Conceptualización y Desarrollo de un Sistema para el Soporte a la Decisión Espacial Colectiva

El Sistema Geoespacial de Inteligencia Colectiva

Conceptualisation and Development of a Collective Spatial Decision Support System

The Geospatial System of Collective Intelligence

Juan Daniel Castillo Rosas¹, Alex Jiménez Vélez^{1,3}, Josep Maria Monguet Fierro¹, María Amparo Núñez Andrés²

¹Departament d'Expressió Gràfica a l'Enginyeria y ²Departament d'Enginyeria del Terreny, Cartogràfica i Geofísica
Universitat Politècnica de Catalunya, UPC-BarcelonaTech
Barcelona.

³Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE)
Ecuador

juan.daniel.castillo@estudiant.upc.edu, afjimenezv@gmail.com, jm.monguet@upc.edu, m.amparo.nunez@upc.edu

Resumen — En este artículo se presentan los avances de una investigación que se centra en validar un sistema geoespacial inteligente para el soporte a la toma de decisiones en escenarios geográficos complejos a través del cual se podrán establecer patrones geoespaciales actuales y prospectivos, en base a las inteligencias colectiva y artificial. El sistema se enfoca principalmente en la organización y empleo de recursos en el territorio para la toma de decisiones en el proceso de planificación.

Palabras Clave - SIG; SADE; Inteligencia Colectiva; Sistema Geoespacial, Información geográfica.

Abstract — In this paper we present the progress of a research that focuses on validating an intelligent geospatial system aimed to support decision-making in complex geographic scenarios, whereby current and prospective geospatial patterns could be generated (through which it may provide), with the support based on Collective Intelligence and Artificial Intelligence. The system mainly focuses on the organisation and management of resources linked to territories in order to support decision-making in the planning process.

Keywords - GIS; SDSS; Collective Intelligence; Geospatial System, Geographic Information.

I. INTRODUCCIÓN

La evaluación y gestión de los recursos humanos, materiales, financieros, tecnológicos y naturales, son primordiales en la toma de decisiones de todos los niveles de la administración pública y privada, por lo que es una realidad que cualquier organización requiere de un sistema estratégico que le ayude a concebir, planear y dirigir sus actividades identificando en cada caso las mejores opciones.

Una gran parte de los quehaceres humanos están vinculados con el territorio, no obstante, siendo el espacio geográfico el

escenario en donde tienen o tendrán lugar la mayoría de esas actividades, en pocas ocasiones es considerado tal componente como necesario para definir las alternativas en la toma de decisiones. Por ello, esta investigación se desarrolla bajo la premisa de que toda entidad y ocurrencia con existencia en el mundo real, tiene, tuvo o tendrá lugar en algún sitio; por lo tanto puede ser localizada [1]. Así, este enunciado junto a la llamada primera ley de la geografía de Tobler, [2], [3], permite situar cada cualidad del contexto geográfico en un lugar del territorio, haciéndolo localizable y por lo tanto cartografiable [4], o convenientemente lo que en la actualidad se denomina georreferenciable, constituyendo así la base de cualquier entidad o dato geoespacial, pudiéndose entender como tal, al dato que pertenece o se relaciona a la ubicación o distribución relativa de cualquier ente respecto a la superficie terrestre.

Tales datos son tan habituales hoy día que algunos autores consideran que más del 80% de la información que se maneja en el sector público y privado es de carácter geoespacial [5], [6], o bien que aproximadamente un 70% de la información que se utiliza en cualquier tipo de disciplina se encuentra georreferenciada [7], incluso un estudio reciente ha demostrado que en el caso de los artículos publicados en la Wikipedia alemana, desde el enfoque cognitivo del ser humano para distinguir o aplicar una referencia directa, indirecta y no geoespacial, se debe considerar que un 60% de dicha información tiene este tipo de componente [8].

Lo trascendental de las entidades geoespaciales es que permiten incorporar, representar, estudiar y modelar en un Sistema de Información Geográfica (GIS por su acrónimo en inglés), las ubicaciones y características de los elementos naturales, sociales y económicos del espacio geográfico, tanto los visibles como los invisibles, e incluso, las relaciones que se forman entre éstos, por lo que tales datos representan un componente indispensable para el soporte a la toma de

decisiones, esencialmente respecto a escenarios geográficos complejos, entendiéndose por tales los lugares debidamente delimitados en tiempo y espacio en que ocurren o se desarrollan sucesos y que no pueden ser estudiados dividiendo las partes que los componen (naturaleza, sociedad, economía, etc.) para después asociar los resultados, sino a través de un tratamiento sistemático y sistémico de su conjunto, por lo que “esta idea también supone el tratamiento analítico del espacio como una sola unidad de sistemas de objetos y sistemas de acciones” [9, p. 66], que “permite la transición del pasado al futuro, mediante la consideración del presente” [9, p. 64].

Ante la complejidad de estos escenarios para abordar el proceso de soporte a la toma de decisiones, es necesario desarrollar tecnología que permita estudiar el espacio geográfico desde un enfoque interdisciplinario, es decir, a través de la participación de un grupo multidisciplinar de expertos con conocimientos propicios en el tema a tratar, quienes a través de marcos epistémicos, conceptuales y metodológicos compartidos [10], contribuyan en el desarrollo de las alternativas factibles gracias a las tendencias intersubjetivas que aporta su conocimiento, análisis, intereses y responsabilidad social.

En la actualidad, los Sistemas de Información Geográfica, se han incorporado como pieza fundamental de los Sistemas de Soporte o Ayuda a las Decisiones Espaciales (SADE o SDSS por sus siglas en inglés), y en base a éstos se pueden elaborar modelos y escenarios pasados, actuales y futuros dentro de un contexto espacio-temporal determinado, por lo que son un importante instrumento para apoyar el proceso de toma de decisiones con el fin de efectuar tareas de previsión para la planificación territorial a través de la integración de distintos métodos y actores de manera multidisciplinaria, como lo sugiere por ejemplo, el enfoque del relativamente reciente campo de investigación denominado geopropectiva [11]–[13].

Sin embargo, si bien los SADE “Fig. 1” son cada vez más empleados como ayuda respecto a los problemas de la complejidad territorial, generalmente en éstos el análisis del espacio geográfico se efectúa desde el conocimiento y habilidades de una sola persona, incorporándose éste resultado a otros provenientes de modelos, sistemas y conocimiento de expertos, por lo que finalmente el apoyo a la decisión espacial se efectúa fragmentando las partes para su análisis y reuniendo posteriormente los resultados correspondientes.

Figura 1. Sistemas de Ayuda a las Decisiones Espaciales, SADE o SDSS (modificada de IMPETUS [14])

Por ello, en este artículo se presentan los avances de una investigación que intenta validar un sistema geoespacial inteligente para el soporte a la toma de decisiones en escenarios geográficos complejos, para lo cual se proporcionan las directrices de la conceptualización del diseño y desarrollo de un Sistema Geoespacial de Inteligencia Colectiva (SIGIC), que basado en la filosofía de la Inteligencia Colectiva y herramientas de la Inteligencia Artificial, permitirá ubicar patrones geoespaciales actuales y prospectivos de bienes, servicios o eventos, principalmente para fines de planificación, debiendo entenderse por patrones, como las entidades que están representada por un conjunto de propiedades medidas y las relaciones entre ellas [15].

II. MARCO CONCEPTUAL

Aunque se han abordado ya algunos conceptos iniciales, se considera conveniente puntualizar algunas definiciones y líneas adicionales que enmarcan nuestra investigación con el fin interpretar nuestra propuesta y los resultados que con ella se buscan.

El término de Inteligencia Colectiva, tiene diversas y variadas acepciones, sin embargo, para el propósito de este trabajo se considera como la “capacidad de los colectivos humanos para participar en la cooperación intelectual con el fin de crear, innovar e inventar” [27], en el entendido que para lograr esto se ha adoptado el modelo propuesto por *The Millennium Project*, que sugiere, que la Inteligencia Colectiva es una propiedad de la emergencia entre las sinergias de datos, información, conocimiento, el software, el hardware y un grupo de personas, quienes aprenden y se retroalimentan con el conocimiento del grupo en la búsqueda de las mejores alternativas a una situación dada “Fig. 2”.

Figura 2. La Inteligencia Colectiva (The Millennium Project)

Respecto a la Inteligencia Artificial, se particulariza para este propósito como “la ciencia y la ingeniería de hacer máquinas inteligentes, especialmente programas informáticos inteligentes” [16], por lo que se adopta desde este enfoque el modelo que intenta imitar a través de un programa informático el aprendizaje del cerebro humano a partir de ejemplos, conocido como Redes Neuronales Artificiales (RNA).

III. METODOLOGÍA

Por lo expuesto, para que una tecnología pueda ayudar en el proceso de la toma de decisiones en escenarios geográficos complejos, se considera que en ésta deben convergir conceptos, métodos y tecnologías de:

- Inteligencia colectiva.

- Inteligencia artificial.
- Sistemas complejos.
- Teoría de la decisión.
- Sistemas de ayuda a las decisiones espaciales (*SDSS*).
- Sistemas de soporte a la decisión en grupo (*GDSS*).
- Geoprospectiva.

Por ello, en este desarrollo se combinan por primera vez las herramientas y/o conceptos de estos ámbitos para el diseño y construcción de una aplicación *WEB GDSS-SDSS* "Fig. 3", en la que se adicionó una función que automatiza la versión espacial del método Delphi [17], pero modificada en base al método Delphi en Tiempo Real [18]–[20] y al modelo Vector Consensus [21].

Figura 3. Diagrama de contexto del Sistema Geoespacial de Inteligencia Colectiva (SIGIC)

En esta aplicación se puede presentar una encuesta cuyo propósito sea identificar los factores o aspectos que deben evaluarse en determinado espacio geográfico en dos etapas principales, la primera de ellas para juzgar el estado actual y la segunda para estimar el escenario deseable [22]; los expertos elegidos convenientemente para tal fin, participarán siempre bajo anonimato entre ellos, como lo establece el Método Delphi [23], y al analizar el conjunto de información que se proporciona en el propio sistema para el efecto, pueden responder la encuesta posicionando un punto sobre el mapa [17] y complementando su opinión con un breve mensaje de texto que avale su postura.

En el mapa, se muestra una circunferencia gráfica e interactiva, cuya área indica el geoconsenso [24] en tiempo real obtenido hasta el momento por el grupo, en el cual se considera por lo menos el 50% de opiniones de los participantes [17]; asimismo, cada experto puede consultar los argumentos textuales de todo el grupo, ya que éstos se encuentran asociados a la ubicación correspondiente en el mapa, y con ello adquieren retroalimentación que les permite ratificar o rectificar la opinión propia, constituyéndose de esta manera un verdadero ejercicio de inteligencia colectiva.

Para promover la convergencia de las distintas opiniones y evaluar el consenso, en el método Delphi habitualmente se utilizan estimaciones estadísticas como son el rango intercuartílico y con menor frecuencia la desviación estándar, sin embargo, en este caso no se evalúan valores cuantitativos provenientes de una escala psicométrica como es lo habitual en ese tipo de encuestas, sino proceden de valores cuantitativos de las coordenadas geográficas en que se ubica cada punto aportado como opinión de los expertos. Por ello, el algoritmo incorporado en base a la versión espacial del Método Delphi [17], grosso modo, utiliza la mediana aritmética de los vectores obtenidos de las distancias entre cada punto existente como opinión o respuesta a cada cuestión presentada en la encuesta.

Cuando se haya obtenido el geoconsenso buscado, se compondrá un patrón geoespacial del área correspondiente a través de un arreglo de geo-átomos [25], mismo que incluirá todas las propiedades cualitativas y cuantitativas que se encuentren de acuerdo con los distintos niveles de información geoespacial empleados en el sistema, tanto de tipo vectorial, como raster o matricial.

En base a este patrón inicial o patrón de entrada, se efectuará una clasificación de la zona de estudio a partir de un algoritmo de Redes Neuronales Artificiales de tipo multicapa, por ser las que han presentado resultados alentadores en numerosos problemas geográficos [26], así como algunas ventajas ante otros métodos tradicionalmente empleados para la clasificación de datos, además de que se parte de conocer la clase buscada (el patrón inicial obtenido por el geoconsenso) [27]. El resultado por lo tanto, estará compuesto de un mapa temático en el que se mostrará para cada enunciado de la encuesta, las ubicaciones que presenten semejanzas respecto al patrón inicial correspondiente, ponderadas en tres rangos de similitud (alta, media y baja) "Fig. 4", asimismo, se destacará la ubicación de la que se obtuvo el patrón inicial (área del geoconsenso) y se proveerá un texto compuesto por todos los argumentos del grupo que avalan cada posición indicando, si pertenecen o no al área de geoconsenso.

Figura 4. Esquemización de los resultados esperados con el SIGIC

IV. CONCLUSIONES

Los primeros ensayos del SIGIC se dirigen a generar una herramienta para el soporte a la toma de decisiones en gestión ambiental, habiéndose iniciado con el nombre ALVARADO (Análisis Validado de la Realidad Ambiental mediante Diálogos de Opinión), sin embargo, actualmente también se

prepara un ejercicio para la Planificación de Servicios de Salud en el Ecuador [28], por lo que consideramos que este desarrollo podría ser aplicado, con la apropiada adaptación, en distintos ámbitos de la administración pública y privada, como pueden ser medio ambiente, seguridad, defensa, riesgos naturales, protección civil, salud, educación, energía, comunicaciones, comercio, desarrollo y ordenación territorial, entre otros aspectos, ya que este sistema permitirá obtener un panorama múltiple e interdisciplinario de alternativas que faciliten la toma de decisiones, entre las cuales se podrán matizar fortalezas y vulnerabilidades de puntos geográficos que permitirán planificar, organizar y ejecutar las acciones necesarias tendientes a evitar o favorecer su ocurrencia con respecto al escenario deseado constituyéndose como una herramienta de inteligencia estratégica territorial única.

Por lo tanto, ésta tecnología se perfila como una aplicación que reúne distintos tipos de inteligencia para generar inteligencia, con la cual distintas organizaciones del ámbito público y privado podrán planificar la organización y empleo de recursos en el territorio en el corto y largo plazo.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) de México por la subvención otorgada para el desarrollo de esta investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] P. I. Robles Toral, J. D. Castillo Rosas, M. A. Nuñez Andres, and J. M. Monguet Fierro, "Conceptualizing the integration of collective and artificial intelligence in iGeo software," in *9th gvSIG International Conference*, 2013.
- [2] W. R. Tobler, "On the first Law of Geography: A Reply," *Ann. Assoc. Am. Geogr.*, vol. 94, no. 2, pp. 304–310, Jun. 2004.
- [3] W. R. Tobler, "Computer movie simulating urban growth in the detroit region," *Econ. Geogr.*, vol. 46, pp. 234–240, 1970.
- [4] O. Dollfus, *El espacio geográfico*. Oikos-tau, 1976.
- [5] R. Williams, "Selling a geographical information system to government policy makers," in *Annual Conference of the Urban and Regional Information Systems Association*, 1987, pp. 150–156.
- [6] M. E. De Moya Amaris, "Representación y clasificación de datos geoespaciales: comparación entre mapas autoorganizativos de Kohonen y el método Gas Neuronal," *Rev. Ing. e Investig.*, vol. 53, pp. 12–22, 2003.
- [7] V. Olaya, *Sistemas de información geográfica*. OsGeo, 2012.
- [8] S. Hahmanna and D. Burghardt, "How much information is geospatially referenced? Networks and cognition," *Int. J. Geogr. Inf. Sci.*, vol. 27, no. 6, pp. 1171–1189, 2013.
- [9] M. Santos, *A Natureza do Espaço: Técnica e Tempo, Razão e Emoção*, 4/a. ed. Editora da Universidade de São Paulo, 2006.
- [10] R. García, "Interdisciplinariedad y sistemas complejos," *Rev. Latinoam. Metodol. las Ciencias Soc.*, vol. 1, pp. 66–101, 2011.
- [11] K. Emsellem, S. Lizard, and F. Scarella, "La géoprospective: l'émergence d'un nouveau champ de recherche?," *Espace. Geogr.*, vol. 2, no. 41, pp. 154–168, 2012.
- [12] T. Houet and F. Gourmelon, "La géoprospective - apport de la dimension spatiale aux démarches prospectives," *Cybergeog. Eur. J. Geogr. [En ligne]*, pp. 1–9, 2014.
- [13] C. Voiron-canicio, "L'anticipation du changement en prospective et des changements spatiaux en géoprospective," *Espace. Geogr.*, vol. 41, no. 2, pp. 99–110, 2012.
- [14] IMPETUS, "SDSS Basics," *Aim and Configuration of Spatial Decision Support Systems*, 2011. [Online]. Available: <http://www.impetus.uni-koeln.de/en/project/concepts/sdss-basics.html>. [Accessed: 25-Jan-2015].
- [15] S. Watanabe, *Pattern recognition: human and mechanical*. New York, New York, USA: John Wiley & Sons, Inc., 1985.
- [16] MIT, "What is collective intelligence?," *Handbook of Collective Intelligence*, 2012. [Online]. Available: http://scripts.mit.edu/~cci/HCI/index.php?title=Main_Page#What_is_collective_intelligence.3F. [Accessed: 10-Nov-2014].
- [17] S. Di Zio and A. Pacinelli, "Opinion convergence in location: a spatial version of the delphi method," *Technol. Forecast. Soc. Change*, vol. 78, no. 9, pp. 1565–1578, Nov. 2011.
- [18] T. Gnatzy, J. Warth, H. von der Gracht, and I.-L. Darkow, "Validating an innovative real-time Delphi approach - A methodological comparison between real-time and conventional Delphi studies," *Technol. Forecast. Soc. Change*, vol. 78, no. 9, pp. 1681–1694, Nov. 2011.
- [19] T. J. Gordon, "The real - time Delphi method," in *Futures Research Methodology Version 3.0*, J. C. Glenn and T. J. Gordon, Eds. The Millennium Project, American Council for the United Nations University, 2009, p. 19.
- [20] C.-H. Hsieh, F.-M. Tzeng, C.-G. Wu, J.-S. Kao, and Y.-Y. Lai, "The comparison of online Delphi and real-time Delphi," in *Technology Management in the Energy Smart World (PICMET), 2011 Proceedings of PICMET '11*, 2011, pp. 1–3.
- [21] J. M. Monguet, A. Gutiérrez, M. Ferruzca, Y. Alatrste, C. Martínez, C. Córdoba, J. Fernández, T. Sanguino, J. Aguilá, and M. Ramírez, "Vector Consensus Model," in *Organizational Integration of Enterprise Systems and Resources: Advancements and Applications*, U.S.A.: Business Science Reference (an imprint of IGI Global), 2012, pp. 303–317.
- [22] J. Monguet, M. Ferruzca, A. Gutiérrez, and Y. Alatrste, "Vector consensus: decision making for collaborative innovation communities," in *Enterprise Information Systems-CENTERIS*, 2010, vol. 110, pp. 218–227.
- [23] H. A. Linstone and M. Turoff, *The Delphi Method. Techniques and applications*. Addison-Wesley Pub. Co., Advanced Book Program, 1975.
- [24] J. D. Castillo Rosas, A. Jiménez Vélez, M. A. Nuñez Andrés, and J. M. Monguet Fierro, "Geoconsenso: acuerdos multidisciplinares en el territorio como soporte a la toma de decisiones." SIGTE, Universitat de Girona, Girona, España, 2015.
- [25] M. F. Goodchild, M. Yuan, and T. J. Cova, "Towards a general theory of geographic representation in GIS," *Int. J. Geogr. Inf. Sci.*, vol. 21, no. 3, pp. 239–260, 2007.
- [26] M. Painho, A. Vasilakos, F. Bacao, and W. Pedrycz, "Exploring spatial data through computational intelligence: a joint perspective," *Soft Comput.*, vol. 9, no. 5, pp. 326–331, Sep. 2004.
- [27] J. T. Palma Méndez and R. Marín Morales, *Inteligencia artificial. Técnicas, métodos y aplicaciones*. Madrid, España: McGraw-Hill, 2008.
- [28] A. Jimenez Vélez, J. D. Castillo Rosas, and J. M. Monguet Fierro, "Model for planning health services in developing countries through a geospatial system based on collective intelligence," in *14th World Congress on Public Health*, 2015, p. Poster.