

## **Procesos sociales y Desarrollo Sostenible: Un ámbito de aplicación para el análisis de redes sociales complejas**

**Sergi Lozano Pérez**

Postdoctoral Researcher  
ETH Zurich, Swiss Federal Institute of Technology  
[slozano@ethz.ch](mailto:slozano@ethz.ch)

### **Resumen**

Este trabajo pretende poner de manifiesto las potencialidades de aplicar las herramientas, conceptos y metodologías habitualmente utilizadas en el estudio de las redes complejas (Ciencia de Redes) al análisis de ciertos aspectos sociales del Desarrollo Sostenible (prestando una atención especial a aquellos relacionados con la organización social). Para alcanzar dicho objetivo, se ha seguido un procedimiento basado en tres pasos: Primero, destacar el rol de los aspectos sociales en general, y de la organización social en particular, en el DS; Segundo, apuntar de qué manera los conceptos y las herramientas metodológicas adoptadas de la “Ciencia de redes” pueden contribuir al análisis de tales aspectos; y, finalmente, presentar ejemplos particulares de aplicación centrados en tres tipos de procesos sociales relacionados con el DS: La cooperación humana, la resiliencia de los sistemas económicos locales y regionales, y la cohesión social.

**Descriptor:** Desarrollo Sostenible, Redes Sociales, Ciencia de redes, Cooperación, Resiliencia, Cohesión social.

\* \* \*

**Title:** Social processes and Sustainable Development: An application field for complex social networks analysis.

**Abstract:** The objective of this work is to highlight the potentialities of applying tools, concepts and methodologies that are commonly used in the study of complex networks (Science of the Networks) to analyze certain social aspects of Sustainable Development (paying special attention to those ones related to social organization). In order to reach this goal, a three-step procedure has been followed: First, playing up the role of social aspects in general, and the social organization in particular, within SD; Second, indicating how concepts and methodological tools borrowed from the Science of Networks can contribute to the analysis of these aspects; and finally, presenting particular examples of application focused on three social processes related to SD: Human cooperation, the resilience of local and regional economic systems, and social cohesion.

**Keywords:** Sustainable Development, Social Networks, Network Science, Cooperation, Resilience, Social cohesion.

## 1 Introducción

El trabajo presentado a continuación es, básicamente, un resumen de (Lozano, 2008), la tesis doctoral del autor, desarrollada a caballo entre la Càtedra UNESCO de Sostenibilitat de la Universitat Politècnica de Catalunya y el grupo de investigación ALEPHSYS (Algorithms Embedded in Physical Systems) de la Universitat Rovira i Virgili (Tarragona). El título elegido para el trabajo intenta reflejar la multidisciplinariedad de esta colaboración a dos bandas. Por otra parte, dicha multidisciplinariedad está también presente en las motivaciones de la tesis, que se basan en la constatación de dos circunstancias, una relacionada con la investigación sobre el Desarrollo Sostenible (DS), y la otra con el análisis de los sistemas sociales desde una perspectiva estructural.

Por una parte, observamos que la investigación sobre DS suele relegar los aspectos sociales como los patrones de consumo, las desigualdades o los movimientos sociales a un segundo plano, en beneficio de otros aspectos más estrictamente ambientales y técnicos como, por ejemplo, el reciclaje o la eficiencia energética. Este trato desigual se debe a una incomprensión general de las complejas relaciones de interdependencia entre la Sociedad y los ecosistemas que soportan su desarrollo y, en ocasiones, tiene consecuencias nefastas. Hemos observado recientemente, por ejemplo, como la apuesta por los biocombustibles provocaba alteraciones del precio de ciertos cereales a nivel mundial, amenazando la supervivencia de millones de personas. 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). En la práctica, este cambio implica transferir a la Sociedad en general la urgencia de una transformación del 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. Esto, a su vez, conlleva la determinación de criterios, indicadores y políticas concretas de Sostenibilidad que incidan más en los aspectos sociales. Paralelamente, implica también buscar las herramientas adecuadas para convencer de la idoneidad y necesidad de estos criterios, medir los indicadores y comprobar la efectividad de las políticas.

La segunda circunstancia a tener en cuenta, 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* (Barabási, 2002) (Watts, 2003)), en el que han destacado especialmente los trabajos que estudian la relación entre estructura y fenómenos sociales. Este ámbito de investigación puede contribuir de forma importante a alcanzar los objetivos del párrafo anterior, tanto por la visión holística que le proporciona su pluridisciplinariedad, como por el énfasis 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 el cambio de estrategia al que nos referíamos.

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

Vista la motivación, el objetivo general de (Lozano, 2008) y, por lo tanto, del presente trabajo, es 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 aquéllos relacionados con la organización social. Para alcanzar dicho objetivo, se ha seguido un procedimiento basado en tres pasos:

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.

El resto del texto desarrolla estos tres pasos de la siguiente manera. En la sección 2, presentamos los ámbitos de investigación que pretendemos relacionar (Desarrollo Sostenible y análisis de los sistemas sociales desde la perspectiva estructural). Una vez introducidos por separado, la sección 3 plantea de qué manera pueden combinarse o ser aplicados conjuntamente (tanto a nivel conceptual como de herramientas de modelización y análisis). Después, la sección 4 presenta, como ejemplos concretos de aplicación, tres trabajos completos e independientes en los que se diseña un modelo computacional como herramienta para trabajar alguna cuestión que relaciona la organización social con el Desarrollo Sostenible. Finalmente, la última sección presenta algunas conclusiones y señala posibles líneas de extensión del trabajo.

## 2 Conceptos básicos

Esta sección presenta, por separado, los ámbitos de investigación que se relacionan en (Lozano, 2008), proporcionando así una base de conocimientos para las siguientes secciones.

### 2.1 Desarrollo Sostenible

Una de las definiciones más conocidas de Desarrollo Sostenible, propuesta por la World Commission on Environment and Development (Comisión Brundtland) en 1987, lo describe 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>.

Esta definición ha sido habitualmente criticada por su ambigüedad. Desde el punto de vista de los aspectos sociales del DS, por ejemplo, vemos que se hace referencia a un concepto muy interesante como es el de la solidaridad intergeneracional (las generaciones presentes respecto a las futuras) pero no se hace una referencia explícita a la importancia de los aspectos sociales y culturales en general.

De hecho, la importancia de los aspectos sociales se ha ido poniendo de manifiesto progresivamente a lo largo de la historia del DS:

- Precedentes. Las teorías de los límites ambientales de Malthus y Ricardo, por ejemplo, son un precedente importante de la idea de sostenibilidad del desarrollo. Sin embargo, representan una perspectiva puramente economicista, que ve el Planeta como un contenedor de recursos a distribuir entre individuos receptores más o menos pasivos.

- En 1972, dos acontecimientos, la celebración de la 'Conferencia NU sobre Medio Ambiente Humano' y la publicación del 'Informe sobre crisis ambiental global' del Club de Roma, ponen de

manifiesto la insostenibilidad ambiental del desarrollo entendido estrictamente como crecimiento económico. Se abre un importante debate centrado en los aspectos económicos y ambientales.

- En 1980 se publica el informe titulado 'World conservation strategy: living resource conservation for sustainable development'. Este documento, preparado por la 'International Union for Conservation of Nature and Natural Resources' en colaboración con FAO y UNESCO, es el primero de alcance mundial que presenta el concepto de Desarrollo Sostenible.

- En 1987, la 'World Commission on Environment and Development' (Comisión Brundtland) propone la definición de Desarrollo Sostenible transcrita más arriba. Como decíamos, los aspectos sociales se incluyen en la idea de desarrollo, pero de forma implícita.

- A lo largo de los 1990's, vemos como los aspectos sociales cobran mayor protagonismo. Hechos como la publicación de los primeros 'Informes sobre Desarrollo Humano' por parte del PNUD (Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo) o la celebración en paralelo de la 'Conferencia de Río' y el 'Foro Global' en 1992, pusieron de manifiesto la importancia de los aspectos sociales. Esta tendencia aumentó, además, la visibilidad del concepto de 'Desarrollo Sostenible' en el seno de la comunidad de investigadores interesados en el 'Desarrollo Humano', resultando en la propuesta de la idea de 'Desarrollo Humano Sostenible'. Nótese hasta qué punto este escenario contrasta completamente con la importancia concedida por Malthus y Ricardo a los aspectos sociales.

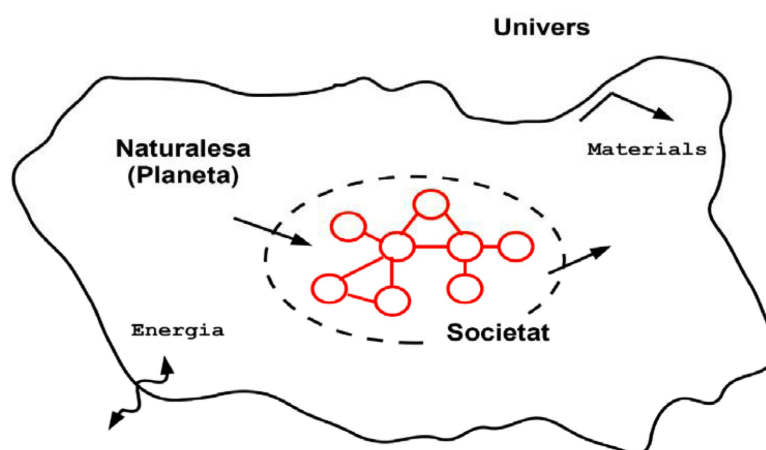


Figura 1. Representación de la aproximación sistémica del conjunto Sociedad-Naturaleza. La Sociedad (subsistema social) es un sistema abierto a la Naturaleza (subsistema natural) y la organización social (representada mediante una red social) juega un papel importante en las interacciones entre los dos subsistemas. Fuente: Adaptación de una ilustración de (Antequera, Gonzalez y Rios, 2005).

En resumen, vemos una tendencia hacia una interpretación del concepto de DS que contemplará, de forma explícita, los aspectos sociales, económicos y ambientales, en la línea del Paradigma Sostenible Global de Jiménez. Sin embargo, tal interpretación se hace extremadamente compleja y difícil de operacionalizar. Para poder manejarla, algunos autores han optado por adoptar una

aproximación sistémica al DS. Dicha aproximación se basa en considerar el binomio Sociedad - Naturaleza como dos sistemas que constituyen uno mayor (ver Figura 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 la evolución temporal de este escenario, debemos tener en cuenta que: a) Cada subsistema presenta una estructura interna de relaciones con patrones heterogéneos; b) Cada subsistema 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.

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 adaptarse a la nueva situación 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 debido a 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.

Desde este punto de vista, 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, condicionara fuertemente las dinámicas propias del sistema social. Alcanzar este objetivo requieren tipos de acciones: Limitar el impacto de las perturbaciones producidas por el sistema social (intentando 'sincronizar' las actividades humanas con los ciclos del subsistema natural), e incrementar la capacidad de los dos subsistemas para adaptarse a las perturbaciones (una idea estrechamente relacionada con el concepto de resiliencia, al que volveremos más abajo en este texto).

Una de las posibles opciones a la hora de desarrollar esta aproximación sistémica es hacerlo desde un punto de vista estructural, es decir, estudiando la estructura de relaciones entre los elementos individuales que componen ambos subsistemas, y cómo esa estructura condiciona las diferentes dinámicas. Esa es, de hecho, la perspectiva propia del Análisis de Redes Sociales (ARS) y de la Ciencia de Redes, a los que dedicamos el siguiente punto.

## 2.2 Del Análisis de Redes Sociales (ARS) a la Ciencia de Redes

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.

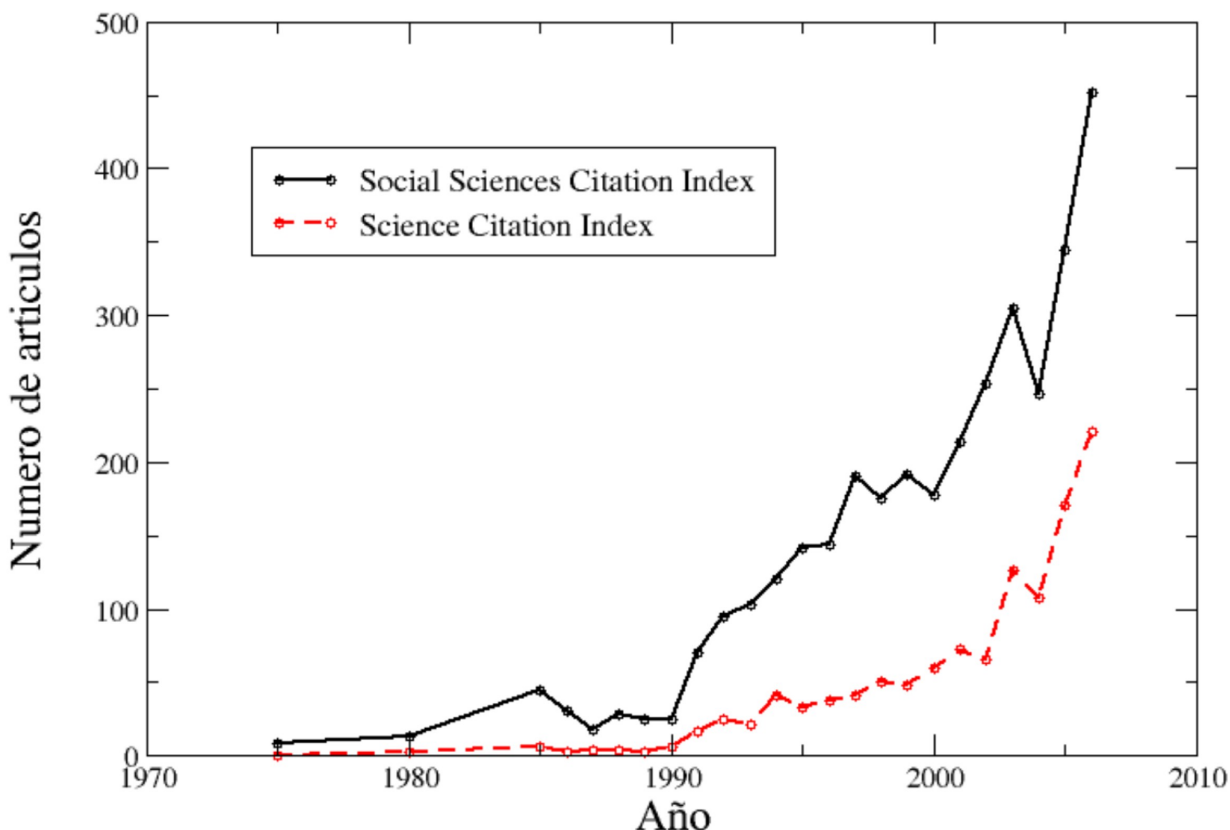
Partiendo de esta idea, los analistas de redes sociales estudian los patrones estructurales de las redes sociales (tales como la distribución estadística del número de vínculos por actor, la concentración de éstos en ciertas regiones de la red, la mayor o menor centralidad de los diferentes actores..) con la intención 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..).

En (Freeman, 2005), el autor también hace una introducción a la historia del ARS, que divide en una serie de etapas que reproducimos a continuación:

- Primeros pasos. Situamos los orígenes del ARS en la década de los 1930's, de la mano de investigadores como Jacob Moreno, fundador de la Sociometría (disciplina antecesora del ARS) a partir de la asimilación del trabajo realizado por otros autores desde disciplinas como, por ejemplo, la psicología del desarrollo y la educación, la sociología y la antropología.
- 1940's – 1960's: La 'etapa oscura'. Freeman se refiere así a un periodo de aportaciones interesantes pero generalmente aisladas y dirigidas a herramientas concretas desarrolladas para aplicaciones particulares.
- El renacimiento del campo. Los años 1970's vieron nuevos esfuerzos en pos de una aproximación estructuralista que integrara las perspectivas de diferentes disciplinas en un único ámbito. En esta etapa hay un nombre que destaca especialmente: Harrison Colyer White. La enorme cantidad de trabajos desarrollados en colaboración con sus alumnos, fue decisiva para este renacimiento.
- Consolidación en ciencias sociales. Desde finales de los 1970's, y durante la década de los 1980's y 1990's, el ARS se consolida progresivamente gracias a la organización de puntos de encuentro y debate entre analistas de redes sociales con diferentes perspectivas. Algunos ejemplos de esos puntos de encuentro son la red de analistas de redes sociales INSNA o las conferencia anual SUNBELT. Esto favorece el crecimiento del campo en investigadores, disciplinas y ámbitos de aplicación dentro de las ciencias sociales.
- Incorporación de investigadores procedentes de las ciencias naturales. Finalmente, hacia el año 2000, el campo empieza a atraer investigadores procedentes de las ciencias naturales (especialmente físicos), que aportan metodologías de análisis y modelización desarrolladas

previamente para estudiar sistemas complejos naturales. El ámbito de investigación surgido de la integración de esos investigadores procedentes de las ciencias 'puras' a un campo de investigación previamente copado por los científicos sociales, es lo que ha recibido el nombre de Ciencia de Redes.

Así, podemos ver la Ciencia de Redes como una culminación del proceso de integración pluridisciplinar que ha caracterizado al ARS, y que ha incrementado su visibilidad y productividad (ver Figura 2).



*Figura 2. Evolución temporal del número de artículos en revistas indexadas relacionados con 'Social Networks' (en inglés). Se puede apreciar 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*

Si observamos con más detenimiento la integración de científicos 'naturales' en el ARS, comprobamos que estos investigadores se han centrado especialmente en dos aspectos de los sistemas sociales: Sus características estructurales y los fenómenos sociales emergentes.

Respecto a la estructura de las redes sociales, ésta presenta ciertas características que también encontramos en sistemas naturales (como, por ejemplo, el fenómeno de 'mundo pequeño' (Watts y Strogatz, 1998)). 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 que 'moldean' las redes sociales.

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 sistemas sociales son la 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. Como veremos en las secciones posteriores, esta aportación puede resultar muy útil para el estudio de los aspectos sociales del DS relacionados con la organización social.

### **3 Aplicación de la aproximación estructural a la investigación sobre Desarrollo Sostenible**

Una vez introducidas, por separado, la importancia de los aspectos sociales del DS y las potencialidades de la perspectiva estructural de la Ciencia de Redes, en esta sección tratamos como aplicar las segundas al estudio de las primeras. En general, cuando nos planteamos dicha aplicación, 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 inciden en la organización social; El otro, más práctico o aplicado, ve la Ciencia de Redes como un conjunto de metodologías y herramientas de análisis y simulación que podrían complementar a las que ya se utilizan en proyectos de diferentes ámbitos relacionados con el DS. Seguidamente, pasamos a profundizar en estas dos perspectivas.

#### **3.1 Desarrollo de conceptos**

Si repasamos la literatura sobre los aspectos más sociales del desarrollo (e.g., los trabajos de Max-Neef y sus colaboradores en torno a la idea de *Desarrollo a Escala Humana*), podemos encontrar algunos discursos y propuestas que relacionan desarrollo y organización social, y que podrían desarrollarse con la ayuda de las herramientas conceptuales adecuadas. La Ciencia de Redes nos proporciona un buen marco conceptual para emprender la profundización de estos discursos.

A modo de ejemplo, seguidamente 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 a las que nos referíamos en el párrafo anterior.

### **3.1.1 Comunidad**

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, Elizalde y Hopenhayn, 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 escala mesoscópica, es decir, centrado 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 población entera). En este sentido, el concepto de *comunidad* con el que se trabaja actualmente en la literatura sobre redes complejas, puede resultar muy útil.

La división de una red social en las comunidades que la componen, proporciona una información relativa a su estructura y a la interacción de ésta con los diferentes procesos sociales que, si se analizara la red en su conjunto (nivel macroscópico) o a nivel individual (microscópico), no sería posible obtener. Por ejemplo, estudiar 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 compuesta por muchos individuos (Lozano, Duch y Arenas, 2007). 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 las evoluciones de cada comunidad contribuyen al comportamiento global observado en la población entera, podremos entender mejor la organización del sistema social objeto de estudio con respecto al fenómeno estudiado (Lozano, Arenas y Sánchez, 2008).

### **3.1.2 Resiliencia**

La literatura en torno a la idea de Desarrollo a Escala Humana nos proporciona otro interesante ejemplo. En (Max-Neef, Elizalde, y Hopenhayn, 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*). 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<sup>2</sup>.

Cuando hablamos de sistemas complejos adaptativos, entendemos la resiliencia 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. 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 (Albert, Jeong, y Barabási, 2000) (Newman, 2003) (Moreno *et al.*, 2003) (Motter y Lai 2002). Esta 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 son la movilidad, 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). Con respecto a los sistemas sociales, en cambio, el uso de este término es más reciente y menos común. Una aproximación interesante al concepto de resiliencia aplicado a sistemas sociales es el que caracteriza a 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.

Si combinamos esta concepción ampliada de la resiliencia en sistemas sociales, que abarca otras funcionalidades más allá 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. Por ejemplo, podría utilizarse para desarrollar ideas como la de *autodependencia*, citada varios párrafos más arriba.

### 3.2 Complementación de herramientas

La segunda perspectiva de aplicación que queremos explorar aquí concierne a las herramientas de modelización y análisis.

Cuando se construyen modelos de 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 los modelos y permite centrarlos en la complejidad de las interacciones entre los sistemas sociales y naturales. Esta aproximación es la base, por ejemplo, de ciertos sistemas de soporte a decisión como GLOBESIGHT (de GLOBAL foreSIGHT), IF (*International Futures*) o IMAGE (*Integrated Model to Assess the Global Environment*).

Sin embargo, ésta no resulta tan útil en casos en los que la heterogeneidad de las características de los individuos o de sus comportamientos son realmente relevantes (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. En estos casos, la simplificación que supone la aproximación de campo medio puede llevar a resultados erróneos (Huberman y Glance, 1993) (Shnerb *et al.*, 2000).

Por otra parte, los modelos con los que se trabaja habitualmente en el ámbito de la Ciencia de Redes, presentan ciertas características que facilitan la incorporación de la heterogeneidad de los sistemas socio-ecológicos. Algunos ejemplos de dichas características son: el uso de redes complejas para representar las interacciones entre individuos (heterogeneidad de la topología de interacciones), modelización basada en agentes (que permite definir comportamientos y características diferentes para cada individuo) y la asincronía (que podemos ver como una forma de heterogeneidad temporal).

A la vista de lo anterior, concluimos que las técnicas de modelización propias de la Ciencia de las Redes pueden ser aplicadas para complementar (y resolver ciertas limitaciones de) las herramientas usadas habitualmente en modelización de sistemas socio-ecológicos.

### 3.3 Posibles ámbitos de aplicación

Las dos perspectivas de aplicación planteadas (Desarrollo de conceptos y complementación de herramientas), pueden resultar útiles en varios ámbitos de aplicación relacionados con los aspectos sociales del DS. En la siguiente lista apuntamos sólo algunos de ellos.

- Gestión de recursos naturales: Un problema directamente relacionado con las interacciones entre los grupos humanos y los ecosistemas que los soportan, y que es la principal cuestión abordada por los investigadores de la *Resilience Alliance*, introducida más arriba.
- Dinámicas de opinión relacionadas con el Desarrollo Sostenible: Las acciones de concienciación y formación para promover el cambio cultural comentado al principio del trabajo, investigación interdisciplinar requerida para abordar la complejidad del Desarrollo Sostenible, etc.
- Movimientos sociales. La emergencia y evolución de los movimientos sociales, así como su influencia política, es una cuestión de gran interés sociológico. En la próxima sección, veremos con mas detalle que también resulta interesante desde el punto de vista del cambio cultural requerido por el DS.
- Desarrollo local y regional: A partir del estudio de las metodologías utilizadas en diferentes trabajos 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 para emprender modelos de desarrollo ligados al territorio.
- Agenda 21 y otras experiencias de participación. A la vista de trabajos de la literatura del ARS

relacionados con la gobernabilidad local y la autoorganización de comunidades, parece razonable integrar herramientas propias de la Ciencia de Redes en el desarrollo de éste y otros tipos de proyectos de participación, 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).

## 4 Ejemplos de aplicación

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 en forma de tres trabajos desarrollados independientemente en el marco de la tesis del autor (Lozano, 2008). Destacamos estos ejemplos por dos motivos. Por una parte porque pretenden profundizar en el estudio de procesos sociales relacionados con el DS. Por la otra, porque 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 el DS.

Los tres ejemplos presentan la misma estructura. Empezamos haciendo una breve introducción que incluye los objetivos del trabajo, seguimos describiendo la metodología aplicada y, acabamos con los resultados obtenidos y las conclusiones alcanzadas desde el punto de vista de los aspectos sociales del DS.

### 4.1 El papel de las comunidades en la cooperación

El primero de los trabajos (Lozano, Arenas y Sánchez, 2008) estudia la influencia de la organización en comunidades de una población sobre la cooperación entre los individuos que la componen. Esta cuestión es doblemente interesante para el estudio que nos ocupa: Primero, porque la cooperación es un concepto clave para el DS. Segundo, porque, tal y como ya hemos comentado más arriba, el concepto de comunidad juega un papel clave en el estudio de la interdependencia entre la estructura social a nivel intermedio (de grupos) y diversos fenómenos sociales.

La metodología empleada se basa en tres elementos: Dos redes sociales obtenidas a partir de poblaciones reales, un modelo computacional para simular la evolución de la cooperación en dichas poblaciones (basado en el Dilema del Prisionero), y el análisis de la estructura de comunidades de ambas redes como herramienta para explicar los resultados obtenidos de las simulaciones.

Respecto a las redes, la primera se obtuvo a partir del tráfico de mensajes de correo electrónico entre usuarios 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 la segunda red social (en adelante, PGP) los nodos corresponden a usuarios del sistema de encriptación de mensajes

*Pretty-Good-Privacy* (origen de las siglas PGP)<sup>3</sup>, y los enlaces representan las relaciones de confianza establecidas entre dos individuos que se firman (reconocen) mutuamente las claves públicas (Boguña *et al*, 2004).

El Dilema del prisionero es una herramienta matemática comúnmente utilizada para estudiar la cooperación entre individuos en situaciones favorables para los comportamientos individualistas. Contempla una situación en la que dos jugadores escogen entre cooperar C o traicionar D (*Defect* en inglés). Si coinciden en cooperar o traicionar, reciben una 'recompensa' o un 'castigo' de magnitud R y P respectivamente. Si uno elige D y el otro C, el primero consigue un premio T y el otro obtiene S. Teniendo en cuenta las siguientes relaciones entre recompensas:  $T > R > P > S$ , se observa fácilmente el dilema: Aunque la elección racional individual es traicionar, si los dos jugadores escogen esta opción van a parar a una situación completamente ineficiente comparada con la alcanzada cuando los dos individuos cooperan.

El modelo computacional presentado en (Lozano, Arenas y Sánchez, 2008) se basa en una generalización del Dilema del Prisionero. La idea básica es que cada uno de los nodos está ocupado por un agente (un individuo) que juega con cada uno de sus vecinos, es decir, los individuos ocupando otros nodos conectados al suyo. Así, partiendo de una situación inicial en la que la estrategia de cada individuo (C o D) es asignada aleatoriamente con la misma probabilidad, nuestro modelo calcula una serie de turnos en los que cada individuo juega con cada uno de sus vecinos, acumula una puntuación y decide la estrategia a seguir en el siguiente turno copiando la del vecino que haya obtenido la mayor puntuación (i.e. imitando al mejor del vecindario). Los turnos se suceden hasta que el sistema alcanza un estado estable, es decir, una situación en la que los individuos tienden a conservar su estrategia a lo largo del tiempo.

En las gráficas de la Figura 3 mostramos los resultados de aplicar el modelo usando las dos redes sociales reales como patrones de interacción entre individuos. Más concretamente, la figura muestra la *Densidad* (proporción) *de cooperadores* en el estado estable final en función de  $b$ , que corresponde al premio que obtiene un jugador desertor cuando traiciona a un cooperador (T). Podemos considerar que esta variable indica la tentación individual de sacar provecho a corto plazo, ya que cuanto más alto es su valor, más beneficio se puede obtener traicionando a un cooperador. Por otra parte, la *Densidad de cooperadores* es un indicador de 'el ambiente de cooperación' en el sistema. Tal y como se indica al pie de la figura, los valores mostrados se calcularon promediando 1000 realizaciones independientes (ciclos completos compuestos por un escenario inicial con estrategias asignadas aleatoriamente, su evolución en base a las sucesivas interacciones entre vecinos jugando el Dilema del Prisionero, y el cálculo de la densidad de cooperadores en el estado estable final).

Las gráficas muestran comportamientos opuestos para cada una de las dos redes. Mientras la densidad de cooperadores en la red de correo electrónico muestra una alta sensibilidad a los cambios de tentación, la red PGP presenta un comportamiento estable para un amplio rango de valores de  $b$ , lo que implica una cooperación mucho más robusta frente a situaciones más favorables a comportamientos no altruistas.

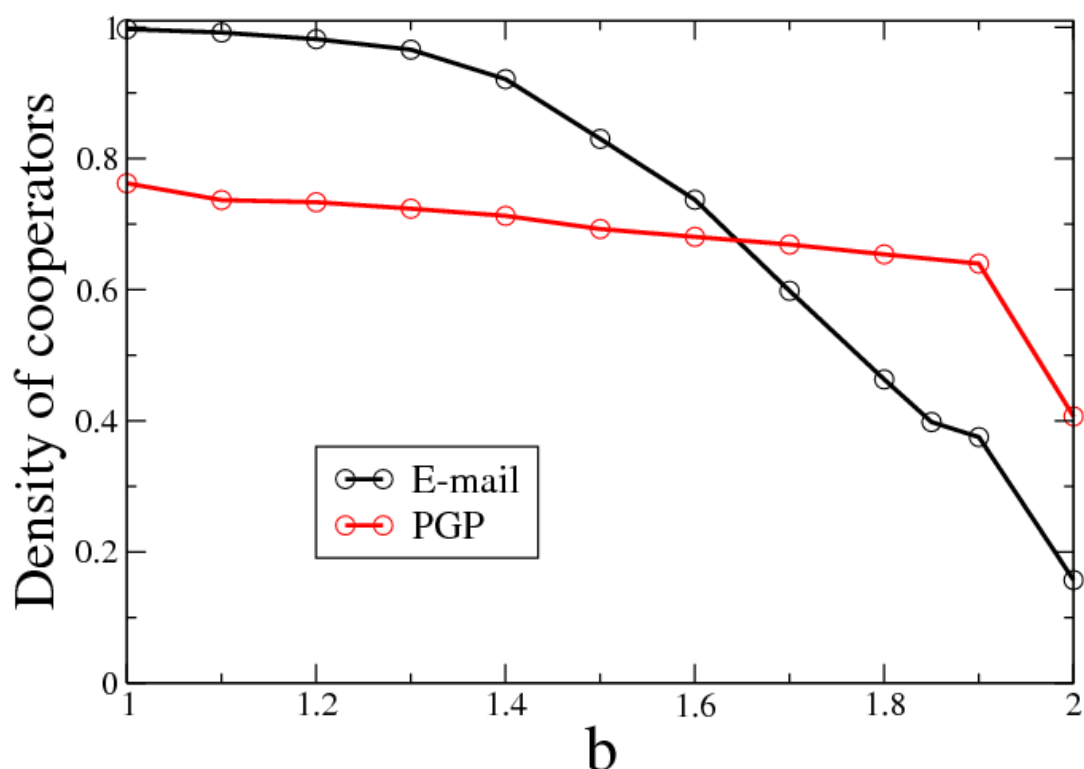


Figura 3. Nivel de cooperación alcanzado, en función del parámetro de tentación individual  $b$ , en las simulaciones sobre la red de correo electrónico (izquierda) y la PGP (derecha). En la red de correo electrónico, la presencia de comunidades hace que el sistema sea más sensible a la tentación individual 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  $b$ . Cada punto corresponde al promedio de 1000 realizaciones independientes con una densidad inicial de cooperadores del 50%.

En (Lozano, Arenas y Sánchez, 2008), los autores pusimos de manifiesto que estas diferencias de comportamiento tienen su origen en las características estructurales de ambas redes a nivel de comunidades y, más concretamente, destacamos dos características estructurales: La conectividad entre las comunidades y la estructura interna de cada una de ellas. La Figura 4 muestra dichas características para ambas redes.

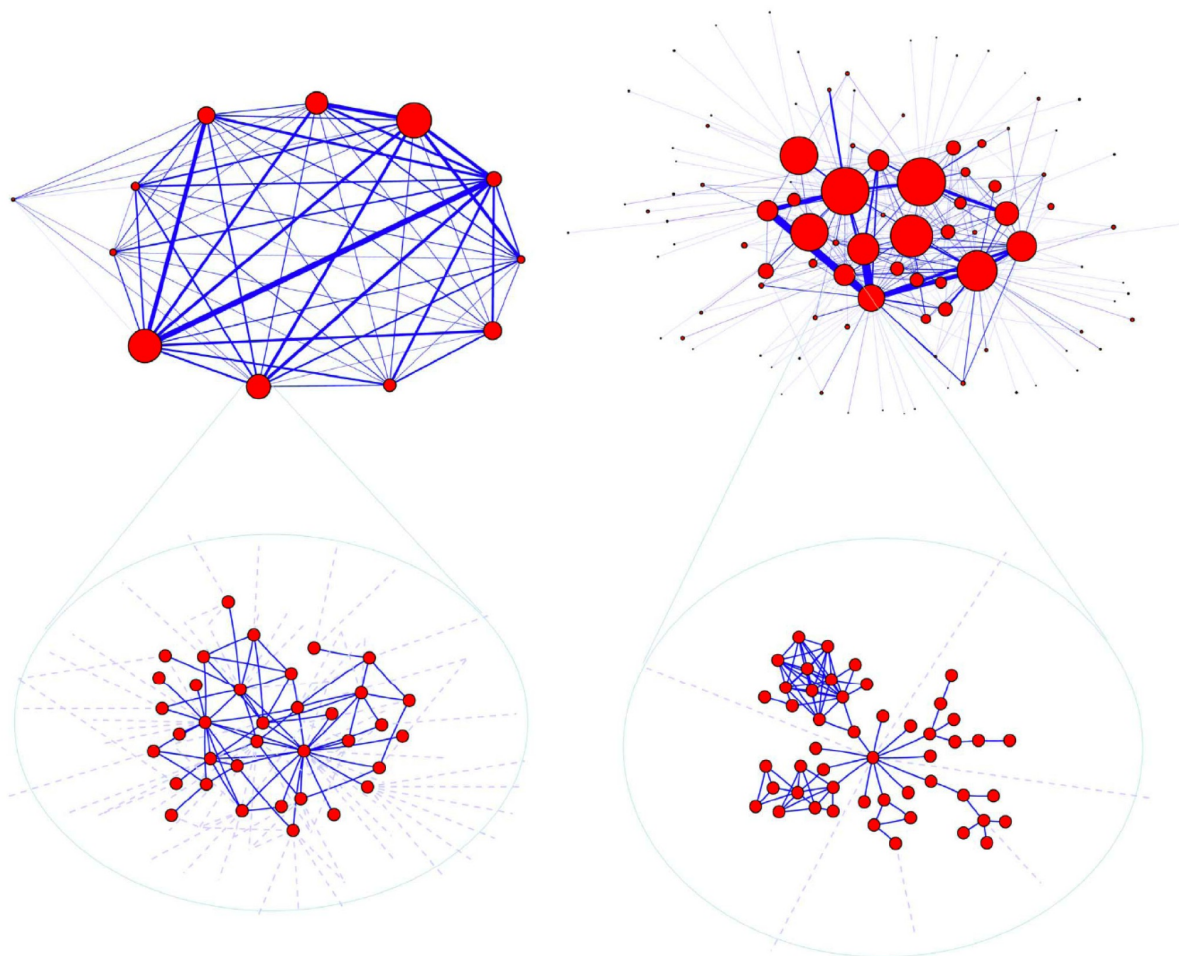


Figura 4. Estructura mesoscópica de las redes de correo electrónico (izquierda) y PGP (derecha). Para cada una de las redes, se muestra como están conectadas las comunidades entre ellas (arriba), y la estructura interna de una comunidad tipo (abajo).

En el caso de la red PGP (derecha de la figura), vemos que las comunidades están escasamente interconectadas, y que su estructura interna presenta individuos muy centrales conectados con la mayoría del resto (a los que llamamos *hubs* o *líderes locales*). La estabilidad observada en el comportamiento de la red PGP se justifica, básicamente, porque los miembros de las comunidades tienden a imitar a esos líderes locales, lo que proporciona estabilidad interna frente a cambios externos en general (y tendencias a comportamientos individualistas/egoístas en particular). Cambios que, por otro lado, tienen escasa probabilidad de propagarse entre comunidades, dada la baja conectividad.

En el caso de la red de correo, en cambio, encontramos comunidades estrechamente interconectadas y con una estructura interna más homogénea, carente de líderes locales. Sin elementos que favorezcan la estabilidad, dicha configuración favorece la 'propagación' de comportamientos individualistas, más ventajosos a corto plazo.



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

Imaginemos, por ejemplo, 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), los resultados obtenidos nos indican que 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, resultaría más apropiada desde el punto de vista de la cooperación.

En cambio, un escenario 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 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.

#### **4.2 Resiliencia de los sistemas económicos locales-regionales**

El segundo ejemplo de aplicación (Lozano y Arenas, 2007), analiza la influencia que ejerce la organización de los agentes locales sobre la resiliencia de la economía local y regional. Más concretamente, incide en cómo diferentes aspectos de la organización social a nivel regional (relacionados, de varias maneras, con la diversidad) favorecen un mayor o menor nivel de resiliencia a cambios en el entorno socioeconómico.

En este caso, la metodología consiste básicamente en reproducir cuantitativamente las conclusiones cualitativas de un trabajo anterior ampliamente referenciado en la literatura sobre distritos industriales y desarrollo regional (Saxenian, 1994). Saxenian estudia dos distritos industriales (Silicon Valley y Boston Route 128) que, ante un incremento en el dinamismo del mercado mundial de electrónica (el entorno socio-económico en el que se desarrollaban), presentaron comportamientos totalmente opuestos (mientras que el primero se convirtió en un ejemplo a seguir a escala mundial, el otro se sumió en una profunda crisis). La autora concluye que dicha diferencia de comportamiento tuvo su origen en las características completamente opuestas en términos de organización social. En Silicon Valley la información fluía entre los actores locales a través de vínculos formales e informales y las iniciativas y opiniones individuales encontraban el medio ideal para desarrollarse. En cambio, Boston Route 128 estaba dominada por grandes corporaciones autárquicas y jerárquicas, donde el intercambio de

información se limitaba a círculos cerrados y homogéneos (el grupo de trabajo, el departamento, la división..) y las decisiones se tomaban de forma centralizada.

Para cuantificar el trabajo de Saxenian, en (Lozano y Arenas, 2007) desarrollamos un modelo computacional que reproduce las características organizacionales destacadas por la autora. Para construirlo, nos basamos en un modelo muy simple de difusión de innovaciones tecnológicas (Guardiola *et al*, 2002) para simular los procesos sociales propios de un polo tecnológico, y en un algoritmo capaz de generar redes sintéticas con características similares a las de las redes sociales reales (Boguñá *et al*, 2004) para poder reproducir las características estructurales de cada uno de los dos polos.

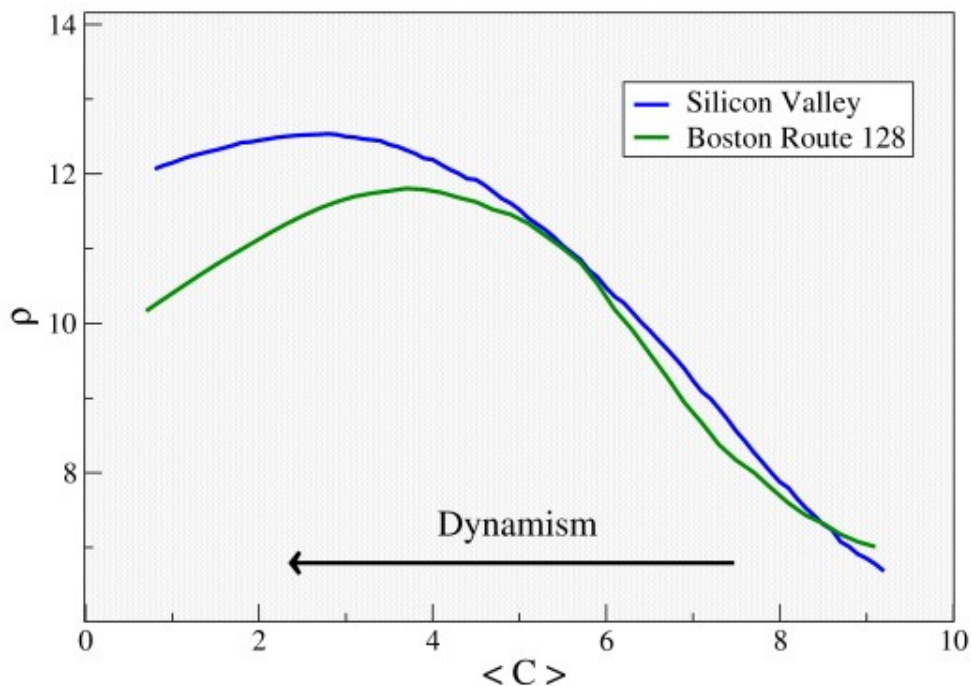


Figura 5. Evolución de la adaptabilidad de cada uno de los sistemas regionales simulados, en términos de mean rate of advance, en función del dinamismo del entorno. Ver (Lozano y Arenas, 2007) para más detalles.

En la Figura 5 se muestra la evolución de  $\rho$  (una variable propuesta en (Guardiola *et al*, 2002) para indicar el nivel de funcionalidad de un sistema de innovación) para diferentes valores del grado de dinamismo en el entorno. Podemos observar que, mientras para valores bajos del dinamismo las curvas son muy similares, las diferencias se hacen evidentes para escenarios más dinámicos. 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.

La principal conclusión del ejemplo 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 ante entornos cambiantes. Aunque en el ejemplo abordado aquí el factor perturbador que amenaza la funcionalidad del sistema es la competitividad en un mercado, la misma conclusión podría aplicarse a otro tipo de amenazas o fuentes de incertidumbre, ya sean de tipo social o ambiental (Gerstlberger, 2004).

La otra conclusión significativa, es que la diversidad es un elemento que favorece la resiliencia de los sistemas socioeconómicos ante entornos inciertos. Esta segunda conclusión está en línea con ciertos discursos de la literatura sobre *ecología industrial*<sup>4</sup>, en la que 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, evolucionaron hacia modelos marcados por la diversidad y los patrones relacionales complejos entre actores sociales regionales (Gerstlberger, 2004) (Helmsing, 2001).

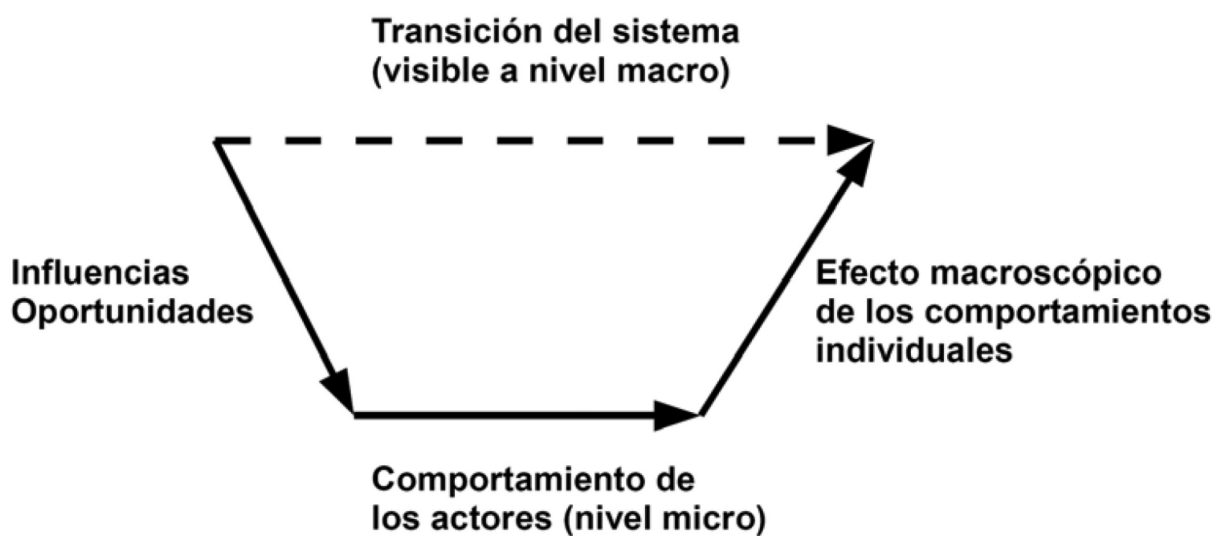
#### **4.3 Movimientos sociales y cohesión**

El último de los tres ejemplos de aplicación que presentamos (Lozano *et al*, 2008), pretende estudiar los fenómenos de movilización social, generalmente como respuesta a una situación percibida como amenazadora. Recientemente hemos podido presenciar algunos ejemplos de como ciertas movilizaciones espontáneas (que, a veces, 'cristalizan' en movimientos más o menos organizados y coordinados en el seno de la Sociedad Civil) pueden ejercer un gran poder de cambio político y social. Algunos ejemplos de ello serían la caída del régimen de Milosevic en Serbia, las movilizaciones espontáneas contra el gobierno del Estado Español el 13 de marzo de 2004, las movilizaciones contra la Ley del Contrato de primer empleo (*contrat première embauche*) en Francia o ciertos movimientos ligados al territorio como el de la *Plataforma en Defensa de l'Ebre* 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 hemos comentado más arriba, el camino hacia un modelo de desarrollo sostenible requiere cambios a nivel cultural.

Por otra parte, este tipo de fenómenos pueden ser relacionados con 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), 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 ha cesado.

En (Lozano *et al*, 2008), abordamos ese aspecto dinámico de la cohesión social desde una perspectiva estructural. Para ello, utilizamos un modelo coevolutivo (en el que 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 la cohesión social como fenómeno de grupo (nivel mesoscópico). Notese el paralelismo entre este planteamiento y la idea del Barco de Coleman Coleman (1994) (ver Figura 6). Nuestros precedentes en esta ocasión son el concepto de “cohesión estructural” de Moody y White (Moody y White, 2003), y diversos trabajos describiendo ejemplos empíricos de movilización colectiva en diferentes ámbitos (Gould, 1991) (Murphy, 1991) (Stark y Vedres, 2006).



*Figura 6. El 'barco de Coleman', representa la idea de que para entender los cambios sociales que implican a grandes colectivos hay que analizar el comportamiento de los individuos (cómo éstos se ven condicionados 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).*

Finalmente, las conclusiones de ese trabajo destacan la utilidad del modelo como herramienta para ayudarnos a entender los fenómenos emergentes de protesta y los movimientos sociales ligados al territorio. En particular, se destaca la importancia de ciertos aspectos individuales como la implicación política o la facilidad de cada uno para 'activar' enlaces dormidos o inactivos, y el papel de la 'temperatura social' a la hora de desencadenar ese tipo de fenómenos.

## 5 Conclusiones y posibles extensiones

En este trabajo 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. A continuación, resumimos las principales conclusiones alcanzadas y proponemos posibles extensiones.

### 5.1 Conclusiones

Los aspectos culturales son vitales para el Desarrollo Sostenible, ya que 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.

La aproximación sistémica al concepto de DS nos proporciona un marco teórico que 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 creciendo 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, especialmente respecto al estudio de la interdependencia entre estructura y fenómenos sociales.

Uno 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 combinar con 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 organización social con el DS. Aquí nos hemos centrado en dos conceptos: el de *comunidad* y el de *resiliencia*. 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. más concretamente, los modelos basados en una perspectiva estructural pueden complementar o substituir a las herramientas de modelización comúnmente utilizadas para estudiar el impacto del comportamiento humano en los ecosistemas en casos en los que la heterogeneidad de los individuos puede ser determinante, casos en los que la aproximación de campo medio en la que se basan puede llevar a errores.

Finalmente, teniendo en cuenta lo dicho en los párrafos anteriores, en la sección 4 del presente texto, hemos presentado ejemplos de trabajos que ilustran dicha aplicación 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.

## 5.2 Extensiones

A pesar de que la última parte está dedicada a presentar y comentar ejemplos concretos de aplicación, este trabajo es eminentemente teórico. Consecuentemente, la manera más natural de extenderlo 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.

Como decíamos más arriba, las redes utilizadas en el segundo de los ejemplos de aplicación presentados en la sección 4, fueron obtenidas a partir del *muestreo* de las interacciones entre individuos (intercambios de correos electrónicos y reconocimiento mutuo de claves públicas respectivamente). Aparte 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 obtención de datos con modelos computacionales como los planteados.

Por otra parte, la metodología utilizada en el mismo ejemplo de aplicación, 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. Aparte de planteamientos coevolutivos similares al presentado más arriba, 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. 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.

## Referencias bibliográficas

- Albert, R.; Jeong, H.; Barabási, A.-L. (2000). "Error and attack tolerance of complex networks". *Nature*, 406. p. 378-382.
- Allenby, B.; Cooper, W.E. (1994). "Understanding Industrial Ecology from a biological systems perspective", *Total Quality Environmental Management*, p. 343-354
- Antequera, J.; González, E.; Ríos, L.A. (2005). "Sostenibilidad y Desarrollo Sostenible: Un modelo por construir". *Sostenible?*, 7. p. 95-118.
- Barabási, A.-L. (2002). *Linked: The New Science of Networks*. Perseus Publishing. Cambridge, EUA.
- Boguñá, M.; Pastor-Satorras, R.; Diaz-Guilera, A.; Arenas, A. (2004) "Models of social networks based on social distance attachment", *Phys. Rev. E*, 70 (056122)
- Coleman, J.S. (1994). *Foundations of Social Theory*. Harvard University Press. Cambridge, EUA.
- Folch, R. (2005) "Les implicacions de la Sostenibilitat", *Sostenible?*, 7. p. 119-132.
- Freeman, L. C. (2005). *The Development of Social Network Analysis: A Study in the Sociology Of Science*. Empirical Press. Vancouver, BC Canada.
- Gerstlberger, W. (2004). "Regional innovation systems and sustainability - selected examples of international discussion". *Technovation*, 24 (9)
- Gould, Roger V. (1991) "Multiple Networks and Mobilization in the Paris Commune, 1871". *American Sociological Review*, 56 (7). p. 16-29
- 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)
- Guimerá, R.; Danon, L.; Díaz-Guilera, A.; Giralt, F.; Arenas, A. (2003) "Self-similar community structure in a network of human interactions", *Phys Rev E*, 68 (065103)
- Hagen, G.; Killinger, D.; Streeter, R. (1997). "An analysis of Communication networks among Tampa Bay

- Economics Development Organizations.” *Connections*, 20 (2).
- Helmsing, A.H.J. (2001) *Partnerships, Meso-institutions and Learning New local and regional economic development initiatives in Latin America*. Institute of Social Studies, The Hague, The Netherlands.
- Holling, C.S. (1973). “Resilience and Stability of Ecological Systems”, *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, 4. p. 1-24
- Huberman, B. A. y Glance, N. A. (1993). “Evolutionary games and computer simulations”, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.*, 90. p. 7716-7718
- Jiménez, L.M. (1997) . *Desarrollo Sostenible y Economía Ecológica*. Editorial Síntesis, Madrid.
- Korhonen, J. (2004). “Theory of Industrial Ecology”, *Progress in Industrial Ecology – An International Journal*, 1 (3), p. 61-88
- Korhonen, J. (2005). “Theory of industrial ecology: the case of the concept of diversity”, *Progress in Industrial Ecology -An International Journal*, 2 (1)
- Krebs, V.; Holley, J. (2002). “Building Sustainable Communities through Network Building”. Localizable en la WEB de la empresa Orgnet: <http://www.orgnet.com/BuildingNetworks.pdf>.
- Lozano, S. (2006). “El Desenvolupament Sostenible com a àmbit d'aplicació de l'Anàlisi de Xarxes Socials” *Ide@sostenible*, 14
- Lozano, S. (2008). *Procesos sociales y Desarrollo Sostenible: Un ámbito de aplicación para la Ciencia de Redes*. Tesis doctoral.
- Lozano, S.; Arenas, A. (2007). “A Model to Test How Diversity Affects Resilience in Regional Innovation Networks” *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 10 (4) 8 <<http://jasss.soc.surrey.ac.uk/10/4/8.html>>
- Lozano, S.; Duch, J.; Arenas, A. (2007). “Analysis of large social datasets by community detection”, *Eur. Phys. J. Special Topics*, 143. p. 257-259
- Lozano, S.; Arenas, A.; Sanchez, A. (2008). “Mesoscopic structure conditions the emergence of cooperation on social networks”, *PLoS ONE* 3(4): e1892
- Lozano, S.; Borge, J.; Arenas, A.; Molina, J.L. (2008) “Beyond Nadel's Paradox. A computational approach to structural and cultural dimensions of social cohesion ”. <http://arxiv.org/abs/0807.2880v1> [physics.soc-ph]
- Manderson, A. K. (2006). “A systems-based framework to examine the multi-contextual application of the sustainability concept”. *Environment, Development and Sustainability* 8. p. 85-97
- Margalef, R. (1992). *Ecología*. Planeta: Barcelona.
- Max-Neef, Manfred A. ; Elizalde, A.; Hopenhayn, M. (1986). *Desarrollo a Escala Humana: Una Opción para el Futuro*, CEPUR.
- Moody, J.; White, D.R. (2003). "Structural Cohesion and Embeddedness: A Hierarchical Concept of Social Groups”, *American Sociological Review*, 68 (1). p. 103-127.
- Moreno, Y.; Pastor-Satorras, R.; Vázquez, A.; Vespignani, A. “Critical load and congestion instabilities in scale-free networks”. *Europhys. Lett.*, 62 (2). p. 292-298
- Motter, A.E.; Lai, Y.C. (2002). “Cascade-based attacks on complex networks”, *Phys. Rev. E*, 66, 065102(R)
- Murphy, R. F. (1957) “Intergroup Hostility and Social Cohesion”, *American Anthropologist, New Series*, 59 (6). p. 1018-1035
- Newman, M E J. (2003). “The structure and function of complex networks”, *SIAM Review*, 45 (167).



- Pimm, S. L. (1984). "The complexity and Stability of Ecosystems", *Nature*, 307
- Saxenian, A. (1994). *Regional Advantage: Culture and Competition in Silicon Valley and Route 128*. Harvard University Press, USA.
- Schumacher, E.F. (1973). *Small is Beautiful: Economics as if People Mattered*. New York, N.Y. : Perennial Library, cop.
- Shnerb, N.; Louzoun, Y.; Bettelheim, E; Solomon, S. (2000). "The importance of being discrete: Life always wins on the surface", *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 97 (19). p. 10322-10324
- Stark, D.; Vedres, B. (2006). "Social Times of Network Spaces: Network Sequences and Foreign Investment in Hungary", *American Journal of Sociology* 111 (5)
- 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.; Schiller, A. (2003). "A framework for vulnerability analysis in sustainability science". *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 100 (14)
- Watts, D.J. (2003). *Six degrees: The science of a connected age*. W. W. Norton & Company Inc.
- Watts, D.J.; Strogatz, S. H. (1998) "Collective dynamics of 'small-world' networks", *Nature*, 393.

- 1 Traducción al castellano de la definición original extraída de (Jiménez, 1997).
- 2 El uso del término *resiliencia* en este artículo requiere una justificación. Tal y como se ha apuntado durante el proceso de revisión del trabajo, este término no consta como tal en los diccionarios castellanos y su lectura resulta poco agradable. Sin embargo, el autor ha preferido preservarlo en detrimento de otros como *robustez* o *tolerancia* para enfatizar su carácter dinámico, a medio camino entre resistencia y flexibilidad (tal y como se apunta en el texto). Cabe destacar que este criterio es coherente con su uso en castellano (tal cual) en ingeniería y psicología, así como el de su equivalente en inglés (*resilience*) en la literatura sobre sistemas en general.
- 3 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>
- 4 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. Puede encontrarse más información en (Korhonen, 2004).