

## **Modelos multi-agentes de la gobernanza ambiental: Notas a partir de un caso de estudio**

Domenico Camarda\*

### **Abstract**

El concepto de gobernanza comunitaria se entiende generalmente como la gestión de procesos complejos que subyacen a la complejidad del sistema ambiental. De hecho, este enfoque complejo proporciona los procesos de gestión difundidos, deslocalizados y multiagentes que tienen lugar en territorios establecidos con una visión multiscalas, multisectorial y transdisciplinaria.

Los aspectos de interés de este estudio sobre el tema de la gobernanza tratan de la definición de un sistema de agentes múltiples basado en las TIC para la representación de conocimientos, roles, relaciones, tareas y niveles operativos involucrados en los procesos de gobernanza. Este modelo se orienta hacia la construcción de arquitecturas de sistemas basadas en MAS para apoyar la formulación de políticas de desarrollo, gestionadas a través de modelos de procesos de gobernanza comunitaria.

### **Palabras claves**

Gobernanza ambiental, sistemas multi-agentes, apoyo a la decisión, interacción del conocimiento, planificación espacial.

---

\* Politecnico di Bari (Italia).

## Un “framework” de investigación de gobernanza

Actualmente el concepto ontológico de “community governance” se atribuye razonablemente al grupo de “conceptos nómadas” que utilizan el léxico del medio ambiente para dominios diferentes aun conservando sus propios significados (Scandurra, Macchi, 1996; Adams, 2008, p. 104). De hecho, la literatura científica analiza una variedad de sectores diversificados a través de discusiones críticas de tipo teórico, metodológico y también, a menudo, operativo y de implementación. Los contenidos, explícitos y tácitos, de conocimiento abarcan desde disciplinas económicas hasta sociológicas, desde la planificación ambiental hasta la ingeniería y la tecnología del conocimiento. La gobernanza, en este contexto, se entiende generalmente como la gestión de procesos difíciles que comporta la intrínseca complejidad del ambiente, su fenomenología y sus relaciones en ambientes físicos, cognitivos, sociales, económicos (Healey, 2003; Robertson, 2010; Nilsson, Persson, 2012; Sharif, 2012).

Por lo tanto, es necesario aclarar el concepto de gobernanza, con un hilo conductor común, a través de un número de interpretaciones que provienen de diferentes sectores pero que están bien relacionadas entre ellas generalmente. Antes de nada, hay que decir que la literatura científica se ha centrado ampliamente en el concepto de gobernanza institucional. Este se refiere a mecanismos formales de acción colectiva, cuyo objetivo es alcanzar beneficios de interés general. Dentro de este tipo, la pública instrucción y las organizaciones formales desempeñan un papel esencial, interactuando estructuralmente con otros agentes y organizaciones. En este sentido, el término gobernanza (“governance”) se entiende como un concepto genérico que indica la habilidad más que los específicos modelos de gobierno.

La investigación científica de sector del “planning” se ha ocupado del concepto de gobernanza, especialmente con objetivos e investigaciones de aspecto teórico, metodológico y de implementación, usando términos como “urban and regional governance”. El origen de toda esta atención se encuentra, sustancialmente, en el proceso de integración económico-institucional europeo puesto en marcha por el Tratado de Maastricht de 1992 (Dastoli, Vilella, 1993; Baun, 1996). Una mayor conciencia de la complejidad del proceso, difícil y positivo al mismo tiempo, se ha consolidado en un sistema teórico-metodológico autónomo, definido “multi-level governance” (MLG Theory) y guiado por la política multidimensional y de implementación de la gobernanza (Hooghe, Marks, 2001). Dicho sistema ha valorado más una compleja e intrigante dialéctica operativa entre la gobernanza tradicional vertical (comunicaciones económico-informativas entre niveles superiores e inferiores de gobierno) y una creciente dimensión horizontal (actividad de interacción cooperativa entre regiones y/o comunidades locales) hacia una mayor eficacia de la política pública local y de las estrategias de desarrollo.

Por eso se intentan transformar prácticas administrativas rígidas en capacidad propia de administración difusa y descentrada y, por lo tanto, en una efectiva gobernanza institucional. (Chaskin, Abunimah, 1999). Nacen nuevas metodologías y prácticas institucionales que enfatizan las metodologías inclusivas de tipo “community building”, orientadas al refuerzo y al “empowerment” de las comunidades locales, estimulando el interés y las discretas “success stories” (Moulaert et al., 2010). El proceso de revitalización urbana de las últimas décadas en Gran Bretaña es uno de los ejemplos más representativos. El modelo de administración urbana única que produce políticas públicas está integrado allí por redes colaboradoras

de agencias. Estas trabajan creando relaciones mucho más estrechas entre oficinas centrales y periféricas, entre grupos industriales y empresariales y comunidades locales (Cars et al., 2002; Healey, 2004; Booth, 2005).

Durante este método inclusivo un segundo ámbito de interés por la gobernanza también asume, coherentemente, una cierta importancia. Se trata de la relación entre gobernanza y conocimiento, estudiado sensiblemente en literatura. La relación nace porque hay una conciencia mayor de la exterioridad como algo negativo, en términos de desarrollo, que la comunidad ha sufrido por la presencia de informaciones y conocimientos insuficientes o distribuidos de forma asimétrica hacia centros específicos de poder. Al mismo tiempo, la necesidad de gestionar los procesos complejos de la planificación ambiental relacionada con los patrimonios cognitivos locales, lleva a una mayor implicación de las administraciones en un mayor conocimiento de los ciudadanos. Por tanto, el conocimiento se convierte en la figura central durante el proceso de gobernanza y es fundamental para la construcción de modelos de soporte determinados conectados con la gestión de amplios “database” cognitivos (Borri et al., 2004).

Otra de las referencias de dicha investigación viene representada por la exploración de modelos potenciales, tanto conceptuales como operativos, que ofrece la articulación ontológica de la “community governance”. Por consiguiente, hoy es posible referirse a un estable método de investigación que tiende a incluir organizaciones espacio- temporales en la construcción de estructuras “multi-agentes”. Con frecuencia, el objetivo es simular cargos, comportamientos, relaciones, para intentar sacar conclusiones lógicas operativas que sirvan como base para apoyar las decisiones multi-agentes. Un modelo de sistema multi-agentes (MAS) puede contener agentes humanos y

artificiales, automáticos, o una mezcla de agentes de diferente naturaleza contemporáneamente. Un modelo de este tipo se puede dirigir mejor que una gestión de un sistema de agentes formales. Sin embargo, muestra también su gran potencial en el dominio ambiental, consintiendo una reproducción significativa de la riqueza ontológico-fenomenológica implícita en la misma complejidad del ambiente, permitiendo así el mantenimiento del conocimiento necesario para los procesos resolutivos. Los estudios fundados para sistemas y agentes múltiples en el campo del medio ambiente no se han difundido, pero las diversas consideraciones y reflexiones, especialmente cuando se habla de términos de simulación social, son de gran interés e importancia para orientar nuestra investigación (Ferber, 1999; Wooldridge, 2002; Arentze, Timmermans, 2006).

Asimismo, el método del modelo multi-agente hace referencia a uno de los aspectos estructurales del proceso de gestión del ambiente y del territorio, es decir, a la articulación de niveles jerárquicos de “tasks” y de comportamientos mutuos entre agentes. Las “supply chains” económicas son un ejemplo en un contexto más formal, donde las actividades de los agentes en la cadena de distribución pueden variar de simples incumbencias rutinarias a tareas de coordinación y supervisión. Igualmente, se trata de circunstancias que normalmente se verifican en contextos ambientales, urbanos y regionales, aunque sea en un modo más complejo. En estos contextos, las relaciones entre agentes humanos y/o naturales y/o artificiales se desarrollan particularmente entre niveles operativos muchas veces con una jerarquía diferente. Los modelos multi-agentes son capaces intrínsecamente de adaptarse a estas estructuras organizadas con dimensiones complejas. De esta forma, ofrecen un importante potencial

para apoyar la llamada gestión “governance multiscale” (Gertler, Wolfe, 2004; Baud, Dhanalakshmi, 2007).

Coherentemente con estas premisas, el presente trabajo se desarrolla con un enfoque “complex-systems” hacia la formulación y la implementación de políticas de desarrollo en organizaciones ya establecidas, gestionadas a través de procesos de gobernanza. Confirmado muchas veces por la literatura científica, un sistema complejo da una visión “multi-escalar”, “multi-sectorial” y transdisciplinaria eficaz más coherente y efectiva con los procesos de un gobierno difuso, descentralizado y multi-agente que se desarrollan en las comunidades establecidas (Bossomaier, Green, 2000; Batty, 2007).

Los aspectos que atañen a este estudio básicamente tienen como origen un dominio de ingeniería urbana y planificación ambiental, interpretados a través de una perspectiva de un modelo cognitivo que se obtiene de la potencialidad de la “information and communication technology” (ICT) (Turban et al., 2005; Allen, 2007; Power, Sharda, 2009).

La literatura, en realidad, ha evolucionado solo recientemente en lo que se refiere a la cuestión específica de la construcción de modelos organizativos y de gestión ICT-base de gobernanza, que se dirigen hacia políticas eficaces de desarrollo y gestión sostenible de recursos ambientales. En particular, esto ocurre gracias al desarrollo de modelos y sistemas multi-agentes a los que se dirige, sobre todo, el interés principal de la investigación. Se trata de un campo de gran interés para el análisis científico desarrollado en esta investigación, cuyo objetivo final es definir una arquitectura prototipo del sistema de base ICT para apoyar los procesos de “community governance” (Egenhofer, Golledge, 1998; Boroushaki, Malczewski, 2010; Borri, Camarda, 2011; Las Casas et al., 2012).

El marco de referencia principal tiene como objetivo nuevos modelos de gobernanza y actividad de implementación que se basen en una formulación ontológica y fenomenológica (es decir, no tautológica) del concepto de sostenibilidad. Dicho concepto se expresa especialmente mediante visiones y significados socioculturales, institucionales, económicos y ambientales basados e integrados básicamente en dar un valor adecuado a las llamadas “instituciones colectivas” (Cars et al., 2002; Healey, 2004; Booth, 2005). En este contexto, dichos cuerpos institucionales se consideran, en general, sistemas auto-organizados de democracia participativa, cuyos miembros comparten consciente y racionalmente los intereses comunes, además de la intención de usar modelos de comportamiento competitivos-cooperativos de acción.

Este sistema es de gran importancia, ya sea desde el punto de vista teórico-metodológico como desde el punto de vista operativo propiamente dicho. En este último, por otra parte, el sistema puede surgir de procesos tanto lógicos como prácticos por la implicación de una pluralidad de agentes, públicos y privados, que pertenecen a redes organizadas para la gestión de proyectos comunes y para la solución de problemas que producen impactos colectivos.

El papel que desempeña el conocimiento es fundamental para los procesos de gobernanza, ya que lo relaciona con sistemas de soporte a decisiones relacionadas con la gestión de amplias bases de datos cognitivas. En este contexto, el estudio se refiere explícitamente a la necesidad de explorar la potencialidad de los modelos de sistemas de soporte de la “community governance”, mediante el uso formal de prerrogativas garantizadas por la ICT. Los sistemas ICT-base en un ámbito de soporte decisivo permiten la gestión de “output” operativos (por ejemplo dirigidos al “policymaking”) y de “input” como conocimiento y lenguaje (por ejemplo a través de formalizaciones

algorítmicas y ontológicas). En particular, la gestión de los “input” representa en este sentido una actividad de importancia crítica. En efecto, las bases de datos de referencia se originan muchas veces por interacciones dinámicas entre agentes de la comunidad, cuyo sistema estructural constituye parte fundamental del proceso de “community governance” (Turban et al., 2005; Allen, 2007; Power, Sharda, 2009; Borri, Camarda, 2011).

Por esta razón, la estructura del capítulo está organizada de la siguiente forma. El primer párrafo es una introducción general centrada en presentar el “background” de la investigación. Se concentra especialmente en el concepto de gobernanza y su relación con el sistema organizativo de los sistemas multi-agentes (MAS). Un segundo párrafo se divide en dos partes y discute aspectos y potencialidades de los sistemas para agentes múltiples. Concretamente, la primera parte señala algunos caracteres y relaciones entre agentes en un MAS, mientras que la segunda analiza el ejemplo de un sistema MAS orientado a la gobernanza en el caso estudiado del proyecto provincial de Foggia (sur de Italia). Un párrafo final expresa algunas ideas concluyentes relativas al sistema de modelo valle de la aplicación práctica, diseñando prospectivas de desarrollo futuro.

### **Hacia un sistema “agent-based”**

Durante años, nuestro grupo de investigación de “spatial planning” ha desarrollado un buen número de estudios experimentales referidos a sistemas de soporte de procesos de interacción multi-agente y a decisiones en contextos reales de planificación.

La investigación ha comenzado con un proyecto de cinco años de la Unión Europea, propuesto en los países mediterráneos, dirigido al desarrollo de procesos de



planificación y gestión sostenible de recursos ambientales hasta 2003 (Borri et al., 2002). A veces, otras financiaciones posteriores nacionales y locales han permitido profundizar, hasta la actualidad, en la investigación “agent-based” en un contexto italiano (Camarda, 2010). Aunque el concepto de gobernanza no haya representado siempre un objetivo explícito en los proyectos de investigación, sí ha constituido un pilar básico, incluso implícitamente. En la práctica, tanto administraciones centrales como locales, necesitan promover la eficacia de la gestión de los ambientes físicos y ambientales, basándose en un sistema de participación e intercambio cognitivo estable entre agentes de conocimiento. Dichas expectativas tenían como base una mayor conciencia de los papeles críticos de varios agentes en diferentes niveles institucionales, en términos de conocimiento, transformación, uso, gestión de recursos ambientales en los modos de existencia cotidiana de la comunidad. El concepto de gobernanza como una actividad de gestión concertada, multiescalar, multidisciplinar se ha hecho, por lo tanto, evidente como un “framework” natural real para un sistema de modelo multi-agente.

Durante la experimentación realizada en la fase de investigación, se pueden esbozar algunos de los aspectos esenciales que pueden ser útiles para la construcción de MAS “governance-oriented”. Por consiguiente, es posible destacar algunos aspectos siguiendo un sistema de simulación social (Ferber, 1999).

*Naturaleza de los agentes.* Los agentes pueden ser actores naturales de la vida ambiental (agentes humanos, agentes animales, etc.), o entidades artificiales creadas por actividades de un nivel cognitivo alto o bajo (rutinarios, como máquinas o sensores). Por ejemplo, en el ámbito de los agentes humanos, una actividad de coordinación se

considera generalmente de un nivel más elevado que la comparación de una actividad operativa rutinaria.

*Niveles de agentes.* Acciones e interacciones que se desarrollan con diferentes niveles cognitivos pueden ser prerrogativas de varios agentes que operan en distintos niveles. Sin embargo, actividades de un nivel diferente pueden concentrarse en un solo agente, por ejemplo, cuando las circunstancias inducen a agentes específicos a comenzar funciones de un nivel superior junto a actividades rutinarias.

*Agentes colectivos.* Las relaciones entre agentes pueden generar una comunidad de agentes orientados (consciente o inconscientemente) a interactuar como una sola entidad con uno o más agentes en el desarrollo de dicha actividad. Una organización jerárquicamente rígida representa un típico ejemplo; esta provee informaciones “bottom-up” para agentes superiores que usan dicha información para interactuar con agentes externos, de los que reciben “feedback” que se transmiten a la parte baja de la cadena para futuras actualizaciones informativas. Más que un agente, la colectividad es en realidad, una *agencia* en este caso.

*Relaciones, leyes y algoritmos.* Las interacciones entre agentes pueden desarrollarse de diferentes modos, normalmente (pero no exclusivamente) dependiendo de la naturaleza de los agentes. Por ejemplo, interacciones humano-humano pueden realizarse a través de sistemas ICT-base o simplemente mediante contactos socio-físicos, mientras que contactos humano-artificial o artificial-artificial necesitan rutinas basadas en software. En términos formales, relaciones diversas pueden ser soportadas en cantidad y calidad por reglas de origen diferente. Un sistema típico para formalizar relaciones entre agentes se basa en la teoría de juegos, especialmente cuando se trata de agentes con comportamientos decisionales

sustancialmente diferentes (Parsons et al., 2002; Wooldridge, 2012). La implementación de relaciones formales se puede basar en reglas lógicas centradas en conexiones causa-efecto (por ejemplo, “if-then-else”) entre agentes (Mohammadian, 2004). En una modalidad más amplia, el análisis numérico y algorítmico puede proporcionar leyes para la conexión entre agentes, típicamente cuando sean necesarias representaciones sintéticas de unión (Zinkevich, 2004; Stankovic, 2011). En realidad, sistemas y “rule-based” pueden estar presentes en la vida real, mezclándose en un modo desordenado, generando a la vez híbridos de relaciones formales que fundamentalmente reflejan una realidad hecha, por lo tanto, de agentes y relaciones híbridas (Mavridis, 2010; Serban et al., 2012).

*Función de los agentes.* Los agentes pueden recubrir oficialmente papeles diferentes durante una actividad de interacción. En particular, los agentes humanos pueden desarrollar diversas funciones institucionales, lo cual constituye una circunstancia importante, ya que puede implicar varias prerrogativas de poder, que pueden producir impactos sobre aspectos del conocimiento intercambiados en las interacciones. En este sentido, son relevantes algunas experiencias desarrolladas por nuestro grupo durante la fase de construcción de escenarios de desarrollo futuros para algunas comunidades del Mediterráneo. Ahí ha resultado evidente que la calidad y la cantidad de las informaciones intercambiadas dependían sensiblemente de la presencia o ausencia de agentes de poder (políticos o funcionarios específicos), que supervisaban las interacciones (Khakee et al., 2002a). Dichas situaciones pueden sugerir sistemas adecuados para el soporte de las interacciones, que sean capaces de preservar la implicación democrática (y por consiguiente, la calidad del conocimiento de intercambio)

por ejemplo, mediante el uso de arquitecturas ICT-base (Barbanente et al., 2007).

*Tipología de agentes.* Según Jacques Ferber, una clasificación de agentes se puede realizar siguiendo dos criterios: tipológico (agentes cognitivos/reactivos) o de comportamiento (teleonómico/reflejo). La distinción tipológica concierne fundamentalmente a la representación del modo de cada agente. Un agente cognitivo tiene la capacidad de razonar según su representación simbólica del mundo, mientras que un agente reactivo solo puede obtener percepciones, es decir, representaciones sub-simbólicas. La diversidad de comportamiento diferencia las modalidades de acción de los agentes. Un comportamiento teleonómico se relaciona con acciones cuya intención son objetivos explícitos, mientras que un comportamiento reflejo está unido a tendencias perceptivas provenientes de los mismos agentes o del ambiente externo (Ferber, 1999). Agentes humanos, artificiales, híbridos, pueden formar parte de esta clasificación. Principalmente, los sistemas de gobernanza-orientada (“governance-oriented”) presentan combinaciones de tipos y comportamientos de agentes, incluyendo también sistemas institucionales de relaciones que necesitan ser ejecutados en un modelo multi-agente con sistemas específicos (Searle, 1997; Sierra et al., 2007; Ferber et al., 2009).

*El agente ambiental.* El ambiente puede desarrollar diferentes funciones en un sistema MAS. Este ambiente, ya sea como infraestructura artificial “computer-based” que como “framework” natural por la interacción de agentes, representa una parte esencial del sistema. Tradicionalmente constituye un campo estático dotado de actitudes dirigidas a estímulos externos nulos o puramente reactivos. No obstante, disponer de actitudes reactivas permite que se le catalogue como un tipo de agente de un sistema MAS, con conexiones con agentes externos que necesitan

explícitamente analizar y formalizar (Ferber, Muller, 1996). Además, hace poco el ambiente se ha interpretado como un agente proactivo en algunas situaciones, cuya intención es modelar las transacciones inter-agente a través de teorías y reglas lógicas (Weyns, Holvoet, 2003; Le Page et al., 2012). Especialmente en los procesos de transformación antrópica de impacto sobre recursos naturales, los aspectos ambientales tienden a valorizarse y pueden elevarse a “proxy” de agentes ambientales (Phillips, Reichart, 2000). De esta forma se aspira a obtener una visión de sostenibilidad ambiental más efectiva. Así, los procesos de gobernanza se van orientando naturalmente hacia un soporte de decisiones y políticas dentro del “framework”, demostrando actualmente mucho más interés hacia sistemas MAS inclusivos del ambiente.

Generalmente se dice que las redes de la gobernanza se refieren particularmente a procesos “knowledge-oriented”, que están incorporadas en la estructura de los procesos de decisión y planificación (Maciocco, 2008). El proyecto de la provincia de Foggia ha sido concebido exclusivamente como un campo de pruebas para desarrollar y experimentar arquitecturas de modelos para soportar interacciones y decisiones de diferentes niveles. Por lo tanto, no está orientado explícitamente hacia la gobernanza institucional sino basado en un sistema de gobernanza potencial. El modelo construido por el proyecto de Foggia es un sistema multi-agente donde estos y sus relaciones pueden ser extendidos a un sistema de gobernanza más amplio, que contenga las prerrogativas provinciales administrativas.

El caso de estudio de la provincia de Foggia proviene de una iniciativa de planificación donde se ha estructurado un proceso de interacción entre agentes de conocimiento expertos e inexpertos del área. Un primer borrador del proyecto preparado por la agencia de planificación provincial plasmaba una serie de visiones futuras de

ámbitos estratégicos provinciales, basados en estudios e investigaciones de expertos; un esbozo sobre el que elaborar el proyecto final. La base de conocimiento complejo se reflejaba en cuestiones de tipo ambiental en instancias sociales, económicas, ambientales, administrativas, y se representaba con informes temáticos escritos, además de mapas geográficos y conceptuales. Posteriormente se proyectó una

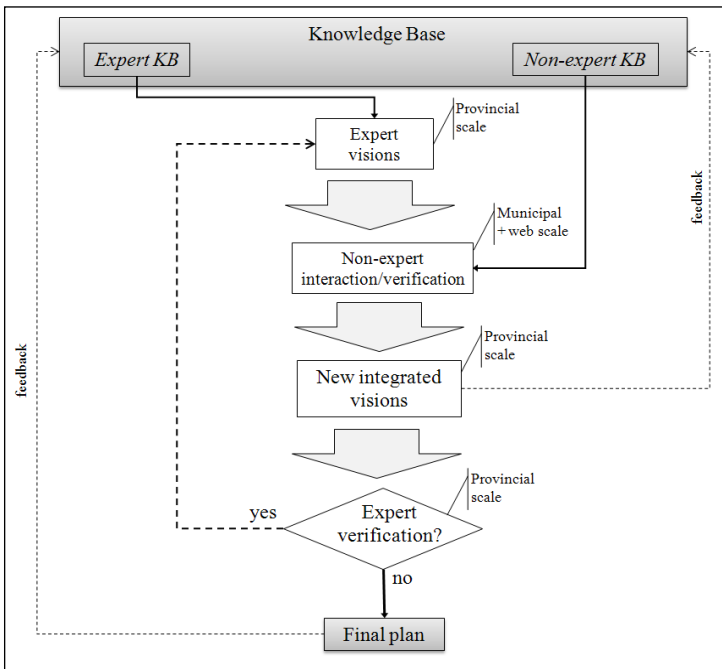


Figura 1 - El proceso principal de planificación

arquitectura para el proceso de planificación que pudiera soportar la colaboración, el enriquecimiento y la valoración de dichas visiones iniciales, para que los decisivos públicos pudieran modificar el proyecto y los programas de su política (“policy”).

El proceso principal está esquematizado en la Figura 1 (Borri et al., 2004). Una actividad inicial de agentes expertos (es decir, estudiosos e investigadores que trabajan en varios sectores científicos) conduce a un grupo de visiones futuras esbozadas, que posteriormente se modifican gracias a los “stakeholders” no expertos locales (ciudadanos, empresarios, activistas, etc.). Esta segunda fase inicia a niveles locales (fundamentalmente en varias salas municipales de la provincia) y continua como forum de interacción internet-base entre agentes difusos a distancia. La última fase termina con la redacción del proyecto definitivo, después de integrar las interacciones local-base e internet-base, y prevee que los expertos lo valoricen en una posible fase posterior (Figura 1). El proceso se activa inicialmente gracias a conocimientos de base disponibles entre los agentes, y posteriormente los agentes participantes añaden constantemente otros conocimientos. Esta actividad de construcción del conocimiento es un proceso multi-escalar, que se desarrolla a nivel municipal, provincial y (virtualmente) global, con agentes, funciones, comportamientos y relaciones inter-agente bien diferenciadas.

La función explícita de un modelo general de acción e interacción de los agentes involucrados puede representar un “framework” inicial para una arquitectura con sistema de soporte de procesos de gobernanza, al menos para una actividad “planning-oriented”. Como ya hemos dicho antes, la generación del conjunto original de visiones futuras ocurre mediante una actividad de construcción de conocimiento experto-base (“expert-based”) y su gestión se desarrolla en un nivel cognitivo superior (Figura 2) (Camarda, 2012).

Esto significa que se trata de un nivel donde la función de coordinación está prevista esencialmente por un agente complejo, la oficina provincial de planificación (UPP), que

coordina a un cierto número de agentes operativos de conocimiento. El agente coordinador no suele estar orientado a la construcción de conocimiento sustancial respecto a los últimos. Sin embargo, representa un agente de alto nivel jerárquico, con prerrogativas de supervisión (Ferber, 1999, p. 34; Wooldridge, 2002, p. 23). La UPP puede considerarse una agencia, ya que está estructurada intrínsecamente por un



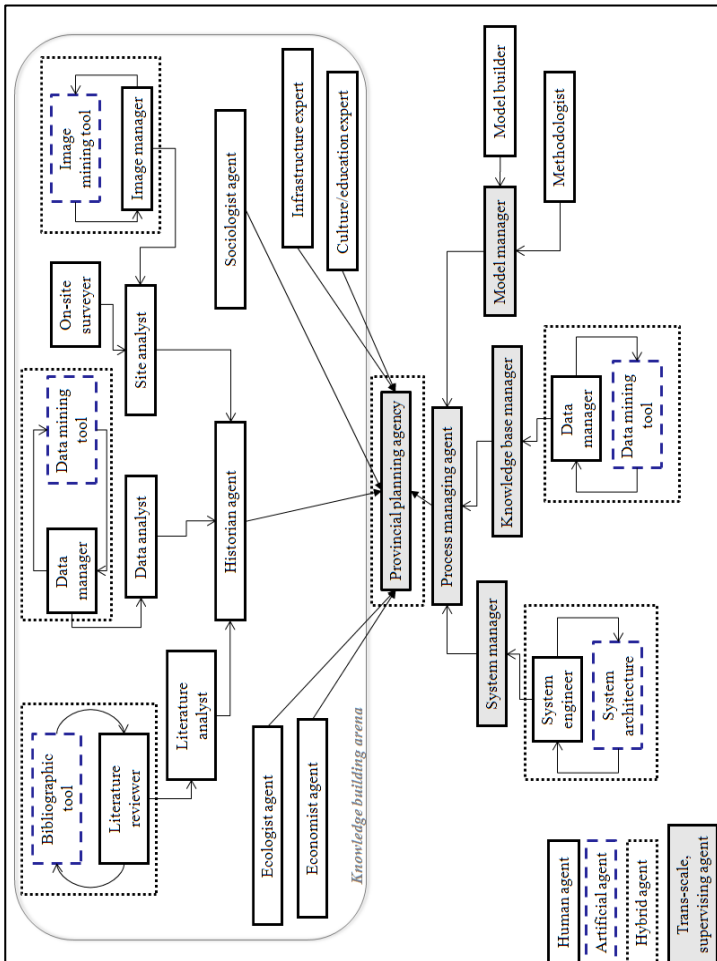


Figura 2 - El sistema multi-agente de conocimiento experto a escala provincial

mecanismo multi-agente, que a su vez asegura su comportamiento externo como una sola entidad. En la UPP los agentes humanos provinciales se

relacionan con otros agentes humanos y con instrumentos de soporte de gestión de datos, considerados agentes rutinarios de bajo nivel. En su totalidad, la UPP se puede entender como un agente híbrido humano/artificial cuyas relaciones internas pueden ser soportadas por una combinación de reglas formales lógicas y de comportamiento.

En la misma escala provincial, los agentes de conocimiento expertos reaccionan ante un cierto número de dominios científicos, a menudo encomendándose a otros agentes de bajo nivel (rutinarios) humanos y/o artificiales como hemos mencionado antes. Un ejemplo, el agente-histórico, que intercambia típicamente conocimiento con otros agentes, el literario y el gestor de datos, implicando diferentes niveles cognitivos y operativos.

Las funciones de conexión que aseguran el flujo necesario de conocimiento pueden operar también con modalidades diferenciadas, o sea, con grados de complejidad diversos, desde reglas lógicas o de comportamiento (humano-humano) hasta funciones algorítmicas del interfaz con herramientas artificiales.

Una vez que se ha puesto en funcionamiento y está completamente operativo, el módulo entero multi-agente de expertos del conocimiento se puede sustituir por un sistema experto para que trabaje como un agente artificial propio. En ese caso, tendrían que utilizar agentes de control para que puedan hacer la manutención y actualizar el mismo sistema para evitar comportamientos “black box” (Arentze, Timmermans, 2006). La agencia de gestión del sistema podría realizar la actividad de control. En otras palabras, una unidad agente sería la encargada de la manutención y de facilitar todo el sistema multi-agente, trabajando en un nivel coordinativo más alto (Figura 2).

Las visiones futuras, una vez completadas por el sistema experto-base, se modifican con la interacción con agentes

de conocimiento no expertos, a niveles municipales (“stakeholders” locales y, después, “stakeholders” remotos con interacción internet-base) y así obtienen nuevas visiones integradas. Dichas visiones se devuelven posteriormente a la UPP para una fase de control y para la redacción del proyecto definitivo. Ese flujo de interacciones de conocimiento entre UPP y los agentes y agencias de niveles inferiores (como las oficinas municipales) representa un modelo formal que puede estructurarse como una arquitectura propia de un sistema para soportar iniciativas planificadoras durante procesos de gobernanza a escala infra-provincial (Figuras 3 y 4) (Camarda, 2012).

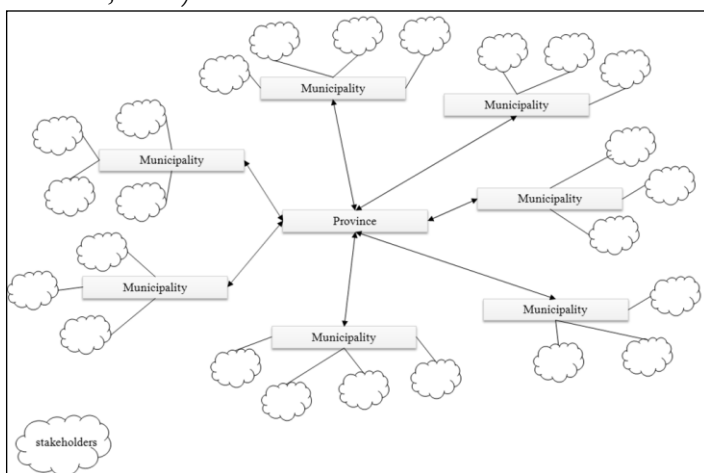


Figura 3 - Interacción “face-to-face” (f2f) para construir el conocimiento

Los agentes institucionales de la agencia de planificación municipal pueden actuar simplemente como pasivos agentes-transmisores de documentos o agentes-preparatorios de la arena de interacción (por tanto con un nivel cognitivo de actividad muy baja). Sin embargo, pueden actuar también como “data collectors” (no pasivos

en la construcción del conocimiento) o estimuladores o incluso como facilitadores de la interacción “knowledge-building” entre agentes de conocimiento. En estos casos, su nivel cognitivo de interacción se puede extender a actividades de rutina y a actividades más importantes de coordinación o supervisión. En la interacción local-base, los “stakeholders” locales representan a los agentes de conocimiento en diferentes dominios de interés para las comunidades locales.

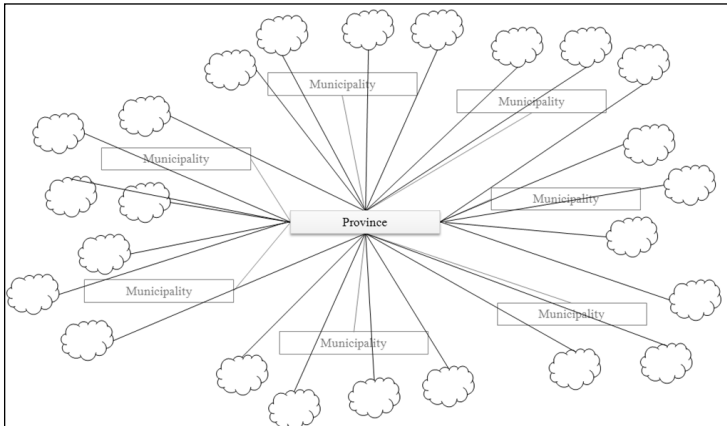


Figura 4. Interacciones “internet-based” para la construcción del conocimiento.

La arena de interacción está típicamente constituida por un espacio institucional de un edificio municipal, donde el proceso “knowledge-building” se desarrolla en forma “face to face” (*f2f*), cara a cara. Aquí, los tipos y funciones de los agentes, incluso de sus relaciones, son más complejos que en una arena experta, por culpa de algunos problemas estructurales como lenguajes no formalizados, datos inciertos y “fuzzy”, intereses no científicos, conocimiento trans-dominio, etc., que necesitan instrumentos y plataformas específicas para solicitar y formalizar el resultado del conocimiento intercambiado. La figura 5

muestra un esquema de algunos agentes principales involucrados, con algunas relaciones y tipos de interacción de referencia (Camarda, 2012).

Después de la interacción de base local, la arquitectura de sistema contiene una sucesiva interacción “web-based” donde los agentes y relaciones modifican sustancialmente los tipos y las escalas de la propia operatividad debido al cambio de ambiente, escala y “outreach” (Figura 5).

Un aspecto importante de los MAS es la estructuración de funciones de relación apropiadas entre agentes, de forma que se asegure un eficaz intercambio de conocimiento.

Aunque este argumento omita el interés específico de dominio de este estudio, sería interesante afrontar algunas instancias que atribuyen complementariedad al modelo de “framework” general. La implicación de agentes artificiales, dotados de prerrogativas cognitivas (por ejemplo en los robots) o rutinarias (por ejemplo en los “software”), permite crear reglas causales deterministas de base de tipo “if-then” o de funciones algorítmicas, que pueden ser formalizadas fácilmente y desarrolladas en interacciones entre agentes artificiales/artificiales o artificiales/humanos (Scerri et al., 2006, p. 372). Dichas reglas pueden multiplicarse, combinarse e integrarse de forma diversa para crear módulos integrados como sub-sistemas de arquitectura de sistema general. Las plataformas internet-base de interacción, por ejemplo, incorporan dichos recursos en su propio ambiente virtual, consintiendo así interacciones ricas de conocimiento multiforme (Lacy, 2005, p. 163). Todo esto, por otra parte, resulta mucho más complejo en los estadios cara a cara (“*2f*”) de construcción de conocimiento, ya que el ambiente real normalmente impide a los agentes humanos que sean claramente sinceros y/o pro-activos debido a problemas de comportamiento y psicológicos en la comunidad (Khakee et al., 2002a).

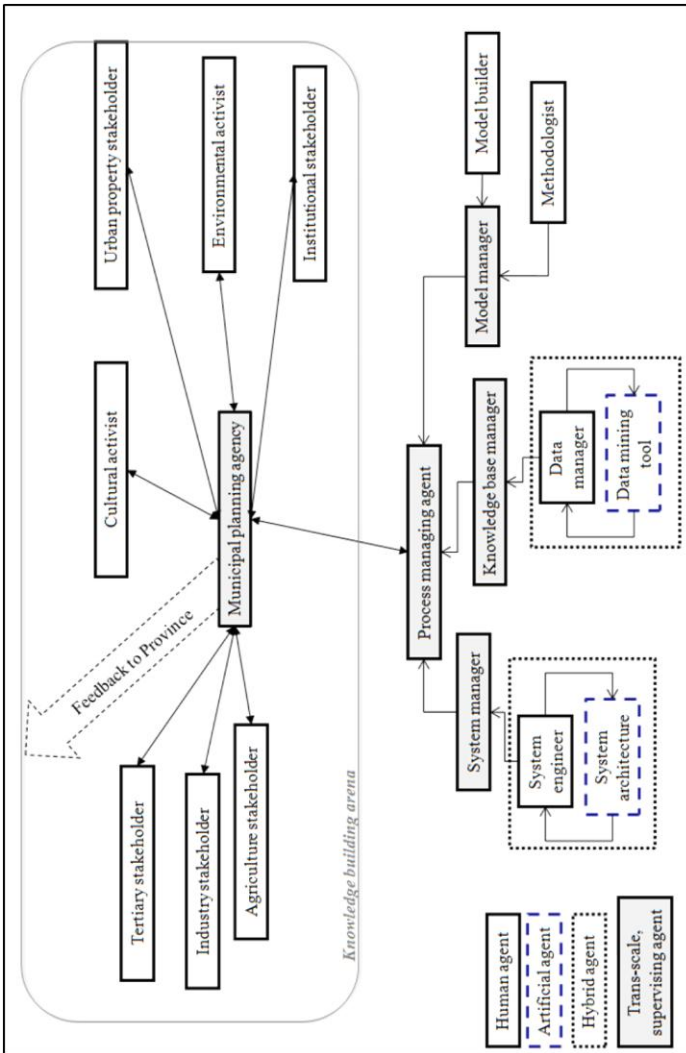


Figura 5 - Agentes en la construcción de la base de conocimiento (f2f)

En este caso, el uso de simples reglas deterministas puede inducir a una explosión combinatoria de las funciones de

relación y causar resultados dudosos. Por lo tanto, especialmente en las interacciones entre agentes de tipo humano/humano, en esta situación se aconseja usar sistemas más abiertos a la construcción del conocimiento, orientados a crear un ambiente más detallado, interactivo, multimedial y multimodal (capaz de aprender expresiones orales, gestuales, escritas, de comportamiento) para soportar las interacciones.

De todas formas, la complejidad de dichos ambientes para gestionar datos reales generalmente sigue apoyándose en reglas formales y teorías de interacción (por ejemplo la teoría de juegos o la “prospect theory”) para mantenerse en un sistema de modelos que pueda consentir la gestión estable de datos en una arquitectura general de sistema (Kahneman, Tversky, 1979; Parsons et al., 2002; Briggeman, 2009).

### **Conclusiones: Potencialidad de un método de conocimiento inclusivo**

La teoría y la práctica de los sistemas multi-agente, aplicados a procesos de gobernanza ambiental, está dirigida especialmente a la enfatización de funciones, comportamientos y acciones de todos los agentes siempre que sea posible, vivos y artificiales, que estén implicados en los intercambios de conocimiento. En esta tentativa, el mismo espacio ambiental donde tienen lugar las transacciones puede representar un elemento clave y ocupa un papel significativo para la eficacia de sistemas de soporte de decisión del tipo “MAS-based”. A pesar de todo, un contexto científico diferente conlleva diversas consideraciones del espacio en la programación de la producción de sistemas inteligentes, capaces a su vez de

influenciar fuertemente la arquitectura y el resultado del sistema.

Por ejemplo, desde el punto de vista de estudios de programación y organización, el espacio viene afrontado como ambiente y contenedor de acciones humanas (cuyas características se consideran solo según su adaptación y humanización), o como una entidad relevante y activa por sí misma (podríamos decir un agente). Su análisis y modelación revela partes del comportamiento humano dependientes de este (Lynch, 1960; Fischer, 2000; Weyns et al., 2007). Según estudios de la cognición espacial, el espacio, visto como entidad abiótica, no se analiza por sí mismo, sino que se hace desde el punto de vista de los agentes bióticos que lo usan para adaptar mejor algunos de sus comportamientos que no pueden ignorar el espacio.

Un caso de acciones elementares puede ser el estudio de alimentos en un espacio determinado, donde gozar de una belleza espacial sería un ejemplo de acciones de nivel cognitivo elevado (Jacobsen, 2009; Carbon, 2011). Existen integraciones de ambas partes del estudio, especialmente donde teorías y acciones de planificación y organización espacial –como ha ocurrido a menudo en años recientes– están influenciadas por sistemas “knowledge-based” (Mockler, 1989; Garling, Evans, 1991).

Para presentar el sistema de este capítulo se ha elegido una perspectiva de investigación “cognitivista”. En ella, los paisajes y ambientes espaciales se consideran espacios y entidades prevalentes y de alta intensidad de conocimiento y significado, con las que los agentes humanos interaccionan para desarrollar la propia vida. No obstante, debido a su complejidad dinámica, los paisajes espaciales parecen ofrecer soportes mal estructurados al típico comportamiento espacial de un agente y las mismas interacciones se desarrollan de forma compleja, no obvia y difícilmente reducible (Tversky, Hard, 2009).



Esto quiere decir que el espacio podría representarse como un agente, y por eso surge la cuestión de cuáles pueden ser los “fundamentales” del espacio desde el punto de vista de la necesidad de los agentes vivientes, que se mueven y viven en dichos espacios en un modo de resiliencia e inteligencia. Además, la estructuración de una arquitectura de sistema basada en un ambiente multi-agente donde el ambiente es un agente de por sí, puede desencadenar problemas de tipo lógico, conceptual y de gestión (Weyns et al., 2007).

Se han realizado múltiples tentativos para individuar aspectos, elementos y “proxy” capaces de estructurar espacios ambientales en una arquitectura MAS como verdaderos y propios agentes, refiriéndose a la literatura de cognición y representación espacial (Hartley et al., 2004; Weyns et al., 2007; Danziger, Rafal, 2009). Por ejemplo, sería interesante mencionar el problema relativo al mecanismo general que relaciona cognición, percepción y decisión espacial, en particular, un agente humano que navega a través de un determinado ambiente espacial limitado por la ejecución de una función específica. En esta actividad de naturaleza espacial, Goodman (Goodman, 1951) destaca la importancia de la función de los componentes “estructurales” (es decir, sustancias, esencias, como una pared que delimita un espacio) y “ornamentales” (muebles, cuadros, etc.) del ambiente.

En general, incorporar el ambiente en un sistema “MAS-based” representa una insistencia difícil e intrigante por el aumento de actividad en la investigación. Por eso, se evidencia una de las perspectivas de estudio más interesantes de los procesos de gobernanza ambiental y planificación multi-agente tanto lógico/ontológico como metodológico/organizativo (Underdal, 2010; Wooldridge, 2012).

Aún así, se trata de un aspecto que enriquece la discusión generada en el capítulo siguiente, que se ocupa de

potencialidad y problemas causados por la construcción de sistemas multi-agente de soporte de procesos de gobernanza ambiental. Gracias a experimentos y casos de estudio se han llevado a cabo algunas reflexiones sobre la estructuración y solución de problemas, y al mismo tiempo, sobre aspectos cognitivos y de “computer science” en un modo significativo. En particular, la emergencia actual de una nueva necesidad de conocimiento no experta, de integración en la experta, ha determinado un renovado interés en los aspectos cognitivos de la interacción entre agentes y en la arquitectura ICT capaz de facilitar la gestión. Pero en muchos aspectos públicos de procesos de gobernanza, dicha conciencia todavía no ha conseguido modificar la visión determinista de los agentes expertos ni la infravaloración de los agentes no expertos, que siguen considerándose solo portadores de contenidos cognitivos a otros agentes a través de la delegación pasiva.

No obstante, para los “decisionmaker” es necesario apoyarse en agentes expertos y no expertos para producir e implementar decisiones en dominios socio-ambientales. En estos últimos, el sistema cibernético usado normalmente en controles de procesos deterministas y racionales está comprometido por el sistema participativo y argumentativo de la planificación. En este contexto, los valores se vuelven mutantes y adaptables, y las mismas estructuras de pensamiento y organizaciones de fondo se vuelven flexibles. En dominios humanos y ambientales los sistemas evolucionan dinámicamente, creando a veces cooperaciones y conflictos entre agentes múltiples con diversas culturas. Esto representa, por lo tanto, un cuadro de una racionalidad débil, ni lineal ni determinista, sino altamente contextual, con varias lógicas (“multi-lógica”) y con varios valores (“multi-valores”) que tendrá que sustituir a la típica visión de una racionalidad fuerte y absoluta de un

pasado reciente (Forsythe, Buchanan, 1989; Weyns et al., 2007).

Más que alcanzar objetivos, los nuevos proyectos y decisiones ambientales se ocupan de construir visiones y escenarios relacionados con situaciones en proceso de evolución, donde los diferentes agentes localizan las propias posiciones, comportamientos y culturas mientras interactúan dialécticamente con otros agentes y otros ambientes. Por eso, los procesos interactivos serán el medio principal para activar y explorar visiones de “planning” y “governance” (Brenner, Nebel, 2009).

El desarrollo creciente de ITC y “computer science” crea nuevas oportunidades para las negociaciones cognitivas, como se puede comprobar en las experiencias del contexto mediterráneo descrito. Las negociaciones se vuelven cada vez más multi-culturales y se amplían en espacio y tiempo; y es ahí donde además crearán contextos de interculturalidad e intraculturalidad, donde tendrán lugar las negociaciones.

Al mismo tiempo, sin embargo, las funciones de los agentes involucrados en arquitecturas MAS son cada vez más críticos y menos obvios respecto al pasado. Las funciones cambian y se vuelven diferenciales y múltiples, tanto en acciones importantes como en localizaciones jerárquicas. Como ya hemos mencionado antes, incluso las funciones y comportamientos se reconocen en el mismo agente, y no necesariamente en procesos particulares y excepcionales sino en normales contextos decisionales de la vida. A pesar de que el patrimonio cognitivo (Anderson, Krathwohl, 2001; van Dyke Parunak et al., 2004) represente un aspecto relevante, las aptitudes operativas y las habilidades representativas son también muy importantes aun sin intrínsecas habilidades cognitivas (Ferber, 1999). La presencia de agentes humanos es insustituible en muchas fases de la interacción pero en muchas otras se necesitan

rutinas automáticas o semiautomáticas para obtener acciones en tiempo real, reiteradas y sin condicionamientos. Por consiguiente, un sistema multi-agente orientado a soportar interacciones en un contexto de gobernanza se entiende cada vez más como una arquitectura híbrida (Franklin, Graesser, 1997; Barbanente et al., 2007).

Dicha frontera de hibridación no está exenta de problemas operativos en la construcción del sistema, presentando especialmente un cierto número de instancias importantes y críticas. Por ejemplo, se puede mencionar (i) sistemas apropiados para individuar agentes y funciones, (ii) si se trata de habilidad incorporada o inducida por el contexto (sobre todo por agentes humanos), (iii) el impacto de un pequeño número de agentes primarios en procesos complejos de gobernanza, (iv) el impacto de rutinas compactas multi-agentes sobre el control de datos y resultados (sobre todo por agentes artificiales), (v) la importancia de las diferentes representaciones cognitivas del espacio.

Aunque muchas de estas instancias resultan difíciles de gestionar, son muy importantes para la factibilidad y la eficacia de arquitecturas “MAS-based”. Algunas de estas necesitan valoraciones complejas por parte de varios dominios disciplinares. Representan un futuro de investigación sugestivo, que merece una mayor exploración, experimentación y discusión. Así pues, no es un error prever en un próximo futuro una mayor atención para dichos escenarios de estudio de MAS.

## Bibliografía

- Adams W.A. (2008), A transdisciplinary ontology of innovation governance, *Artificial Intelligence and Law*, 16, 2, pp. 147-174.
- Allen G.L. (ed.), (2007), *Applied Spatial Cognition: From Research to Cognitive Technology*, New York, Erlbaum.
- Anderson L.W. and Krathwohl J. (eds), (2001), *A Taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives*, New York, Longman.
- Arentze T., Timmermans H. (2006), Multi-agent models of spatial cognition, Learning and complex choice behavior in urban environments, in Portugali J. (ed.), *Complex Artificial Environments*, Berlin, Springer.
- Barbanente A., Camarda D., Grassini L. and Khakee A. (2007), Visioning the regional future: Globalisation and regional transformation of Rabat/Casablanca, *Technological Forecasting and Social Change*, 74, pp. 763-778.
- Batty M. (2007), *Cities and Complexity: Understanding Cities with Cellular Automata, Agent-Based Models, and Fractals*, Cambridge, The MIT Press.
- Baud I., Dhanalakshmi R. (2007), Governance in urban environmental management: Comparing accountability and performance in multi-stakeholder arrangements in South India, *Cities*, 24, 2, pp. 133-147.
- Baun M.J. (1996), *An Imperfect Union: The Maastricht Treaty and the New Politics of European Integration*, Boulder (USA), Westview Press.
- Booth P. (2005), Partnerships and networks: The governance of urban regeneration in Britain, *Journal of Housing and the Built Environment*, 20, 3, p. 257-269.
- Borri D., Camarda D. (2006), Visualizing space-based interactions among distributed agents: Environmental planning at the inner-city scale, *Lecture Notes in Computer Science*, 4101, p. 182-191.

- Borri D., Camarda D. (2011), Planning for the environmental quality of urban microclimate: A multiagent-based approach, *Lecture Notes in Computer Science*, 6874, p. 129-136.
- Borri D., Camarda D., De Liddo A. (2004), Envisioning environmental futures: Multi-agent knowledge generation, frame problem, cognitive mapping, *Lecture Notes in Computer Science*, 3190, p. 230-237.
- Borri D., Camarda D., De Liddo A. (2008), Multi-agent environmental planning: A forum-based case-study in Italy, *Planning Practice & Research*, 23, 2., p. 211-228.
- Borri D., Camarda D., Grassini L. (eds.) (2002), *Sustainable planning for Soil and Water: The Mediterranean*, Paris, L'Harmattan.
- Bossomaier T.R.J., Green D.G. (2000), *Complex Systems*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Brenner M., Nebel B. (2009), Continual planning and acting in dynamic multiagent environments, *Journal of Autonomous Agents and Multiagent Systems*, 19, p. 297-331.
- Briggeman J. (2009), Governance as a strategy in state-of-nature games, *Public Choice*, 141, 3-4, p. 481-491.
- Camarda D. (2010), Beyond citizen participation in planning: Multi-agent systems for complex decision making, in Nunes Silva C. (ed.), *Handbook of Research on E-planning: ICTs for Urban Development and Monitoring*, Hershey (USA), IGI Global, p. 195-217.
- Camarda D. (2012), Multiagent systems for the governance of spatial environments: Some modelling approaches, in Murgante B., Gervasi O., Misra S., Nedjah N., Rocha A., Taniar D., Apduhan B. (eds.), *Computational Science and Its Applications*, Berlin, Springer, p. 425-438.
- Carbon C.C. (2011), Cognitive mechanisms for explaining dynamics of aesthetic appreciation, 2, 7, p. 708-719.

- Cars G., Healey P., Madanipour A., De Magalhaes C. (eds.). (2002). *Urban Governance, Institutional Capacity and Social Milieux.*, Aldershot, Ashgate.
- Chaskin R.J., Abunimah A. (1999), A view from the city: Local government perspectives on neighborhood-based governance in community-building initiatives, *Journal of Urban Affairs*, 21, 1, p. 57-78.
- Danziger D., Rafal R. (2009), The effect of visual signals on spatial decision making, *Cognition*, 110, p. 182-197.
- Dastoli P.V., Vilella G. (1993), *La Nuova Europa: I Difficili Scenari del dopo Maastricht*, Bologna, Il Mulino.
- Egenhofer M.J., Golledge R.G. (1998), *Spatial and Temporal Reasoning in Geographic Information Systems*, Oxford, OUP.
- Etzioni A.E.O. (1999), Face-to-face and computer-mediated communities, A Comparative analysis, *The Information Society*, 15, 4, p. 241-248.
- Ferber J. (1999), *Multi-Agent Systems: An Introduction to Distributed Artificial Intelligence*, London, Addison-Wesley.
- Ferber J., Muller J. (1996), Influences and reaction: A model of situated multiagent systems, in Tokoro M. (ed.), *Proceedings of the Second International Conference on Multi-Agent Systems*, AAAI, Kyoto, Japan, p. 72-79.
- Ferber J., Stratulat T., Tranier J. (2009), Towards an integral approach of organizations in multi-agent systems, in Dignum V. (ed.), *Handbook of Research on Multi-Agent Systems: Semantics and Dynamics of Organizational Models*, Hershey (US), IGI, p. 51-75.
- Fischer J. (2000), *Citizens, Experts, and the Environment: The Politics of Local Knowledge*, Durham, Duke University Press.
- Forsythe D.E., Buchanan B.G. (1989), Knowledge acquisition for expert systems: Some pitfalls and suggestions, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 19, 3, p. 435-442.

- Franklin S., Graesser A. (1997), Is it an agent, or just a program?: A taxonomy for autonomous agents, in Muller J., Wooldridge M., Jennings N. (eds.), *Intelligent Agents III: Agent Theories, Architectures, and Languages*, Berlin, Springer, p. 21-35.
- Garling T., Evans G.W. (1991), *Environment, Cognition, and Action: An Integrated Approach*, New York, Oxford University Press.
- Gertler M.S., Wolfe D.A. (2004), Local social knowledge management: Community actors, institutions and multilevel governance in regional foresight exercises, *Futures*, 36, 1, p. 45-65.
- Goodman N. (1951), *The Structure of Appearance*, Cambridge, Harvard UP.
- Hartley T., Trinkler I., Burgess N. (2004), Geometric determinants of human spatial memory, *Cognition*, 94, p. 39-75.
- Healey P. (2003), Collaborative planning in perspective, *Planning Theory*, 2, 2, p. 101-123.
- Healey P. (2004), Creativity and urban governance, *Policy Studies*, 25, 2, p. 87-102.
- Hooghe L., Marks G. (2001), *Multi-level Governance and European Integration*, Lanham (USA), Rowman & Littlefield.
- Jacobsen T. (2009), Beauty and the brain: Culture, history and individual differences in aesthetic appreciation, *Journal of Anatomy*, 216, 2, p. 184-191.
- Kahneman D., Tversky A. (1979), Prospect theory: An analysis of decision under risk, *Econometrica*, 47, 2, p. 263-292.
- Khakee A., Barbanente A., Camarda D., Puglisi M. (2002), With or without? Comparative study of preparing participatory scenarios using computer-aided and traditional brainstorming, *Journal of Future Research*, 6, p. 45-64.



- Lacy L.W. (2005), *OWL: Representing Information Using the Web Ontology Language*, Victoria, Trafford Publishing.
- Le Page C., Becu N., Bommel P., Bousquet F. (2012), Participatory agent-based simulation for renewable resource management: The role of the Cormas simulation platform to nurture a community of practice, *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 15, 1, p. 10.
- Lynch, K. (1960), *The Image of the City*, Cambridge, The MIT Press.
- Maciocco G. (ed.) (2008), *The Territorial Future of the City*, Berlin, Springer.
- Mavridis N. (2010), On artificial agents within human social networks: Examples, open questions, and potentialities. Paper presented at the *4th IEEE International Conference on Digital Ecosystems and Technologies (DEST)*, 13-16 April 2010.
- Mockler R.J. (1989), *Knowledge-Based Systems for Management Decisions*, Upper Saddle River, Prentice-Hall.
- Mohammadian M. (2004), *Intelligent Agents for Data Mining and Information Retrieval*, Hershey, Idea Group Pub..
- Moulaert F., Swyngedouw E. Martinelli, F., Gonzalez S. (2010), *Can Neighbourhoods Save the City?: Community Development and Social Innovation*, London, Taylor & Francis.
- Nilsson M., Persson A. (2012), Can earth system interactions be governed? Governance functions for linking climate change mitigation with land use, freshwater and biodiversity protection, *Ecological Economics*, 75, p. 61-71.
- Parsons S., Gmytrasiewicz P.J., Wooldridge M.J. (2002), *Game Theory and Decision Theory in Agent-Based Systems*, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.

- Phillips R.A., Reichart J. (2000), The environment as a stakeholder? A fairness-based approach, *Journal of Business Ethics*, 23, 2, p. 185-197.
- Power D.J. e Sharda R. (2009), Decision support systems, in Nof S. Y. (ed.), *Springer Handbook of Automation*, Berlin, Springer, p. 1539-1548.
- Robertson M. (2010), Performing environmental governance, *Geoforum*, 41, 1, p. 7-10.
- Scandurra E., Macchi S. (eds.) (1996), *Ambiente e Pianificazione. Concetti Nomadi nelle Scienze Urbane e Territoriali*, Milano, Etaslibri.
- Scerri P., Vincent R., Mailler R. (2006), *Coordination of Large-Scale Multiagent Systems*, Berlin, Springer.
- Searle J.R. (1997), *The Construction of Social Reality*, New York, Free Press.
- Serban R., Guo H., Salden A. (2012), Common hybrid agent platform - Sustaining the collective. Paper presented at the *13th ACIS International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel & Distributed Computing (SNPD)*, 8-10 Aug. 2012.
- Sierra C., Thangarajah J., Padgham L., Winikoff M. (2007), Designing institutional multi-agent systems, in Zambonelli F. (ed.), *Agent-Oriented Software Engineering VII*, Berlin, Springer, p. 84-103.
- Stankovic M. (2011), *Control and Estimation Algorithms for Multiple-Agent Systems*, Charleston, BiblioBazaar.
- Turban E., Aronson J.E., Liang T.P. (2005), *Decision Support Systems and Intelligent Systems*, New York, Pearson/Prentice Hall.
- Tversky B., Hard B.M. (2009), Embodied and disembodied cognition: Spatial perspective-taking, *Cognition*, 110, p. 124-129.
- Underdal A. (2010), Complexity and challenges of long-term environmental governance, *Global Environmental Change*, 20, 3, p. 386-393.

- van Dyke Parunak H., Brueckner S., Fleischer M. (2004), A Design Taxonomy of Multi-agent Interactions, in Giorgini P., Muller J., Odell J. (eds.), *Agent-Oriented Software Engineering IV*, Berlin, Springer, p. 123-137.
- Weyns D., Holvoet T. (2003), Synchronous versus asynchronous collaboration in situated multi-agent systems, *Proceedings of the second international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems (AAMAS '03)*, Melbourne, Australia.
- Weyns D., Omicini A., Odell J. (2007), Environment as a first class abstraction in multiagent systems, *Autonomous Agent and Multi-Agent Systems*, 14, p. 5-30.
- Wooldridge M. (2002), *An Introduction to Multi-Agent Systems*, London, Wiley.
- Wooldridge M. (2012), Bad equilibria (and what to do about them), Paper presented at the *20th European Conference on Artificial Intelligence (ECAI 2012)*, Montpellier, France, August 2012.
- Zinkevich M. (2004), *Theoretical Guarantees for Algorithms in Multi-Agent Settings*, Carnegie Mellon University, Pittsburgh.

