabajos anteriores, podría aplicarse a todo tipo de trabajos orientados a cuestiones prácticas pero planteados de forma cualitativa, abarcando tanto temas relacionados con aspectos sociales (movilidad, participación o educación, por ejemplo) como económicos (el papel de las PyMES y el intercambio de información entre diferentes actores económicos locales y regionales, etc.).

La investigación relacionada con la Ciencia de Redes en general se ocupa cada vez más de la interdependencia existente entre los fenómenos sociales y la evolución de las estructuras sociales. Consecuentemente, una de las prioridades actuales en el campo es el desarrollo de herramientas para profundizar en esta interdependencia. A parte de planteamientos coevolutivos similares al presentado en el capítulo 8, podemos encontrar trabajos basados en el estudio de varias muestras empíricas del mismo sistema en diferentes momentos de tiempo (análisis longitudinal). Pensando en la aplicación de este tipo de herramientas a aspectos sociales del DS, éstas podrían utilizarse para estudiar la relación entre la estructura social y ciertos procesos sociales con una carga cognitiva importante como, por ejemplo, la difusión de valores y conocimiento en organizaciones y poblaciones.

Otra tendencia importante en el campo de la Ciencia de redes es la integración del factor espacial en las estructuras relacionales. En el capítulo 2 ya hablábamos de los trabajos pioneros de Hägerstrand, en los que utilizaba datos geográficos para estudiar movimientos migratorios y difusión de innovaciones tecnológicas en el Territorio, y del impulso que están suponiendo las

aplicaciones basadas en información geográfica (SIG) y posicionamiento vía satélite para estudiar cuestiones como la movilidad o el diseño de infraestructuras. Dada la importancia que está adquiriendo para el paradigma sostenibilista la implantación y gestión de infraestructuras y servicios en el territorio (y, especialmente, en entornos urbanos), estas cuestiones podrían ser un buen campo de aplicación para herramientas de análisis que integran información relacional y geográfica.

Finamente, siguiendo la misma línea de combinar diferentes tipos herramientas, una posible extensión de la tesis podría consistir en desarrollar entornos integrados de toma de decisiones y modelización de escenarios como los presentados en el capítulo 5 (GLOBESIGHT, IMAGE, etc.), que incorporaran algunas de las características de los modelos propios de la Ciencia de Redes como los patrones relacionales complejos o la posibilidad de definir agentes individualizados. Para desarrollar este trabajo se podría partir de las mismas aplicaciones referidas en el capítulo 5 y de entornos de programación multiagente como NetLogo, que facilitan la construcción de una interfaz gráfica agradable para el usuario.

## 10. REFERENCIAS

Todos los hiper-enlaces incluidos en esta lista han sido comprobados a fecha: 23/04/08.

### 10.1. Lista general.

- Aalborg (1994). Carta de Ciudades y Pueblos Europeos hacia la Sostenibilidad (la Carta de Aalborg). Aprobada en la Conferencia Europea sobre Ciudades y Pueblos Sostenibles, celebrada el 27 de mayo de 1994 en Aalborg, Dinamarca.
- Abrahamson, E. y Rosenkopf L. (1993) *Institutional and competitive bandwagons*. *Academy of Management Review*, 18, 487-517.
- Abrahamson, E., y L. Rosenkopf. (1997). *Social network effects on the extent of innovation diffusion: a computer simulation*. *Organization Science*, 8, 289-309.
- Abramson, G. y Kuperman, M. *Social games in a social network*. *Physical Review E* 63, 030901(R) (2001).
- Aguirre, A. (2004). *El CO2 en la atmósfera: pronósticos y límites*. Boletín de Dinámica de Sistemas, edición de marzo. La publicación puede encontrarse en línea aquí: <http://www.upcnet.es/~jmg2/sistemas/bads.htm>.
- Albert, R., Jeong, H., Barabási, A.-L. *Error and attack tolerance of complex networks*. *Nature*, 406: 378-382 (2000).
- Allenby, B. y Cooper, W.E. *Understanding Industrial Ecology from a biological systems perspective*. *Total Quality Environmental Management*, 343-354 (1994).
- Anand, S. y Sen, A. *Human Development and Economic Sustainability*. *World Development*, 28 (12), 2029-2049.(2000).
- Antequera, J., González, E., Ríos, L.A.. *Sostenibilidad y Desarrollo Sostenible: Un modelo por construir*. *Sostenible?*, núm. 7 (2005), 95-118.
- Axelrod, R. *The Dissemination of Culture: A Model with Local Convergence and Global Polarization*, *The journal of conflict resolution*, Vol. 41, Iss. 2 (1997).
- Axhausen, K.W. *Social networks and travel: Some hypotheses*, *Arbeitsbericht Verkehrsund Raumplanung*, 197. Zürich: Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (2003).
- Axhausen, K.W., A. Frei y T. Ohnmacht. *Networks, biographies and travel: First empirical and methodological results*. *Actas de la 11th International Conference on Travel Behaviour Research*, Kyoto, August 2006. La publicación puede encontrarse en línea aquí: (<http://www.ivt.ethz.ch/vpl/publications/reports/ab392.pdf>)
- Barabási, A.-L. *Linked: The New Science of Networks*. Perseus Publishing. Cambridge, EUA (2002).
- Barabási, A-L y Reka, A. *Emergence of scaling in random networks*. *Science*, 286:509-512, (1999).

- Baronchelli, A., Dall'Asta, L., Barrat, A. y Loreto, V. *Topology Induced Coarsening in Language Games*. Phys. Rev. E 73, 015102(R) (2006).
- Barrat, A. y Weigt, M. *On the properties of small-world networks*. Eur. Phys. J. B, 13, 547–560 (2000).
- Berkes, F., Colding, J. y Folke, C. (editors) *Navigating Social-Ecological Systems: Building Resilience for Complexity and Change*. Cambridge, UK: Cambridge University Press (2003).
- Bifani, P. *Medio ambiente y Desarrollo Sostenible*. (1999). IEPALA Editorial, Madrid.
- Blau, P.M. *Inequality and Heterogeneity*. New York: The Free Press of Macmillan Co. (1977).
- Blau, P.M. y Schwartz, J. E. *Crosscutting Social Circles*. Orlando, FL:Academic Press (1984).
- Boccaletti, S., Latora, V., Moreno, Y., Chavez, M., Hwang, D.-U. *Complex networks: Structure and dynamics*. Physics Reports, 424, 175 – 308 (2006).
- Bodin, Ö. *A network perspective on ecosystems, societies and natural resource management*, Tesis doctoral (2006).
- Bodin, Ö y Norberg J. *Information Network Topologies for Enhanced Local Adaptive Management*, Environmental Management, 35(2), (2005).
- Bogartti, Stephen P.; Foster, Pacey C. *The network paradigm in organizational research: A Review and Typology*. Journal of Management. Vol. 29 Núm. 6 (2003).
- Boguñá, M., Pastor-Satorras, R., Diaz-Guilera, A. y Arenas, A. (2004) *Models of social networks based on social distance attachment*. Phys. Rev. E, 70 (056122).
- Bollobás, B *Random graphs*. Cambridge University Press. 2ª edición (2001).
- Buchanan, M. *Nexus: Small Worlds and the Groundbreacking Science of Networks*. New York: Norton (2002).
- Burt, R.S. (1981) *Innovation as Structural Interest: Rethinking the Impact of Network Position on Innovation Adoption*. Social Networks, 2, 327-355.
- Burt, R.S. (1987) *Social Contagion and Innovation, Cohesion versus Structural Equivalence*. American Journal of Sociology, 92, 1287-1335.
- Carley, K. *A theory of group stability*. Am. Sociol. Rev. 56:33154 (1991).
- Carpenter S. , Walker B., Anderies J.M. y N. Abel. *From metaphor to measurement: Resilience of What to what?. Ecosystems*, 4 (2001).
- Carrington, P.J., Scott, J. y Wasserman, S. (Editors). *Models and methods in Social Network Analysis*. Cambridge University Press, NY (2005).
- Cash D., Clark, W.C., Alcock, F., Dickson, N.M., Eckley, N., Guston, D.H., Jäger, J. y Mitchell R.B. *Knowledge systems for Sustainable Development*. Proc. Nat. Acad. Sci., 100 (14) (2003).

- Clark, W.C. y Dickson, N.M. *Sustainability Science: The emerging research program*. Proc. Nat. Acad. Sci., 100 (14) (2003).
- Costanza, R.; d'Argue, R.; de Groot, R.; Farber, S.; Grasso, M.; Hannon, B.; Limburg, K.; Naeem, S.; O'Neil, R.V.; Paruelo, J.; Raskin, R.G.; Sutton, P. y van den Belt, M. *The value of the world's ecosystem services and natural capital*. Nature, 387. (1997).
- Cross, R. ; Parker, A.; Prusack L.; Bogartti, S. P. *Knowing what we know: Supporting knowledge creation and sharing in social networks*. Organizational Dynamics. Núm. 30 (2) (2001).
- Crucitti, P., Latora, V. and Marchiori, M. *A model for cascading failures in complex networks*. Phys. Rev. E 69, 045104(R) (2004).
- Cruz, I. *Human Development assessment through the Human-Scale Development approach: integrating different perspectives in the contribution to a Sustainable Human Development Theory*. Tesis doctoral. Disponible en: <http://www.tesisenxarxa.net/>
- da Fontoura, L. *Reinforcing the Resilience of Complex Networks*. Phys. Rev. E 69, 066127 (2004).
- Daly, H.E. *Sustainable Growth: An impossibility theorem*. Development (SID) 2/4: 45-47 (1990).
- Daly, H.E. *Beyond growth: The Economics of Sustainable Development*. Beacon Press: Boston. USA. (1996).
- Danon, L., Díaz-Guilera, A., Duch, J. y Arenas, A. *Comparing community structure identification*. J. Stat. Mech. P09008 (2005).
- Davies, S. *The diffusion of process innovations*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.(1979).
- de Moraes Netto, Vinicius; Krafta, Romulo. *Socio-spatial Networks. Social segregation as a real-time phenomenon*. Actas del 3rd international Space Syntax Symposium, Atlanta (2001).
- Diaz-Guilera A., Lozano, S y Arenas, A. *Quantifying success in regional innovation networks, a topological approach a Innovation Networks- New approaches in modelling and analyzing*. Pendiente de publicación.
- DiMaggio, P. *Nadel's Paradox Revisited: Relational and cultural Aspects of Organizational Structure*. En Nohria y Eccles (eds.), 'Networks and Organizations'. Harvard Business School Press: Boston (1992).
- Dorogovtsev, S. N.; Mendes J. F. F. *Evolution of networks: From Biological Nets to the Internet and WWW*. Oxford University Press. Oxford. UK (2003).
- Duch, J. y Arenas, A. *Effect of random failures on traffic in complex networks*. Proc. SPIE Vol. 6601 (2007).
- Durkheim, E. *The Division of Labor in Society*. The Free Press, New York (1956).
- Eguíluz, V.M., Zimmermann, M.G., Cela-Conde, C.J. y San Miguel, M. *Cooperation and the Emergence of Role Differentiation in the Dynamics of Social Networks* . American Journal of

- Sociology, 110 (4), 977-1008 (2005).
- Ehrenfeld, J.R. *Industrial Ecology: A new field or only a metaphor?*. Journal of Cleaner Production, 12(8), 825-832 (2004).
- Erdős, P. y Rényi, A. *On random networks*. Publicationes mathematicae, 6, 290-297 (1959).
- Ehrhardt, G., Marsili, M. y Vega-Redondo, F. *Emergence and resilience of social networks: a general theoretical framework*. arXiv:physics/0504124 (2005).
- Fararo, T. J. y Skvoretz, J. *Unification Research Programs: Integrating Two Structural Theories*. American Journal of Sociology 92: 1183- 1209 (1987).
- Faust, K., B. Entwisle, R.R. Rindfuss, S.J. Walsh, and Y. Sawangdee. *Spatial arrangement of social and economic networks among villages in Nang Rong District, Thailand*. Social Networks 21(4):311-337 (2000).
- Fiksel, J. *Designing Resilient, Sustainable Systems*. Environ. Sci. Technol., núm. 37, pàg. 5330-5339 (2003).
- Folch, R. *Les implicacions de la Sostenibilitat*. Sostenible?., núm. 7, pàg. 119-132 (2005).
- Folke, C., S. Carpenter, T. Elmqvist, L. Gunderson, C. S. Holling, y B. Walker. *Resilience and Sustainable Development: Building Adaptive Capacity in a World of Transformations*. Ambio 31, (5): 437-40. (2002).
- Fontoura Costa, L. *Reinforcing the Resilience of Complex Networks*. Phys. Rev. E, 69, (066127) (2004).
- Forni, P. *Las Redes Inter-Organizacionales y sus implicancias en el desarrollo de las Organizaciones Comunitarias de los Pobres y Excluidos*. Ponencia en el Primer Congreso Nacional de Políticas Sociales, Universidad Nacional de Quilmes–Asociación Argentina de Políticas Sociales. Bernal, Quilmes, Argentina, 30 y 31 de mayo (2002).
- Forni, P. y Longo, M.E. *Las respuestas de los pobres a la crisis: Las redes de organizaciones comunitarias y la búsqueda de soluciones a los problemas de las áreas periféricas de Buenos Aires*. Redes: Revista hispana para el análisis de redes sociales. Vol 6 (2004).
- Forrest, R. y Kearns, A. *Social cohesion, social capital and the neighbourhood*. Urban Studies 38:212543 (2001).
- Freeman, C. (1995). *The National System of innovation in historical perspective*. Cambridge Journal of Economics, 19 (1), 5-24.
- Freeman, L. C. *The development of Social Network Analysis: A study in the sociology of science*. Empirical Press. Vancouver, BC Canada, (2004).
- Friedkin, N. E. Annual Review of Sociology, Vol. 30: 409-425 (2004).
- Funtowicz, S.O. y Ravetz, J.R. *La ciencia posnormal. Ciencia con la gente*. Icaria-Antrazit, Barcelona. (2000).

- Gerstlberger, W. *Regional innovation systems and sustainability - selected examples of international discussion*. Technovation. Vol. 24. Núm. 9. (2004).
- Gould, Roger V. *Multiple Networks and Mobilization in the Paris Commune, 1871*. American Sociological Review 56:7 16-29. (1991).
- Gould, Roger V. 1993. *Collective Action and Network Structure*. American Sociological Review, 58 (2): 182-196. (1993).
- Gould, Roger V. *Insurgent Identities: Class, Community, and Protest in Paris from 1848 to the Commune*. Chicago: University of Chicago Press. (1995).
- Granovetter, M. The Strength of Weak Ties. American Journal of Sociology 68: 1360-80 (1973).
- Granovetter, M. *Economic Action and Social Structure: The Problem of Embeddedness*. American Journal of Sociology, 91, 481-510 (1985).
- Granovetter, M. en *Networks and Organizations*, Nohria, N. y Eccles, R. (ed.). Harvard Business School Press, Boston (1992).
- Guardiola, X., Díaz-Guilera, A., Pérez, C.J., Arenas, A., y Llas, M., (2002) *Modelling diffusion of innovation in a social network*. Phys. Rev. E, 66 (026121).
- Guimerà, R. *New perspectives on organizational design based on the analysis of complex communication networks*. Tesis doctoral disponible en el depósito de tesis en red TDX. (2002).
- Guimerà R. y Amaral L.A.N. *Functional cartography of complex metabolic networks*. Nature 433 (2005).
- Gunderson, L.H. *Ecological resilience—in theory and application*. Annual Review of Ecology and Systematics, 31: 425-439 (2000).
- Hagen, G., Killinger, D. y Streeter, R. *An analysis of Communication networks among Tampa Bay Economics Development Organizations*. Connections Vol. 20. Núm. 2. (1997).
- Hansson, L. 1998. *A Study of Social Support Networks. Estonian urban families with children and informal social networks*. Faculty of Social Sciences. University of Jyväskylä Finland /Institute of International and Social Studies. Tallinn Pedagogical University Estonia.
- Hauert, C. y Szabó, G. *Game theory and Physics*. American Journal of Physics, 73 (5), 405-414 (2005).
- Helmsing, A.H.J. *Partnerships, Meso-institutions and Learning New local and regional economic development initiatives in Latin America*. Institute of Social Studies, The Hague, The Netherlands. (2001).
- Hirsch, E.L. *Sacrifice for the Cause: Group Processes, Recruitment, and Commitment in a Student Social Movement*. American Sociological Review, 55 (2):243-254 (1990).
- Holling, C.S. *Resilience and Stability of Ecological Systems*. Annu. Rev. Ecol. Syst., 4, 1-24 (1973).
- Holme, P. y Newman, M.E.J. *Nonequilibrium phase transition in the evolution of networks and*

- opinions*. Phys. Rev. E 74, 056108 (2006).
- Holme, P., Huss, M. Y Jeong, H. *Subnetwork hierarchies of biochemical pathways*. Bioinformatics, 19 (4) (2003).
- Huberman, B. A. y Glance, N. A. *Evolutionary games and computer simulations*. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. Vol. 90, pàg. 7716-7718 (1993).
- ISDR International Strategy for Disaster Reduction - United Nations (2007). <http://www.unisdr.org/eng/library/lib-terminology-eng%20home.htm>.
- Jain, S. and Krishna, S. *Crashes, recoveries, and “core shifts” in a model of evolving networks*. Phys. Rev. E, 65 (026103) (2002).
- Jiménez, L.M. *Desarrollo Sostenible y Economía Ecológica*. (1997). Editorial Síntesis, Madrid.
- Jiménez, L.M. *Desarrollo Sostenible. Transición hacia la coevolución global*. (2000) Ediciones Pirámide, Madrid.
- Kates, R.W., Clark, W.C., Corell, R., Hall, J.M. et al. *Sustainability Science*. Science 292 (5517): 641-642 (2001).
- Kawachi, I. y Kennedy, B.P. *Health and social cohesion: why care about income inequality?* British Medical Journal 314: 1037-1040 (1997).
- Kearns, A. y Forrest, R. *Urban Studies*, Vol. 37 (56): 9951017 (2000).
- Keiner, M. *Re-emphasizing sustainable development – the concept of ‘evolutionability’*. Environment, Development and Sustainability **6**: 379–392, (2004).
- Kim, B.J., Trusina, A., Holme, P., Minnhagen, P., Chung, J.S., Choi, M.Y. *Dynamic instabilities induced by asymmetric influence: prisoner’s dilemma game in small-world networks*. Phys. Rev. E 66, 021907 (2002).
- Klemm, K. y Bornholdt, S. *Stable and unstable attractots in Boolean networks*, Physical Review E, 72 (055101) (2005).
- Korhonen, J. *Theory of Industrial Ecology*. Progress in Industrial Ecology – An international Journal, 1 (3), 61-88. (2004).
- Korhonen, J. *Theory of industrial ecology: the case of the concept of diversity*. Progress in Industrial Ecology -An International Journal, Vol2, No. 1 (2005).
- Korhonen, J. *Do we really need the debate on the natural ecosystem metaphor in technology management and sustainable development literature?*. Clean Technology & Environmental Policy, 7: 33-41 (2005).
- Kozma, B. y Barrat, A. *Consensus formation on adaptive networks*. Phys. Rev. E 77 (016102 ) (2008).
- Krebs, V.; Holley, J. *Building Sustainable Communities through Network Building*. (2002). Localizable en la WEB de la empresa Orgnet: <http://www.orgnet.com/BuildingNetworks.pdf>.

- Lazer, D. *The co-evolution of individual and network*. J. Math. Sociol. 25:69108 (2001).
- Leskovec, J., Adamic, L.A. y Huberman, B.A. *The Dynamics of Viral Marketing*. ACM Trans. Web, 1 (1). (2007)
- Lévi-Strauss, C. *The Elementary Structures of Kinship*. Boston: Beacon. (1949/1969).
- Leydesdorff, L. <http://www.leydesdorff.net/> : Espacio WEB de este científico holandés en el que se pueden encontrar diversos trabajos sobre el papel de la estructura social en el desarrollo del conocimiento científico.
- Lozano, S. *El Desenvolupament Sostenible com a àmbit d'aplicació de l'Anàlisi de Xarxes Socials Ide@sostenible* 14 (2006).
- Lozano, S., Duch, J. y Arenas, A. *Analysis of large social datasets by community detection*. Eur. Phys. J. Special Topics 143, 257-259 (2007).
- Lozano, S., Arenas, A. y Sanchez, A. *Mesoscopic structure conditions the emergence of cooperation on social networks*. PLoS ONE 3(4): e1892 (2008).
- Lozano, S., Borge, J., Arenas, A. y Molina, J.L. *Beyond Nadel's Paradox. A computational approach to structural and cultural dimensions of social cohesion*. Enviado a American Journal of Sociology (2008b).
- MacNeil, J. , Winsemius, P. y Yakushiji, T. *Beyond interdependence: The meshing of the World's economy and the Earth's ecology*. Oxford University Press, NY, USA. (1991).
- Manderson, A. K. *A Systems Based Framework to Examine The Multi-contextural Application of the Sustainability Concept*. Environment, Development and Sustainability 8: 85-97 (2006).
- Mansfield, E. *Technical Change and the Rate of imitation*. Econometrica, 61 : 741-766. (1961).
- Margalef, R. *Ecología*. 5ª edición revisada. Planeta: Barcelona (1992).
- Markowitz, H.M. *Portfolio Selection: Efficient Diversification of Investments*. Yale University Press (1970).
- Marshall, A. *Principles of Economics*. Macmillan and Co., Ltd. 8ª edición: 1920. (1890).
- Max-Neef, Manfred A. *Desarrollo a escala humana : conceptos, aplicaciones y algunas reflexiones* . Icaria Editorial (1998).
- Max-Neef, Manfred A. , Elizalde, A. y Hopenhayn, M. *Desarrollo a escala humana: Una opción para el futuro*, CEP/AUR. (1986).
- Maya, Augusto A. *El reto de la vida: Ecosistema y cultura*. Serie Construyendo el futuro núm.4. ECOFONDO(1996).  
Disponible a: <http://www.geocities.com/RainForest/Andes/8473/nunonuev/aangel06.htm>
- McPherson, M., Smith-Lovin, L. y Cook, J. M. (2001). *Birds of a feather: Homophily in Social Networks*. Annu. Rev. Sociol., 27: 415:44.

- Meadows D.L., Meadows D.H., Randers J., Behrens III, W.W. (1972) *The limits to growth*, Universe Books, New York.
- Meadows, D.H., Meadows, D.L. y Randers, J. *Más allá de los límites del crecimiento*. El País-Aguilar (1992).
- Mebratu, D. *Sustainability and Sustainable Development: Historical and conceptual review*. Environmental Impacts Assessments review, 18 (1998), 493-520.
- Meyer, J. y Rowan, B. (1977). *Institutionalized Organizations: Formal Structure as Myth and Ceremony*. American Journal of Sociology, 83, 340-363.
- Milgram, S. *The small world problem*. Psychology Today. Núm. 22.(1967).
- Molina, J.L. y Marsal, M. *La gestión del conocimiento en las organizaciones*. Libros en red, Colección Negocios, Empresa y Economía. (2002).
- Molina, J.L., Ruiz, A. A. y Treves, L. *Localizando geográficamente las redes personales*. REDES-Revista hispana para el Análisis de Redes Sociales: 8 (5). (2005).
- Moody, J. y White, D.R. American Sociological Review, 68 (1): 103-127 (2003).
- Moore, C. y Newman, M.E.J. *Epidemics and percolation in small-world networks*. Phys. Rev. E 61, 5678 - 5682 (2000).
- Moreno, Y., Pastor-Satorras, R., Vázquez, A. y Vespignani, A. *Critical load and congestion instabilities in scale-free networks*. Europhys. Lett., 62 (2): 292-298 (2003).
- Morin, E. *Introducción al pensamiento complejo*. Editorial Gedisa. Barcelona. (1994).
- Motter, A.E. y Lai, Y.C. *Cascade-based attacks on complex networks*. Phys. Rev. E, 66, 065102(R) (2002).
- Murphy, R. F. Intergroup Hostility and Social Cohesion. American Anthropologist, New Series, 59 (6): 1018-1035. (1957).
- Naredo, J.M. *La economía y su medio ambiente*. Ekonomiaz: Revista vasca de economía 17: 12-25 (1990).
- Naredo, J.M. *Sobre el origen, el uso y el contenido del término sostenible*. Disponible en línea aquí: <http://habitat.aq.upm.es/select-sost/aa1.html>
- Newman M E J. *The structure and function of complex networks*. SIAM Review, 45, 167 (2003).
- Newman, M.E.J. y Girvan, M. *Finding and evaluating community structure in networks*. Phys. Rev. E, 69 (2004), 026113.
- Newman, M. E. J. y Watts, D. J., *Scaling and percolation in the small-world network model*, Phys. Rev. E 60, 7332–7342 (1999).
- Newman, M. E. J., Barabási, A-L. y Watts, D. J. *The Structure and Dynamics of Networks*.

- Princeton University Press. (2006).
- Niragu, J. Lead and lead poisoning in antiquity. In *Green History*, D. Wall (ed). London: Routledge. (1994).
- Norton, B.G. *A new paradigm for environmental management*. En: Costanza, R., Norton, B.G., Haskell, B.D. (Eds.), *Ecosystem Health: New Goals for Environmental Management*. Island Press, Washington, DC (1992).
- Nowak, M. A. y May, R. M. *Evolutionary game and spatial chaos*. *Nature*, 359, pág. 826-829 (1992).
- Otto, P. y Struben, J. . *Gloucester Fishery: insights from a group modelling intervention*. *System Dynamics Review*, 20 (4), (2004).
- Pastor-Satorras, R. y Vespignani, A. *Epidemic Spreading in Scale-Free Networks*. *Phys. Rev. Lett.* 86 (2001).
- Perry, M. *Small firms and network economies*. Routledge. UK. (1999).
- Peterson, G., Allen, C.R. y Holling, C.S. *Ecological Resilience, Biodiversity and Scale*. *Ecosystems*, 1 (1): 6-18.
- Pimm, S. L. *The complexity and Stability of Ecosystems*. *Nature*, 307 (1984).
- Piore, M. y Sabel, C. (1984) *The second industrial divide: Possibilities for prosperity*. New York: Basic Books.
- Pujol, J.M. *Structure in Artificial Societies*. Tesis doctoral. (2006).
- Putnam, R. *Making Democracy Work. Civic Traditions in Modern Italy*. Princeton: Princeton University Press (1993).
- RA: Resilience Alliance (2007). <http://www.resalliance.org/>
- Ríos, L.A. *L'emergència cultural del Desenvolupament Sostenible*. *Ide@sostenible*, año 1, núm. 3 (2004).
- Ríos, L.A., Ortiz, M., Álvarez del Castillo, X. . *Debates on sustainable development: Towards a holistic view of reality*. *Environment, Development and Sustainability*, (2004), 1-17.
- Roberts, J. M. *Simple methods for simulating sociomatrices with given marginal totals*. *Social Networks* 22, 273-283 (2000).
- Robinson, J. *Squaring the circle? Some thoughts on the idea of sustainable development*. *Ecological economics*, 48 (2004), 369-384.
- Rodríguez, M.A. *The 'sponge' organization: A creativity-based reflection on the innovative and sustainable firm* (2006) (WP 616- IESE).
- Rogers, E. M. *Diffusion of innovations*. The Free Press. NY, USA. (2003).
- Rogers, E. M. y Beal, G. M. *The importance of personal influence in the adoption of technological*

- changes*. Social Forces 36:328–335 (1958).
- Room, G. (ed.). *Beyond the Threshold: The Measurement and Analysis of Social Exclusion*. The Policy Press, Bristol (1995).
- Saxenian, A. (1994). *Regional Advantage: Culture and Competition in Silicon Valley and Route 128*. Harvard University Press, USA.
- Schumacher, E.F. *Small is beautiful: Economics as if people mattered*. New York, N.Y. : Perennial Library, cop. (1973).
- Scott, A. y Paul, A. (1990). *Collective order and economic coordination in industrial agglomerations: The technopoles of Southern California*. Environment and Planning C: Government and Policy, 8, 179-193.
- Sedaitis, J. . *The Alliances of Spin-Offs Versus Start-Ups - Social Ties in the Genesis of Post-Soviet Alliances*. Organization Science, 9 (3) (1998).
- Sen, A *Development as Freedom*, Oxford University Press, UK. (1999).
- Sen, A *The ends and means of sustainability*, Discuso en la *International Conference on Transition to sustainability*, Tokyo, 2000. Accesible en: [http://www.iisd.org/pdf/sen\\_paper.pdf](http://www.iisd.org/pdf/sen_paper.pdf)
- Shnerb, N., Louzoun, Y., Bettelheim, E. y Solomon, S. *The importance of being discrete: Life always wins on the surface*, Proc. Nat. Acad. Sci., **97** (19), 10322-10324 (2000).
- Solomonoff, R. y Rapoport, A. *Connectivity of random nets*. Bulletin of Mathematical Biophysics, 13, 107-117 (1951).
- Snow, D. A., Rochford, E.B., Worden, S.K. y Benford, R. D. *Frame Alignment Processes, Micromobilization, and Movement Participation*. American Sociological Review, 51 (4): 464-481 (1986).
- Staber, U. *The structure of network in industrial districts*, International Journal of Urban and Regional Research, 25 (3) (2001).
- Staber, U. y Sydow, J. *Organizational Adaptive Capacity: A Structuration Perspective*. Journal of Management Inquiry, 11, 408-424. (2002).
- Stark, D. y Vedres, B. *Social Times of Network Spaces: Network Sequences and Foreign Investment in Hungary*. American Journal of Sociology 111 (5). (2006)
- Sureda, B., de Felipe, J.J. y Xercavins, J. *Analysing sustainability in engineering courses, using a reasoning tool to study indicators and indices*. Actas del congreso *Engineering Education in Sustainable Development 2004*. Barcelona, 27 -29 d'octubre.
- Szabó, G. y Fáth, G. *Evolutionary games on graphs*. Physics Reports 446: 97 – 216 (2007).
- Teves, L., Crivos, M., Martínez, M.R. y Sáenz, C. *Una Aplicación de la Metodología de Redes Sociales a la Investigación Etnográfica*. REDES, Vol. 2 (2002).
- Troyer, M. E. *A spatial approach for integrating and analyzing indicators of ecological and human*

- condition*. *Ecological Indicators* 2: 211–220 (2002).
- Turner B.L.; Kasperson, R.; Matson, P.; McCarthy, J.; Corell, R.W.; Christensen, L.; Eckley, N.; Kasperson, J.X.; Luers, A.; Martello, M.L.; Polsky, C.; Pulsipher, A. y Schiller, A. *A framework for vulnerability analysis in sustainability science*. *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 100 (14) (2003).
- Valente, T.W. *Network models of the diffusion of innovations*, Hampton Press (1995).
- Valente, T. W. (2005). Models and methods for innovation diffusion. En Carrington, P. J., Scott, J. y Wasserman, S. (Eds.) *Models and Methods in Social Network Analysis*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Valente, T. W. y Davis, R. L. (1999). Accelerating the diffusion of innovations using opinion leaders. *The Annals of the American Academy of the Political and Social Sciences*, 566, 55-67.
- Walker, B., Kinzig, A., Anderies, J. y Ryan P. *Exploring resilience in Social-Ecological systems: Comparative Studies and theory development*. *Ecology & Society Special Feature* (2006).
- Wasserman, S., Faust, K. *Social Networks Analysis: Methods and Applications*. New York: Cambridge University Press. (1994).
- Watts, D.J. *Small Worlds: The dynamics of Networks between Order and Randomness*, Princeton University Press. (2004).
- Watts, D.J. *Six degrees: The science of a connected age*, W. W. Norton & Company Inc. (2003).
- Watts, D.J. y Strogatz, S. H. *Collective dynamics of 'small-world' networks*. *Nature*, 393 (1998).
- WCED *World Commission on Environment and Development: Our Common Future*. (1987). Oxford University Press.
- Wellman, B. y Leighton, B. *Networks, Neighborhoods, and Communities: Approaches to the Study of the Community Question*. *Urban Affairs Quarterly*, 14(3): 363-390 (1979).
- Wellman, B., Salaff, J.W., Dimitrova, D., Garton, Laura; Gulia, M. y Haythornthwaite, C. *Computer Networks as Social Networks: Virtual Community, Computer Supported Cooperative Work and Telework*. *Annual Review of Sociology*, 22: 213-238 (1996).
- White, D.R. y Harary, F. *Sociological Methodology*, 31 (1): 305-359 (2001) .
- Wilkinson, R.G. *Unhealthy Societies: The Afflictions of Inequality*. London: Routledge (1996).
- Xercavins J. *Carrying Capacity In East Sub-Saharan Africa: A multilevel integrated assessment and a sustainable development approach*. Tesis doctoral (1999). Disponible en línea aquí: <http://tesisenxarxa.net/>
- Zanette, D.H. *Coevolution of agents and networks*. eprint arXiv: 0707.1249. (2007).
- Zimmermann, M. G. y Eguíluz, V. M. *Cooperation, social networks, and the emergence of leadership in a prisoner's dilemma with adaptive local interactions*. *Physical Review E*, 72, (056118) (2005).

## 10.2. Referencias clasificadas por temas

### 10.2.1. Desarrollo Sostenible.

Aalborg, 1994.

Allenby, B. y Cooper, W.E., 1994.

Anand,S. y Sen, A., 2000.

Antequera, J. *et al.*, 2005.

Bifani, P., 1999.

Cash, D. W.*et al*, 2003.

Clark, W.C. y Dickson, N.M., 2003.

Costanza, R. *et al.*, 1998.

Cruz, I., 2007.

Daly, H.E., 1990.

Daly, H.E., 1996.

Ehrenfeld, J.R., 2004.

Fiksel, J., 2003.

Folch, R., 2005.

Folke, C., S. *et al.*, 2002.

Gerstlberger, W., 2004.

Jiménez, L.M., 1997.

Jiménez, L.M., 2000.

Kates, R.W. *et al.*, 2001.

Keiner, M., 2004.

Korhonen, J., 2004.

Korhonen, J., 2005a.

- Korhonen, J., 2005b.
- Lozano, S., 2006.
- Lozano, S. *et al*, 2008.
- MacNeil, J. et al., 1991.
- Manderson, A. K., 2006.
- Max.Neef, Manfred A. *et al.*, 1986.
- Max.Neef, Manfred A., 1998.
- Maya, Augusto A., 1996.
- Meadows D.L. et al, 1972.
- Meadows, D.H., *et al.*, 1992.
- Mebratu, D., 1998.
- Naredo, J.M., 1990.
- Naredo, J.M., 2006.
- Norton, B.G., 1992.
- Ríos, L.A. et al., 2004.
- Ríos, L.A., 2004.
- Robinson, J., 2004.
- Sen, A., 1999.
- Sen, A., 2000.
- Sureda *et al.*, 2004.
- Troyer, M. E., 2002.
- Turner B.L., 2003.
- Xercavins J., 1999.
- WCED, 1987.

*10.2.2. Análisis de Redes Sociales.*

- Abrahamson, E. y Rosenkopf L., 1997.

Axhausen, K.W., 2003

Axhausen, K.W. *et al.*, 2006.

Bogartti, S. P. y Foster, P. C., 2003.

Burt, R.S., 1981.

Burt, R.S., 1987.

Carrington, P.J. *et al.* (editores), 2005.

Cross, R. *et al.*, 2001.

de Moraes Netto, V. y Krafta, R., 2001.

Faust, K., B. *et al.*, 2000.

Forni, P., 2002.

Forni, P. y Longo, M.E., 2004.

Freeman, L. C., 2004.

Granovetter, M., 1973.

Granovetter, M., 1985.

Granovetter, M., 1992.

Hagen, G. *et al.*, 1997.

Hansson, L., 1998.

Krebs, V. y Holley, J., 2002.

Lazer, D., 2001.

Leydesdorff, L., 2006.

Lozano, S. *et al.*, 2007.

McPherson, M. *et al.*, 2001.

Milgram, S., 1967.

Molina, J.L. y Marsal, M., 2002.

Molina, J.L. *et al.*, 2005.

Roberts, 2000.

- Sedaitis, J., 1998.
- Teves, L. *et al.*, 2002.
- Valente, T.W., 1995.
- Valente, T.W., 2005.
- Valente, T. W. y Davis, R. L., 1999.
- Wasserman, S., Faust, K., 1994.
- Wellman, B. y Leighton, B., 1979.
- Wellman, B. *et al.*, 1996.
- 10.2.3. Redes Complejas*
- Albert, R., *et al.*, 2000.
- Barabási, A.-L., 2002.
- Barabási, A-L y Reka, A., 1999.
- Barrat, A. y Weigt, 2000.
- Boguñá, M. *et al.* 2004.
- Bollobás, B. 2001.
- Buchanan, M., 2002.
- Danon, L. *et al.*, 2005.
- Dorogovtsev, S. N. y Mendes J. F. F., 2003.
- Erdős, P. y Rényi, A., 1959.
- Fontoura, L., 2004.
- Lozano *et al.*, 2007a.
- Newman M E J., 1999.
- Pujol, J.M., 2006.
- Solomonoff, R. y Rapoport, A., 1951.
- Watts, D.J., 2003.

Watts, D.J. y Strogatz, S. H., 1998.

#### *10.2.4. Modelos de dinámicas sobre redes*

Axelrod, R., 1997.

Abramson y Kuperman, 2001.

Baronchelli, A. *et al.*, 2006.

Bocaletti *et al.*, 2006.

Bodin, Ö., 2006.

Bodin, Ö y Norberg J., 2005.

Crucitti, P., *et al.*, 2004.

da Fontoura, L., 2004.

Diaz-Guilera A. *et al.*, 2008.

Duch, J. y Arenas, A., 2007.

Eguíluz, V.M. *et al.* 2005.

Ehrhardt, G. *et al.*, 2005.

Guardiola, X. *et al.*, 2002.

Guimerà, R., 2002.

Guimerà R. y Amaral L.A.N., 2005.

Holme P. y Newman M.E.J., 2006.

Huberman, B. A. y Glance, N. A., 1993.

Jain, S. y Krishna, S., 2002.

Kim, B.J., *et al.*, 2002.

Klemm, K. y Bornholdt, 2005.

Kozma, B. y Barrat, A., 2007.

Leskovec, J. *et al.*, 2007.

Lozano, S. *et al.*, 2006.

Lozano, S. *et al.*, 2008.

- Moore, C. y Newman, M.E.J., 2000.
- Moreno, Y. *et al.*, 2003.
- Motter, A.E. y Lai, Y.C., 2002.
- Newman M E J., 2002.
- Newman M E J., 2003.
- Newman M.E.J. y Watts, D.J., 1999.
- Newman M.E.J. *et al.*, 2006.
- Nowak, M. A. y May, R. M., 1992.
- Pastor-Satorras. R. y Vespignani, A., 2001.
- Shnerb, N. *et al.*, 2000.
- Szabó, G. y Fáth, G., 2007.
- Zanette, D.H., 2007.
- Zimmermann, M. G. y Eguíluz, V. M., 2005.
- 10.2.5. Difusión de innovaciones*
- Abrahamson, E. y Rosenkopf L., 1993.
- Abrahamson, E. y Rosenkopf L., 1997.
- Burt, R.S., 1981.
- Burt, R.S., 1987.
- Davies, S., 1979.
- Freeman, C., 1995.
- Granovetter, M., 1985.
- Guardiola, X. *et al.*, 2002.
- Rogers, E. M., 2003.
- Rogers, E. M. y Beal, G. M., 1958.
- Mansfield, E., 1961.

Meyer, J. y Rowan, B. 1977.

Valente, T.W., 1995.

Valente, T.W., 2005.

#### *10.2.6. Resiliencia*

Berkes, F. *et al.*, 2003.

Carpenter S. *et al.*, 2001.

Fiksel, J., 2003.

Holling, C.S., 1973.

Gunderson, L.H., 2000.

Peterson, G. *et al.*, 1998.

RA, 2007.

Turner B.L., 2003.

Walker, B. *et al.*, 2006.

#### *10.2.7. Otros*

Blau, P.M., 1977.

Blau, P.M. y Schwartz, J. E., 1984.

Carley, K., 1991.

DiMaggio, P., 1992.

Durkheim, E., 1956.

Fararo, T. J. y Skvoretz, J., 1987.

Forrest, R. y Kearns, A., 2001.

Friedkin, N. E., 2004.

Funtowicz, S.O. y Ravetz, J.R., 2000.

Gould, Roger V., 1991.

Gould, Roger V., 1993.

Gould, Roger V., 1995.

- Hauert, C. y Szabó, 2005.
- Helmsing, A.H.J, 2001.
- Hirsch, E.L., 1990.
- ISDR, 2007.
- Kawachi, I. y Kennedy, B.P., 1997.
- Kearns, A. y Forrest, R., 2000.
- Margalef, R., 1992.
- Markowitz, H.M., 1970.
- Marshall, A., 1891.
- Moody, J. y White, D.R., 2003.
- Morin, E., 1994.
- Murphy, R.J., 1957.
- Niragu, J., 1994.
- Perry, M., 1999.
- Pimm, S.L., 1984.
- Piore, M. y Sabel, C., 1984.
- Putnam, R., 1993.
- Rodríguez, M.A., 2006.
- Room, G., 1995.
- Saxenian, A., 1994.
- Schumacher, E.F., 1973.
- Scott, A. y Paul, A., 1990.
- Snow, D. A., Rochford, E.B., Worden, S.K. y Benford, R. D., 1986.
- Staber, U. 2001.
- Staber, U. y Sydow, J., 2002.
- Stark, D. y Vedres, B., 2006.

White, D.R. y Harary, F., 2001.

Wilkinson, R.G., 1996.