

## Una aplicación del análisis estructural y la teoría de la red de actores al análisis de la eficacia de un Sistema de Innovación regional.

Carlos M. Dema<sup>1</sup>, José Albors G.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Depto. Org. Empresas, Univ. Pol. Valencia, cmdema @omp.upv.es

<sup>2</sup> Depto. Org. Empresas, Univ. Pol. Valencia, jalbors @omp.upv.es)

### RESUMEN

*El concepto de los Sistemas Regionales De Innovación (Carlsson, 1994, Lundvall, 1992,; Nelson, 1993) constituye una contribución fundamental para la comprensión de la actividad innovadora al nivel regional o nacional y la relevancia que algunos de sus actores juegan en su dinamismo.*

*Teniendo en cuenta la complejidad que involucra las estructuras empresariales, sociales, científicas y docentes que se pueden encontrar en los sistemas nacionales de innovación en un país desarrollado, el análisis estructural por modelos de esta red parece ser especialmente apropiado, para su estudio. El enfoque de este trabajo considerará, no sólo las funciones y actividades de los elementos que conforman el Sistema de la Innovación, pero especialmente las relaciones entre ellos.*

*En esta línea este trabajo describirá una aplicación de la teoría del "Actor Network" (Bell y Callon, 1991; Callon, 1991) para el análisis de la eficacia de un sistema de innovación regional en la Comunidad Valenciana por medio del análisis estructural para estudiar las relaciones directas e indirectas entre sus varios componentes. El modelo se basa en el estudio de estas relaciones utilizando una matriz de impactos cruzados, resultado de los cambios de las variables internas y externas en el sistema como consecuencia de estas relaciones 10 puntos.*

### 1. Introducción. Estado del Arte.

El concepto de Sistemas de Innovación (SI), constituye una contribución fundamental para la comprensión de la actividad innovadora, bien sea esta considerada como un sistema o al nivel regional o nacional, y el rol que alguno de sus elementos juega en su dinamismo. Freeman [1] define un sistema nacional de innovación como "la red de instituciones públicas y privadas cuyas actividades e interacciones inician, importan, modifican y difunden las nuevas tecnologías", Lundvall [2] define los sistemas nacionales de innovación (NIS) en un sentido más amplio como "todas las partes y aspectos de la estructura económica e institucional que afectan al aprendizaje, así como la I+D, el sistema de producción, el de mercado y el sistema financiero, así como todos los subsistemas en los que el aprendizaje tiene lugar"; Nelson y Rosenberg [3] definieron la innovación y los sistemas nacionales. Carlsson y Stankiewicz [4] definen un sistema tecnológico como un "la red de agentes que interactúan recíprocamente en un entorno específico económico bajo una infraestructura institucional particular o juego de infraestructuras y están involucrados en la generación, difusión y utilización de la tecnología." En esta dirección la definición e identificación de las "las estructuras de la interfaz en los sistemas nacionales de innovación" de Fernández de Lucio, [5] también ha contribuido a la comprensión de la eficacia de los sistemas de la innovación y de los mecanismos de transferencia de tecnología y de conocimiento dentro de él. El último identifica a esos actores en los sistemas de la innovación que contribuyen para aliviar la tecnología y flujo de conocimiento.

El trabajo de Edquist [6] clarifica y detalla la emergencia del enfoque de los sistemas de

innovación. Independientemente, y desde el punto de vista de la sociología Callon [7] ha definido el término de Redes Tecno-económicas, como *“un juego coordinado de actores dispares como los laboratorios gubernamentales, centros técnicos de investigación, empresas, organizaciones financieras, usuarios y autoridades públicas que participan colectivamente en el diseño, desarrollo, producción y la difusión de los procesos de producción y generación de servicios, algunos de los cuales pueden dar lugar a una transacción comercial”*. Este último concepto implica una red dinámica. Además estos autores han propuesto, en su modelo teórico, que estos TENs se organizan alrededor de varios *“polos”* caracterizados por el tipo de intermediarios (la información desagregada, los artefactos técnicos, los seres humanos y sus habilidades, el capital) que circula por la red. Hay tres polos básicos: el polo científico S (qué produce conocimiento certificado y las habilidades correspondientes), el polo de tecnología T (qué desarrollan los artefactos tecnológicos) y el polo de mercado M (que estructura y organiza la demanda). Se definen dos polos adicionales: El polo de transferencia ST que representa las interfaces entre la ciencia y tecnología y el polo TM que comprende las actividades de relación entre la tecnología y el mercado. A estos polos podrían asociarse varios actores que mantendrán la velocidad del dinamismo de la red. Es en este contexto que este trabajo examinará el dinamismo de la red de innovación utilizando una herramienta de sociología: el análisis estructural. Por motivos de limitación de su extensión se ha tratado de resumir al máximo su contenido.

## **2. La Teoría General de Sistemas como marco de referencia del Análisis Estructural y a los Sistemas Nacionales de Innovación.**

El enfoque de sistemas, que aporta un nuevo marco de estudio e investigación, consiste en la aplicación del método de síntesis a los problemas de los sistemas, según el cual, y tal como apunta Ackoff, [8], *“cualquier cosa que deba ser explicada es contemplada como parte de un sistema mayor, siendo explicada en razón de la función que desempeña en el mismo*. Pero ello no supone el olvido del método analítico. Ambos enfoques, analítico y sistémico, no se encuentran en contradicción sino que son complementarios, no sustitutivos.

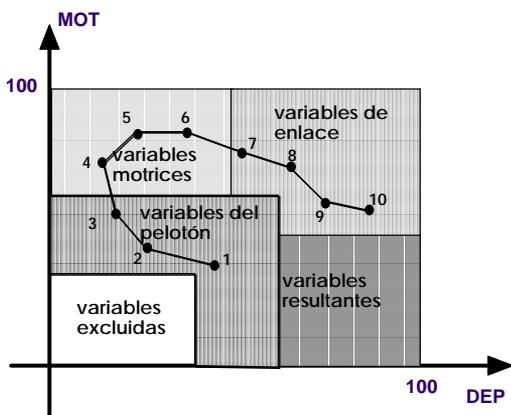
Todo modelo de un sistema social debe omitir algunos detalles del mundo real que trata de modelizar. La esencia de la construcción de modelos reside en la simplificación. *“Un modelo se construye para mejorar la comprensión de un cierto aspecto de la realidad, así como para hacer explícitas las implicaciones de las complejas relaciones que existen en el mundo real”*, [9]. En el estudio de los sistemas de innovación, bien sean nacionales, regionales o sectoriales juegan principalmente las variables sociales y las económicas, pero existe toda una pléyade de variables que, en un momento dado, pueden ser decisivas. Además no es posible aislar el sistema para estudiarlo. Pese a todas las dificultades, para lograr avanzar en el estudio sistémico de la empresa dentro de su entorno, es preciso modelizar, asumiendo con ello la imposición de restricciones al modelo y, por ello, limitando el campo de validez de los resultados obtenidos del mismo. Sobre la incorporación de las opiniones de expertos a los modelos cabe destacar la posición de M. Godet [10] afirma que *“los métodos de expertos son muy valiosos pues contribuyen a reducir la incertidumbre y a confrontar el punto de vista de un grupo con el de otros grupos (función de protección), y, al mismo tiempo, permiten tomar conciencia de la mayor o menor diversidad de opiniones”*.

El análisis estructural permite poner de relieve las relaciones entre los propios elementos del sistema, y entre estos con el entorno, que posean una cierta permanencia en el tiempo, es decir, la *“estructura”* de relaciones del sistema estudiado, constituyendo por ello una herramienta fundamental para el estudio de sistemas complejos. Además, en este tipo de sistemas aparece

frecuentemente el comportamiento contra intuitivo “consistente en una evolución del sistema opuesta a la que sería intuitivo esperar” [11] que también son revelados por esta técnica. Además, al valorarse sola las relaciones entre las variables (endógenas y exógenas) se pueden realizar las relaciones existentes en el SNI limitando los efectos de las ideas preconcebidas, de los paradigmas imperantes y del “efecto farola” que hace que el analista tienda a centrarse en aquellas variables sobre las que se poseen estadísticas fiables. Por ello permite tener una nueva perspectiva sobre el problema que permite apuntar cuales son las relaciones más significativas para explicar el comportamiento del sistema, por lo que, en último termino se apuntaría la necesidad de obtenerla y de establecer indicadores para valorar su evolución.

Esta metodología nace de los trabajos del Profesor Godet, [15] y se desarrolla, fundamentalmente, por este y sus colaboradores en la Universidad Paris Dauphine. Esta técnica se ha mostrado como una herramienta muy útil en los problemas de modelización permitiendo, desde un enfoque sistémico, conocer, en una primera aproximación, las variables más significativas para explicar el comportamiento del sistema objeto del estudio y sacar a la luz posibles efectos contra intuitivos.

El desarrollo se basa en la clasificación MICMAC realizada en el orden de relaciones a partir del cual se logra la estabilidad de las clasificaciones de las variables sobre la base de su motricidad y dependencia. Esta estabilidad no se produce necesariamente, por lo que en se propuso una alternativa [12], coherente con el enfoque que subyace el desarrollo del análisis estructural, que soslaya este problema permitiendo la aplicación de la técnica a estos casos, y en aras de aumentar su funcionalidad como soporte a la toma de decisiones a corto y medio plazo una modificación de la metodología general que permite analizar la sensibilidad de la motricidad y de la dependencia, y con ello su significación relativa en el comportamiento dinámico del sistema ante diferentes alternativas.



**Figura I. Clasificación típica de variables**

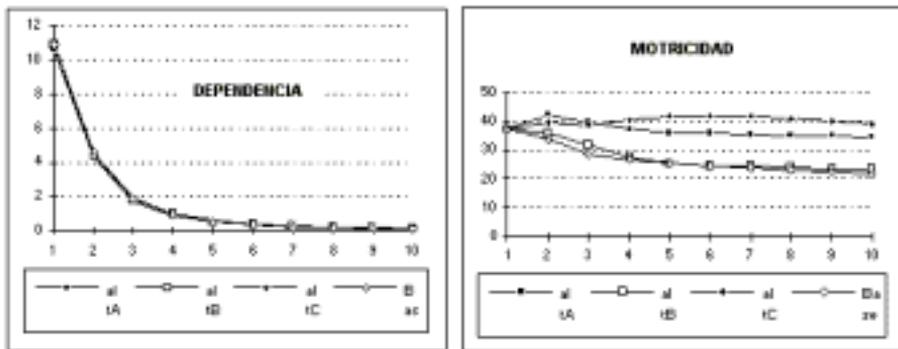
La figura I indica de forma esquemática como se pueden clasificar las variables según su relativa motricidad y dependencia

El análisis estructural consta de tres etapas básicas. El objetivo de la primera consiste en la identificación de todas aquellas variables, tanto externas como internas, que pueden ser significativas, en principio, para el comportamiento del sistema en estudio. La segunda etapa

consiste en la formación de la matriz de relaciones directas entre las variables del sistema y de su entorno y su valoración. Aquí aparecen los conceptos de motricidad y de dependencia que son indicadores de la influencia de una variable sobre las demás así como su dependencia del resto. Finalmente, y partiendo de la matriz de relaciones directas, el estudio de las relaciones indirectas\* del sistema permite descubrir la verdadera importancia de variables que, por no actuar de forma directa, no son perceptibles para el observador parte de sus influencias. La jerarquización de las variables la denomina Godet [10] como clasificación MICMAC. (“*Matrice d’Impacts Croisés Multiplication*”).

Las aportaciones al análisis estructural debe plantearse de forma que siempre se mantengan dos de sus principales virtudes: la sencillez y la coherencia, y su objetivo básico que, según Godet [10] es “identificar las variables clave (ocultas o no), plantear preguntas o fomentar la reflexión acerca de los aspectos contra intuitivos del comportamiento del sistema. Lo que sorprende no debe apartar del camino, sino suscitar una reflexión a fondo y un esfuerzo suplementario de imaginación. Este análisis constituye una ayuda para quien toma las decisiones, no un sustituto. Tampoco pretende describir con precisión el funcionamiento del sistema, sino poner en evidencia las principales características de su organización, El método representa una herramienta de estructuración de ideas y de reflexión sistemática sobre un problema.

Finalmente, este modelo permite evaluar la sensibilidad del modelo de modo que se pueda analizar en qué medida se altera el comportamiento normal de un modelo como consecuencia de la modificación del valor de uno de sus variables. Así, se dice que el modelo es muy sensible a un cierto parámetro si una pequeña desviación del valor del mismo de su valor normal da lugar a una importante modificación del comportamiento global del modelo [9].



**Figura II Analisis de sensibilidad para dos variables diferentes.**

Los casos ilustrados en la figura II muestran la conducta típica de las variables con relación a la respuesta del modelo en cuanto a la diferente sensibilidad de su motricidad y su dependencia ante las distintas alternativas planteadas. Pese al aparato matemático el estudio de sensibilidad es una herramienta cualitativa, que nos proporciona una idea aproximada del comportamiento de la motricidad y de la dependencia de las variables ante las diferentes

\* En base a las propiedades de las matrices booleanas, si se parte de una matriz A que refleja las relaciones directas, la matriz  $A^2$  representa las relaciones de segundo orden, esto es, si el elemento  $a^2_{ij}$  es distinto de cero, es que existe, al menos una variable k tal que  $a^2_{ik} * a^2_{kj} = 1$ . Si el valor de  $a^2_{ij} = n$  implica la existencia de n caminos de orden dos entre las variables i y j. Calculando  $A^2, A^3, A^4, A^5, A^6, \dots, A^n$ , se obtienen los caminos de influencia de orden 2, 3, 4, 5, 6...n.

alternativas, de forma que se mantiene dentro de la filosofía que Godet [14] ha marcado para el análisis estructural.

## 2 Aplicación al estudio del Sistema Valenciano de Innovación.

Debe destacarse que la limitación de espacio solo permitirá esbozar el análisis realizado sin incluir las tablas y gráficos que permitirían su mejor comprensión.

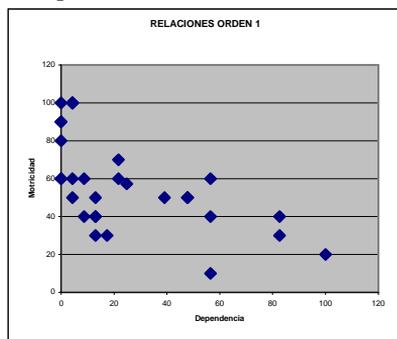
Con el objeto de experimentar el enfoque del Análisis estructural, este trabajo presenta un análisis preliminar del sistema de innovación regional de la Comunidad Valenciana. Un panel de expertos procedió a la selección de las variables. Estas se han obtenido a partir del “Informe Anual sobre el Estado de la Investigación, el Desarrollo y la Tecnología en la Comunidad Valenciana” del Alto Consejo Consultivo en Investigación y Desarrollo de la Presidencia de la Comunidad Valenciana y de los informes de coyuntura de la Consellerías del Gobierno Autonómico [13].

Tanto para la selección de las variables, como para la evaluación de las relaciones se contó con un panel de expertos relacionados con el Sistema de Innovación Regional. El proceso se realizó con una valoración inicial y cinco realimentaciones en las que se replanteaban los puntos en los que no se alcanzaba un acuerdo suficiente, en cada una de las dos etapas. En la primera de ellas de las 35 variables consideradas inicialmente se redujo el campo de trabajo a 29 de las cuales 25 coincidían con las inicialmente propuestas. Estas variables son las siguientes: Gasto total en I+D (Mptas) Gasto total en I+D. Empresas Gasto total en I+D. Administración. Gasto total en I+D. Universidades Gasto total en I+D. IPSFL, Personal de I+D (en EDP), Personal de I+D (en EDP/1000 activos), Personal de I+D. Empresas., Personal de I+D. Administración., Personal de I+D. Universidades. Personal de I+D. IPFSL., Investigadores (en EDP). Investigadores. Empresas. Investigadores. Administración. Investigadores. Universidades, Investigadores. IPSFL, Gasto en I+D por investigador (Mpts/nº inv. EDP), Nº Institutos Tecnológicos, Nº Fabricantes de maquinaria y equipo mecánico, Nº Fabricantes de maquinaria y equipo eléctrico, electrónico y óptico, Nº Fabricantes de azulejo, gres, esmaltes y fritas., Nº Consultoras de ingeniería o técnicas > 10 trab., Nº Laboratorios de ensayos y análisis técnicos > 10 trab., Nº Empresas > 200 trab, Nº Empresas entre 50 y 200 trab, % de universitarios en la industria sobre el total del empleo, Gasto en I+D sobre el total en los sectores eléctrico y óptico, Gasto en I+D sobre el total en los sectores mecánico y mat de transporte, Gasto en I+D sobre el total en los sectores químico y azulejero.

Conforme se podría observar en los gráficos correspondientes a la evolución de las motricidades y las dependencias relativas de las variables el comportamiento es estable a partir de las relaciones de quinto orden, lo cual es razonable ya que en un sistema como el estudiado el efecto de atenuación es importante por existir pocas variables de enlace o de refuerzo.

Se podría observar en la representación gráfica de las variables, no incluidas aquí por limitación de espacio, en el plano motricidad/ dependencia, una de las variables con mayor influencia por ser de refuerzo es el gasto en I+D por investigador. Como variables esencialmente motrices aparecen el número de fabricantes en los sectores de maquinaria y equipo mecánico, maquinaria y equipo eléctrico, electrónico y óptico, así como los fabricantes de azulejo, gres, esmaltes y fritas junto con los correspondientes gastos en I+D en estos sectores respecto del total de la facturación. Ya en menor medida aparece el número de

investigadores en los tres ámbitos: empresas, administración y universidades y el número de Institutos Tecnológicos en funcionamiento. Cabe resaltar la capacidad motriz sobre el comportamiento del sistema que tienen la riqueza del tejido industrial en aquellos sectores de mayor intensidad en la utilización y generación de tecnología y los gastos en I+D que conllevan, capacidad significativamente superior al del número de investigadores. Es sintomático que el gasto en I+D total aparece como una variable totalmente dependiente junto con el personal total de I+D, por lo que podríamos eliminarlas al estar sus efectos explicados por los de otras variables ya consideradas. Así mismo, el número de laboratorios de ensayos y análisis técnicos, el personal de I+D en la administración y el porcentaje de personal en I+D (EDP/1000 activos), y el número de universitarios en la industria sobre el empleo total son, todas ellas, variables con poca motricidad y poca dependencia que, en principio juegan un papel mínimo para explicar el comportamiento del sistema. Todo ello resalta la importancia del personal técnico e investigador en las empresas, frente a la existencia de titulados en otras ramas del conocimiento, para explicar el comportamiento del sistema regional de innovación. Este hecho es claro en este entorno industrial basado en pequeñas y medianas empresas que no incorporan en sus plantillas suficiente personal técnico que pueda realizar una labor de I+D o de colaboración con centros especializados [14].



**Figura III. Dimensiones MOT/DEP de las variables con una relación directa.**

Si se observa la tabla en la que se detallan los valores de la motricidad y de la dependencia relativas (100 máximo valor para el orden de relación) para las relaciones directas y para las de orden 3 y 5, puede observarse que en este caso los cambios de las variables en el plano MOT/DEP no son demasiado significativos, aunque cabe destacar la disminución en la dependencia de algunas variables como el % de universitarios en la industria sobre el total del empleo que disminuye sensiblemente su dependencia e incrementa ligeramente su motricidad, aunque sigue sin ser una variable significativa por los bajos valores de motricidad y dependencia, pero es una variable que se ve potenciada por las relaciones de orden superior. También disminuye la dependencia del número de laboratorios, o lo que es lo mismo las relaciones de orden superior vienen a corroborarnos que la creación de estos centros, que fundamentalmente están en instituciones públicas, realmente no depende de las necesidades reales, sino que es significativamente más independiente de lo que una primera visión directa sobre el problema parece indicar. También aumentan significativamente su dependencia las variables relativas al personal de I+D en la administración pública, en las universidades y en las empresas; hecho explicable a través de su dependencia del número de investigadores y del gasto por investigador fundamentalmente.

Las variaciones significativas de cómo la motricidad y la dependencia relativa cambian en las variables 6 a 9 y 10 a 13.

Si bien el análisis estructural ha permitido descubrir, partiendo solo de las relaciones entre las variables y sin considerar los datos estadísticos, lo cual sería una etapa posterior, algunos efectos contra intuitivos provocados por las relaciones indirectas, además podemos tener una valoración aproximada de cual es esta influencia sobre las variables. Para ello, calculamos la matriz suma de las matrices de orden 2, 3 4 y 5 utilizando el factor de corrección  $1/(n-1)^{w-1}$ , siendo n el número de variables y w el orden de las relaciones. Con ello se homogenizan los valores en función de su pauta de crecimiento absoluto por el proceso de cálculo.

Conforme se puede observar en la matriz agregada cada elemento i j nos indica la influencia que tiene i sobre j debida a las relaciones de orden 2, 3, 4 y 5; o lo que es lo mismo aquella que no se explica por las posibles relaciones de carácter directo. De esta forma obtenemos una información pormenorizada sobre estas influencias (los resultados se han multiplicado por 100). En principio pensamos que cabe reflexionar seriamente sobre todas aquellas relaciones en que las influencias indirectas superan el 0,15 (15 en la matriz agregada) ya que suponen un variación significativa sobre las apreciaciones sobre las influencias directas.

Evidentemente con todo ello solo se pretende ampliar la información disponible por el analista y indicarle nuevas posibilidades de investigación no utilizadas habitualmente para explicar el comportamiento del sistema, ya que al no ser las influencias indirectas claramente perceptibles en un planteamiento directo del problema, normalmente no han sido consideradas y no existe información estadística sobre ellas ni indicadores establecidos. Todos los cálculos realizados lo han sido basándose en unas opiniones de expertos, pero que por su propia naturaleza tienen un sesgo; pero evitan basar todo el estudio en los datos estadísticos conocidos y nos permite ver el problema desde una perspectiva más amplia y global.

### 3. Conclusiones

Ambas escuelas de pensamiento, (Freeman, Carlsson, Lundvall, y Callon) que han estudiado el fenómeno de la innovación desde un a perspectiva de sistemas apuntan al análisis de redes como una herramienta muy útil para la conceptualización de las relaciones entre los actores y como una base metodológica para el análisis de la medida de las propiedades estructurales del sistema de innovación. En 1985 Shrum [16] ya subrayó la necesidad de recurrir al análisis de redes para el estudio de los sistemas de ciencia y tecnología.

Por medio del inicio del análisis de un sistema de innovación regional esta comunicación ha tratado de demostrar que el análisis estructural ofrece una perspectiva prometedora para el estudio de los sistemas de innovación en el contexto de las redes técnico económicas.

### Referencias

- [1] Freeman, C. (1987), Technology Policy and economic performance: Lessons from Japan. London: Pinter.
- [2] Lundvall, B.-A. (ed.) (1992), National Systems of Innovation: Towards a Theory of Innovation and Interactive learning. London: Pinter.
- [3] Nelson, R.R. and Rosenberg, N. (1993) Technical Innovation and national systems. Introductory chapter in R.R. Nelson (ed.)
- [4] Carlsson, B. and Stankiewicz, R. (1995), In the nature, function and composition of technological systems, In B. Carlsson (ed.).
- [5] Fernández de Lucio, I, Conesa, F (1993): Estructuras de interfaz en el sistema español de innovación. Su papel en la difusión de la Tecnología. Universidad Politécnica de Valencia, Servicio de Publicaciones. Valencia

- [6] Edquist, C. (ed.) (1996). *Systems of Innovation: technologies, Institutions and Organizations*, Pinter, London.
- [7] Callon (1990), *Reseaux technico-économiques et irréversibilité*, in R. Boyer, *Figures de l'irréversibilité en économie*, école des hautes études en sciences sociales, Paris.
- [8] Ackoff, R.L. (1970): *Systems Organizations and Interdisciplinary Research*, Emery, London.
- [9] Aracil, J. (1980): *Introducción a la dinámica de sistemas*, Alianza Universidad. Textos, Madrid.
- Forrester, J.W. (1980): *Principles des Systemes*. Presses Universitaires de Lyon, Lyon
- [10] Godet M. (1993): *De la Anticipación a la Acción. Manual de prospectiva y estrategia*. Marcombo. Barcelona.
- [11] Forrester, J.W. (1980): *Principles des Systemes*. Presses Universitaires de Lyon, Lyon
- [12] Dema, C. (1995) *La estabilidad y la sensibilidad de la calcificación MICMAC. de las variables en el análisis estructural, una aproximación al tema. Aplicación al estudio de las variables fundamentales a considerar en el proceso de definición de la estrategia para una mediana empresa innovadora y tecnológicamente avanzada*” PhD Thesis, Universidad Politécnica de Valencia.
- [13] Generalidad Valenciana (2000). *Informe anual sobre el estado de la Investigación y el Desarrollo y la Tecnología en la Comunidad Valenciana*. Generalitat Valenciana. Valencia.
- ms. West Lafayette, IN: Purdue University Press.
- [14] Albors, J., Gil, H., (2000), *Patrones de innovación tecnológica industrial en una región intermedia. El caso de la Comunidad Valenciana*, *Revista d'Estudis Autonomics*, **31**, Valencia.
- [15] Godet, M. (1991): *Prospectiva y planificación estratégica*, S. G. Editores, Barcelona.
- [16] Shrum, W. (1985), *Organized Technology : Networks and innovation in Technical Systems*. W