

INVESTIGACIONES GEOGRÁFICAS

60



INSTITUTO INTERUNIVERSITARIO DE GEOGRAFÍA
UNIVERSIDAD DE ALICANTE

JULIO-DICIEMBRE

2013

INVESTIGACIONES GEOGRÁFICAS

La publicación de este número ha sido posible gracias a la obtención de una ayuda del Vicerrectorado de Investigación, Desarrollo e Innovación de la Universidad de Alicante.

PRESENTACIÓN

La revista científica *Investigaciones Geográficas* se edita desde 1983, en el seno del Instituto Interuniversitario de Geografía de Alicante. Es su principal objetivo contribuir a la difusión del conocimiento geográfico, en sentido amplio, y afianzarse como medio de expresión de su comunidad científica. Admite artículos, notas y reseñas, necesariamente originales e inéditos, que den cabida a contribuciones científicas de índole geográfica, en cualquiera de sus áreas de conocimiento. Esporádicamente acepta aportaciones procedentes de disciplinas afines, como la Historia, el Urbanismo o la Ecología. Se orienta de forma específica hacia el estudioso e investigador universitario, y de modo genérico, a todos aquellos interesados en ampliar sus conocimientos sobre el hombre y el territorio.

Investigaciones Geográficas se encuentra indexada y/o catalogada en: [REDALYC](#), [ISOC \(CSIC\)](#), [LATINDEX](#), [E-REVISTAS](#), [URBADO](#) (URBATERR), [DICE](#), [RESH](#), [IN-RECS](#), [DOAJ](#) (Directory of Open Access Journals), [DIALNET](#), [CERVANTESVIRTUAL](#), [RUA](#), [COPAC](#), [SUDOC](#), [ZDB](#), [ULRICH'S](#), [INDICE H DE REVISTAS DE CIENCIAS SOCIALES 2012](#), [INDICE H ACUMULADO 2008-2013 DE REVISTAS DE CIENCIAS SOCIALES](#) ... Desde enero de 2012, *Investigaciones Geográficas* se edita con periodicidad semestral y desde el número 59 (enero-junio de 2013) se divulga tan sólo en formato digital. Los ejemplares pueden consultarse en pdf y a texto completo en la web <http://www.investigacionesgeograficas.com>

CONSEJO ASESOR

| | |
|--|--|
| Dr. D. Ángel Cabo Alonso | <i>Universidad de Salamanca</i> |
| Dr. D. Francisco Calvo García-Tornel | <i>Universidad de Murcia</i> |
| Dr. D. Roland Courtot | <i>Université d'Aix-en-Provence</i> |
| Dr. D. Michel Drain | <i>Université de la Méditerranée, Marsella</i> |
| Dra. D ^a . Josefina Gómez Mendoza | <i>Universidad Autónoma de Madrid</i> |
| Dr. D. Francisco Quirós Linares | <i>Universidad de Oviedo</i> |
| Dr. D. Viçenc M ^a Rosselló i Verger | <i>Universitat de València</i> |

DIRECTOR

Dr. D. Antonio Gil Olcina

SECRETARIO

Dr. D. Francisco José Torres Alfosea

COMITÉ DE REDACCIÓN

| | |
|--|--|
| Dr. D. Carlos Javier Baños Castiñeira | <i>Universidad de Alicante</i> |
| Dra. D ^a . Franca Battigelli | <i>Università di Udine, Italia</i> |
| Dr. D. Gregorio M ^a Canales Martínez | <i>Universidad de Alicante</i> |
| Dr. D. José Escrig Barberá | <i>Universitat Jaume I (Castellón)</i> |
| Dra. D ^a . Luisa M ^a Frutos Mejías | <i>Universidad de Zaragoza</i> |
| Dr. D. Pablo Giménez Font | <i>Universidad de Alicante</i> |
| Dr. D. José María Gómez Espín | <i>Universidad de Murcia</i> |
| Dr. D. Vicente Gozálviz Pérez | <i>Universidad de Alicante</i> |
| Dra. D ^a María Hernández Hernández | <i>Universidad de Alicante</i> |
| Dr. D. Cipriano Juárez Sánchez-Rubio | <i>Universidad de Alicante</i> |
| Dr. D. Javier Martín Vide | <i>Universidad de Barcelona</i> |
| Dr. D. Enrique Matarredona Coll | <i>Universidad de Alicante</i> |
| Dra. D ^a . Cristina Montiel Molina | <i>Universidad Complutense de Madrid</i> |
| Dr. D. Enrique Montón Chiva | <i>Universitat Jaume I (Castellón)</i> |
| Dr. D. Alfredo Morales Gil | <i>Universidad de Alicante</i> |
| Dr. D. Jorge Olcina Cantos | <i>Universidad de Alicante</i> |
| Dr. D. José Quereda Sala | <i>Universitat Jaume I (Castellón)</i> |
| Dr. D. Antonio Ramos Hidalgo | <i>Universidad de Alicante</i> |
| Dr. D. Antonio Manuel Rico Amorós | <i>Universidad de Alicante</i> |
| Dr. D. Francisco Rodríguez Martínez | <i>Universidad de Granada</i> |
| Dr. D. José Fernando Vera Rebollo | <i>Universidad de Alicante</i> |

REDACCIÓN

[Instituto Interuniversitario de Geografía](#)

Universidad de Alicante

Campus de San Vicente del Raspeig. Apdo. 99 E-03080 – Alicante (España)

Tel: (34) 965 90 34 26 - Fax: (34) 965 90 94 85

Correo electrónico: investigacionesgeograficas@ua.es

Sitio web: <http://www.investigacionesgeograficas.com>

DISEÑO, MAQUETACIÓN Y ESTILO

Clotilde Esclapez Selva

DISEÑO DE LA CUBIERTA

Jaime Sebastián Garriga

Reservados todos los derechos. Las opiniones reflejadas en los artículos, noticias, comentarios y reseñas que componen *Investigaciones Geográficas* son responsabilidad exclusiva de sus respectivos autores.

e-revist@s

ÍNDICE

| | |
|--|-----|
| <i>Antonio Moreno Jiménez</i> Entendimiento y naturaleza de la cientificidad geotecnológica: una aproximación desde el pragmatismo epistemológico..... | 05 |
| <i>José Ojeda Zújar, María del Pilar Díaz Cuevas, Antonio Prieto Campos y José Ignacio Álvarez Francoso</i> Línea de costa y Sistemas de Información Geográfica: Modelo de datos para la caracterización y cálculo de indicadores en la costa andaluza..... | 37 |
| <i>Javier Martínez-Vega y Pilar Echavarría Daspet</i> Propuesta inicial de una red ampliada de áreas protegidas en España peninsular bajo el enfoque de su conexión con la matriz territorial..... | 53 |
| <i>Federico Benjamín Galacho Jiménez y Juan Antonio Arrebola Castaño</i> Modelo de evaluación de la capacidad de acogida del territorio con SIG y técnicas de decisión multicriterio respecto a la implantación de edificaciones en espacios rurales | 69 |
| <i>Pablo Mateos</i> Geovisualización de la población: Nuevas tendencias en la web social..... | 87 |
| <i>Marcos Moll Barber</i> Aplicaciones cartográficas para la valoración de superficies de escorrentía. Riu Girona (Alicante) | 101 |
| <i>José Tomás Navarro Carrión y Alfredo Ramón Morte</i> Importancia de los procesos de validación topológica en la gestión de alteraciones catastrales | 117 |
| <i>Carlos Rojas Hoppe y Silvia Díez Lorente</i> El terremoto chileno del 27 de febrero de 2010: Análisis preliminar de las consecuencias en la ciudad de Valdivia..... | 139 |
| <i>Antoni Ordinas Garau y Jaume Binimelis Sebastián</i> La caracterización del paisaje de Menorca a través de la toponimia | 155 |

RESEÑAS BIBLIOGRÁFICAS

| | |
|---|-----|
| <i>Álvaro Francisco Morote Seguido</i> GÓMEZ ESPÍN, J. M ^a . y HERVÁS AVILÉS, R. M ^a . (coords.) (2012): <i>Patrimonio hidráulico y cultura del agua en el Mediterráneo</i> . Murcia. Fundación Séneca. Regional Campus of Excellence “Campus Mare Nostrum”. Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo, 287 p. | 173 |
|---|-----|

Ernesto Cutillas Orgilés

REQUES VELASCO, P. (2012): *Un mundo asimétrico. Cambio demográfico, globalización y territorio (Microensayos)*. Santander: PUBliCan, Ediciones de la Universidad de Cantabria, 205 p. 177

RELACIÓN DE EVALUADORES DE LOS ARTÍCULOS PUBLICADOS EN 2013

ENTENDIMIENTO Y NATURALEZA DE LA CIENTIFICIDAD GEOTECNOLÓGICA: UNA APROXIMACIÓN DESDE EL PRAGMATISMO EPISTEMOLÓGICO¹

Antonio Moreno Jiménez²

Departamento de Geografía
Universidad Autónoma de Madrid, España

RESUMEN

Las tecnologías de la información geográfica (TIG) están provocando un impacto de hondo calado en Geografía y otras disciplinas. En línea con las tesis de algunos filósofos de la ciencia y geógrafos, en este artículo se propone y argumenta que los cambios observados en la investigación geográfica suponen la emersión de una praxis científica nueva y distinta. A partir de la concepción de las “tradiciones de investigación” elaborada por epistemólogos pragmatistas y de las recientes contribuciones de los filósofos de la tecnología, se enuncian los elementos y rasgos fundamentales de esa emergente científicidad geográfica sustentada en las TIG. Con ello se trata de desvelar que éstas poseen un papel mucho más esencial y profundo en la investigación que el de simples herramientas.

Palabras clave: geotecnologías, epistemología geográfica, paradigmas, tradiciones de investigación

ABSTRACT

Understanding and nature of geo-technological science: an epistemological pragmatism based approach

Geographical information technologies (GIT) are producing a deep impact in Geography and other disciplines. According to the thesis of some philosophers of science and geographers, in this paper it is proposed and argued that the observed changes in the research encompass the emersion of a new and distinct scientific praxis. Based on the “research traditions” concept made in the pragmatist epistemology and on the recent contributions of philosophers of technology, the main elements and characteristics of this GIT based emerging science nature are exposed. In this way, it is intended to uncover that GIT have a much more essential and deeper role on research than a simple tool.

Keywords: geotechnologies, geographical epistemology, paradigms, research traditions

1. INTRODUCCIÓN

El advenimiento de las geotecnologías y su elevado impacto en la Geografía, en otras disciplinas científicas y en toda nuestra sociedad no han pasado inadvertidos ya a nadie, sea investigador, docente, profesional, gobernante, empresario o simple ciudadano. Ello ha permitido hablar de una sociedad de la geoinformación, como un nuevo paso adelante del progreso humano (Compte *et al.*, 2009; Moreno, 2010).

¹ Este artículo se ha elaborado dentro del proyecto de investigación “Contaminación atmosférica urbana y justicia ambiental: metodología de evaluación y estudio de casos con sistemas de información geográfica”, financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación de España, referencia CSO2011-26177.

El autor desea agradecer las observaciones críticas del Dr. Escolano Utrilla y del Dr. Mateos Rodríguez sobre una versión preliminar del artículo.

² antonio.moreno@uam.es

Por ceñirnos a la parcela de los cambios que en la investigación se han desencadenado es posible hallar pronunciamientos muy dispares por parte de reconocidos autores. Así por ejemplo, a una de las geotecnologías más conspicuas, los sistemas de información geográfica (SIG), se la ha identificado como simple herramienta, pero también como campo de desarrollo tecnológico o como base principal de disciplinas emergentes tales como la geomática, la ciencia de la información geográfica o la ciencia geospacial (Berry *et al.*, 2008). Un cierto número de opiniones emitidas en las décadas finales de la pasada centuria admitían poco más que se trataba de un mero progreso tecnológico (*vid. The Professional Geographer*, 1983, 35, 2). Los pareceres, sin embargo, que recogieron Wright *et al.*, (1997), tras un debate abierto entre expertos, traslucían ya esos posicionamientos tan diferentes, los cuales poseen implicaciones conceptuales y operativas muy dispares. Unos años después Wilbanks (2004: 9) manifestaba ya sin ambages que en Geografía “... *our contributions to knowledge, learning, and society at large are being reshaped by the information and computing technology revolution ...*”; Sui y Morrill (2004: 82) apostillaban que “*No other technological innovation in human history has affected the practice of geography in such a profound way as the computer*”; y Capel (2010), se ha posicionado de manera similar al reconocer que la “Geografía se está viendo afectada de forma muy profunda por estas nuevas tecnologías”.

Esa pluralidad de interpretaciones invita y reclama de quienes están inmersos en este frente de trabajo, y particularmente en el de la producción de conocimiento, un esfuerzo por clarificar la situación hasta donde sea posible y establecer algunos consensos básicos o “*common ground*” que contextualicen y definan las señas de identidad de la actividad que desarrollan. Este tipo de reflexiones sobre la actividad investigadora de las comunidades científicas es conveniente por cuanto ellas permiten disponer de visiones esclarecedoras de la misma, y a la vez legitimadoras. Lo primero por cuanto, al conformar una representación ideológica más o menos completa, hacen patente los rasgos esenciales de esa praxis, lo que conduce a una generación de identidad; es decir, partiendo de pautas observables concretas en el quehacer de los investigadores, señalan los elementos claves y definitorios de su labor, haciendo cristalizar a menudo hechos nuevos o diferenciales. Lo segundo, por cuanto, tales reflexiones ejercen, implícita o explícitamente, un papel de legitimadoras de esa praxis, al confrontar sus rasgos con los hallados en otras disciplinas, por ejemplo.

En la ciencia geográfica existe una larga tradición de debates sobre su ser y su devenir, que han ocasionado una conciencia bastante elevada de las bases y condiciones de la producción del conocimiento calificado de científico. En ese sentido, si bien se reconoce unánimemente que las tecnologías de la información geográfica (TIG) o geotecnologías, son la causa de los cambios de mayor calado que en nuestra disciplina sobre todo -y en algunas otras afines- se están produciendo recientemente, lo que todavía no resulta unánime es la valoración que se hace del alcance y significado de dichos cambios.

Dentro de este contexto, el principal objetivo de esta contribución será aportar alguna luz adicional al trascendental debate que algunos autores están manteniendo sobre el papel de las geotecnologías en la ciencia geográfica. Concretamente se persigue ofrecer argumentos concernientes a la cristalización paulatina de un entendimiento nuevo de la cientificidad geográfica en cuyo núcleo medular se sitúan las geotecnologías. Más aún, la proposición a defender aquí es que son precisamente ellas las que constituyen el elemento esencial de una nueva praxis científica y de un cambio en la Geografía que tiene rango epistemológico. No se discutirá, la cuestión del nacimiento o cristalización de nuevos campos disciplinares, sino en qué medida en el panorama de la ciencia geográfica se está configurando una forma distinta de investigación y el alcance o significado de dicho cambio.

En aras de una presentación ordenada de los fundamentos argumentales en los apartados siguientes se realizará primero un breve recordatorio del problematismo de la Geografía como disciplina y de algunos asuntos centrales sobre la ciencia: su naturaleza, metas y los cambios científicos. Ello se articulará en torno al eje de la racionalidad de tales cambios, de cuya discusión emanarán algunas conclusiones aceptables acerca de los diferentes planteamientos que históricamente se han observado y practicado en disciplinas como la Geografía. Tras ello, se presentará una exposición algo más amplia de una conceptualización de la ciencia desde el pragmatismo, como marco en el que la emergente cientificidad geotecnológica halla adecuado encaje y sostén. A concretar los elementos sustantivos y estructurales de esa nueva forma de creación de conocimiento científico se destinarán los siguientes apartados, tratando sucesivamente el

alcance gnoseológico de la tecnología, la formalización y resolución de problemas de conocimiento bajo este marco, el papel singular de ciertas funciones como el pensamiento espacial visual, los rasgos más característicos de la cientificidad geotecnológica, para terminar con algunas consideraciones acerca de su capacidad de resolución de problemas y un breve balance y conclusión.

2. EL PROBLEMATISMO DE LA CIENTIFICIDAD EN LA GEOGRAFÍA

Sea cual sea el criterio que se adopte para establecer el alumbramiento de la Geografía contemporánea³, lo que resulta patente es que se ha mostrado como una disciplina ontológicamente problemática. Los diversos condicionantes de carácter económico, político, filosófico-ideológico o corporativo que, como en cualquier otra disciplina, subyacen a sus cambios y re-definiciones han sido bastante evidenciados⁴. Pese a que tales transformaciones pueden entenderse orientadas a mantener su “racionalidad” como ciencia y su significación para la comunidad, el cuestionamiento de su esencia aparece como una constante en el tiempo. La preocupación por establecer el dominio de su quehacer científico, sus señas de identidad diferenciales de otras disciplinas y su status científico parecen una especie de “dolencia” crónica. La consulta a la bibliografía citada depara toda clase de posicionamientos al respecto sobre las cuestiones anteriores, en ocasiones notoriamente a la defensiva. Las respuestas se han buscado por muy diversas vías y con las fórmulas más dispares. En conjunto parecen haber sido tres las principales fórmulas ensayadas por los geógrafos para tal fin, centradas respectivamente en definirla por su objeto, su enfoque o su método, aunque se pueden hallar otras propuestas y variantes en la bibliografía (*vid.* Moreno, 1989: 54-61).

Asumiendo que en la disciplina existen un conjunto de elementos estructurantes (problemas o cuestiones centrales, conceptos generales clave, etc.) que constituyen un suelo común, cabría preguntarse: ¿Existe un entendimiento de ellos también común entre los geógrafos?, ¿se abordan bajo el mismo prisma?, ¿se conceptualizan de modo uniforme e invariante? El examen de la bibliografía geográfica empírica, así como los trabajos de reflexión teórica desarrollados sobre ella, conducen a una respuesta negativa. Esto, por otro lado, ni debería resultar extraño, ni preocupante, sino más bien al contrario. Como sensatamente apuntó Couclelis (1982: 105) al respecto, “La fragmentación de la investigación no es en sí misma necesariamente un mal: el mundo, después de todo, es un lugar muy variado y necesitamos todas las perspectivas que podamos conseguir”.

El entendimiento de la Geografía, como el de cualquier otro campo científico, no cabe concebirlo como algo inmutable y universal, sino que se nos aparece como algo relativo. Son las reflexiones emanadas de la epistemología las que proporcionan las perspectivas más cabales para establecer la naturaleza de la cientificidad y su particularización en las diversas disciplinas. En este sentido, los debates sobre la racionalidad en la ciencia y en los cambios científicos son los que, como efecto derivado, han propiciado la delineación de los marcos de referencia epistemológicos más clarificadores para examinar la cientificidad y su entendimiento en dichas disciplinas.

Baste, como ejemplo, con recordar la ampliamente difundida teoría de Kuhn (1962), que se sustentaba en la idea de paradigma como “... toda la constelación de creencias, valores, técnicas, etc., que comparten los miembros de una comunidad dada”. Su propuesta alcanzó de lleno a la Geografía y dio lugar a ensayos de interpretación del devenir de la misma dentro de la secuencia ciencia normal-crisis-revolución-nueva ciencia normal-nueva crisis, con fidelidad variable a ese esquema, por parte de diversos autores tales como Johnston (1979), Harvey y Holly (1981), Estébanez (1982), Holt-Jensen (1981) o Buzai (1999). Ello no obstante, procede recordar que también se formularon críticas a la aplicación de tal esquema (*v. g.* Stoddart, 1981).

Quizá sea Johnston (1983: 4 y ss.) uno de los autores que haya determinado más certeramente el alcance de las discrepancias que sobre el tema han mantenido los geógrafos. A su entender la profundidad

³ Sobre este asunto se cuenta con una importante bibliografía centrada en la evolución de la disciplina y sus antecedentes, por ejemplo James (1972), Broc (1969) o Quaini (1981), además de las diversas obras generales de historia de la Geografía, donde los autores se pronuncian sobre determinadas fechas y criterios, por ejemplo Capel (1981, 1987), Claval (1974), Gómez, Muñoz y Ortega (1982), Meynier (1969), etc.

⁴ Además de las obras citadas en la nota anterior resultan pertinentes sobre el tema las de Buttimer (1980), Claval (1984), Estébanez (1982), Freeman (1961), Holt-Jensen (1981) y Johnston (1979).

de las diferencias involucra primero al nivel ontológico, esto es, a la entidad o existencia de lo que puede ser conocido; segundo al nivel epistemológico, es decir, a la teoría del conocimiento; y tercero, como derivación, al escalón metodológico. En definitiva, las raíces de las divergencias en la conceptualización y abordaje de los problemas centrales de la Geografía hay que buscarlas en el plano filosófico. La existencia de distintas filosofías de la disciplina, es en última instancia, la que da cuenta de esos enfoques, calificados a menudo de alternativos, que se adoptan en las investigaciones concretas. El mencionado autor (Johnston, 1983) propuso y desarrolló su análisis sobre la base de cuatro grandes grupos de enfoques filosóficos: empirista, positivista, humanista y estructuralista.

Sin entrar a discutir tal propuesta, muy sugestiva como interpretación, cabe recordar que dentro del panorama actual y pasado de la Geografía, se han realizado otras taxonomías diferentes, en parte por la multiplicidad de doctrinas filosóficas que impregnan los estudios geográficos y, en parte, porque la práctica investigadora es lo suficientemente abigarrada como para que muchos trabajos sean difícilmente clasificables, eclécticos y representen “impuramente” los rasgos de cualquier paradigma o enfoque. Los arquetipos ayudan a clarificar a costa de una simplificación, a veces seria, de la realidad. En cualquier caso, y como conclusión primordial de los debates habidos, parecen rechazables las doctrinas que postulan un criterio único, universal e intemporal para la cientificidad y la racionalidad científica. Este punto, básico para nuestra meta aquí, será tratado con más detenimiento en los apartados siguientes.

3. BREVES CONSIDERACIONES SOBRE EL ENTENDIMIENTO DE LA CIENCIA Y DE LOS CAMBIOS CIENTÍFICOS

La naturaleza de la ciencia es una gran cuestión que todo cultivador de ella se ha planteado alguna vez. Sin entrar a fondo en ello, cabría recordar que el vocablo, como señaló Wartofsky (1968: 31), puede apuntar a dos significados diferentes: bien un cuerpo de conocimientos y verdades acumuladas, bien al proceso de investigación en sí mismo. Para nuestros fines aquí es ésta segunda acepción la que resulta pertinente.

Entre los problemas generales de la ciencia que han sido objeto de mayor atención dos merecen mencionarse: por un lado, la posibilidad de una definición absoluta de ella y, por otro, la cuestión de sus fines últimos. Por lo que concierne al primero no son pocas las argumentaciones que han puesto en tela de juicio la posibilidad de un concepto universal y atemporal de ciencia. Podría traerse a colación al respecto la conclusión postulada por los historiadores de la ciencia, como por ejemplo Bernal (1972), quien afirmó taxativamente que la epistemología, bases y programa de una ciencia están en revisión continua.

Respecto a la segunda, los fines de la ciencia, son numerosos los textos en que se alude a la búsqueda de la verdad o del conocimiento cierto. Tal es la postura de los racionalistas. Sin embargo, ese planteamiento queda seriamente controvertido cuando se reflexiona sobre la veracidad en la historia de las ciencias. Newton-Smith (1981: 14) colegía en su trabajo que “todas las teorías físicas del pasado han tenido su apogeo y con el tiempo han sido rechazadas como falsas”. De unas conclusiones tan pesimistas como esa surgieron propuestas de atribuir a la ciencia metas menos pretenciosas y más acordes con la limitación de la mente humana. Popper (1968, 1975), por ejemplo, defendió como alternativa la idea de aproximación a la verdad o verosimilitud, pero su intento de clarificar tal noción, si nos atenemos a la argumentación crítica presentada por Newton-Smith (1981, cap. III), resulta en un fracaso.

Ante tal estado de cosas la retirada ha sido mayor y otros epistemólogos, como por ejemplo el pragmatista Laudan (1981: 145), postuló un horizonte que parece mucho más aceptable “por el momento”. Dicho autor planteó una atractiva idea: “la meta de la ciencia es asegurar teorías con una alta efectividad de resolución de problemas. Desde esta perspectiva, *la ciencia progresa sólo en el caso de que las teorías sucesivas resuelvan más problemas que las precedentes*”.

Desde una perspectiva más general, las dos cuestiones señaladas antes pueden subsumirse en un antiguo debate atinente a la racionalidad e irracionalidad en la ciencia y en el cambio científico. Expresado de forma directa el asunto atañe a dos preguntas radicales de este tenor: ¿Puede afirmarse la existencia de racionalidad en el quehacer de los científicos?, ¿puede sostenerse la existencia de una sola y universal forma de racionalidad científica?

Esta última pregunta es la que en términos filosóficos encarna la dicotomía racionalismo-relativismo que, como esquematizó Chalmers (1984: 143-146), podría expresarse de esta forma: el racionalista

radical defiende un criterio único, universal e intemporal para juzgar comparativamente teorías rivales; la distinción entre lo que es y no es ciencia y resulta nítida. Una teoría será científica si supera satisfactoriamente el test establecido como criterio. Por su parte el relativista rechaza tal universalidad e invariancia; el juicio sobre las teorías se sustentará sobre criterios que varían entre los individuos y comunidades; tales criterios reposan sobre valores e intereses por lo que la “ciencia” y su devenir deben ser investigados desde perspectivas sociológicas, psicológicas, políticas, etc.

Embates fuertes contra la racionalidad de la ciencia han provenido de diversos autores de los que solo citaremos dos: Kuhn (1962) y Feyerabend (1974). La concepción kuhniana resulta ambivalente sobre este punto. Por un lado postula la racionalidad de la práctica científica dentro de lo que llamó “ciencia normal”: los debates y confrontaciones se dirimen sin especial problema, dado que cada paradigma ofrece estándares mediante los cuales las hipótesis, teorías y experimentos han de ser generados y juzgados. Por otro lado, asume un cierto irracionalismo en la confrontación entre paradigmas rivales, lo que le ha granjeado el calificativo de historicista (Doppelt, 1983: 107) y de relativista. Los paradigmas, en la idea mantenida por Kuhn, son inconmensurables en la medida en que dada su naturaleza⁵, no existe argumento lógico alguno que demuestre la superioridad de uno sobre otro. Su proclamación de que los condicionantes que gobiernan el cambio (progreso) científico, esto es, la sucesión de paradigmas, son de índole psicológica, sociológica e histórica ha tenido la virtud de recoger muchos datos empíricamente observados sobre el devenir de la ciencia; a cambio el coste ha sido elevado, la racionalidad del proceso ha debido descartarse. El abrazo a un nuevo paradigma podría asemejarse a una especie de “conversión religiosa”.

De ello se ha inferido el relativismo de Kuhn que algunos califican de extremo, y por lo tanto conducente al rechazo de la racionalidad en el cambio (progreso) científico, pero que otros han definido como moderado. Tal es la opinión de, por ejemplo, Doppelt (1983: 111-114) quien, tras su análisis, halla que en la concepción de Kuhn se establece la existencia, para los científicos, de buenas razones (de un tipo que son universalmente aplicables en la vida científica), a la hora de sustituir un paradigma viejo por otro nuevo. Ellas impedirían calificar el cambio científico de irracional. Pese a todo, son los límites de la racionalidad humana quienes dejan indeterminado el proceso de elección entre paradigmas y los que, en última instancia, obligan al recurso de factores sociológicos y psicológicos para dar cuenta del proceso. La misma conclusión que Kuhn, como racionalista moderado en cuanto al cambio científico, sostiene Newton-Smith (1981: 112-124), quien encuentra en los escritos de dicho autor una lista parcial de al menos cinco características (exactitud, consistencia, amplio alcance, simplicidad y fertilidad) de las buenas teorías científicas que constituirían la base compartida entre los estudiosos para la elección entre ellas. Un relativo consenso entre científicos les otorgaría el papel de estándares supra-paradigmáticos por lo que garantizarían un cierto nivel de racionalidad en la confrontación de paradigmas. La irracionalidad se introduce, sin embargo, a la hora de aplicarlos: la interpretación de cada uno de tales rasgos y los desacuerdos en cuanto al peso relativo que se les concediese entre sí (obediente entonces a factores subjetivos).

Otro de los ataques frontales contra la racionalidad de la ciencia procede de Feyerabend (1974), particularmente por su defensa a ultranza de la inconmensurabilidad de las teorías, es decir, la imposibilidad de comparar lógicamente teorías rivales⁶: “Sus contenidos no pueden ser comparados, ni es posible hacer un juicio de verosimilitud excepto dentro de los confines de una teoría particular... lo que quedan son juicios estéticos, juicios de gusto, y nuestros propios deseos subjetivos” y los intereses de cada uno (Feyerabend, 1974: 133).

Las posiciones descritas son buenos ejemplos de argumentaciones bien reconocidas entre epistemólogos y científicos de las que cabe colegir la prevalencia de dos ideas: por un lado que la ciencia es una actividad con una racionalidad limitada o relativa y, por otro, que no existe una única norma de racionalidad científica. Las interpretaciones históricas de la cientificidad y sus cambios que autores como Kuhn (1962) con sus “paradigmas”, Lakatos (1993) con sus “programas de investigación” o Laudan (1981)

⁵ Que incluiría las normas necesarias para legitimar el quehacer dentro la ciencia (disciplina) que rige: algunos principios metafísicos muy generales, los supuestos teóricos (comparables al “núcleo central” de Lakatos, 1974) y los métodos y técnicas de investigación.

⁶ La justificación radica en que, al depender la observación de la teoría, los significados e interpretaciones de los conceptos y de los enunciados observacionales que los empleen dependerán del contexto teórico en que surjan (Chalmers, 1984, p. 191).

con sus “tradiciones de investigación”, pese a las limitaciones y aspectos discutibles de cada una, constituyen la derivación más sostenible de unas tesis que han logrado concitar un amplio consenso acerca de ciertos puntos capitales. Yendo más lejos aún, Durbin (1989: 51-52), hace notar que Kuhn articuló su propuesta a partir de una lectura de las principales revoluciones de las ciencias físicas, pero que el mismo autor ya apuntaba algo más tarde que quizá habría que reconsiderar la base de su análisis y examinar la propia estructura de las comunidades científicas y cómo en ellas se concreta el lenguaje y la resolución de problemas. Durbin, con un enfoque pragmáticamente basado, profundizó en esa dirección y aseveró, siguiendo a otros autores, que “no es solo la comunidad particular, como Kuhn la conceptuaría, la unidad de análisis; es el <<acto social>> (i.e. la praxis) de una comunidad lo que la torna inteligible. ... <<La unidad de existencia es el acto>>”. A su juicio, la limitación de las diversas epistemologías de la ciencia (no dar nunca la imagen total), es que no sitúan “su idea dentro del acto social de la ciencia tal como ha sido practicada históricamente –esto es, dentro de la praxis de un grupo de científicos cuyo mundo-tomado-por-garantizado es sacudido por un descubrimiento anómalo o problemático que entonces coloca a la comunidad en el camino para establecer otro mundo...”, epistemológicamente hablando. En el marco de nuestra propuesta, el advenimiento de las geotecnologías geodigitales, estaría actuando como ese revulsivo.

Asumiendo tales premisas, expondremos en el apartado siguiente las ideas básicas de la epistemología pragmatista, singularmente de Laudan y sus extensiones posteriores. Ellas nos servirán para sustentar después una reivindicación de la praxis investigadora “geotecnológica”, como algo nuevo y esencialmente distinto de otros entendimientos de la científicidad que existen y se cultivan en la actualidad.

4. LA CIENTIFICIDAD DESDE EL PRAGMATISMO RACIONALISTA MODERADO

4.1. Las propuestas de Laudan sobre la ciencia y su progresión

Según Laudan (1981: 151), las tradiciones de investigación “... generalmente constan de al menos estos dos componentes: 1) Un conjunto de creencias acerca de las clases de entidades y procesos que conforman el dominio de indagación (al ontología), y 2) un conjunto de normas epistemológicas y metodológicas acerca de cómo investigar ese dominio, cómo comprobar las teorías, cómo recoger los datos, y cosas similares”. Es clara la similitud con las propuestas de los previamente citados Kuhn y Lakatos. La racionalidad científica estaría garantizada en la actividad investigadora dentro de cada paradigma o tradición de investigación en tanto en cuanto se ajustase a las pautas aceptadas en su seno. El problema afloraría al confrontar investigaciones realizadas bajo distintos paradigmas.

Es con respecto al cambio científico donde la formulación de Laudan difiere notoriamente de la de Kuhn, al tiempo que recoge algunas de las objeciones hechas a las posturas historicistas-irracionalistas. Frente al cambio por sustitución de paradigmas, Laudan (1981: 152-153) propone, como más realista, la coexistencia de diferentes tradiciones de investigación rivales y la permanencia de los debates sobre las cuestiones conceptuales fundamentales que, según Kuhn, estaban ausentes en los períodos de ciencia normal. Este hecho no parece muy ajustado a la realidad de la historia de las ciencias. En efecto, el panorama observado en la Geografía durante las últimas décadas, con varias tradiciones postulando sus propios entendimientos y desarrollos, con sus delimitaciones del campo de interés, de clases de problemas y modos de abordarlos, y con permanentes debates que obligan a justificaciones y reajustes, resulta así más inteligible y coherente bajo el prisma propuesto por Laudan.

Pero yendo más allá, Laudan (1981: 153-154) se posiciona en un punto razonable y convincente ante el dilema ciencia-no ciencia, esto es, el clásico problema de la demarcación. A su entender no hay una diferencia de clase fundamental entre investigación científica y otras formas de indagación intelectual. Similares propósitos (dar sentido al mundo y a nuestra experiencia) y similares procedimientos de evaluación, dice, operan a lo largo del amplio espectro de disciplinas intelectuales. A lo sumo, sostiene, el desigual grado de progreso que las llamadas “ciencias” presentan respecto de las “no-ciencias” puede responder a diferencias de grado, no de clase. Incluso concede que los vigorosos procedimientos de comprobación (metodologías) que muchas ciencias poseen no pueden ser constitutivos de lo científico, puesto que ciertas ciencias no los usan. Para él “hace ya tiempo que se ha abandonado el prolongado

prejuicio “cientifista” que sostiene que las ciencias y el conocimiento firme son co-extensivos”, esto es, coincidentes. Con tan respetuosa actitud hacia las diversas formas de conocimiento humano, Laudan no sólo tiende un puente entre esa polaridad que ha acarreado tantos malentendidos entre ciencias físico-naturales y ciencias humanas, sino que también abre la vía a la conciliación y co-existencia entre las tradiciones “cientifistas” e historicistas que durante largo tiempo han pugnado y se han condenado mutuamente en las ciencias sociales, en general, y en la Geografía en particular.

Otra característica destacada de la concepción de Laudan (1981: 148-149) radica en su aceptación del cambio (progreso) científico sin retención acumulativa. La casi totalidad de los modelos racionales de cambio científico (incluidos los de Popper y Kuhn) asumen la idea de que la sustitución de teorías conlleva un rasgo ineludible: las nuevas deben contener a las precedentes en lo que concierne a capacidad explicativa o éxito. Ante la evidencia, por él aducida, de ejemplos en los que no se da tal circunstancia, reclama la necesidad de un modelo de cambio que incorpore esa posibilidad. En tal terreno él apunta solamente una dirección de búsqueda (ciertamente difícil), más que una solución desarrollada: una contabilidad de problemas resueltos frente a anomalías observadas de teorías rivales (una especie de análisis coste-beneficio) ofrecería una base para una interpretación racional del cambio. En cualquier caso, asevera, los principios específicos y “locales” que los científicos utilizan para evaluar teorías no son fijos permanentemente, sino que se han modificado a lo largo del devenir de la ciencia. Al respecto, y ante teorías enfrentadas, las actitudes de los científicos no se limitan a la polaridad aceptación-rechazo, sino que lo más parecido a la realidad es un continuo de actitudes cognitivas entre ambos extremos (Laudan, 1981: 150) y de ahí que se hable de la necesidad de elaborarlas más o de profundizar en ciertos aspectos, aunque se les conceda cierta aceptación.

La aplicación de estas ideas a la Geografía permite dar cuenta de la emersión y desarrollo de diferentes teorías sobre un mismo problema (por ejemplo el caso de las teorías sobre la estructura interna de la ciudad, la difusión del desarrollo o de las innovaciones, etc.) que son cultivadas simultáneamente, que no subsumen totalmente unas a las otras y que son apoyadas de forma desigual, por cuanto a menudo resultan parciales y eventualmente complementarias.

La clave central que Laudan propone para dar cumplida respuesta a todos esos requisitos no es sino la meta por él planteada para la ciencia: la resolución de problemas. Conviene clarificar un poco el significado de esta oferta pragmatista. Tras haber descartado por trascendente e inalcanzable, según se expuso más arriba, la búsqueda de la verdad, el autor nos aboca a un horizonte que parece irrenunciable. Más concretamente, y en esto Laudan recoge un ingrediente de indudable valía en la tradición científico-natural y de notoria presencia así mismo en las ciencias sociales, el autor postula que “el propósito de la ciencia es asegurar teorías con una elevada efectividad de resolución de problemas” (Laudan, 1981: 145). En cuanto a la noción de teorías científicas, el autor asume la articulada por los empiristas lógicos como “una red de enunciados que, junto con las condiciones iniciales, conduce a explicaciones y predicciones de fenómenos específicos” (Laudan, 1981: 150) y que son habitualmente sometidas a las pruebas empíricas por los científicos.

Ahora bien, ¿qué son los **problemas** y las soluciones? Respecto a los primeros Laudan (1977, cap. 1 y 2; 1981: 146-148) establece dos grandes categorías: empíricos y conceptuales. Una teoría (o creencia) debe así ponerse a prueba en dos planos: por un lado debe atender a la coherencia con la red de relaciones conceptuales de nuestras creencias; por otro, debe atender al soporte proveniente de la realidad empírica. La meta entonces radica en asegurar teorías que por un lado minimicen los problemas conceptuales, y por otro que resuelvan el máximo número de problemas empíricos suscitando, simultáneamente, el mínimo número de anomalías (problemas resueltos por teorías rivales y no por ésta).

Resulta obligado añadir que, bajo la rúbrica de problemas conceptuales, el autor incluye también el que surge al intentar evaluar teorías pasadas con los estándares actuales de racionalidad. La opinión de Laudan, que compartimos, postula que “las estrategias evaluadoras de los científicos en épocas anteriores difieren de las nuestras ...”, por lo cual “los enfoques de los científicos anteriores acerca de cómo deben evaluarse las teorías han de entrar en los juicios sobre el grado de racionalidad de aquellos científicos al comprobar sus teorías en la forma como lo hacían”. La relatividad histórica en la racionalidad de la ciencia es algo que queda pues integrada en su concepción.

Por lo que respecta a las **soluciones**, éstas deben darse para los dos tipos de problemas enunciados. Expresado de forma simple se diría que un problema empírico está resuelto cuando, en un determinado contexto de indagación, los científicos no lo contemplan como una cuestión sin respuesta, esto es, cuando creen que entienden por qué la situación planteada por el problema es como es. Ello presupone la existencia de una teoría que resuelve con sentido ese problema (Laudan, 1977: 22). Relatado de un modo más formal: una teoría resuelve un *problema empírico* cuando funciona (significativamente) en cualquier esquema o inferencia cuya conclusión es un enunciado del problema (junto con las condiciones iniciales y límites apropiados)⁷. Una teoría resuelve o elimina un *problema conceptual* cuando no exhibe una dificultad conceptual de su predecesora.

En su razonamiento concerniente a los problemas empíricos Laudan (1977: 23-26) aduce y ejemplifica que una solución, bajo este prisma no implica una exacta correspondencia entre resultados teóricos y experimentales, sino que normalmente sólo se requiere un parecido aproximado. De ello se infiere la posibilidad de que teorías diferentes pueda resolver (*i.e.* dar cuenta) el mismo problema (empírico o conceptual) por lo que queda espacio para la convivencia y reconocimiento de teorías competidoras (y tradiciones de investigación con teorías que incluyan y “resuelvan” el mismo problema). Una formulación marxista o funcionalista de la segregación social intra-urbana pueden así coexistir aceptablemente. La noción de solución es, por tanto, altamente relativa y comparativa (a diferencia del concepto lógico de explicación mucho más exigente en cuanto a veracidad de la teoría); lo que cuenta como solución a un problema en un momento no tiene que ser considerada como tal siempre. Por otro lado, y como ya se señaló antes, según este autor, para lo que constituye una solución es irrelevante si la teoría es verdadera o falsa (de forma absoluta), punto éste que se retomará críticamente más adelante.

En síntesis, la concepción de Laudan trata de sortear las dificultades de Lakatos, o las soluciones irracionales del cambio científico, moderada en Kuhn o extrema en Feyerabend, a la hora de comparar teorías y tradiciones de investigación. Prescindiendo de la idea de aproximación a la verdad, el autor propone una vía que preserva la racionalidad del progreso científico. La ciencia, dice, progresa sólo en el caso de que las teorías sucesivas resuelvan más problemas que sus predecesoras (Laudan, 1981: 145). El abandono o cambio de teorías y tradiciones de investigación se supeditan a esa efectividad resolutoria que, a su vez, es una función del número e importancia de los problemas empíricos resueltos y de las anomalías y problemas conceptuales que afronta. Al respecto, clarifica el autor, deben diferenciarse dos caras: la adecuación (o aceptabilidad) presente y su carácter más o menos prometedor. Una teoría (o tradición de investigación) más adecuada (aceptable) que otra implica que sea, hasta y en un momento dado, más efectiva resolviendo problemas. Se trata pues de un criterio que concede mucho peso al pasado. Sin embargo, añade, ello es una base insuficiente para evaluar su potencial futuro. La búsqueda de teorías con un potencial de fertilidad tal que amplíen el abanico de lo que explicamos y predecimos conduce a los científicos a explorar nuevas teorías y tradiciones de investigación tales que, aunque con menguado soporte todavía, ofrezcan una elevada tasa de progreso (efectividad resolutoria); esto es, que resulten prometedoras (Laudan, 1981: 151-152). A diferencia de otras posturas epistemológicas (e.g. las de Popper, Carnap o Lakatos) que identifican ambas dimensiones, la concepción de este autor, posibilita que, al evaluar con fines diferentes (retrospectivos o prospectivos) las ideas científicas, se investiguen y emerjan nuevos proyectos como algo consustancial y permanente en la práctica intelectual. Por otro lado, la mayor o menor aceptación de un teoría (o tradición) no es algo que deba descansar únicamente en una serie de rasgos de ella⁸, tales como el haber pasado un cierto número de test (como propusieron los inductivistas o el mismo Popper), sino que su valoración debe ser siempre relativa a los méritos de teorías rivales: “Sólo cuando comparamos su efectividad y progreso a los de teorías competidoras estamos en posición de ofrecer algún consejo sobre qué teorías deben ser aceptadas, seguidas y cultivadas” (Laudan, 1981: 154).

⁷ Esta definición entronca con el enfoque nomológico-deductivo de la explicación, sin embargo, la condición necesaria en él de que las premisas sean verdad o estén bien confirmadas es rechazada por Laudan. Para éste, basta con que el problema y la teoría estén en una cierta relación formal, con lo que se aleja de algunos de los problemas planteados por la confirmación. Sobre las distintas propuestas concernientes al problema de la explicación resulta de sumo interés la recopilación hecha por Pitt (1988).

⁸ Los intentos de determinar, epistemológica y pragmáticamente, la naturaleza y rasgos de las teorías se hallan de forma abundante. Pueden verse Bunge (1969, cap. 7 y 8, 1978, 1980), Mosterín (1984), Moulines (1982), Newton-Smith (1981, p. 226-232), Thuillier (1975), y en la literatura geográfica, Harvey (1969), Amedeo y Golledge (1975, cap. 2) o Beguin (1985).

4.2. Las críticas y extensiones a la concepción de Laudan

El discurso de este autor, en cuyo comentario nos hemos extendido adrede por su virtud clarificadora, presenta algunos flancos abiertos a la crítica que ya han sido puestos de relieve y cuya consideración resulta oportuna aquí.

- A) En primer lugar, el problema métrico; como dice Newton-Smith (1981: 192), “estamos a un milenio de poseer una técnica para medir la importancia de un problema o una anomalía” por lo que, según él, esa vía parece poco prometedora.

La discusión que de ello realiza Doppelt (1983: 129-132) le lleva a corroborar que Laudan no ha especificado un principio general de comparación. Si cada tradición de investigación posee sus propios criterios para determinar la efectividad resolutive de problemas y éstos no necesitan ser compartidos por las otras, se cae en el relativismo. Doppelt (1983: 133 y ss.), en consecuencia, plantea la necesidad de una modificación de la teoría del progreso científico de Laudan y ofrece algunos ítems sugerentes y prometedores tratando, precisamente, de concretar y desarrollar lo que Laudan no hizo. La base para ello estriba en mostrar cómo, a partir de la idea de *acumulación parcial* entre teorías y tradiciones de investigación de una disciplina, pueden hallarse elementos para sustentar esa evaluación. Laudan en su afán por desmarcarse de la idea de acumulación rigurosa del conocimiento científico, impuesta por el positivismo y no consistente con la historia de la ciencia, había propuesto el progreso sin acumulación, pese a que creía que existe una cierta acumulación al nivel de problemas empíricos.

La argumentación, en síntesis, de Doppelt es como sigue. La unidad de una disciplina y su progreso únicamente es inteligible a partir de la asunción de que todas las tradiciones de investigación de ella comparten un tronco más o menos común de problemas empíricos, conceptos y asunciones. Lo que cuenta como un problema empírico para una tradición de investigación “A” depende de tres clases de intereses y asunciones compartidos: los que derivan de la cultura en la que se halla inmersa, los que derivan de las tradiciones predecesoras de “A”, y los que derivan de “A” misma⁹. De ese modo, el número e importancia de los problemas resueltos por una tradición de investigación no dependerían sólo de los que resultan relevantes para dicha tradición, sino para el conjunto de la disciplina. Los problemas empíricos más destacados serían aquéllos que son responsables de la unidad de la disciplina científica; tales serían los arquetípicos, resueltos o tratados por todas las tradiciones dentro de aquélla. Sobre tal base, propone Doppelt, sería posible construir y ordenar el dominio de problemas más o menos comunes y más o menos importantes de la disciplina como un todo. Ellos definirían, así, ese conjunto de meta-estándares requerido para confrontar tradiciones de investigación en cuanto a capacidad resolutive de problemas. Por otro lado, sobre tales tipos de problemas generales cabría articular esa acumulación (parcial) de conocimiento que se evidencia en la historia de las disciplinas.

Por ejemplo, cuestiones generales en Geografía, tales como las concernientes a la interacción hombre-medio, diferencias y similitudes en el espacio, localización y distribución espacial de fenómenos, evolución del territorio, comportamiento del hombre en el entorno, naturaleza de los lugares y regiones, etc. conforman la cúspide de la pirámide de problemas, más o menos común a todas las tradiciones (“regional”, marxista, humanista, etc.), como más adelante intentaremos poner de manifiesto. Parece evidente que la consideración de ellos entra normalmente a formar parte de modo sustancial en los juicios de evaluación.

- B) Una segunda y atinada crítica ha insistido en que Laudan fue demasiado lejos al rechazar la meta de la empresa científica en términos de progreso hacia una creciente verosimilitud o aproximación a la verdad (Newton-Smith, 1981: 195). De la constatación de falsedad de teorías pasadas no se debe

⁹ Del mismo modo, y tras reconocer con Laudan que los problemas conceptuales abordados por las tradiciones de investigación de una disciplina varían mucho en la historia, sugiere que sería preciso posiblemente determinar el conjunto de ellos compartidos por todos los científicos (unos podrían ser “internos” como los de no claridad, inconsistencia, tautología, etc. y otros “externos”, como los de incongruencias de las asunciones básicas de una tradición de investigación con las de otra disciplina científica, cosmovisión extracientífica, etc.).

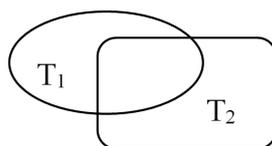
caer en la renuncia a la meta de verdad. Este autor realiza algunas consideraciones, apuntaladas en el sentido común, que sostienen la necesidad de no marginar la noción de verdad en el progreso científico. Resumimos tres de ellas:

- En primer lugar, asumir una concepción agnóstica respecto a la verdad, implica aceptar que nos despreocupamos de cómo el mundo es, por lo que la empresa científica carecería de sentido (*id.*: 190).
- En segundo lugar, si podemos hacer una apreciación de la racionalidad de creer en cualquier enunciado empírico, ¿por qué no realizar tal apreciación de las teorías que son sólo conjunciones de tales sentencias? (*id.*: 192)
- Y en tercer lugar, dado que aceptamos las teorías como base para la acción, si no asumimos que la efectividad en la resolución de problemas constituya un cierto apoyo al contenido de verdad de ellas, entonces sería totalmente irracional actuar conforme a una teoría aceptable bajo el modelo de Laudan (*id.*: 195).

Adicionalmente, y como sostén fundamental de su argumentación, Newton-Smith (1981: 196-197) aduce con acierto una premisa común a todos los autores: dentro de una ciencia madura ha habido una impresionante mejora en el poder predictivo de las teorías. A continuación el autor intenta articular una noción del grado de verosimilitud de las teorías (*id.*: 198-205), cuyo detalle obviaremos aquí, pero de la que concluye que una teoría con mayor verosimilitud que otra probablemente tiene mayor “éxito en la observación”¹⁰. La explicitación de éste último concepto le conduce a aceptar la necesidad de acumulación en el conocimiento, lo que se traduce en dos rasgos: por un lado que la nueva teoría contenga no sólo el apoyo empírico de la anterior sino más, y por otro que ofrezca un mayor éxito en las predicciones.

A nuestro juicio, puede aceptarse el segundo rasgo ya que, como reconoce más adelante el autor (*id.*: 268), resulta la hipótesis que ofrece la mejor explicación del aumento en el poder de predicción y manipulación conseguido por la ciencia; sin embargo, el primero parece más discutible. Dos teorías, T1 y T2, abordando el mismo problema, e.g. el comportamiento espacial de hombre desde distintos ángulos (por ejemplo, desde la óptica económica o desde el conductismo psicológico), y con desigual nivel predictivo podrían no englobar empíricamente una a la otra, es decir, cada una podría contar con un grado de corroboración empírica que sólo en parte fuese común a ambas (figura 1).

Figura 1. Representación del apoyo empírico de dos teorías rivales.



En todo caso, aun aceptando que el atributo de verosimilitud debe ser un componente del entendimiento del progreso científico, parece que se requiere profundizar más en el análisis de este punto.

- C) Finalmente, y a nuestro entender, es en la cuestión clave de la evaluación de la efectividad de resolución de problemas por donde puede introducirse un margen de incidencia a los factores externos de cambio científico que se constatan por la sociología e historia de las disciplinas. Qué duda cabe que el juicio evaluador de los científicos se ejecuta según procedimientos plurales; éste puede realizarse de un modo formal (adoptando incluso técnicas sistemáticas para ello), sin embargo, probablemente se actúa muchas veces sin un proceso “riguroso” tal. Lo que parece obvio, sin embargo, es que a las “razones” aducidas, subyacen condicionantes externos (valores, creencias, ... impregnadas de ingredientes éticos, estéticos, religiosos, afectivos, etc.). Por ello, a nuestro juicio, cabría pensar mejor en la noción de “racionalidad limitada” de los científicos ante tal trance. Dadas las restricciones de

¹⁰ Tal es el criterio que el autor más adelante califica como test último para dilucidar la superioridad de una teoría sobre otra, es decir, para el progreso científico (Newton-Smith, 1981, p. 224).

la mente humana, a las que no escapan la de los científicos¹¹, parece más creíble y estimulante, como norma para la conducta investigadora, asumir que las opciones elegidas en materia de conocimiento tienden y toman como referencia esa racionalidad subóptima, puesto que en términos absolutos resulta inalcanzable¹². En todo caso, ello no entraría en colisión con la concepción de Laudan, ya que desde el momento en que él entiende que el *esse* (ser) de los problemas es su *percipi* (percepción), cabe aceptar que esa percepción, individual o colectiva, está mediatizada por factores externos no-rationales.

4.3. Una breve recapitulación

La precedente exposición sobre algunos asuntos epistemológicos centrales permite enunciar con cierto fundamento los principales puntos que definirían un entendimiento de la cientificidad pragmáticamente inspirado.

En primer lugar, que la racionalidad científica implicaría dos condiciones básicas: por un lado, que la meta estipulada para la indagación sea científica y no de otro tipo, y por otro, que se han de poseer razones buenas y científicamente respetables para pensar que la opción que se toma (al comparar teorías por ejemplo) es la mejor, como expresó Newton-Smith (1981: 280-281).

En segundo lugar, que resulta aceptable la existencia de varios modelos racionales de ciencia en la historia (llámense paradigmas o tradiciones de investigación), en cuya evaluación, hecha desde nuestro propio horizonte, debe incluirse el propio contexto que definía la racionalidad en tal situación, porque como señaló certeramente Winch (1958) “Los criterios de la lógica no son un don de Dios, sino que surgen de y son inteligibles en el contexto de los modos de vivir o modos de vida social”.

En tercer lugar, que el papel de los “factores externos” (sociológicos, psicológicos, etc.) estriba en dar cuenta cómo se forman, en un determinado contexto, las “razones” sustentadoras de las decisiones de los científicos en la evaluación y adopción de teorías y de tradiciones de investigación o paradigmas. Esto es, contribuyen a explicar el marco en el que se inscribe la “racionalidad limitada” asumida aquí para la práctica de los científicos y del hombre en general.

Y en cuarto lugar, que un entendimiento de la ciencia que vincule por un lado la efectividad en la resolución de los principales problemas más o menos compartidos por las distintas tradiciones de investigación de una disciplina y, por otro, una acumulación parcial de conocimiento, un aumento del poder predictivo de las teorías y de la verosimilitud (al menos supuesta) resulta, hoy por hoy, una posición defendible para la ciencia, en general, y para la Geografía, en particular.

Ello, en definitiva, permitiría calificar a esta concepción de racionalista moderada respecto a la empresa científica, porque ésta también está hecha de hombres. Esto es, ni más ni menos, lo que Mario Bunge (1986: 93) expresó paladinamente en un párrafo que puede cerrar nuestra argumentación: “Quienquiera que haya trabajado alguna vez en ciencia sabe que el científico, sea matemático, naturalista o sociólogo, hace uso de todos los mecanismos psíquicos y que no es capaz de controlarlos todos, ni puede determinar siempre cuál ha intervenido en cada caso. En cualquier trabajo científico, desde la búsqueda y el planteo del problema hasta el control de las solución, y desde la invención de las hipótesis-guías hasta su elaboración deductiva, intervienen la percepción de las cosas, acontecimientos y signos; la imaginación o representación visual; la formación de conceptos de diverso grado de abstracción; la comparación que lleva a establecer analogías y la generalización inductiva junto con la loca conjetura; la deducción, tanto formal, como informal; análisis toscos y refinados, y probablemente muchas otras maneras de formar, combinar y rechazar ideas ...”

¹¹ Barnes (1985, p. 36) apunta el irónico dato de que los científicos no obtienen buenos resultados en los test que exigen un razonamiento abstracto “lógico”.

¹² No son pocas las posturas articuladas sobre el carácter no enteramente racional de las decisiones de los científicos en materia de conocimiento. Véase, como ejemplo, Thuillier (1975, p. 43 y ss.) quien ejemplifica con el caso crítico de la aceptación o rechazo de teorías.

5. ENTENDIMIENTO Y NATURALEZA DE LA PRAXIS CIENTÍFICA GEOTECNOLÓGICA

Lo expuesto en los apartados anteriores proporciona bases para acometer el objetivo de establecer un entendimiento de la cientificidad en clave geotecnológica, abordando una serie de puntos que permitan sustentar suficientemente esa propuesta. A tal fin se planteará una argumentación que considere como marco epistemológico la concepción de Laudan sobre la ciencia y su evolución, con las ampliaciones y revisiones críticas ulteriores.

Procede de entrada recordar que las geotecnologías engloban al conjunto de conocimientos técnicos, científicamente sustentados, que manejan información geográfica, esto es asociada a coordenadas, y que son aplicables a una amplia gama de actividades. Incorporan un extenso abanico de máquinas (electrónicas particularmente, como los computadores), software y técnicas que soportan funciones de obtención, procesamiento, visualización y difusión de dicha información. Entre las más conspicuas abarcarían la cartografía, los sistemas de información geográfica, la teledetección, los sistemas de posicionamiento global, etc. pero también, e indirectamente, otras que de forma paulatina están pasando de una fase donde manejaban solo información no geográfica a otra en la que tratan geodatos de manera diversa, pero muy notable, e.g. las redes, internet o los terminales de comunicación personal (“teléfonos” móviles en su rica variedad).

Como punto de partida dos cuestiones directas podrían ser suscitadas. En primer lugar, ¿pueden las geotecnologías implicar un cambio tal que den lugar a un entendimiento diferente de la cientificidad geográfica? En ese sentido, se asume aquí la premisa de que la praxis científica geotecnológica puede ser constitutiva de una tradición de investigación en Geografía, equiparable a los paradigmas que se han identificado en esta disciplina (*vid. apdo. 2*), tal como algún autor ha planteado (e.g. Buzai, 2001, 2011). Ello exige poner de manifiesto que dichas geotecnologías asumen un lugar esencial y determinante en la aparición de ese nuevo proceso cognoscitivo científico, constituyéndose en condición necesaria del mismo.

En segundo lugar, y para completar el planteamiento, cabría interrogarse si el empleo de geotecnologías es condición por sí solo suficiente para calificar una praxis científica como geotecnológica. Nuestra respuesta ahora es negativa. Ello implica reconocer que hay prácticas investigadoras que explotan dichas geotecnologías, pero no de una manera sustancial en el proceso de creación de conocimiento, sino que las usan como meros utensilios accesorios, es decir, que aquéllas jugarían un papel subordinado o si se quiere circunstancial, en cuanto al conocimiento generado. El criterio dirimente no sería tanto la mera cantidad del uso de geotecnologías, sino una diferencia de cualidad: se trataría de aquellos usos como simples herramientas para realizar tareas “mecánicas” o que intervienen secundariamente en el proceso cognoscitivo. Para ilustrar este caso, bastaría aducir aquellas aplicaciones de las geotecnologías orientadas a solventar labores que históricamente se han resuelto de otra manera e. g. la producción rutinaria de mapas temáticos para mostrar ciertos fenómenos, por lo que su papel apenas trasciende el mero fin de la eficiencia en la producción cartográfica. La geotecnologías, singularmente las digitales, podrían claramente ser sustituidas por otros instrumentos o recursos para esos fines (como antaño sucedía), sin que se viese afectado el núcleo del proceso investigador.

En los apartados siguientes se tratará de razonar, en primer lugar, hasta qué punto la tecnología en general, y las geotecnologías en particular, poseen una trascendencia tan profunda en el quehacer científico que implica una forma distinta de investigar y una capacidad resolutive de problemas superior a la de otras tradiciones de investigación; a continuación se definirá dicha praxis científica, señalando sus elementos diferenciales y genuinos, para luego completar su caracterización señalando sus filosofías inspiradoras y las connotaciones ontológicas que conciernen a los objetos de estudio, sus peculiaridades metodológicas, el tratamiento de los problemas y conceptos geográficos claves, y las metas científicas y sociales del conocimiento generado bajo ese marco.

5.1. Sobre el alcance gnoseológico de la tecnología

Plantear que la geotecnología posee un papel tan profundo como el aludido en el título exige sustentar que la forma de indagar científicamente queda modificada de manera sustantiva. La atención que en las últimas décadas está cobrando la filosofía de la tecnología (*vid. Méndez, 1989*), aparte de subsanar

un déficit ostensible y sorprendente, dada la trascendencia de ésta última, está aportando luces muy sugerentes sobre la relación ciencia-tecnología.

A tal fin resulta clarificadora y oportuna aquí la discusión de Agazzi (1998) sobre el tema, en la que mantiene la tesis de que “la tecnología es un elemento estructural del conocimiento científico moderno”, en el sentido de que su trascendencia alcanza a la concepción del conocimiento como tal. Sus argumentos principales pueden resumirse como sigue.

En primer lugar, la tecnología determina y establece el control teórico de la experiencia. Frente a la observación directa de la realidad, propia de la ciencia (natural) antigua, la ciencia moderna (desde Galileo, Newton y otros) adopta la observación “instrumental”. Ello supone que ante un problema a entender, la dilucidación de la hipótesis formulada pasa por construir artificialmente una situación experimental en cuyo seno realizar la comprobación. En palabras del propio autor: “En conclusión, ya en su comienzo la ciencia moderna se revela estructuralmente conectada a la tecnología, pues, en primer lugar, es necesario inventar, construir un instrumento para “observar” la naturaleza; en segundo lugar, el “experimento” científico consiste en la realización de una situación artificial, precisamente porque sólo dentro de una situación artificial se podrá poner a la vista lo que nunca se aprecia en una observación natural. Así, la ciencia experimental es una ciencia que ya, en su acta de nacimiento, lleva escrita la tecnología en sus raíces”. Por tanto, la tecnología (condición básica del método experimental) resulta consustancial con este entendimiento de la cientificidad.

En segundo lugar, en el proceso de investigación de la ciencia moderna, la observación para confirmar o falsar, se remite al tribunal experimental, y especialmente, a los resultados de los experimentos. Pero en ellos la tecnología es un elemento básico y no-eliminable de la estructura noética de la ciencia, dado que los experimentos dependen de y se construyen con la tecnología (la cual en este sentido es mucho más que ciencia aplicada, entrando a formar parte de la estructura misma del *conocimiento* científico). Ese rasgo permite traer a colación el fenómeno – y riesgo – de la “adaptación inversa” según la cual se produce una acomodación de los fines a los nuevos medios técnicos, a las exigencias del nuevo orden tecnológico (Winner, 1977, cit. por Veregin, 1995: 97), por lo que el artefacto (e.g. el ordenador) deja de ser neutral, actuando entonces como filtro o restricción para el desarrollo de un modelo de algunas relaciones supuestas en el mundo real. “El ordenador influye en la forma como los problemas de investigación son seleccionados para su estudio y el carácter de las asunciones, lenguajes, técnicas y modelos aportados para abordar el problema (Veregin, 1995: 96-100). Este rasgo u objeción, que se retomará más adelante, puede tener una lectura alternativa y en clave positiva, por cuanto en ello reside precisamente el empoderamiento de la praxis geotecnológica para resolver problemas. Como aduce García Bacca (1986:91) con el caso de la física-matemática, “son los físico-matemáticos -sobresaliendo entre otros los actuales- los que, real y verdaderamente gigantes han luchado, no a <brazo> partido, sino a <instrumentazos>, con la realidad profunda del universo. Con el ser real de verdad.”.

En tercer lugar, el conocimiento científico no se ocupa de lo real en su totalidad, sino selectivamente desde unos puntos de vista o conceptos determinados. En este sentido, “la importancia de la tecnología es fundamental, ya que la intervención de la tecnología permite a cualquier ciencia empírica constituir su ámbito de objetos” de estudio (físicos, biológicos, geográficos, etc.) y los resultados de la indagación serían productos (“previsiones”) tecnológicamente sustentados en muchas confirmaciones o corroboraciones exitosas.

Y en cuarto lugar, la máquina (i.e. la tecnología) se constituye en criterio de inteligibilidad de las cosas. “La tecnología ha cambiado profundamente la manera de entender la explicación científica. Ésta consiste muy frecuentemente en elaborar un modelo máquina para casi todas las cosas”, cuya lógica de funcionamiento es conocida. En lo relativo al proceso de conocimiento científico, es bajo el marco de dicho modelo como lo observado resulta interpretable por parte del experto y encuentra sentido cabal, aunando el conjunto de sus facultades mentales (lo que le permite “ver” de forma más penetrante). En palabras del propio Agazzi (1998): “En conclusión, se puede afirmar que la tecnología es la condición generalizada para la construcción de los objetos científicos y para su conocimiento. ... de la realidad compleja se realiza una especie de corte que selecciona ciertos aspectos a fin de someterlos a los procesos cognoscitivos, y tales aspectos son hoy día los que tan sólo mediante instrumentos de tecnología muy

avanzada se pueden poner en evidencia. En este sentido se puede afirmar que los objetos son *construidos*". Por nuestra parte, procede advertir que asumimos estas posiciones de manera parcial por cuanto, sobre las bases de concepción pragmatista expuesta anteriormente, no consideramos que sea ésta la única forma de conocimiento científico.

En resumen, el autor establece con bastante acierto que la tecnología alcanza un protagonismo nuclear en la creación de conocimiento, articulando las funciones intelectuales puestas en juego en la investigación, de manera coherente y eficaz en la resolución de problemas. Al decir, más enjundioso del filósofo García Bacca (*Anthropos*, 1989: 2), "La tecnología actual ... se fundamenta en una ontología de la creación y de la probabilidad, cuyo sujeto es el <Nos> creador artificial y social. Sus categorías analíticas no pueden ser otras que las de invento, novedad, transustanciación y transfinitación, transmutación continua de límites". La técnica actual nos muestra con eficacia el paradigma de una ontología, antropología y epistemología dialéctica <en realidad de verdad>".

Aceptando esos postulados, procede aclarar ahora cómo el modo de investigar permeado por las TIG concuerda con los mismos, por cuanto ello apuntalaría la tesis de que conforma un cambio drástico en la científicidad geográfica. A ello se destina el siguiente apartado.

5.2. *¿Cómo se establecen, formalizan y resuelven los problemas de conocimiento geográfico bajo la praxis científica geotecnológica?*

5.2.1. *Los elementos estructurales de la investigación geotecnológica*

Un examen del proceso de indagación subyacente a conspicuos trabajos realizados bajo esta perspectiva podría reconocer dos momentos iniciales que resultan determinantes del decurso posterior.

En primer lugar, la identidad del problema de conocimiento. Ello concierne a cuestiones que atañen a la individualización del mismo, a sus límites y alcance, a su naturaleza "sensu lato", a su relevancia y a las eventuales utilidades derivables de su resolución. El abordaje de estos asuntos implica unas presunciones acerca de las posibilidades de resolverlo aceptablemente, establecer su trascendencia como incógnita cognoscitiva, clarificar su entidad en el marco de la problemática de la disciplina, legitimar la investigación a partir de las consecuencias y aplicaciones de los resultados, etc. Pues bien, ya en esta fase las TIG juegan un papel trascendental pues aportan una plataforma sustantiva para concretar respuestas a tales cuestiones, en particular, la coherencia del asunto con el prisma o punto de vista disciplinar, las cualidades del problema geográfico dentro del elenco de las preocupaciones de la disciplina, la identificación de los aspectos significativos del mismo (permitiendo así su acotación), la viabilidad de su abordaje (basada en las prestaciones de las TIG), las ventajas derivadas de una resolución eficiente para unos destinatarios (mercados) definidos, etc.

En segundo lugar, la formulación operativa del proceso de resolución. Ello se refiere a preguntas tales como ¿qué procedimiento general se considera aceptable para dilucidarlo?, ¿bajo qué condiciones es abordable y resoluble?, ¿qué instrumentos permiten obtener resultados / respuestas admisibles?, ¿cómo establecer el grado de plausibilidad, y por ende, de aceptabilidad de la "solución"?

Es en este segundo momento cuando, en general, se fijan las bases y mecanismos fundamentales que confieren entidad diferencial y legitimación gnoseológica al proceso ulterior, sea cual fuere la concepción de la científicidad asumida. Pues bien, escrutando las descripciones realizadas por diversos autores (*vid.* Buzai y Durán, 1997, cap. 2; Buzai, 1999: 58-61; Schuurman, 2004; Maantay y Ziegler, 2006; Steinberg y Steinberg, 2006; Lloyd, 2008; Parker y Asencio, 2008; Cruz, 2010; Buzai, *et al.*, 2010;) acerca de la indagación con TIG/SIG, es posible constatar que la praxis investigadora geotecnológica implica una serie de entes (la realidad espacial y la digital) y de operaciones mentales (de abstracción, exploración, clasificación, interpretación, trasposición, relación, etc.) que concuerdan netamente con las propuestas de Agazzi (1998). En efecto, y quizá sea lo más importante, el proceso científico ahora implica la construcción de una realidad basada tecnológicamente (mediante lo que se denomina diseño y modelado de la base de geodatos) que supone una trasposición selectiva de la realidad territorial a un cosmos digital, el cual a partir de ese momento suplanta en gran medida a aquélla. Al respecto, leyendo la obra de Tomlinson (2007),

especialmente el capítulo 9 en el que describe someramente los modelos existentes para el diseño de bases geodatos y (relacional, orientado a objetos y de objetos a bases relacionales), es cuando se puede apreciar meridianamente, no solo en el plano técnico, sino sobre todo noético, el significado más profundo de esa operación y su resultado, que para muchos principiantes o legos puede aparecer como una mera labor técnica desembocando en unos ficheros digitales de datos más o menos complejos. Sin embargo, lo que se genera así es un constructo que constituye una re-creación del mundo real de alcance ontológico, por lo que cabría calificarla más como transustanciación que como simple transformación. La realidad geográfica (RE) se transmuta en realidad digital (RD), sustituyendo ésta a aquélla en el proceso de resolución de problemas de conocimiento. Esa RD no es una recreación completa de aquélla, sino parcial, lo que implica instituir límites a lo observable distintos a los de la RE.

El alcance ontológico de esa labor reside en dos condiciones: a) la realidad digital posee entidad diferenciada de la geográfica, b) la realidad digital posee una estructura y contenidos propios, los cuales se consideran bastantes (en términos de representatividad¹³) como para sustentar la racionalidad de la indagación científica sobre ella. Trabajar con fines cognoscitivos en ese entorno tecnológico (máquina, al decir de Agazzi, 1998) calificable como “laboratorio geodigital” o LGD (vid. figura 2) supone asumir que la representación del mundo que contiene es lo suficientemente fidedigna (según el problema tratado) como para habilitar la praxis indagatoria y avalar racionalmente los resultados (sin perjuicio de las validaciones y comprobaciones pertinentes). Como ilustraciones de los avances reales en esa forma de operar podrían señalarse dos: de un lado la visión esbozada por Craglia *et al.*, (2008) de los co-laboratorios virtuales como infraestructura para la e-ciencia (e.g. www.accessgrid.org), posibilitando el acceso a geodatos, información, servicios, modelos, escenarios y predicciones geodigitales, sobre la base de estándares compartidos y facilitando el abordaje de problemas y la difusión universal de los resultados; y de otro los *mapping mashups* (vid. Mateos, 2013) que, como herramientas tecnológicas, viabilizan el acceso a bases de geodatos localizados en servidores múltiples, los cuales son combinados visualmente a medida del usuario en la pantalla de su terminal, para los fines, e.g. investigadores, que desee. Se trata, pues, de una etapa tecnológica nueva, más formalmente estructurada, para soportar esta praxis de indagación.

A partir de ese momento, una gran parte de las principales operaciones de resolución del problema de conocimiento quedan en gran medida confinadas al cosmos digital, sin perjuicio de las labores de comprobación/validación de los resultados (figura 2) con el mundo real (vid. Steinberg y Steinberg, 2006: 63-64). Quizá la expresión más conspicua y aquilatada de ese constructo tecnológico sea la realidad virtual (vid. Fisher y Unwin, 2002) la cual, como Fairbairn y Parsley (1997) señalaron, se conforma como un entorno interactivo de presentación gráfica de información espacial en el que, entre otras cosas, es posible para los usuarios hacer asunciones y comprobar hipótesis. En palabras lúcidas de Suy y Morrill (2004: 98), “*the computer has, in the information age, developed into a powerful metaphor for understanding the universe*”. Este hecho fundamental es el que obliga al investigador a tomar conciencia y valorar con rigor el grado de exactitud (*accuracy*) e incertidumbre, inherentes a la representación de la realidad espacial o modelo que se habilita en el LGD (vid. Longley *et al.*, 2010, cap. 6).

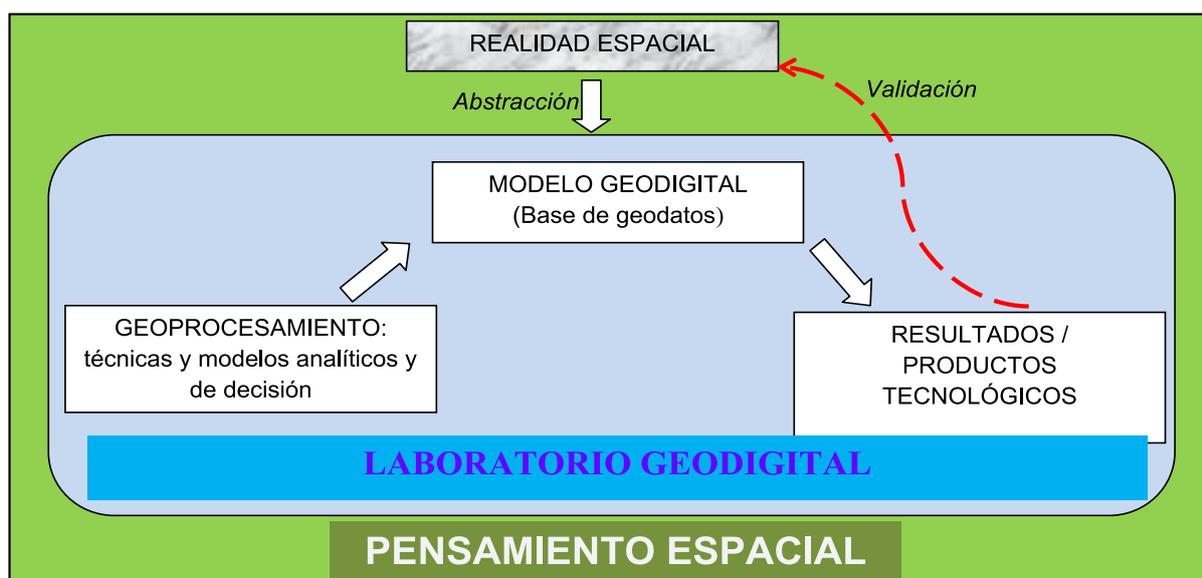
Planteando las cuestiones de otra manera, cabría preguntarse: en gran medida, ¿no es el LGD quien está estableciendo los límites, no solo de la representación de lo realmente conocido y experimentable, sino también de las posibles soluciones al problema?, ¿no está, por tanto, ese conocimiento (y la cientificidad presumible) supeditado y circunscrito a la representatividad del modelo geodigital y a las operaciones (mentales y técnicas) que el investigador ejecuta sobre el mismo? Nuestra respuesta es afirmativa. Desde una perspectiva crítica eso es precisamente lo que recalcó Veregin (1995: 100) al señalar que “*technological constraints affect the nature of the models of geographical phenomena that may be developed and applied in a technological environment*”. Igualmente, Sui y Morrill (2004: 99) lo respaldaron al decir que “*... computer systems can shape our understanding of social or physical reality so that effects are due, not to the phenomena measured, but to the systems measuring it*”.

¹³ Se asume que el modelo de geodatos posee la calidad suficiente, i. e. que los errores se mantienen en unos niveles admisibles. Por usar un vocablo común en el ámbito legal, cabría decir que la base de datos aceptable para investigar ha sido (explícita o implícitamente) *bastanteada*.

En esencia, los entes fundamentales implicados en esta praxis cognoscitiva son (figura 2).

- La realidad espacial o geográfica (RE).
- Los modelos geodigitales de la RE, que se reifican en la base de datos geocomputacional.
- Los modelos e instrumentos analíticos y de decisión (cartográficos, descriptivos, explicativos, simulaciones, prescriptivos, de visualización, ...).
- Los resultados y productos tecnológicos que conforman las soluciones “válidas” al problema.

Figura 2. El laboratorio geodigital como mediador entre la realidad y las facultades mentales humanas.



Teniendo todo ello en mente, merece subrayarse muy especialmente un rasgo de esta nueva praxis: el tipo singular de **pensamiento espacial** ejecutado por el investigador, el cual se halla tan inextricablemente compenetrado con las geotecnologías (el modelo geodigital y las técnicas analíticas *sensu lato* del LGD) que su génesis y decurso solo es factible e inteligible en este marco experimental.

Procede resaltar al respecto que las operaciones mentales secuencialmente acometen a) la creación (o asunción) de un constructo y b) su análisis, lo que conforma una jerarquía de abstracción conceptual de tipo inclusivo, de suerte que los niveles de especificación posteriores se sostienen comprensivamente sobre los previos, heredando sus propiedades, condiciones y reglas de validez. Es un decurso en cascada que da identidad diferencial a esta praxis cognoscitiva geotecnológica.

Al fin y al cabo, lo importante para esa forma de investigar estriba en que la comunidad científica reconoce y avala que con ella se solventan eficazmente muchos problemas de conocimiento ¿No se está aceptando como válidos (aunque sean temporal u operativamente) los hallazgos, por ejemplo, de la simulación de procesos (*e. g.* dinámicas hidrológicas, crecimiento urbano, etc.) o la medición de ciertos conceptos (*e. g.* los riesgos o los impactos ambientales) bajo ese marco?

Resulta conveniente añadir unas consideraciones acerca del fenómeno de “adaptación inversa” sobre el que diversos autores han especulado, en términos negativos, advirtiendo que una praxis como la descrita conlleva “una reorientación de la investigación de suerte que esté más alineada con el nuevo aparato técnico. El estudio de ciertos problemas no susceptibles de automatización, pueden ser abandonados, el estudio de otros puede ser reestructurado para un manejo eficiente de datos y nuevos problemas puede ser adoptados centrándose explícitamente sobre cuestiones técnicas” (Veregin, 1995: 97). Aunque tales consecuencias podrían ocasionarse, no parece que la apreciación esos peligros sea muy realista, dado que, al menos en Geografía, la multiplicidad y coexistencia de enfoques o tradiciones de investigación es bien patente (en modo alguno se constata un “monopolio” de la praxis geotecnológica), lo que conjura la primera de las amenazas; y respecto a las dos últimos temores, no deberían considerarse negativos de forma absoluta, sino que precisamente tienen también una cara positiva y, a nuestro juicio, en alto grado.

5.2.2. El nuevo papel del pensamiento espacial visual en el LGD

Dada la trascendencia que en esa praxis geotecnológica adquiere el pensamiento espacial visual resulta útil una breve digresión sobre el mismo y su materialización en ese contexto. La “inteligencia espacial” está bien identificada como facultad humana que nos permite ejecutar operaciones mentales y conductas espaciales para el logro de fines muy diversos (*vid.* por ejemplo Smith, 1964; Gardner, 2006). Su desarrollo constituye una de las metas en la formación general de los ciudadanos, lo cual significa ejercitación de cara a progresar en diversas competencias. Los mapas constituyen el medio por excelencia para ese perfeccionamiento por cuanto permiten, a través de la imagen visible, mostrar patrones, establecer relaciones, derivar significados, desvelar fenómenos “invisibles” para nuestros sentidos (pero muy reales), etc. Por ello no extraña que la expresión “*visual thinking*” se haya también usado extensamente, puesto que la comprensión, visualmente sustentada sobre todo, brota de la colaboración de los ojos y el cerebro, a resultas de la cual lo percibido por el ojo se inserta en la trama de conocimiento previo, propiciando su entendimiento e interpretación (Lund y Sinton, 2007: 8).

La importancia de este concepto en la tradición geográfica está bien reconocida, bastando recordar que por parte de diversos autores se postuló que la identidad diferencial de la disciplina como ciencia residía en el particular punto de vista que en ella se adoptaba, el “enfoque geográfico”, lo que entre otras cosas, implicaba poseer una mente estructurada convenientemente para aplicarlo. Como un ejemplo de los muchos pronunciamientos en esa dirección puede citarse la idea enunciada hace ya bastantes décadas por Barrows (1931: 353): “El principal fin de la enseñanza de la Geografía no es la información, sino la capacidad de pensar geográficamente”.

El punto que induce a traer a colación aquí este asunto estriba en el renovado énfasis que sobre el mismo se ha constatado recientemente, al socaire de la eclosión de las TIG. El posicionamiento decidido del National Research Council (2006b: 1), en un conocido informe por él publicado, era meridiano:

Spatial thinking —a constructive combination of concepts of space, tools of representation, and processes of reasoning— uses space to structure problems, find answers, and express solutions. It is powerful and pervasive in science, the workplace, and everyday life. By visualizing relationships within spatial structures, we can perceive, remember, and analyze the static and dynamic properties of objects and the relationships between objects. ... spatial thinking will play a significant role in the information-based economy of the 21st-century.

A nuestros fines argumentales, quizá lo más significativo estaba en la aseveración que se añadía luego:

... current versions of GIS rate well in terms of their ability to address the three fundamental requirements of a system to support spatial thinking across the curriculum, having the capacity (1) to spatialize data sets by providing spatial data structures and coding systems for spatial and nonspatial data; (2) to visualize by creating multiple forms of representation; and (3) to perform functions by manipulating the structural relations of spatialized data sets (National Research Council, 2006a: 217).

La ancestral prioridad conferida en la disciplina a las representaciones icónicas del espacio (*vid.* como ejemplo la obra de André *et al.*, 1989) que facilitaban una visualización y reflexión de alcance limitados, ahora, bajo la praxis geotecnológica, adquieren un rol central. No se puede negar que si hay un asunto estrella y fascinante en el panorama actual de las TIG es precisamente el de la geovisualización. La abundante bibliografía generada lo corrobora y los rutilantes resultados y las formidables expectativas de las mismas alimentan la tensión imaginativa sobre innovaciones y aplicaciones (*vid.* por ejemplo, MacEachren y Fraser Taylor, 1994; Fisher y Unwin, 2002; Bosque y Zamora, 2002; Dykes, *et al.*, 2005; Ojeda, 2010). Definida como el acto de imaginar, “es decir, de ver con imágenes lo que no es normalmente visible” (Cauvin *et al.*, 2008, 175), lo que conduce a generar una representación mental, la geovisualización informatizada ha venido a revolucionar las prácticas de las disciplinas científicas y de muchas actividades humanas. Los neologismos y nuevas expresiones para denotar tales innovaciones (realidad virtual, cibercartografía, globos virtuales, etc.) se han multiplicado. Las dos disciplinas más afectadas en su quehacer, la geografía (que analiza y explica los hechos y procesos físicos y humanos en su espacialidad) y la cartografía, que atiende a las teorías, conceptos y habilidades para representarlos (Harvey, 2008: 6), están afrontando importantes desafíos. La geovisualización involucra dos facetas que conviene recordar (*Id.*: 9):

- Representación, o proceso de observación y simbolización significativa (con significado).
- Comunicación, que atañe a la presentación del producto y su lectura por los destinatarios.

Pues bien, de cara a la resolución de problemas de conocimiento, la primera faceta implica a la vez una labor de reflexión experta orientada a desvelar y mostrar visualmente atributos del modelo geodigital (trasuntos de la realidad empírica) que faciliten luego el escrutinio y trabajo por la mente humana sobre lo percibido. De esa manera, los productos de geovisualización, por resultar de ensayos heurísticos con fines indagatorios y por constituir el soporte del ulterior discurrir del investigador (e.g. para aceptar o rechazar hipótesis) se configuran como los mediadores críticos del proceso, dado que, el examen de los mismos desemboca en los hallazgos aceptables o rechazables. Esa tarea de pensamiento espacial visual, típicamente iterativa, solo es concebible y fecunda bajo el marco de las prestaciones de las TIG y conforma una de las expresiones más genuinas de su potencia.

Una derivación de esa trascendencia de la geovisualización, relativa a la segunda faceta señalada y que está emanando de las aplicaciones para otros mercados distintos al de las comunidades científicas (e.g. profesionales, políticos, ciudadanos, escolares, etc.), singularmente de aquellas para la planificación, concierne a la “**usabilidad**” de los productos geodigitales y de visualización de geodatos. Ella resulta crítica para facilitar la materialización efectiva de la participación de los agentes implicados (*stakeholders*), pues permitiría paliar las dificultades de comprensión y asimilación que algunos de los potenciales agentes participantes poseen, contribuyendo a superar las viejas y excluyentes prácticas de formación de decisiones colectivas sobre el territorio. En esa línea, merece la pena señalar algunas contribuciones destacadas describiendo diversas experiencias como, por ejemplo, las de Kwartler y Longo (2008), Pettit *et al.*, (2008), Aditya (2010) o las incluidas en el número monográfico 25 (2006) del [Electronic Journal of Information Systems in Developing Countries](#).

En síntesis, lo relevante estriba en el reconocimiento de que las TIG *sensu lato* se han constituido en la condición indispensable para soportar un pensamiento espacial visual potente, eficiente y sagaz de cara a la producción de ciencia, así como para comunicar y formar a ciudadanos cultos y competentes en su vida. Como certeramente aseveraron Buckley *et al.*, 2000: 2):

“...geovisualization” (GVis) ... can be applied to all the stages of problem-solving in geographical analysis, from development of initial hypotheses, through knowledge discovery, analysis, presentation and evaluation.

A mayor abundamiento añadían, citando a otros autores:

“It may be that the greatest contribution of visualization to the process of scientific thinking is liberating the brain from the fundamental activity of information retrieval and manipulation required to produce an image, thereby allowing the brain to devote its time and energy to higher levels of analysis and synthesis” (Id.: 10).

De su trabajo colegían que “*Visualization engages, at a deeper level, the cognitive systems of the geographer*”, opinión que respalda los argumentos blandidos aquí en el apartado previo.

A título ilustrativo puede traerse a colación la obra de Lund y Sinton (2007, cap. 1), quienes de manera concreta, limitada y experimental, se pronuncian de forma determinante sobre ese asunto en el marco escolar, al tiempo que exponen diversos casos en los que se evidenció la decisiva contribución de los SIG como recurso para el desarrollo de habilidades/competencias: la detección de correlaciones espaciales (visuales) desencadenaba la formulación de hipótesis y la apertura de líneas de indagación motivadoras, el descubrimiento y evidencia de patrones (repeticiones, anomalías) conducía a la búsqueda de su significado y posibles causas, el entorno de generación ágil de mapas con SIG alimentaba la producción creativa de nuevo conocimiento al explorar las diversas opciones disponibles (y las perspectivas que ofrecían), etc. En resumen, “con los SIG, los estudiantes tienen la oportunidad de desarrollar destrezas y hábitos de ver y pensar con imágenes ricas informativamente, convertirse en consumidores inteligentes de información visual y en comunicadores eficaces con mapas” (*Id.*: 15). En otro experimento ejemplar, ahora en el marco universitario, Carbonell *et al.*, (2012) han establecido nítidamente cómo las TIG incrementan de manera significativa ciertas competencias espaciales contempladas en los nuevos grados diseñados según las orientaciones del Espacio Europeo de Educación Superior, aparte de aumentar la satisfacción de los estudiantes. Adicionales experiencias y materiales abundando en esta línea pueden verse en Napoleon y Brook (2008), Oberle *et al.*, (2010) y Luque (2011).

Conviene insistir en que la adquisición de estas habilidades de pensar se constituye en un activo perdurable condicionando las interpretaciones, opiniones, conciencia y conductas de los individuos, por

lo que sus efectos agregados pueden estimarse decisivos para nuestras sociedades presentes y futuras y sus relaciones con el medio y el territorio.

Establecido ya que las TIG adquieren un alcance gnoseológico en línea con los enunciados de Agazzi, se puede ahora avanzar en la formulación de ciertos aspectos más concretos de la praxis científica basada en ellas.

5.3. Algunos rasgos del entendimiento geotecnológico de la cientificidad

El examen de investigaciones genuinas de esta tradición posibilita esclarecer un cierto número de características comunes a ellas, que se presentan a continuación de manera breve.

A) Aspectos epistemológicos

Resulta bastante claro que el grupo de concepciones positivistas¹⁴ conforma un antecedente que ha nutrido la praxis científica geotecnológica (*vid.* Pickles, 1995: 12-15). Asumiendo que las cosas que experimentamos son las que existen, el enfoque geotecnológico adopta, sin embargo, una especial ontología geográfica, es decir, define o concibe las entidades sobre las que recae en última instancia el interés de la pesquisa (lugares, seres vivos, entes y elementos naturales, relaciones, secuencias, eventos, etc.) de un modo propio. Lo fundamental en la realidad empírica no es su significado inmediato, aparente, o contingente, sino aquello que resulta relevante para el objetivo de indagación planteado. Un río o una carretera, al margen de su esencia o su apariencia formal, se han de considerar como entes distintos, según sea el problema de conocimiento. Por ejemplo, para un problema de análisis de flujos podrían transmutarse en entidades (figuras geométricas) lineales, con capacidad para soportar movimientos, etc. A tenor de ello, en la tradición geotecnológica los entes significativos para ser investigados han de ser re-concebidos y recreados como abstracciones teleológicamente fundamentadas, dotadas de propiedades, atributos, relaciones, etc. y, por tanto, susceptibles de ser representadas como artefactos tecnológicos (modelos geodigitales). Bajo tal perspectiva, tanto las manifestaciones de la singularidad, como las comunes a varios entes reales, pueden quedar debidamente recogidas (*v. gr.* en el dominio de un atributo) y su observación y tratamiento analítico viabilizado. Se justifica así una actitud reduccionista y selectiva ante la realidad, como condición para acceder a un modo de conocimiento que se considera válido. En resumen, lo operativamente investigable es la trasposición geodigital del mundo empírico.

Cabría insistir así en la distinción entre dos realidades, la remota o mediata (la RE) y la próxima o inmediata (la RD), debiendo ser ésta (pueden ser múltiples) una representación bastanteadada de aquélla a los fines de conocimiento, puesto que no son equivalentes. Conviene añadir que, dada la naturaleza de este artefacto (modelo), resulta compatible no solo con la representación de atributos (más o menos generales o singulares), sino con otros constructos sobre las dimensiones básicas del espacio o el tiempo, *v. gr.* los elaborados bajo el denominado paradigma espacial o teórico-cuantitativo (espacio-coste, espacio-tiempo, secuencias continuas y discontinuas, etc.). Es decir, en el entendimiento geotecnológico cabría acomodar ontológicamente conspicuos desarrollos realizados bajo el mencionado paradigma.

B) Rasgos metodológicos

Como herencia de planteamientos positivistas y del paradigma espacial, el conocimiento basado en la evidencia verificable y objetiva, asimilable a un acuerdo intersubjetivo (Johnston, 1983: 5) es quizá el que mejor caracteriza la aproximación geotecnológica. Hipótesis científicas, prueba experimental (para verificar o falsar), elaboración de teorías explicativas (Wilson, 1980; Beguin, 1985) y enunciado de generalizaciones constituyen elementos básicos de ese proceder¹⁵ en cuyo detalle no vamos a descender. Es pertinente resaltar además, por un lado, la subsunción del lenguaje matemático y, sobre todo, de la geometría computacional, en aras de lograr una eficiente trasposición operativa de conceptos y procesos, y por otro, el pujante esfuerzo dedicado a la construcción de modelos para fines múltiples: descriptivos, predictivos, de simulación, de evaluación y prescriptivos, como fórmulas para cubrir las necesidades de

¹⁴ Un examen del impacto del positivismo lógico en la Geografía fue ofrecido por Guelke (1978). Gregory (1978, p. 43-73) también le dedicó un amplio análisis.

¹⁵ Véanse, por ejemplo, M. Bunge (1980) y Amedeo y Golledge (1975).

experimentación. Recuérdese que la propia naturaleza de las TIG (i.e. el LGD) está constituida en alto grado de herramientas para desarrollar modelos (e. g. los llamados modelos cartográficos) o para aplicar otros muchos preexistentes y concebidos para facilitar la resolución de problemas de conocimiento o de decisión. Los llamados sistemas de apoyo a las decisiones espaciales (SADE) y la geovisualización digital (representando mediante imágenes datos medidos o conceptos y procesos re-expresados numéricamente) son genuinos ejemplos de esta aproximación metodológica. Insistiremos, como rasgo señero, que se trata de modelos (analíticos o de decisión) construidos y aplicados sobre un modelo concreto, pero no único, de la realidad (la base de geodatos digitales), por lo que cabe hablar de un proceso de conocimiento sustentado en un modelado doble.

C) Tratamiento de los problemas claves

Los conceptos centrales de la disciplina geográfica que se pueden rastrear, aunque bajo formas o enfoques diferentes, en los distintos paradigmas o tradiciones geográficas, subyacen y están presentes en la praxis geotecnológica de forma inequívoca. Chuvieco *et al.*, (2005, 37-38) mostraron con claridad que las tradiciones identificadas como nucleares en la investigación geográfica están presentes en la esencia de las TIG, dando continuidad a las mismas y potenciándolas de manera fecunda. Adicionalmente Buzai (2010) lo ha sostenido de forma harto argumentada: conceptos como los de localización, distribución, asociación, interacción espacial y evolución espacio-temporal siguen siendo las cuerdas del navío “geotecnológico”.

En general, el abordaje de los problemas concretos a solucionar implica, como antes se ha dicho, una disección analítica del mundo sustentada en la abstracción del LGD, para desvelar y dar cuenta de ese tipo de cuestiones genéricas, aunque materializadas en facetas concretas de la realidad territorial. Por ejemplo, la diferenciación espacial viene así a ser la resultante de procesos en los que el papel de entes y los factores condicionantes han de estar predefinidos teóricamente y con precisión en el modelo geodigital, posibilitando su aprehensión métrica y visual. La interacción hombre-medio y las asociaciones espaciales aparecen, en general, ampliamente atendidas, merced a la potencialidad de las geotecnologías para profundizar y explorar las relaciones (topológicas y geométricas) que sobre el espacio se pueden producir entre los distintos entes (físico-naturales y humanos), representados por sus correspondientes objetos geodigitales. El tratamiento de la complejidad, y en cierto modo de síntesis “significativas”, no queda excluido. La multidimensionalidad de los procesos, las interacciones o los “estados” son abordados bajo los auspicios de la teoría de sistemas, posibilitando la teorización y la simulación experimental a partir de la correspondiente operación previa de abstracción para retener los ítems y relaciones relevantes. La preocupación holista no se margina y puede encauzarse operativa y eficazmente mediante el modelo (selectivo) de geodatos del LGD.

Otro importante componente, el tiempo (y la evolución espacial), queda aprehendido bajo varias conceptualizaciones: bien como un “contenedor” de estados discretos y de secuencias gobernadas por reglas (e. g. estocásticas o deterministas), que generan trayectorias diferentes y conducentes a escenarios diversos (e. g. los trabajos de modelado espacio-temporal con autómatas celulares), bien como una dimensión en la que, al igual que ocurre con el espacio, los sucesos pueden ser “situados” y que impone una fricción o restricciones variables en los procesos (por ejemplo sobre la movilidad, la accesibilidad, la peligrosidad o exposición a amenazas, etc.), bien como constructos con identidad geodigital propia (dotados de atributos, relaciones, etc.), susceptibles de ser geoprocesados (*vid.* por ejemplo, las propuestas de Maldonado y Vázquez, 2010). Pese a los sugestivos logros alcanzados en el manejo de la dimensión temporal con TIG, cabe todavía atisbar un horizonte fecundo en este terreno.

D) Metas científicas y sociales

El objetivo genérico enunciado por Laudan (1977) para la investigación científica, la búsqueda de soluciones, sería asumible para la praxis geotecnológica, matizando que, sobre todo, se privilegian los problemas empíricos y su lógica teórica. En ese sentido, el entendimiento de la realidad territorial se apoya en generalizaciones explicativas versando sobre patrones, procesos y relaciones espaciales *sensu lato*. Al obtenerse dichas generalizaciones a partir de modelos de geodatos encerrados en el LGD, los resultados analíticos deberían mostrar un grado aceptable de correspondencia con dichos modelos geodigitales (e.g. los atributos medidos) y también con la realidad, si es posible tal comprobación. No obstante, en

ocasiones, por tratarse de conceptos o simulaciones imposibles de contrastar empíricamente de forma inmediata por motivos varios, la solución habría de ser considerada como provisional, aunque plausible.

Pero más allá de la creación de ciencia explicativa, la proyección aplicada del conocimiento geográfico ha adquirido un grado de intensidad sin parangón previo en la cientificidad y praxis geotecnológica. Resulta extraordinariamente alta la cifra de estudios de esta tradición en los que el objetivo y consecución de una explotación utilitaria son inmediatos. Frente a otros paradigmas geográficos en los que ese aprovechamiento social era menos patente, se constata que los resultados aplicados gozan de notorio predicamento de cara a la formación y toma de decisiones de planificación o gestión. Usando la distinción recogida por Grimshaw (1994), cabe reconocer que desde las decisiones espaciales de carácter operativo, pasando por las de tipo táctico, hasta las de alcance estratégico, todas ellas han mostrado una receptividad inequívocas a las potencialidades del saber geotecnológico. Es posible afirmar que actualmente las utilidades y el papel económico del saber geográfico, de estar antaño muy circunscritos a las actividades académico-formativas, están ahora cada vez más proyectados hacia sectores y actividades fuera del marco de la educación: descripción, medición, clasificación, prognosis, prescripción, decisión y evaluación o control, basados en geoinformación y tecnologías geodigitales, son funciones que cada vez más están siendo apreciadas y rentabilizadas por organizaciones y ciudadanos, a los que aportan un valor añadido diferencial y notable.

5.4. Sobre la capacidad de resolución de problemas geográficos bajo la tradición de investigación geotecnológica

Como en el apartado 4 se apuntó, explicar y apoyar la dinámica temporal de los cambios científicos, *i.e.* la emersión de nuevos paradigmas o tradiciones de investigación, en la capacidad para solventar más y mejor problemas de conocimiento desemboca en una dificultad métrica importante, la de contar con una contabilidad fiable de ello. Sin negar esa objeción, que requeriría un escrutinio y estudio formal *ad hoc*, procede realizar algunas consideraciones que, aunque provisionalmente, avalen esa premisa.

Por un lado, no son pocas las afirmaciones contundentes que se han vertido en esa dirección por parte de los estudiosos que han desarrollado investigaciones empíricas con TIG y, por tanto, conformes y ajustadas, en mayor o menor grado, al paradigma o tradición de investigación aquí defendido. En efecto, resulta ya casi una conclusión tópica, por reiterada, que las TIG se muestran extraordinariamente poderosas para solventar problemas de indagación y, si ese consenso entre amplios sectores de la comunidad científica se admite como crédito, entonces estaríamos ante un aval de la superioridad de la praxis investigadora cimentada en las geotecnologías respecto a otras; ello no se proclama aquí a título universal, pero sí para ciertas categorías de problemas geográficos sobre los que más adelante se tratará.

Pese a la limitación que el argumento de autoridad tiene en este contexto, no dejan de ser de interés los pronunciamientos de algunos reputados geógrafos, que además no han sido especialmente adeptos a las TIG. Glosaremos algunos de ellos. Así por ejemplo, el estadounidense Wilbanks (2004: 4) señaló que “*technology is an enabler, not a solution*”, con lo que reconocía su poder, pero implícitamente lo reducía al provisto por una herramienta que capacita, cual si fuese una palanca. Llevaba razón, a nuestro juicio, al afirmar que la tecnología no es la solución, pues ésta solo se puede establecer con la concurrencia de la mente humana y no reside fuera de ella, requiriendo un consenso en la comunidad científica. Lo que olvidó dicho autor fue matizar que la tecnología inequívocamente forma parte (y no menor) de la solución a los problemas. Esa capacidad para arribar a soluciones cuadra a las TIG a la perfección, pues éstas adquieren el nivel de condición *sine qua non* para un progreso científico calificable de muy fecundo e incluso de espectacular. Gómez Mendoza (2000), por su parte, afirmó, refiriéndose a los SIG, que con ellos “... podemos ver más lejos y profundamente que antes, cartografiar más de lo que está presente en el espacio, plantearnos preguntas antes inimaginables, simular y predecir las distribuciones y modelos futuros. Los SIG proporcionan al geógrafo los nuevos ojos que el microscopio y el telescopio proporcionaron al biólogo y al astrónomo. Siempre que hagamos las preguntas adecuadas y sepamos servirnos de ellos.” Tales asertos evocan concordancias implícitas con el pensamiento de Agazzi, y una cierta dependencia de la ciencia a la tecnología. No obstante, las menciones a algunos instrumentos y a sus capacidades alinean a la autora con la corriente que sitúa a las TIG como meras herramientas. Falta aún en los dos

autores citados el descubrimiento de que las TIG no se quedan en el papel de la herramienta para observar o medir la RE, sino que la recrean (el constructo) e imponen un marco cognitivo singular y distinto (el LGD), que cambia las bases del trabajo científico, tal como hemos reiterado aquí.

Naturalmente el aval más sólido hacia la superioridad resolutoria de problemas de la indagación basada en TIG debería provenir de varias evidencias: la creciente cantidad y calidad de los productos de investigación a los que permea, la considerable aparición de publicaciones periódicas y monografías científicas especializadas, el ingente impacto económico y social que están ocasionando las aplicaciones de las TIG, etc. Obtener indicadores fiables de algunos de esos aspectos no resulta a veces tarea fácil, aunque para otros los indicios y pruebas, pese a ser incompletos o cualitativos, parecen claros.

Pendiente de realizar la oportuna recopilación de datos rigurosos sobre tales logros, que en conjunto justifican el nacimiento de ese nuevo paradigma o tradición de investigación, solo querríamos añadir una breve acotación y ejemplificación final acerca de los tipos de problemas que bajo esta perspectiva se están abordando eficazmente. En una clasificación sumaria aparecen: a) viejos problemas, ahora conceptualizados y solventados de manera nueva o más rigurosa: *e. g.* análisis de patrones espaciales de muchos fenómenos o entes, tales como población (*e.g.* Cos, 2004), incendios (*e.g.* Ordóñez *et al.*, 2011), etc. desvelando su distribución espacial, segregación, concentración, exposición, interacción, etc.; estimación de atributos espaciales a partir de muestreo (*e.g.* la calidad de las aguas subterráneas en Chica *et al.*, 2005; la demanda de transporte de metro en Cardozo *et al.*, 2010); impacto de inversiones territoriales en infraestructuras de transporte (Gutiérrez Puebla, 2005); accesibilidad espacial a equipamientos (*e.g.* Prat *et al.*, 2009); cambios en usos del suelo (Aldana y Bosque, 2008); seguimiento de procesos (*e.g.* Romero y Montes, 2009). En ellos las novedades aportadas en el marco de la praxis geotecnológica pueden concernir tanto a la escala o resolución espacial y al tamaño del ámbito considerado (desde el microgeográfico hasta el global), como al conjunto de factores / variables examinados y al propio enunciado y representación conceptual del problema, factible ahora de forma más penetrante o rigurosa; b) problemas nuevos, es decir, apenas o nada tratados anteriormente, y que se han hecho asequibles y manejables merced a las TIG: simulaciones de procesos complejos de carácter urbano (Aguilera, 2006; Plata *et al.*, 2010; Gómez y Rodríguez, 2012) o ambiental (Paegelow y Camacho, 2008); realidad virtual, mediciones de conceptos elusivos tales como peligros naturales complejos (Etxebarria *et al.*, 2005) o de inundación (Varni *et al.*, 2006), riesgos tecnológicos (Bosque *et al.*, 2004), vulnerabilidad territorial (Ruiz, 2012) o costera (Ojeda *et al.*, 2009), fragilidad ambiental (Cabral *et al.*, 2011), justicia espacial o ambiental (Moreno, 2007; Moreno y Cañada, 2007; Cañada *et al.*, 2011), etc.; c) problemas de formación de decisiones espaciales en los que las TIG actúan no solo como proveedoras de soluciones o alternativas de actuación tras los análisis oportunos (*e. g.* Bosque y Moreno, 2004; Gómez y Barredo, 2005; Lamelas, 2009; Fuenzalida, 2011; Moreno *et al.*, 2012), sino como cauce para facilitar una superior participación de los agentes implicados en el asunto (*vid. infra*).

En esta parcela cabe reconocer sin ambages que el crecimiento numérico de las aplicaciones podría calificarse de explosivo. En ella es posible distinguir dos tipos de estudios, según apunten a actividades de planificación o de gestión. A nuestro entender, podría aceptarse que el valor añadido, en términos cognoscitivos, sea unitariamente mayor en las aplicaciones de ordenación que en las de gestión, en el sentido de que aquéllas suponen el tratamiento de casos singulares, requiriendo un abordaje y análisis específicos (propios de las decisiones estratégicas), en tanto que en éstas últimas su frecuente mayor simplicidad y rutinización (decisiones operativas) revelarían un menor insumo cognoscitivo. Ello no obstante, conviene recordar que también en este frente, al menos en la fase experimental inicial, la resolución del problema genérico suele haber exigido un esfuerzo indagatorio significativo.

En efecto, si recordamos someramente las exigencias que conllevan los planes de ordenación territorial, urbana, rural, ambiental o un plan estratégico empresarial (*e. g.* plan de geomárketing), no cabe duda que el equipo elaborador, por un lado, ha de afrontar cuestiones harto difíciles y mal definidas, y por otro, que las TIG, según la experiencias conocidas, están contribuyendo a abordar las complejidades de este tipo problemas de forma mucho más profunda y conveniente que antes. Las referencias, incluso autocríticas, sobre las TIG y la planificación no dejan la menor duda al respecto (*vid.* por ejemplo, Charlton y Ellis, 1991; Innes y Simpson, 1993; Stilwell *et al.*, 1999; Brail, 2008) y, como bien muestra Escolano (2010), los SIG

quedan involucrados en la mayoría de las fases de un plan. A mayor abundamiento, las aportaciones sobre participación ciudadana apoyada en SIG (“*participatory GIS*”, PGIS, en la expresión inglesa), pese a los obstáculos detectados, están vislumbrando horizontes novedosos de cara a lograr un funcionamiento más correcto de los mecanismos colectivos de decisión territorial (*vid.* Craig *et al.*, 2002; Chambers, 2006; Elwood, 2006; Rambaldi *et al.*, Sieber, 2006; 2006; Toudert y Bringas, 2010). En ese sentido, las TIG y los expertos participantes pueden constituir palancas coadyuvantes de cambios en los procedimientos hacia un estadio de superior corresponsabilidad y empoderamiento ciudadano y, por extensión, de calidad democrática, cuestionando la continuidad de aquellas formas tradicionales de tramitación de planes que se limitaban a insuficientes y poco eficaces procesos de exposición y alegaciones públicas.

En labores propias de gestión son muchos y muy conocidos los ejemplos referibles de cómo las TIG están resolviendo tareas operativas que requieren de información geográfica como insumo esencial. Las industrias de software y consultoras de geotecnologías han identificado ingentes posibilidades de negocio al respecto. Baste recordar la creciente gama de servicios basados en la localización, la gestión de rutas (de reparto / recogida), el control de flotas y móviles, la gestión de servicios de emergencias, la recogida, alerta e información a los ciudadanos sobre cuestiones ambientales, el monitoreo de actividades agrarias, extractivas, la información turística, etc. En muchos de ellos, cabe reconocer la indisoluble unidad conformada entre el contenido de geoinformación y la geotecnología, para poder lograr un tratamiento del problema de actuación, superior desde muchos puntos de vista a las prácticas anteriores.

Finalmente, y más como respaldo confirmatorio *a posteriori* de esa superior efectividad en la resolución de problemas inherente a este paradigma, cabe recordar que si no fuese así, la creciente demanda de conocimiento geográfico y de geotecnologías para aplicaciones fuera del ámbito científico (con su corolario en la importante empleabilidad de los expertos en esos saberes) y por parte de otras disciplinas sería inconcebible. Esa mayor potencialidad, que se está transfundiendo también a otros campos del saber (historia, arqueología, filología, economía, sociología, ingenierías, etc.) expresa, como bien han dicho Buzai (2001, 42) y Torrens (2010), que estamos ante un paradigma geográfico de proyección interdisciplinar y desvela porqué esta nueva praxis está gozando de tanto predicamento y pujanza.

6. BALANCE Y CONCLUSIÓN

Existe un elevado consenso acerca del trascendental impacto de las geotecnologías en la ciencia geográfica y, a su través, en otras muchas disciplinas. Sin embargo esa conciencia a menudo se circunscribe a una apreciación limitada por cuanto considera dichas geotecnologías como meras herramientas, potentes eso sí, que incrementan espectacularmente la eficiencia y productividad del investigador, tal como en su día hicieron las calculadoras electrónicas de bolsillo.

Una visión distinta es la que algún autor ha postulado, y que aquí se ha sostenido también, según la cual las transformaciones del proceso de generación de conocimiento geográfico basado en geotecnologías son de tal calado que poseen rango epistemológico, es decir, que implican un entendimiento y una praxis indagatoria nueva y esencialmente distinta de otras que existen y han existido en Geografía. Esas concepciones de la cientificidad, bien identificadas y caracterizadas en diversas obras, responden a unas premisas generales comunes: que la racionalidad de la ciencia es limitada y que los cambios en esos entendimientos suponen una remoción del marco básico de creencias y normas epistemológicas y metodológicas consideradas como válidas en la investigación.

Asumiendo esa forma de relativismo limitado que habilita para comprender la historia de las ciencias, entre ellas la geográfica, en esta contribución se ha partido del pragmatismo epistemológico propuesto por Laudan y ampliado críticamente por otros autores, como sustrato filosófico legitimador de la diversidad de entendimientos de la cientificidad, que autores como Khun o Lakatos plantearon bajo las denominaciones de paradigmas, programas de investigación o, como dicen los pragmatistas, tradiciones de investigación. Esta última doctrina propone, como clave del quehacer científico, una meta muy plausible: la de resolver problemas de conocimiento, dentro del marco de racionalidad limitada característico de toda acción humana. A la par, su aceptación de la coexistencia de diversas cientificidades, avala las propuestas de los epistemólogos de la tecnología sustentando un entendimiento de la misma que trasciende a su consideración como mero instrumento.

Sobre tales bases se ha intentado aquí argumentar cómo la integración de las geotecnologías en la actividad investigadora está desencadenando un cambio que afecta, no solo al plano metodológico, sino que involucra al nivel gnoseológico del sujeto cognoscente en muchos trabajos de investigación con TIG. En efecto, como las clarificadoras consideraciones de Agazzi y otros filósofos de la tecnología proponen, la moderna ciencia geográfica sustentada en TIG es absolutamente dependiente de éstas por cuanto mediante ellas (condición *sine qua non*) se configuran los objetos cognoscibles y se establecen las condiciones de inteligibilidad y de abordaje, así como los límites y las posibles soluciones del problema. En síntesis, presuponen una alteración profunda en las creencias, reglas y métodos que rigen y legitiman la labor del científico. Por ello cabe reiterar que, como sucede en otras disciplinas, se trata de un cambio en la Geografía que posee un alcance epistemológico, asimilable por tanto a un nuevo paradigma o tradición de investigación. La mediatización del conocimiento a una trasposición de la realidad territorial a la digital y el proceso mental ulteriormente desarrollado dentro de lo que hemos calificado como laboratorio geodigital (LGD), cimentado en una potente y rica batería de técnicas y tecnologías, son quizá los rasgos más conspicuos de este nuevo entendimiento de la científicidad geográfica y de su praxis, el cual manteniendo la consistencia con otras tradiciones de investigación, por cuanto acomete las permanentes y grandes cuestiones centrales del núcleo disciplinar, presenta otros hechos diferenciales relevantes, por ejemplo, en cuanto métodos, tipos de problemas concretos prioritarios o metas “estratégicas”. Cabría advertir que en modo alguno se ha postulado que las TIG *sensu strictu* “sean” una nueva tradición de investigación o paradigma, sino más bien que, merced a ellas, en la Geografía está emergiendo uno nuevo, que coexiste con otros más tradicionales.

A lo anteriormente dicho habría que agregar la extendida convicción acerca de su efectividad superior a la de otros paradigmas al tratar ciertos problemas concretos de conocimiento, algunos antiguos (y reformulados), otros nuevos, inéditos y antes intratables, brotados precisamente dentro de las fronteras de este marco epistemológico, lo que viene a acreditar esa potencialidad. El reconocimiento de ello se constata, por un lado en las propias comunidades científicas (y no solo en la de los geógrafos, sino también en las de otras muchas disciplinas) y, por otro, entre los colectivos de decisores (públicos y privados) de todas clases, las organizaciones y los ciudadanos en general, entre los que el saber geográfico, producido y diseminado merced a las TIG, está conquistando un papel vital, con el consiguiente aprecio y revalorización. Como algunos autores han afirmado (e.g. Buzai, 1999: 178-184; Buzai, 2007; Torrens 2010: 134-135) y se ha sostenido aquí también, las TIG han implicado un reposicionamiento del conocimiento geográfico no solo en el concierto de la científicidad y de las disciplinas académicas, al evidenciarse una prominente contribución a ellas, sino también en el de las aplicaciones útiles, que crecen en una infinidad de campos de la vida y actividades humanas.

Ello es, a fin de cuentas, lo que hoy por hoy está auspiciando un éxito sin precedentes a esta praxis, y a las diversas disciplinas y multitud de expertos que usan las TIG para hallar respuestas y soluciones a problemas de conocimiento y de acción espacial. Mirando retrospectivamente hoy podemos afirmar que el esfuerzo de muchos estudiosos, que en las pasadas décadas pusieron las bases conceptuales, metodológicas y tecnológicas de las TIG tal como hoy las conocemos, resultó decisivo, pero que el devenir de las innovaciones en este terreno permite vislumbrar horizontes futuros muy fecundos para una científicidad geotecnológicamente instituida como ésta.

Como declaración final, y siendo consecuentes con la aceptación que aquí se ha hecho de la coexistencia de distintos entendimientos de la científicidad geográfica, resulta procedente, tras la argumentación expuesta, recordar las templadas palabras de Sui y Morrill (2004: 98-99) cuando advirtieron de la existencia de límites en la computación, aduciendo que hay aspectos del universo no computables. Pese a sus demostrados poderes, cabe sostener que la complejidad de la realidad geográfica no resulta representable totalmente y de forma adecuada con la tecnología actual, aunque sí puedan serlo muchos de los rasgos considerados como más relevantes. Tratar de encapsular o encerrar la integridad de los fenómenos geográficos en el ordenador nos sigue pareciendo bastante quimérico. Por tal motivo, la preocupación por los peligros de la “adaptación inversa” no debiera obsesionar a nadie; más aún, precisamente las críticas a la praxis geotecnológica desde ese lado servirían para detectar sus límites y espolear nuevas invenciones para abordar asuntos mal tratados, ... coadyuvando al progreso científico.

BIBLIOGRAFÍA

- ADITYA, T. (2010): "Usability issues in applying participatory mapping for neighborhood infrastructure planning", *Transactions in GIS*, 14(S1), pp. 119-147.
- AGAZZI, E.:
– (1996): "Racionalidad y ciencia para el futuro del ser humano", *Contrastes: Revista interdisciplinaria de filosofía*, 1, pp. 7-18. <http://www.uma.es/contrastes/pdfs/001/Contrastes001-02.pdf>
– (1998): "El impacto epistemológico de la tecnología", *Argumentos de razón técnica: Revista española de ciencia, tecnología y sociedad, y filosofía de la tecnología*, 1, pp. 17-32. <http://www.argumentos.us.es/numero1/agazzi.htm>
- AGUILERA BENAVENTE, F. (2006): "Predicción del crecimiento urbano mediante sistemas de información geográfica y modelos basados en autómatas celulares", *GeoFocus (Artículos)*, 6, pp. 81-112.
- ALDANA DEZZEO, A. y BOSQUE SENDRA, J. (2008): "Cambios ocurridos en la cobertura/uso de la tierra del Parque Nacional Sierra de la Culata. Mérida-Venezuela. Período 1988-2003", *GeoFocus (Artículos)*, 8, pp. 139-168.
- AMEDEO, D. y R. GOLLEDGE (1975): *An introduction to scientific reasoning in geography*. New York, John Wiley and Sons.
- ANDRÉ, Y., BAILLY, A., FERRAS, R., GUÉRIN, J.P. y GUMUCHIAN, H. (1989): *Représenter l'espace. L'imaginaire à l'école*. París, Anthropos.
- ANTHROPOS (1989): "Editorial", 94-95, pp. 2-3.
- BARNES, T. J. (1988): "Rationality and relativism in economic geography: an interpretive review of the *homo economicus* assumption", *Progress in Human Geography*, 12, 2, pp. 473-496.
- BARROWS, H.H. (1931): "Some critical problems in teaching elementary geography", *The Journal of Geography*, XXX, pp. 353-364.
- BEGUIN, H. (1985): «La théorie dans la démarche de la géographie», *L'Espace Géographique*, 1, pp. 65-68.
- BERNAL, J. D. (1972): *Historia social de la ciencia. La ciencia en la historia*. Barcelona, Península.
- BERRY, B.J. L., GRIFITH, D. y TIEFELSDORF, M. R. (2008): "From *Spatial Analysis* to Geospatial science", *Geographical Analysis*, 40, pp. 229-238.
- BOSQUE SENDRA, J., DÍAZ CASTILLO, C., DÍAZ MUÑOZ, M. A., GÓMEZ DELGADO, M., GÓNZALEZ FERREIRO, D., RODRÍGUEZ ESPINOSA, V.M., SALADO GARCÍA, M.J. (2004): "Propuesta metodológica para caracterizar las áreas expuestas a riesgos tecnológicos mediante SIG. Aplicación en la Comunidad de Madrid", *GeoFocus (Artículos)*, 4, pp. 44-78.
- BOSQUE SENDRA, J. y MORENO JIMÉNEZ, A. (2004, Eds.): *Sistemas de información geográfica y localización óptima de instalaciones y equipamientos*. Madrid, RA-MA. Segunda edición ampliada y revisada, 2012.
- BOSQUE SENDRA, J. y ZAMORA LUDOVIC, H. (2002): "Visualización geográfica y nuevas cartografías", *GeoFocus*, 2, pp. 61-77.
- BRAIL, R.K. (2008): *Planning support systems for cities and regions*. Cambridge (Massachusetts), The Lincoln Institute of Land Policy.
- BROC, N. (1969): «Peut-on parler de géographie humaine au XVIIIe siècle en France?», *Annales de Géographie*, 78, pp. 57-76.
- BUCKLEY, A., GAHEGAN, M. y CLARKE, K. (2000): *Geographic visualization as an emerging research theme in GIScience. A proposal for adoption of this theme by members of the UCGIS community*. 2000 Research White Papers. University Consortium for Geographic Information Science. 13 p. http://dusk.geo.orst.edu/ucgis/web/emerging/Geographic_visualization.pdf

BUNGE, M.:

- (1969): *La investigación científica*. Barcelona, Ariel
- (1978): “Metateoría”, en Bar-Hillel, Y. et. al. (ed.): *El pensamiento científico. Conceptos, avances, métodos*. Madrid, Tecnos-UNESCO, pp. 225-265.
- (1980): *Epistemología*. Barcelona, Ariel.
- (1986): *Intuición y razón*. Madrid, Tecnos.

BUTTNER, A. (1980): *Sociedad y medio en la tradición geográfica francesa*. Barcelona, Oikos Tau.

BUZAI, G. D.:

- (1999): *Geografía global. El paradigma geotecnológico y el espacio interdisciplinario en la interpretación del mundo del siglo XXI*. Buenos Aires, Lugar Editorial.
- (2001): “Paradigma Geotecnológico, Geografía Global y CiberGeografía, la gran explosión de un universo digital en expansión”, *GeoFocus (Artículos)*, 1, pp. 24-48.
- (2007): “Dilemas de la relación Geografía-SIG entre la disciplina, la interdisciplina y la transdisciplina”, *GeoFocus (Editorial)*, 7, pp. 5-7.
- (2010): “Análisis espacial con sistemas de información geográfica: sus cinco conceptos fundamentales”, en Buzai, G. D. (ed.): *Geografía y sistemas de información geográfica. Aspectos conceptuales y aplicaciones*. Luján, GESIG- Universidad Nacional de Luján, pp. 163-195.
- (2011): “La geotecnología: ¿Nuevo paradigma de la geografía o paradigma geográfico de la ciencia?”, *Revista Catalana de Geografia*, XVI, 42, 10 p. www.rcg.cat/articulos.php?id=187

BUZAI, G.D. BAXENDALE, C. y CRUZ, M.R. (2010): “Fases de un proyecto de investigación en estudios de geografía aplicada basados en el uso de sistemas de información geográfica”, en Buzai, G. D. (ed.): *Geografía y sistemas de información geográfica. Aspectos conceptuales y aplicaciones*. Luján, GESIG- Universidad Nacional de Luján, pp. 197-216.

BUZAI, G. D. y DURÁN, D. (1997): *Enseñar e investigar con sistemas de información geográfica*. Buenos Aires, Troquel.

CABRAL, J. B. P., DA ROCHA, I. R., MARTINS, A. P., DA ASSUNÇÃO, H. F. e BECEGATO, V. A. (2011): “Mapeamento da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Doce (GO), utilizando técnicas de geoprocessamento”, *GeoFocus (Artículos)*, 11, pp. 51-69.

CAÑADA TORRECILLA, R., VIDAL DOMÍNGUEZ, M. J. y MORENO JIMÉNEZ, A. (2011): “Interpolación espacial y visualización cartográfica para el análisis de la justicia ambiental: ensayo metodológico sobre la contaminación por partículas atmosféricas en Madrid”, *GeoFocus (Artículos)*, 11, pp. 118-154. http://geofocus.rediris.es/2011/Articulo6_2011.pdf

CAPEL, H.:

- (1981): *Filosofía y ciencia en la geografía contemporánea. Una introducción a la Geografía*. Barcelona, Barcanova.
- (1987): *Geografía humana y ciencias sociales. Una perspectiva histórica*. Barcelona, Montesinos.
- (2010): “Geografía en red a comienzos del Tercer Milenio. Por una ciencia solidaria y en colaboración”, *Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*. [En línea]. Barcelona: Universidad de Barcelona, 1 de febrero, vol. XIV, nº 313. <http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-313.htm>.

CARBONELL CARRERA, C., MEJÍAS VERA, M. A., SAORÍN, J. L. y CONTERO GONZÁLEZ, M. (2012): “Infraestructuras de datos espaciales: desarrollo de habilidades espaciales en el entorno del Espacio Europeo de Educación Superior”, *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 58, pp. 157-175.

CARDOZO, O. D., GUTIÉRREZ PUEBLA, J. y GARCÍA PALOMARES, J. C. (2010): “Influencia de la morfología urbana en la demanda de transporte público: análisis mediante SIG y modelos de regresión múltiple”, *GeoFocus (Artículos)*, 10, pp. 82-102.

CAUVIN, C., ESCOBAR, F. y SERRADJ, A. (2008): *Cartographie thématique 5. Des voies nouvelles à explorer*. París, Hermes Science y Lavoisier.

- CHALMERS, A. F. (1984): *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?* Madrid, Siglo XXI.
- CHAMBERS, R. (2006): "Participatory mapping and geographic information systems: Whose map? Who is empowered and who disempowered? Who gains and who loses?", *Electronic Journal on Information Systems in Developing Countries* 25(2), pp. 1-11. <http://www.ejisdc.org/ojs2/index.php/ejisdc/article/view/237/158>
- CHARLTON, M. y ELLIS, S. (1991): "GIS in planning", *Planning Outlook*, 34 (1), pp. 20-26.
- CHICA-OLMO, M., CARPINTERO-SALVO, I., GARCÍA-SOLDADO, M.J., LUQUE-ESPINAR, J.A., PARDO IGÚZQUIZA, E. y RIGOL SÁNCHEZ, J.P. (2005): "Una aproximación geoestadística al análisis espacial de la calidad del agua subterránea", *GeoFocus (Artículos)*, 5, pp. 79-93.
- CHUVIECO, E., BOSQUE, J., PONS, X., CONESA, C., SANTOS, J. M., GUTIÉRREZ PUEBLA, J., SALADO, M.J., MARTÍN, M. P., DE LA RIVA, J., OJEDA, J. y PRADOS, M.J. (2005): "¿Son las tecnologías de la información geográfica parte del núcleo de la Geografía", *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 40, pp. 35-55.
- CLAVAL, P.:
– (1974): *Evolución de la geografía humana*. Barcelona, Oikos Tau
– (1984): *Géographie humaine et économique contemporaine*. París, PUF (trad. esp.: *Geografía humana y económica contemporánea*. Barcelona, Akal, 1987, 456 p.).
- COMPTE, I., GUIMET, J. y WACHOWICZ, M. (2009): La Sociedad de la (Geo)Información, *Revista Novatica*, nº 198, pp. 6-10.
- COS GUERRA, O. de (2004): "Valoración del método de densidades focales (Kernel) para la identificación de los patrones espaciales de crecimiento de la población en España", *GeoFocus (Artículos)*, 4, pp. 136-165
- COUCLELIS, H. (1982): "Philosophy in the construction of geographic reality", en P. Gould y G. Olsson (Ed.): *A search for a common ground*. Londres, Pion, pp. 105-138.
- CRAGLIA, M., GOODCHILD, M. F., ANNONI, A., CAMARA, G., GOULD, M., KHUN, W., MARK, D., MASSER, I., MAGUIRE, D., LIANG, D. and PARSONS, S. (2008): "Next-Generation Digital Earth. A position paper from Vespucci Initiative for the Advancement of GIS Science", *International Journal of Spatial Data Infrastructure Research*, 3, pp. 146-176.
- CRAIG, W.J., HARRIS, T.M. y WEINER, D. (2002, eds.): *Community participation and geographic information systems*. London, Taylor and Francis.
- CRUZ, M. R.: "Sistemas de información geográfica y proceso de investigación científica. Sus semejanzas a partir de las operaciones de disección y síntesis", en Buzai, G. D. (Ed.): *Geografía y sistemas de información geográfica*. Luján, GESIG-Universidad Nacional de Luján, pp. 65-81.
- DOPPELT, G. (1983): "Relativism and recent pragmatic conceptions of the scientific rationality", en N. Rescher (Ed.): *Scientific explanation and understanding*. Lanham, University Press of America, pp. 106-142.
- DURBIN, P. T. (1989): "Ciencia y tecnología en su contexto", *Anthropos*, 94-95, pp. 50-56.
- DYKES, J., MACEACHREN, A.M. and KRAAK, M.J. (2005): *Exploring geovisualisation*. Elsevier, Amsterdam.
- ELWOOD, S. (2006): "Critical issues in participatory GIS: Deconstructions, reconstructions, and new research directions", *Transactions in GIS*, 10, pp. 693-708.
- ESCOLANO, S. (2010): "La ordenación del territorio y las nuevas tecnologías de la información geográfica", en Bielza, V., Escolano, S., Gorriá, A. e Ibarra, P.: *De la ordenación a la planificación territorial estratégica en el ámbito regional-comarcal*. Zaragoza, Prensas Universitarias de Zaragoza, pp. 53-72.
- ESTÉBANEZ, J. (1982): *Tendencias y problemática actual de la geografía*. Madrid, Cincel.
- ETXEBERRÍA RAMÍREZ, P., EDESO FITO, J. M. y BRAZAOLA ROJO, A. (2005): "Metodología para crear mapas de peligros naturales en Guipúzcoa utilizando SIG", *GeoFocus (Artículos)*, 5, pp. 250-267.

- FAIRBAIRN, D. y PARSLEY, S. (1997): "The use of VRML for cartographic presentation", *Computers and Geosciences*, 23, 475-481.
- FEYERABEND, P. (1974): *Contra el método*. Barcelona, Ariel.
- FISHER, P. y UNWIN, D. (2002, Eds.): *Virtual reality in Geography*. Londres y Nueva York, Taylor and Francis.
- FRANK, A. U.: (2003): "El mercado europeo de información geográfica sólo puede emerger cuando sea definido el papel de los organismos nacionales de cartografía", *GeoFocus* (Editorial), 3, pp. 1-4.
- FREEMAN, T. W. (1961): *A hundred years of geography*. London, Duckworth.
- FUENZALIDA DÍAZ, M. (2011): "Diseño de esquemas de localización óptima para hospitales del servicio de salud Viña del Mar-Quillota (Chile) discriminando según status socio-económico", *GeoFocus* (Artículos), 11, pp. 409-430.
- GARCÍA BACCA, J. D. (1986): *Tres ejercicios literario-filosóficos de lógica y metafísica*. Barcelona Anthropos.
- GARDNER, H. E. (2006): *Multiple intelligences: New horizons in theory and practice*. Basic Books.
- GÓMEZ MENDOZA, J., MUÑOZ JIMÉNEZ, J. y ORTEGA CANTERO, N. (1982): *El pensamiento geográfico. Estudio interpretativo y antología de textos (de Humboldt a las tendencias radicales)*. Madrid, Alianza .
- GÓMEZ MENDOZA, J. (2000): *Rumbos de la Geografía del nuevo siglo. Una mirada desde Europa*. Jornadas Interdepartamentales de Geografía de las Universidades Nacionales. Neuquén.
http://servidor-opsu.tach.ula.ve/profeso/sant_arm/l_c/pdf/rumbo_d.pdf
- GOODCHILD, M. F.:
 – (2007): "Citizens as sensors: web 2.0 and the volunteering of geographic information", *GeoFocus* (Editorial), 7, pp. 8-10.
 – (2010): "Twenty years of progress: GIScience in 2010", *Journal of Spatial Information Science*, 1, pp. 3-20.
- GREGORY, D. (1978): *Ideology, science and human geography*. London, Hutchinson (Trad. esp.: *Ideología, ciencia y geografía humana*. Barcelona, Oikos Tau, 1984)
- GRIMSHAW, D. (1994): *Bringing geographical information systems into business*. Harlow, Longman Scientific & Technical.
- GUELKE, L. (1978): "Geography and logical positivism", en D. T. Herbert y R. J. Johnston (ed): *Geography and the urban environment. Progress in Research and Applications*, v. I. Chichester, etc., John Wiley and Sons, pp. 35-62.
- GUTIÉRREZ PUEBLA, J. (2005): "El tren de alta velocidad y sus efectos espaciales", *Investigaciones Regionales*, 5, pp. 199-221.
- HARVEY, D. (1969): *Explanation in geography*. Londres, Edward Arnold, (Trad. esp.: *Teorías, leyes y modelos en Geografía*. Madrid, Alianza, 1983)
- HARVEY, F. (2008): *A primer of GIS. Fundamental geographic and cartographic concepts*. New York y Londres, The Guilford Press.
- HARVEY, M. E. y HOLLY, B. P. (1981): *Themes in geographical thought*. London, Croom Helm.
- HOLT-JENSEN, A. (1981): *Geography. Its history and concepts*. Londres, Harper and Row.
- HUNTER, G. J. WACHOWICZ, M. y BREGT, A. K. (2003): "Understanding spatial data usability", *Data Science Journal (Spatial Data Usability Special Section)*, 2, 26, pp. 79-89.
- INNES, J. E. y SIMPSON, D. M. (1993): "Implementing GIS for planning. Lessons from the history of technological innovation", *Journal of the American Planning Association*, 59 (2), pp. 230-236.
- JAMES, P. (1972): *All possible worlds. A history of geographical ideas*. New York, The Odissey Press.

JOHNSTON, R. J.:

- (1979): *Geography and geographers. Anglo-american human geography since 1945*. London, Edward Arnold.
- (1983): *Philosophy and Human Geography*. Londres, Edward Arnold

KWARTLER, M. y LONGO, G. (2008): *Visioning and visualization: People, pixels and plans*. Cambridge, Lincoln Institute of Land Policy.

KUHN, T. S. (1962): *La estructura de las revoluciones científicas*. Fondo de Cultura Económica, edición 1971.

LAKATOS, I.:

- (1974): *Historia de la ciencia y sus reconstrucciones racionales*. Madrid, Tecnos.
- (1993): *La metodología de los programas de investigación científica*. Madrid, Alianza.

LAMELAS GRACIA, M. T. (2009): “Esquema metodológico para la toma de decisiones sobre el uso sostenible del suelo: Aplicación a la localización de suelo industrial”, *GeoFocus (Artículos)*, 9, pp. 28-66.

LÁZARO Y TORRES, M. L. DE y GONZÁLEZ GONZÁLEZ, M. J. (2005): La utilidad de los sistemas de información geográfica para la enseñanza de la Geografía, *Didáctica Geográfica*, 7, pp. 105 - 122.

LLOYD, C. D. (2008): *Spatial data analysis: an introduction for GIS users*. Oxford, Oxford University Press.

LAUDAN, L.:

- (1977): *Progress and its problems*. Berkeley, University of California Press (Trad. esp.: *El progreso y sus problemas. Hacia una teoría del crecimiento científico*. Madrid, Encuentro Ediciones, 1986).
- (1981): “A problem-solving approach to scientific progress”, en *Scientific revolutions*, I. Hacking (Ed). Oxford, Oxford University Press, pp. 144 - 155.

LONGLEY, P., GOODCHILD, M., MAGUIRE, D. y RHIND, D. (2010): *Geographic information systems and science*. Wiley, 3ª ed.

LUND, J. J. y SINTON, D. S. (2007): “Critical and creative visual thinking” en Sinton, D. S. y Lund, J. J. (eds.): *Understanding place: GIS and mapping across the curriculum*. ESRI Press, Redlands, California, pp. 1-16.

LUQUE REVUELTO, R. M. (2011): “El uso de la cartografía y la imagen digital como recurso didáctico en la enseñanza secundaria. Algunas precisiones en torno a Google Earth”, *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 55, pp. 183-210. <http://www.boletinaje.com/55/09%20AGE%2055.pdf>

MAANTAY, J. y ZIEGLER, J. (2006): *GIS for the urban environment*. ESRI Press.

MACEACHREN, A. y FRASER TAYLOR, D. (1994, Eds.): *Visualization in modern cartography*. Nueva York y Oxford, Pergamon.

MALDONADO IBÁÑEZ, A. y VÁZQUEZ HOEHNE, A. (2010): “Diseño de primitivas geométricas espacio-temporales para describir fenómenos dinámicos”, *GeoFocus (Artículos)*, 10, pp. 232-251.

MATEOS, P. (2013): “Geovisualización de la población: Nuevas tendencias en la web social”, *Investigaciones Geográficas*, 60[en este número].

MÉNDEZ, R. (1989): “La filosofía de la tecnología del siglo XX”, *Anthropos*, 94-95, pp. 27-34.

MEYNIER, A. (1969): *Histoire de la pensée géographique en France*. Paris, PUF.

MORENO JIMÉNEZ, A.:

- (1989): *Proyecto docente*. Madrid, Universidad Autónoma de Madrid, policopiado.
- (2007): “¿Está equitativamente repartida la contaminación sonora urbana? Una evaluación desde el principio de justicia ambiental en la ciudad de Madrid”, *Estudios Geográficos*, 263, pp. 595 - 626. <http://estudiosgeograficos.revistas.csic.es/index.php/estudiosgeograficos/article/view/70/67>
- (2010): “GeoFocus: diez años en el camino hacia la sociedad de la geoinformación”, *GeoFocus (Editorial)*, 10, pp. 1 - 6.

MORENO JIMÉNEZ, A., BUZAI, G. D. y FUENZALIDA DÍAZ, M. (2012, Coord.): *Sistemas de información geográfica. Aplicaciones en diagnósticos territoriales y decisiones geoambientales*. Madrid, Ra-Ma.

- MORENO JIMÉNEZ, A. y CAÑADA TORRECILLA, R. (2007): "Justicia ambiental y contaminación atmosférica por dióxido de azufre en Madrid: análisis espacio-temporal y valoración con sistemas de información geográfica", *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 44, pp. 301-324.
<http://age.ieg.csic.es/boletin/44/14-moreno.pdf>
- MOSTERIN, J. (1984): *Conceptos y teoría en la ciencia*. Madrid, Alianza.
- MOULINES, C.U. (1982): *Exploraciones metacientíficas. Estructura, desarrollo y contenido de la ciencia*. Madrid, Alianza.
- NAPOLEON, E. I. y BROOK, E. A. (2008): *Thinking spatially using GIS Media Kit: Our world GIS education, Level 1*. Redlands, ESRI Press.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL:
- (2006a): *Learning to think spatially. GIS as a support system in the K-12 Curriculum*. Washington, DC: The National Academies Press. http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=11019
 - (2006b): *Learning to think spatially: GIS as a support system in the K-12 Curriculum (Free Executive Summary)*. <http://www.nap.edu/catalog/11019.html>
- NEWTON-SMITH, W.H. (1981): *The rationality of science*. Boston, Routledge and Kegan Paul.
- OBERLE, A. P., JOSEPH, S. A. y MAY, D. W. (2010): "Geospatial technologies as a vehicle for enhancing graduate education and promoting the value of geography", *Journal of Geography in Higher Education*, 34, 4, pp. 475-492.
- OJEDA ZÚJAR, J. (2010): Geovisualización: espacio, tiempo y territorio, *Ciudad y Territorio Estudios Territoriales*, 165-166, pp. 445-461.
- OJEDA ZÚJAR, J., ÁLVAREZ FRANCO, J. I., MARTÍN CAJARAVILLE, D. y FRAILE JURADO, P. (2009): "El uso de las TIG para el cálculo del índice de vulnerabilidad costera (CVI) ante una potencial subida del nivel del mar en la costa andaluza (España)", *GeoFocus (Artículos)*, 9, pp. 83-100.
- OJEDA ZÚJAR, J. y VILLAR LAMA, A. (2007): "Evolución del suelo urbano/alterado en el litoral de Andalucía", *GeoFocus (Artículos)*, 7, pp. 73-99.
- ORDÓÑEZ GALÁN, C., VARELA GONZÁLEZ, M. y REYES PANTOJA, A. (2011): "Desarrollo de un SIG para el análisis de patrones espaciales de incendios en viviendas", *GeoFocus (Artículos)*, 11, pp. 1-18.
- PAEGELOW, M. y CAMACHO OLMEDO, M. T. (2008): *Modelling environmental dynamics: Advances in geomatic solutions*. Springer.
- PARKER, R. N. y ASENSIO, E. K. (2008): *GIS and spatial analysis for the social sciences. Coding, mapping and modeling*. Londres, Routledge.
- PETTIT, CH., CARTWRIGHT, W., BISHOP, I., LOWELL, K., PULLAR, D. y DUNCAN, D. (2008, Eds.): *Landscape analysis and visualization. Spatial models for natural resource management and planning*. Heidelberg, Springer Verlag.
- PICKLES, J. (1995): "Representations in an electronic age. Geography, GIS, and democracy", en Pickles, J. (Ed.): *Ground truth. The social implications of geographic information systems*. New York, The Guilford Press, pp. 1-30.
- PITT, J. C. (1988): *Theories of explanation*. Nueva York, Oxford University Press.
- PLATA ROCHA, W., GÓMEZ DELGADO, M. y BOSQUE SENDRA, J. (2010): "Desarrollo de modelos de crecimiento urbano óptimo para la Comunidad de Madrid", *GeoFocus (Artículos)*, 10, pp. 103-134.
- POPPER, K.:
- (1968): *The logic of scientific discovery*. Londres, Hutchinson (Trad. esp.: *La lógica de la investigación científica*. Madrid, Tecnos, 1967).
 - (1975): "The rationality of scientific revolutions", en R. Harré (Ed.): *Problems of scientific revolutions*. Oxford, Oxford University Press, pp. 72-101. Reimp. en *Scientific Revolutions*, I. Hacking, (Ed.). Oxford, Oxford University Press, pp. 80-107.

- PRAT, E., PESQUER, LL., OLIVET, M., ALOY, J., FUSTE, J. y PONS, X. (2009): "Metodología para el análisis de accesibilidad a los recursos sanitarios: el caso de Cataluña", *GeoFocus (Artículos)*, 9, pp. 250 - 269.
- QUAINI, M. (1981): *La construcción de la geografía humana*. Barcelona, Oikos Tau
- QUIÑONERO RUBIO, J.M. y ALONSO SARRÍA, F. (2007): "Modelización de la dinámica hidrológica y erosiva en barrancos de la cuenca del río Quípar (sureste de España) con GRASS", *GeoFocus (Artículos)*, 7, pp. 188 - 215.
- RAMBALDI, G., KIEM, P., MCCALL, M. y WEINER, D. (2006): "Participatory spatial information management and communication in developing countries", *Electronic Journal of Information Systems in Developing Countries*, 25, pp. 1-9. <http://www.ejisd.org/ojs2/index.php/ejisd/article/view/238/159>
- RUIZ PÉREZ, M. (2012): "Vulnerabilidad territorial frente a desastres naturales: el caso de la isla de Mallorca (Baleares, España)", *GeoFocus (Artículos)*, 12, p 16-52.
- ROMERO MÉNDEZ, A. y MONTES GALBÁN, E. (2009): "Evaluación espacio - temporal de la sedimentación en el embalse Burro Negro, estado Zulia / Venezuela mediante el uso combinado de SIG - Ecosonda - DGPS", *GeoFocus (Artículos)*, 9, pp. 209 - 231.
- SCHUURMAN, N. (2004): *GIS: A short introduction*. John Wiley & Sons.
- SIEBER, R.E. (2006): "Public participation geographic information systems: A literature review and framework", *Annals of the Association of American Geographers*, 96, pp. 491 - 507
- SINTON, D.S. y LUND, J.J. (2007): *Understanding place: GIS and mapping across the curriculum*. ESRI Press, Redlands, California.
- SMITH, I. (1964): *Spatial ability: Its educational and spatial significance*. San Diego (Calif.), R. R. Knapp.
- STEINBERG, S.J. y STEINBERG, S.L. (2006): *Geographical information systems for the social sciences. Investigating space and place*. Thousands Oaks, etc. Sage.
- STILLWELL, J, GEERTMAN, S. y OPENSHAW, S. (1999, Ed.): *Geographical information and planning*. Berlín, Springer.
- STODDART, D. R. (1981): "The paradigm concept and the history of geography", en D. R. Stoddart (Ed.): *Geography, ideology and social concern*. Oxford, Basil Blackwell, pp.70 - 80.
- SUI, D.Z. y MORRILL, R. (2004): "Computers and Geography: From Automated Geography to Digital Earth", en Brunn, S. D., Cutter, S. I. y Harrington, J. W. Jr. (Eds.). *Geography and Technology*. Amsterdam: Kluwer Academic Publishers, pp. 81-108.
- TOMLINSON, R. (2007): *Pensando en SIG*. Redlands, ESRI Press, 3ª ed.
- TORRENS, P. M. (2010): "Geography and computational social science", *GeoJournal*, 75 (2), pp. 133-148.
- TOUDERT, D. y BRINGAS R., N.L. (2010): "Planeación participativa en el engranaje del ordenamiento ecológico: la apropiación social de las tecnologías de la información geográfica", *Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG)*, 2, Sección Artículos, pp. 186-199.
<http://www.gesig-proeg.com.ar/documentos/revista-geosig/2010/TOUDERT-BRINGAS.pdf>
- THUILLIER, P. (1975): *La manipulación de la ciencia*. Caracas, Fundamentos.
- VARNI, M., ENTRAIGAS, I. y GANDINI, M.(2006): "Propuesta de dos métodos para el mapeo de áreas anegadas utilizando condiciones hidrológicas cuantificables", *GeoFocus (Artículos)*, 6, pp.33 - 46.
- VEREGIN, H. (1995): "Computer innovation and adoption in Geography", en Pickles, J. (Ed.): *Ground truth. The social implications of geographic information systems*. New York, The Guilford Press, pp. 88 - 112.
- WINNER, L. (1977): *Autonomous technology: Technics-out-of-control as a theme in political thought*. Cambridge, MA, MIT Press.
- WACHOWICZ, M. RIEDEMANN, C., VULLINGS, W., SUÁREZ, J. y CROMVOETS, J. (2002): "Workshop report on spatial data usability". *Proceedings AGILE 2002 Conference on GI Science*, April. Mallorca, Spain.

- WACHOWICZ, M., VULLINGS, W., BULENS, J. DE GROOT, H. y VAN DEN BROEK, M. (2005): "Uncovering the main elements of geo-web usability". *Proceedings 8th AGILE Conference on GIScience*, June. Lisbon, Portugal.
- WACHOWICZ, M., CUI, L., VULLINGS, W. y BULENS, J. (2007): "The effects of web mapping applications on user satisfaction: an empirical study", en Peterson, M. (Ed.): *International perspectives on maps and the Internet*, Springer-Verlag.
- WARTOFSKY, M. W. (1968): *Conceptual foundations of scientific thought: An introduction to the philosophy of science*. New York, Mac Millan. (Trad. esp.: *Introducción a la filosofía de la ciencia*. Barcelona, Alianza Editorial, 1976, 2 ed.)
- WILBANKS, T. (2004): "Geography and technology" en Brunn, S. D., Cutter, S. I. y HARRINGTON, J. W. JR. (Eds.). *Geography and Technology*. Amsterdam, Kluwer Academic Publishers, pp. 3-16.
- WILSON, A. G. (1980): "Theory in human geography", en E. H. Brown (ed.): *Geography. Yesterday and tomorrow*. Oxford University Press (Trad. esp.: "La teoría en la geografía humana. Un ensayo de reseña", en E. H. Brown (ed.): *Geografía, pasado y futuro*. México, FCE, 1985, pp. 287-305).
- WINCH, P. (1958): *The idea of a social science and its relation to philosophy*. Londres, Routledge and Kegan Paul.
- WRIGHT, D., GOODCHILD, M. y PROCTOR, J. (1997): "GIS: tool or science", *Annals of the Association of American Geographers*, 87, 2, pp. 346-362.

LÍNEA DE COSTA Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA: MODELO DE DATOS PARA LA CARACTERIZACIÓN Y CÁLCULO DE INDICADORES EN LA COSTA ANDALUZA

Ojeda Zújar J.¹, Díaz Cuevas M. P.², Prieto Campos A.³ y Álvarez Francoso J. I.⁴

Grupo de Investigación: Ordenación Litoral y Tecnologías de Información Territorial.⁵
Departamento de Geografía Física y Análisis Geográfico Regional.
Universidad de Sevilla.

RESUMEN

Presente en numerosas bases de datos geográficas y cartografía oficial, la línea de costa constituye un elemento fundamental en los procesos de análisis, gestión y planificación de la zona costera, si bien su levantamiento a escalas de detalle y su posterior utilización requiere de una precisa delimitación geométrica y del establecimiento de criterios rigurosos para su definición. Éstos últimos deben ser seleccionados con una clara intencionalidad aplicada de acuerdo a su uso posterior. En este sentido, el uso de los Sistemas de Información Geográfica, las bases de datos espaciales y un adecuado modelo de datos, resultan elementos clave para el levantamiento de líneas de costa, así como para los análisis posteriores realizados sobre ellas.

En este trabajo se presenta, en primer lugar, la metodología utilizada para la definición geométrica de la línea de costa en Andalucía a una escala detallada (1:2.500) sobre ortofotos y ortoimágenes de resolución métrica y submétrica y el modelo de datos que soporta cada tramo topológicamente independiente digitalizado. Tras su digitalización geométrica e integración en una base de datos espacial (PostGres/PostGis) se utilizan las capacidades analíticas de las TIG para la construcción de diferentes indicadores utilizados en su caracterización fisiográfica, estado, seguimiento y evaluación ambiental en la costa andaluza.

Palabras clave: línea de costa, sistemas de información geográfica, geodatabase, modelos de datos, indicadores costeros.

ABSTRACT

Coastline and geographical information systems: data model for the andalusian coast characterization and coastal indicators estimation

The coastline is a key element for coastal planning and management, however, its digitalisation at fine scales requires a precise geometric delimitation and a rigorous criteria establishment for its definition. The criteria selection should be based on the work purpose and future applications. In this sense, Geographic Information System (GIS) techniques, spatial databases and an appropriate data model for the database design are key elements that enable establishing a work flow for coastlines digitalisation and subsequent analyses.

This paper presents a methodology for the Andalusia coastline definition and positioning at fine scale (1:2.500) using specific criteria for the coastline digitalisation and a data model for the spatial database design. The digitalisation and data entry in the database were carried out through ortho-photos

¹ zujar@us.es

² pilard@us.es

³ pcampos@us.es

⁴ jalvarez2@us.es

⁵ C/ María de Padilla s/n. 41004 Sevilla.

photointerpretation. After the digitalisation process, the data were stored in a spatial database (Postgres / PostGIS) for maximising the analytical capabilities, which has enabled indicators estimation for physiographic characterisation and environmental assessment for instance.

Keywords: coastline, Geographical Information System, geodatabase, data model, coastal indicators.

1. INTRODUCCIÓN

Hoy día, cualquier estudio centrado en la zona costera independientemente de cual sea su objetivo, requiere de la existencia de una potente información de detalle. Esta reflexión, a pesar de ser incorporada en numerosos documentos de planificación, se ve confrontada por la ausencia a veces inexplicable de información sobre litoral y medio marino a escalas de detalle (Díaz *et al.*, 2012). En este sentido, la línea de costa constituye una referencia inexcusable para la planificación ambiental y territorial de estas zonas, así como para una gestión integrada de éstas, pues permite constituir indicadores de estado y seguimiento ambiental y, como tal, es frecuente encontrarla, en la actualidad, en los resultados de proyectos y estudios que incluyen del cálculo de indicadores sobre ella (EUROSION, Greenpeace, 2010, Estrategia de sostenibilidad de la costa, etc.).

Aunque su definición como elemento de contacto entre la superficie emergida y la oceánica (Dolan *et al.*, 1980) está consensuada, su delimitación supone un gran desafío dada la gran dinamicidad natural de este límite, que además depende de la elección de criterios específicos para su delineación, definidos en función del objetivo perseguido, la resolución espacial, la fuente de información utilizada o del sistema de digitalización empleado (Ojeda, 2000, Fletcher *et al.*, 2003, Boak and Turner, 2005, Hughes *et al.*, 2006), siendo necesario mostrar, para su definición, una clara intencionalidad aplicada.

Así por ejemplo, si se pretende obtener información que resulte de utilidad para la gestión de la zona costera andaluza, se hace imprescindible una delineación de la línea de costa atendiendo a criterios adecuados desde un punto de vista fisiográfico, entendida ésta como el segmento lineal que recorre el margen del litoral andaluz en contacto con el mar, desde su inicio en Portugal hasta su extremo oriental en Murcia. Esta línea de costa alcanzará longitudes considerables al introducirse por los márgenes de los canales de marea y estuarios, y deberá delimitar detalladamente determinadas infraestructuras costeras presentes en ella (puertos, diques, espigones, etc.). Por otra parte, si se pretende utilizar ésta para el cálculo de indicadores y estadísticas oficiales, la definición de la línea, se suele asociar a lo que se entiende comúnmente por “frente costero expuesto”, y evitará su recorrido detallado por marismas y estuarios, así como los contornos de puertos e infraestructuras costeras que penetran en el mar (Díaz *et al.*, 2012).

Dado lo anterior, el desafío, entonces, es desarrollar una metodología suficientemente robusta y repetible para permitir de la manera más sencilla y eficaz la digitalización de este límite según los criterios elegidos. En este sentido, el uso de un adecuado “modelo de datos” para su incorporación en Gestores de Bases de Datos es esencial y facilitará posteriormente las capacidades analíticas de los SIG (Thieler, *et al.*, 1994, Brown, 2006; Guariglia *et al.*, 2006; Rodríguez *et al.*, 2009; Pian *et al.*, 2011). Sin embargo, la definición de la zona de transición costera en modelos de datos que soporten información geográfica (ráster o vectorial) se ve especialmente dificultada por el carácter de interfase natural de ésta (atmósfera, litosfera, hidrosfera) y su alto dinamismo a escalas espacio-temporales muy cortas.

2. OBJETIVOS

El objetivo de este artículo, se centra en presentar los resultados del uso de una **delimitación multifuncional de la línea de costa de Andalucía a escala de detalle (1:2.500)**, que incorpora **tres conceptos de línea de costa diferentes, pero que mantienen para todas la misma escala y resolución a nivel espacial**, así como **el mismo modelo de datos en su caracterización alfanumérica**. Este objetivo genérico se ve dificultado por la dimensión espacial (916 Km.) y alta variabilidad fisiográfica de la costa de Andalucía.

El enorme esfuerzo ligado a la digitalización de una línea de costa para toda Andalucía desde la perspectiva geométrica (máxime si se espera su actualización continuada o incluso su utilización para fechas históricas pasadas) debe ir acompañado de la suficiente información temática (caracterización

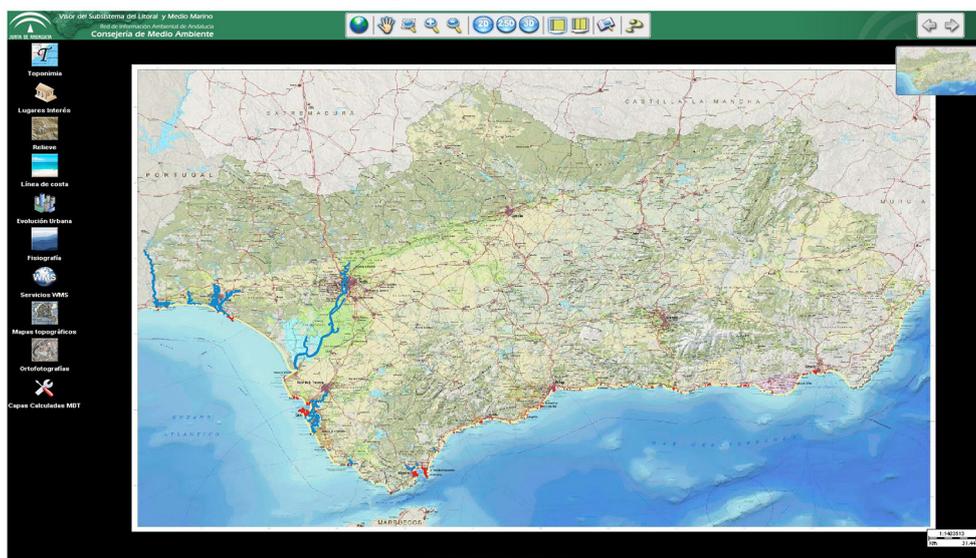
alfanumérica en un SIG) para cubrir el mayor número de aplicaciones futuras. Entre ellas destacan la generación de indicadores, su utilización para los cálculos de tasas de erosión o su utilización para la evaluación de un recurso turístico esencial como es la capacidad de carga de las playas. En este sentido, son objetivos específicos de este trabajo:

- La definición del modelo conceptual que soportarán todos los datos (geométricos y alfanuméricos) y su aplicaciones
- La definición de criterios claros para su definición y de digitalización a escalas de detalle.
- La extracción de algunos indicadores que, a modo de resultados preliminares, reflejen la versatilidad de la aproximación metodológica adoptada.

3. ÁREA DE ESTUDIO

La costa de Andalucía se extiende a lo largo de 916 Km. presentando dos tramos claramente diferenciados: un sector occidental hasta el Estrecho de Gibraltar, expuesto a un importante oleaje de fondo del océano Atlántico (*fetch*), con un carácter mesomareal y donde predominan las formaciones arenosas, estuarios y marismas mareales; y otro sector oriental (Estrecho de Gibraltar-Almería), expuesto al oleaje del mar Mediterráneo, micromareal y con una mayor presencia de costas rocosas y acantiladas, junto a playas, deltas y albuferas.

Figura 1. Área de estudio.



Fuente: Imagen del visor web tridimensional de Grupo de Investigación al que pertenecen los autores

Debido a su singularidad y peculiaridad al compartir una fachada costera abierta al Atlántico con una dinámica mesomareal y otra mediterránea con una dinámica micromareal, desde la perspectiva científica, estos dos ámbitos bien diferenciados han sido objeto de diferentes estudios por parte de diferentes investigadores e instituciones que han permitido tener un conocimiento bastante detallado de sus características físico-naturales y su evolución reciente (Viciano, 1998, Zazo y Goy, 2000; Ojeda, *et al.*, 2002, Ojeda, 2003, Ojeda, 2005a, Del Río, 2007 entre otros), aunque parciales desde la perspectiva espacial. Todos ellos han proporcionado un conjunto considerable de información.

La Comunidad autónoma ha realizado amplios esfuerzos por generar información detallada del ámbito litoral. Destaca la definición geométrica de su línea de costa a una escala detallada (1:2.500) para varios años por el Grupo de Investigación al que pertenecen los autores, que será presentada a continuación y su inclusión en el Subsistema de Información del litoral y Medio Marino (<http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/rediam/>), proyecto impulsado y financiado por la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía (Ojeda (coord.), 2005b) con una importante contribución de otras consejerías. Estos trabajos previos están en la base de la propuesta metodológica presentada en este artículo.

El objeto principal de este **modelo de datos de explotación para la línea de costa andaluza** es la tabla **línea_costa**, que recoge el inventario exhaustivo de tramos de **línea de costa digitalizados topológicamente independientes**, que comparten todos los atributos temáticos de las diferentes tablas relacionales del modelo. La segmentación de la costa en tramos topológicamente independientes resulta frecuente y es aplicada a escalas detalladas para los objetivos de planificación y gestión de estos ámbitos (Hoozemans *et al.*, 1993; Mangor, 2001; Vafedeis *et al.*, 2008, y Casal *et al.*, 2010).

Un conjunto de estas tablas relacionan este tramo costero con el proceso de **digitalización** (autor, fecha y fuente) y su caracterización **toponímica**. Otro conjunto de tablas relacionadas reflejan la **clasificación fisiográfica, tipológica y jerárquica**, del tramo topológicamente independiente (tipologia_nv1, tipologia_nv2,...). La elección de una **tipología jerárquica** hace que las tipologías aumenten exponencialmente por la combinación de tipos básicos (playas con dunas y acantilado, por ejemplo) y la asignación del tipo en cada nivel excluyente. La imposibilidad de modelar en una estructura jerárquica una mayor caracterización de cada tipo (acantilados altos, acantilados bajos, o su naturaleza litológica en costas rocosas, por ejemplo) y su interés para el desarrollo de los indicadores ha obligado a modelar estos atributos en **tablas externas** a la que contiene la estructura tipológica jerárquica, ya que pueden coexistir varios sobre el mismo arco. Son las tablas relacionadas que enlazan con las tablas **detalle_playa, detalle_duna, detalle_acantilado, detalle_infraestructuras y detalle_urbano**.

Este modelo, fue diseñado por primera vez para el Subsistema Litoral y Medio Marino de la Red de Información Ambiental (REDIAM) de la Consejería de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente de la Junta de Andalucía en 2007, si bien ha ido incorporando mejoras en esta última etapa al ser integrado y mejorado en diferentes proyectos de investigación. En el nuevo modelo presentado posee especial **relevancia la incorporación de una nueva tabla relacional (tipo_linea)** que permite mediante una codificación específica la definición de una línea de costa **multifuncional** cuya caracterización constituye el objetivo básico de esta comunicación.

3.2. Fuentes, criterios de definición de línea de costa y procesos de digitalización.

El levantamiento de la información relativa a las línea de costa a escala de detalle (1:2.500) se ha realizado mediante la digitalización de ésta a partir de la Ortofotografía de Andalucía de 2008/2009 (resolución espacial de 0,5 m.) y la ortoimagen QuickBird de 2005 (0,75 m.). El sistema de referencias de coordenadas utilizado ha sido ETRS89 UTM30N para respetar el Sistema de Referencia de Coordenadas de la fuente original de mayor resolución espacial, siendo el oficial en España desde 2007.

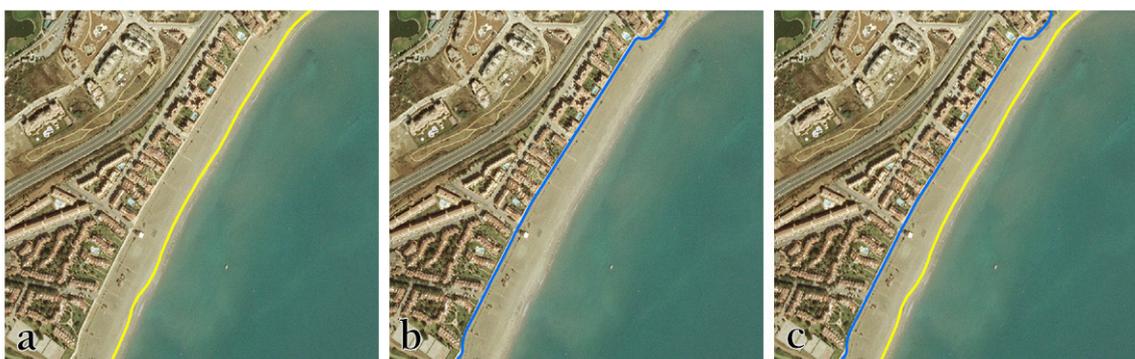
El levantamiento de la línea de costa ha sido realizada por un solo digitalizador, un solo experto temático, con el fin de disminuir al máximo posible la subjetividad inevitable en el proceso de fotointerpretación y siempre a una única escala (1:2.500), para garantizar la coherencia geométrica.

Los criterios de fotointerpretación utilizados (elementos clave para su posterior uso), a diferencia de otras líneas de costa “oficiales” que utilizan criterios geométricos (curva de nivel 0 m.) sin una base ecológica, se definen por características geomorfológicas/fisiográficas diferentes según se trate de formaciones sedimentarias expuestas, costas rocosas, zonas marismas/estuarinas protegidas del oleaje o infraestructuras antrópicas.

- **Estuarios y red mareal:** definida como el límite de la marea más baja reconocible entre todas las ortofotos disponibles, representaría la línea más próxima al “0 hidrográfico” (no disponible a estas escalas para toda la costa andaluza). Su interés reside en que es necesaria para extraer la superficie intermareal, elemento que puede ser utilizado para diversos indicadores ambientales.
- **Costas rocosas** conectadas directamente con el mar: definidas a partir de la base de los acantilados o el límite de afloramientos rocosos. El hecho de que, en algunos tramos de acantilados altos en Andalucía se hayan observado desplazamientos geométricos debido al abatimiento del relieve que no ha podido corregir el MDE utilizado en la producción de la ortofotografía, así como su relativa permanencia temporal, es la causa que justifica la utilización de la imagen Quick Bird (2005) sólo en estos sectores. La altura de la órbita de la plataforma espacial que embarca a este sensor minimiza este efecto y su resolución espacial es parecida a la de la ortofotografía de 2008-2009.

- **Infraestructuras en contacto directo con el mar:** definidas como el límite externo de las infraestructuras.
- **Playas:** Se trata del elemento más dinámico y de mayor interés aplicado (uso turístico, riesgos de erosión, etc.). Por ello se han utilizado **dos criterios** diferentes para su digitalización (Figura 3), es decir, se digitalizan **dos líneas** diferentes. La primera (Figura 3a), definida por la última marca húmeda de la marea sobre el perfil de la playa. Este límite define el límite exterior de la “playa seca” (backshore) en la fecha de la fuente de referencia y es la utilizada genéricamente (estadísticas, gestión, etc.). La segunda (Figura 3b) está orientada a la extracción de indicadores basados en tasas de erosión, por lo que se define por el contacto interno de la “playa seca” (backshore) y la duna costera (foredune) cuando está presente, la base de acantilados o el contacto con infraestructuras (paseo marítimo). Su carácter más estable hace que sea la elegida en la mayor parte de los estudios evolutivos a largo plazo (Ojeda *et al.*, 2000; Marcel J.F. *et al.*, 2002; Pajack *et al.*, 2002, Johannessen *et al.*, 2003 y Ojeda *et al.*, 2010). La distancia entre ambas; Figura 3c (que representa la superficie entre el límite interior y exterior de la playa seca) resulta, por otra parte, un elemento fundamental para el cálculo de la playa útil, de gran importancia para la construcción de numerosos indicadores (indicadores de capacidad de carga turística, de vulnerabilidad de las playas ante una potencial subida del nivel del mar, etc.).

Figura 3. Criterios para la digitalización de la playa: a) Marca húmeda de la última marea alta, b) Límite interno de la playa seca, c) Superficie entre el límite interior y exterior de la playa seca.



Elaboración propia.

La conjunción de los elementos anteriores permite la extracción de dos **tipos de línea de costa al máximo nivel de detalle espacial con objetivos aplicados diferentes** que denominaremos:

- **Línea de costa larga o definida fisiográficamente:** en ella se incluye la digitalización detallada de elementos antrópicos del frente litoral (diques, espigones, puertos), así como estuarios y caños mareales cuya anchura en bajamar sea superior a 15 metros, la base de los acantilados y costas rocosas y el límite exterior de la playa seca al mayor nivel de detalle (Figura 4a).
- **Línea para el cálculo de las tasas de erosión:** en este caso solo se ven modificados los tramos de playa, donde la línea de costa queda fijada por contacto entre la playa alta (*backshore*) y la duna litoral (*foredune*). Ante la ausencia de duna litoral, se toma como válido el contacto superior de la playa alta con el primer elemento existente, ya sea natural (pie de acantilado) o antrópico (infraestructuras), (Figura 4c).

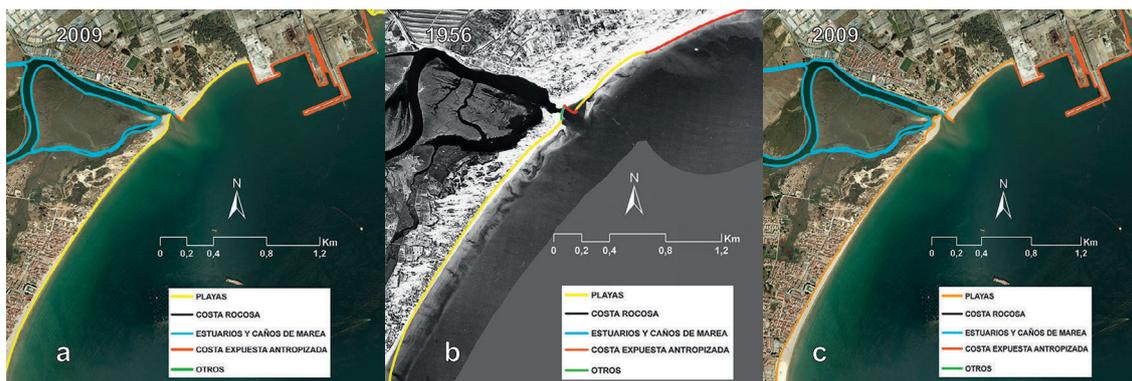
Estas dos líneas de costa soportarán el grueso de las aplicaciones tanto para la construcción de indicadores a escalas de detalle como para los análisis de procesos erosivos, estudios de impactos o gestión ambiental (por ejemplo si se necesitase saber la longitud de playas, diques, espigones o acantilados que se verían afectados por un vertido de petróleo) o la evaluación de la capacidad de carga turística de las playas.

Sin embargo, una gran parte estudios y análisis a partir de indicadores sobre la línea de costa suelen adoptar el concepto de “frente costero” para su cálculo, no contabilizando las zonas no expuestas al oleaje (no se digitalizan la red de caños mareales y estuarios, sino sólo su desembocadura) y no contabilizan

tampoco el perímetro de las infraestructuras como puertos o espigones sino su sola presencia (la teórica línea de costa afectada). Por ello se han digitalizado estos dos elementos de forma simplificada y se incorporan estos tramos nuevos en el mismo modelo de datos con un código diferente en la tabla “tipo_línea”. De esta forma es posible extraer una tercera línea de costa:

- **Línea de costa corta o frente costero:** Intenta definir el frente costero expuesto. Para ello, en la línea de costa larga se sustituyen: (i) elementos antrópicos como puertos y grandes espigones que penetran en las aguas marinas por línea costera original definida por la ortofoto de 1956; (ii) estuarios y caños mareales por una línea que cierra su desembocadura al llegar al frente costero (Figura 4b).

Figura 4. Representación de las líneas de costa larga (a), corta (b) y de erosión (c) en la Bahía de Algeiras (Cádiz).



Elaboración propia

Estas tres líneas (larga, corta y erosión) se encuentran soportadas por el mismo modelo de datos. Para su posterior extracción a partir de sentencias SQL (structured query language) ha sido necesario la incorporación de una nueva tabla (tipo_línea) al modelo de datos que recoge la codificación del tipo (larga, corta o erosión) en función de su digitalización y utilización posterior.

5. RESULTADOS

El levantamiento de las líneas de costa, fotointerpretadas con criterios “geomorfológicos/fisiográficos” a escalas de detalle, junto a la versatilidad del modelo de explotación y producción empleado, así como su incorporación a una base de datos espacial, garantiza la fácil obtención de diferentes tipos de indicadores con sencillas sentencias espaciales SQL fácilmente reutilizables en actualizaciones futuras.

De esta forma, la **longitud** (parámetro esencial de muchos indicadores) de playas, estuarios, acantilados o infraestructuras para cualquier ámbito espacial (municipios, espacios protegidos, etc.) es una variable fácilmente extraíble de la base de datos y potencialmente utilizable para la generación de indicadores desde escalas autonómicas, a niveles intermedios (municipios, espacios protegidos, etc.) e, incluso, al nivel de playa individual (porcentaje de playa artificializada, porcentaje de dunas, etc.), algunos de ellos, ya presentados en una anterior publicación (Díaz *et al.*, 2012).

Por otro lado, la utilización del modelo de datos, así como la delimitación **multifuncional** de la línea de costa, **permite fácilmente el cálculo de otros indicadores** que utilizan datos derivados directamente del modelo de datos pero que necesitan para su cálculo de un proceso de tratamiento posterior como son la definición de la **playa útil**, de especial importancia para el cálculo de la capacidad de carga turística previamente comentada, o las **tasas de erosión**.

5.1. Sensibilidad de los indicadores de longitud y porcentaje de tipos fisiográficos de costa en función de la utilización de la “línea de costa larga” o “línea de costa corta”

Producto de la digitalización y de la completa caracterización de la línea de costa realizada a escala de detalle 1:2.500, se obtiene una gran fragmentación longitudinal de la misma, conformada por

5.858 segmentos para la línea de costa larga y 4.409 para línea corta, todos ellos de diverso tamaño y cuya suma determina una longitud total de 2.383 Km y 916 Km, respectivamente.

Se observa (tabla 1), como la **longitud** de las playas, costa rocosa y de la tipología “otros” (esencialmente pequeños islotes rocosos), se mantiene prácticamente igual para ambas líneas mientras que, como era de esperar por la definición realizada de éstas, las mayores diferencias entre ellas se producen en los estuarios (más de 80 km en el caso del Guadalquivir hasta Sevilla y caños mareales, así como en la costa antropizada, que alcanzan valores considerables en el caso de la línea larga).

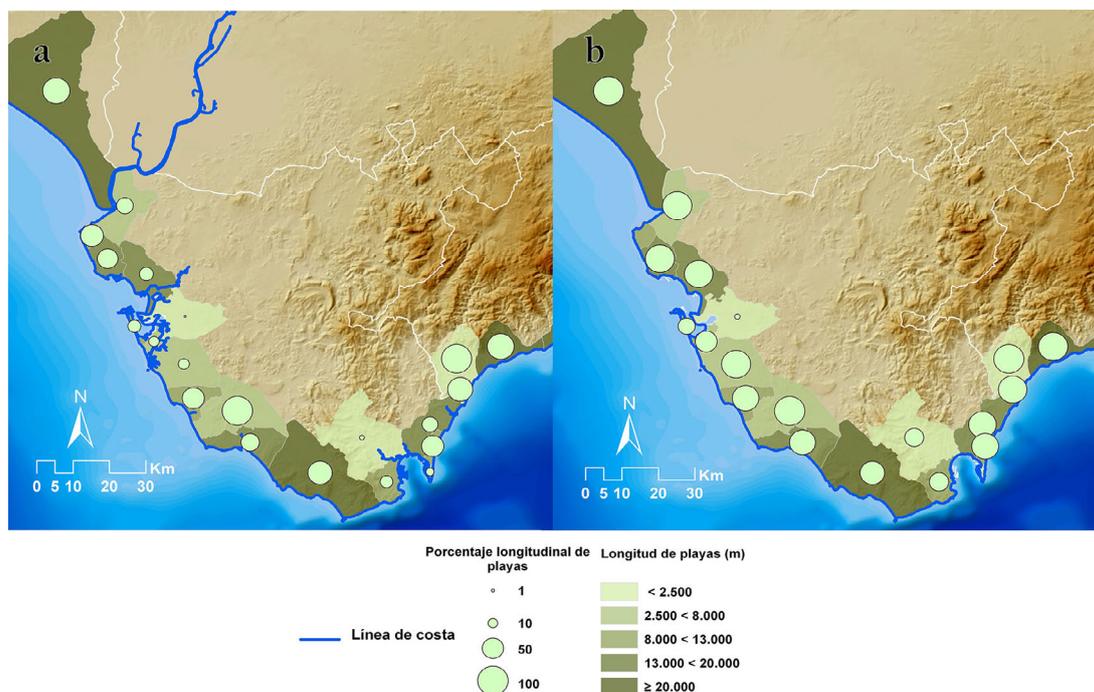
Tabla 1. Longitud de línea de costa en el nivel jerárquico 1.

| | TOTAL LARGA (Km) | TOTAL LARGA (%) | TOTAL CORTA (Km) | TOTAL CORTA (%) |
|------------------------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|
| PLAYAS EXPUESTAS | 625,63 | 27,14 | 620,217 | 69,01 |
| COSTA ROCOSA | 151,27 | 6,42 | 151,57 | 16,47 |
| ESTUARIOS, CAÑOS DE MARISMA | 1.232,99 | 51,41 | 25,57 | 2,79 |
| COSTA EXPUESTA ANTROPORIZADA | 365,08 | 14,69 | 111,69 | 10,85 |
| OTROS | 7,75 | 0,34 | 7,81 | 0,88 |
| | 2382,99 | 100 | 916,7 | 100 |

Elaboración propia.

Sin embargo, en el caso de las playas, las diferencias entre ambas líneas se hacen patentes solo cuando se usan indicadores en términos relativos ya que al estar las playas siempre ubicadas en la zona expuesta del frente costero presentan en ambas la misma longitud (figura 5 a y b). Este indicador refleja que las playas están presentes casi en toda la costa andaluza, incluso en los sectores donde, por la proximidad de las sierras béticas, deberían ser más escasas. Esto es debido a la gran aportación sedimentaria de los cauces que avenan hacia el Mediterráneo por las características de sus cuencas (elevada pendiente media) y régimen hidrológico con eventos de precipitación torrencial que favorecen la movilización de sedimentos hacia la costa y la construcción de playas junto a planicies litorales.

Figura 5. Detalle de la caracterización de las playas en la línea larga (a) y línea corta (b).



Elaboración propia.

Cuando se utilizan indicadores relativos (porcentajes), la utilización de una costa u otra devuelve valores porcentuales muy diferentes para cada municipio. Este hecho es más evidente en aquellos municipios donde la presencia de marismas y estuarios hace aumentar significativamente la longitud de costa municipal de referencia para la construcción del indicador (Huelva o Ayamonte) o en aquellos donde se ubican las grandes infraestructuras portuarias (Málaga, Bahía de Algeciras). Estos resultados evidencian la necesidad de precisar detalladamente las fuentes y criterios utilizados los indicadores de este tipo y establecer comparaciones solo con indicadores construidos de forma homogénea.

5.2. Generación de un indicador de sensibilidad a la pérdida de las playas andaluzas como recurso turístico utilizando la “línea de costa larga” y la “línea de costa erosión”.

En la actualidad son varias las publicaciones científicas existentes que tratan el origen, evolución, estado y seguimiento de la costa andaluza, si bien suelen aplicarse a sectores concretos o ámbitos espaciales y fisiográficos diferentes, siendo compleja su integración. En el caso de las playas, elemento muy dinámico y de gran interés aplicado, su función como zona de esparcimiento y uso público y su grado de naturalidad suele ser medido mediante indicadores relacionados con el equipamiento público, la accesibilidad, la calidad de las aguas, etc. El análisis de su función como recurso turístico requiere también del levantamiento de información que permita tener definida perfectamente la playa útil desde el punto de vista turístico (playa seca) y su estabilidad (vinculada a los procesos erosivos) o persistencia temporal (ligada a la disponibilidad de reservas sedimentaria como las dunas costeras). En este sentido se utilizarán la línea de costa larga y la de erosión, junto con los atributos del modelo de datos, para definir un indicador de sensibilidad a las pérdidas de las playas como recurso turístico. Este indicador utiliza tres variables accesibles a escala de detalle, que han sido derivadas de las “líneas de costa” previamente generadas mediante las capacidades analíticas de los SIG.

5.2.1. Cálculo de las variables.

La construcción del índice expresivo de la sensibilidad a la pérdida de las playas andaluzas como recurso turístico se ha realizado a partir del cálculo e integración de cuatro variables: anchura de la playa útil, presencia de dunas costeras, tasas de erosión históricas negativas y tasas de erosión históricas positivas.

- La **anchura de la playa útil**, figura 6, (relacionada con la superficie disponible como recurso turístico) se extraerá calculando la distancia entre la línea de costa larga y la de erosión que definen el límite externo e interno de la playa seca según el modelo de datos. A mayor anchura, menor sensibilidad de la playa a su pérdida como recurso turístico.

Figura 6. Izquierda: unidades fisiográficas que conforman la playa útil (playa natural). Derecha: tasa de anchura de la playa disponible por tramos individualizados de playa.



Elaboración propia.

- La presencia de dunas costeras: se extraerá de la tabla de datos asociada a cada tramo de playa: “duna_detalle” (figura 7). Esta incorpora en el proceso de fotointerpretación la presencia de dunas costeras en conexión con la playa actual y una estimación de su extensión hacia el interior, caracterizándolas según su extensión (extensa > 130 m; media 30-130 m y pequeña < 30 m). En este caso, la presencia de dunas costeras garantiza la persistencia de la playa aún cuando se vea sometida a procesos erosivos, aunque conlleve el consiguiente retranqueo de su posición original. En este sentido, a mayor extensión de dunas, menor sensibilidad de la playa a su pérdida como recurso turístico.

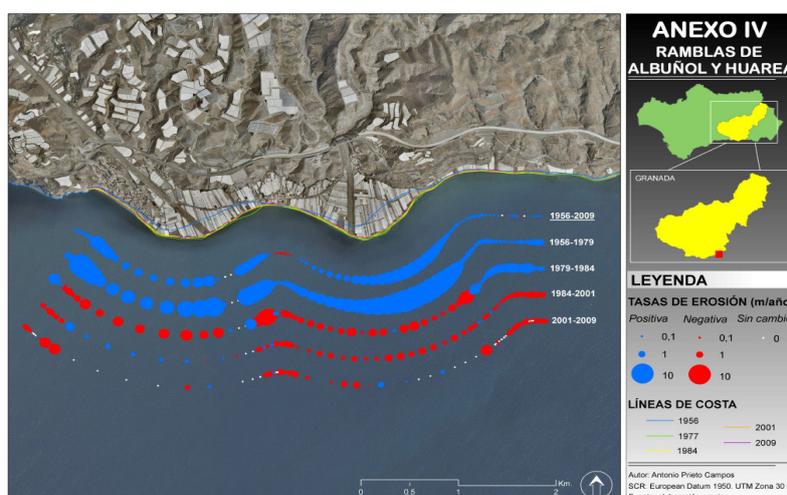
Figura 7. Digitalización de la duna.



Elaboración propia.

- Las tasas de erosión históricas (figura 8), que se extraerán de la “desactualización” geométrica de la línea de costa de erosión más reciente (2009) a otras fechas para las que existen disponibilidad de ortofotos (1956, 1979, 2007) y que ha sido objeto de varios trabajos publicados (Himmelstoss *et al.*, 2009, Prieto *et al.*, 2009, Prieto, 2012). Con estas líneas se procede al cálculo de las tasas de erosión anuales utilizando la herramienta DSAS, desarrollada por el Servicio Geológico de Estados Unidos e integrada en ArcGis. Esta permite su calculo para transectos equidistantes que genera el propio programa a petición del usuario y realiza el cálculo de la tasas de erosión (metros/año). A mayor tasa de erosión mayor sensibilidad de la playa a su pérdida como recurso turístico.

Figura 8. Tasas de erosión para el Delta del Albuñol y Huarea



Fuente: Prieto, 2009.

Esta misma herramienta permite cuantificar en los mismos transectos la anchura de la playa útil si realizamos el análisis con la **línea de costa larga y la costa erosión** de la fecha 2009 y podemos extraer a los mismos transectos la extensión de la duna costera con un “join espacial”. Esta flexibilidad en la generación de la equidistancia de los transectos nos permite asociar las cuatro variables necesarias para la generación del indicador a diferentes escalas según los objetivos y asociar las cuatro variables a puntos equidistantes tras la intersección de los transectos con la línea de costa más actual (2009).

5.2.2. Formulación del indicador.

Una vez calculadas las variables se ha procedido a la construcción del indicador a partir de la agregación de éstas. Previamente, las variables han sido normalizadas, con el objeto de expresarlas en unidades similares. Para tal fin los valores de éstas se reescalan entre 0 y 1, mediante un reescalado lineal que asigna un 1 al valor máximo de la serie y un 0 al valor mínimo.

$$X_{in} = 1 - \frac{(X_i - X_{max})}{(X_{min} - X_{max})}$$

Donde:

X_{in} = Valor normalizado de la variable

X_i = Valor de la variable

X_{max} = Valor máximo de la variable

X_{min} = Valor mínimo de la variable

La variable tasas de erosión, ha sido transformada en dos variables; una representativa de las playas que han experimentado un balance sedimentario positivo en el periodo 1979-2009 y otra representativa de las playas que han experimentado erosión en el periodo 1979-2009. Una vez que todas las variables tienen la misma intencionalidad y sentido, se ha procedido a la integración de las cuatro variables normalizadas originando el índice sintético representativo de la sensibilidad a la pérdida de playas.

La expresión del indicador es la siguiente:

$$S = (D + A + P) - E$$

Donde;

S = Indicador.

D= Duna.

A = Anchura de la playa o playa disponible.

P= Progradación

E =Erosión.

Es necesario mencionar, que aunque este índice proporciona resultados de forma numérica, estos no deben asociarse directamente a cambios físicos específicos, es decir, se trata de un indicador adimensional. Sin embargo, tiene la capacidad de mostrar, a escala detallada y para toda la costa andaluza, cómo los efectos combinados de la erosión, la anchura de la playa útil y la presencia o ausencia de dunas intensifican la sensibilidad de determinados espacios costeros a la pérdida de playas.

5.2.3. Aplicación del indicador y resultados.

El indicador ha sido representado utilizando como límites de clasificación los percentiles 25%, 50% y 75%. Los resultados, arrojan valores entre -0,56 y +2,17 (tabla 2.).

Tabla 2. Clasificación del Índice de sensibilidad.

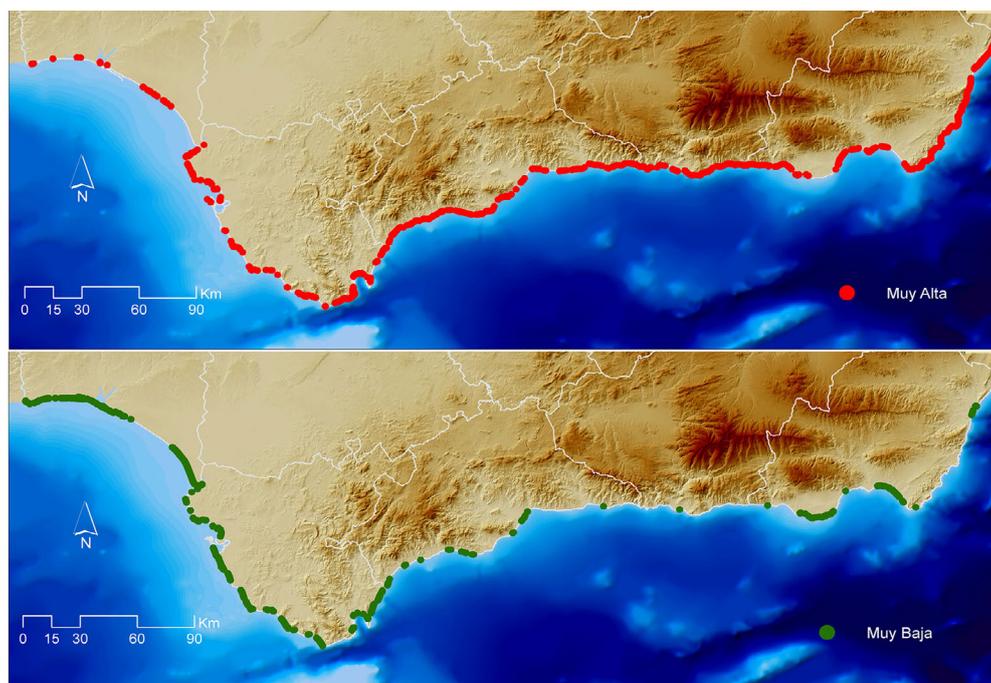
| CLASE | SENSIBILIDAD CLASIFICADA | VALOR DEL ÍNDICE |
|----------|--------------------------|------------------|
| Muy Alta | 1 | (-0.56; 0.037] |
| Alta | 2 | (0.037; 0.166] |
| Media | 3 | (0.166; 0.75] |
| Baja | 4 | (0.75; 2.17] |

Elaboración propia.

La Figura 9a, representa el 20% de los valores más bajos alcanzados por el indicador, es decir; las zonas del litoral andaluz con mayor sensibilidad a la pérdida de las playas. Éstas se corresponden con aquellas playas que poseen menor superficie de playa útil, mayores tasas de erosión y no poseen dunas costeras susceptibles de ser aprovechadas como reserva sedimentaria. Principalmente la mayor parte de ellas se localizan en el litoral mediterráneo, donde el aporte sedimentario es menor que en el litoral Atlántico y donde la presión antrópica es mucho más intensa. Esta intensificación antrópica (urbana y de infraestructuras costeras) ha provocado por un lado, un gran impacto sobre las dunas costeras, las cuales han desaparecido o han sido reducidas en gran medida, y por otro, una modificación en el balance sedimentario costero, induciendo un incremento en las tasas de erosión en determinados ámbitos.

La Figura 9b, muestra las zonas del litoral andaluz con menor sensibilidad a la pérdida de playas (20% de los valores más altos alcanzados por el índice). Éstas se corresponden con aquellas playas más anchas, que poseen dunas y un balance sedimentario positivo. Éstas se encuentran mayormente en el litoral atlántico, donde la aplicación de diferentes figuras de protección a determinados espacios costeros (Parque Nacional de Doñana, Parque Natural de Doñana, Paraje Natural Marismas del Odiel, Monumento Natural del Asperillo), ha favorecido un mayor grado de naturalidad, una menor presión antrópica y la preservación de la duna costera en muchos sectores. Este hecho se registra también en algunos enclaves del litoral mediterráneos, que se encuentran bajo alguna figura de protección (Parque Natural Cabo de Gata y Níjar, Paraje Natural Punta Entinas-Sabinar o Monumento Natural Dunas de Artola o Cabopino, en Marbella).

Figura 9. Representación de los mayores y menores valores de sensibilidad a la pérdida de las playas andaluzas como recurso turístico.

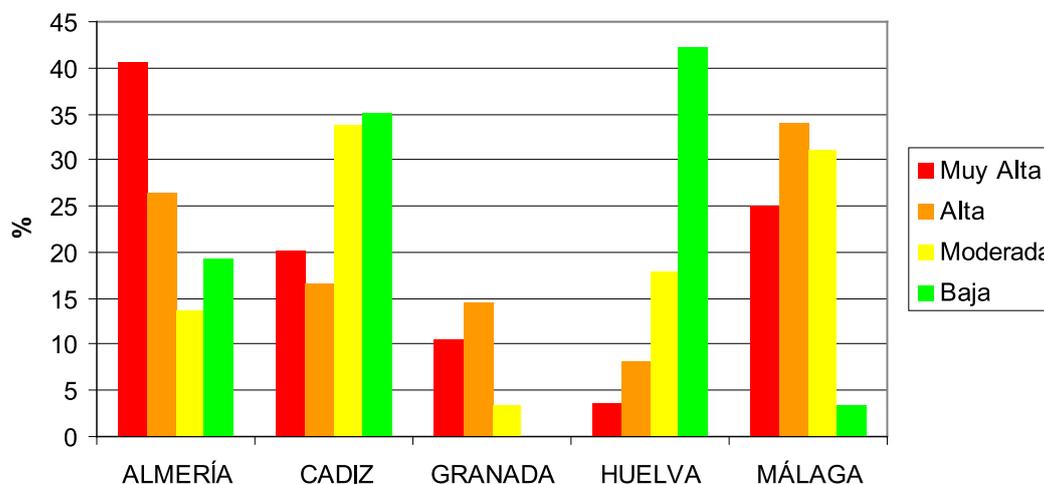


Elaboración propia.

Al ser el índice generado a partir de geodatos, la utilización de las diferentes técnicas de análisis espacial facilitadas por los SIG, permiten la expresión de este de forma estadística (véase figura 10), asociando las variables a diferentes entidades (municipios, provincias, espacios protegidos, etc.).

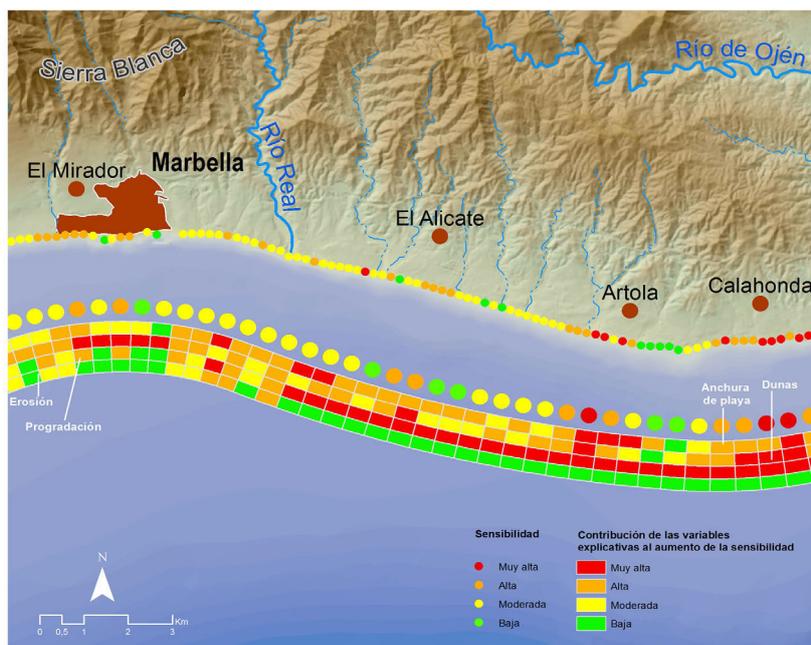
Para la representación cartográfica del índice, (véase figura 11), se ha utilizado el método de representación utilizado por el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) para el Índice de Vulnerabilidad Costera (CVI), que ha sido previamente utilizado por los autores en trabajos anteriores (Ojeda *et al.*, 2009): así, para todas las variables y el cálculo total de sensibilidad, se adopta una representación de rectángulos paralelos a la costa, que pueden ser de diferente tamaño según la escala, utilizando las relaciones de cardinalidad entre “puntos originales” - asociados a tramos de 50m. de costa- y “rectángulos de representación”. Ello se realiza mediante la asignación del valor medio a los rectángulos de la representación cartográfica.

Figura 10. Presentación estadística de los resultados agregados a nivel provincial.



Elaboración propia.

Figura 11. Representación del Indicador de Sensibilidad a la pérdida de las playas andaluzas como recurso turístico y las variables explicativas.



Elaboración propia.

6. CONCLUSIONES.

El levantamiento de una línea de costa fotointerpretada en base a tres conceptos de línea de costa diferente a escalas de detalle, en base a criterios ecológicos/fisiográficos, unido a la versatilidad del modelo de datos conceptual empleado (a pesar de su coste y el esfuerzo exigido), garantizan la disponibilidad de un elemento esencial, de gran utilidad en los procesos de planificación y gestión ambiental de la costa de Andalucía y permiten al planificador y gestor un pormenorizado conocimiento de la fisiografía de la zona costera permitiendo su uso a diferentes escalas espaciales.

Por otro lado, su incorporación en una base de datos espacial facilita todas las labores de gestión y actualización de los mismos y garantiza la fácil obtención de diferentes tipos de indicadores, desde los que se extraen directamente de la base de datos a partir de sencillas sentencias SQL espaciales (la longitud de playas, estuarios o infraestructuras para cualquier ámbito espacial), a indicadores más complejos (sensibilidad a la pérdida de playas como recurso turístico), que necesitan de un tratamiento posterior para su construcción y que resultan de gran interés para los investigadores y planificadores.

Los resultados de la aplicación de esta metodología, al ser generados a partir de una geodatabase y la utilización de las diferentes técnicas de análisis espacial que facilitan los Sistemas de Información Geográfica, pueden finalmente ser expresados tanto de forma estadística, asociándolos a diferentes entidades (municipios, provincias, espacios protegidos, etc.) como de forma cartográfica o alimentar a servidores de mapas con la construcción del servicios interoperables para su visualización o reutilización remota vía Internet.

Así, en todo el proceso el uso de las Tecnologías de la Información Geográfica, ha resultado un elemento fundamental para el desarrollo de una metodología eficiente, que permite de manera eficaz la disponibilidad de una línea de costa en Andalucía fácilmente actualizable, así como de comparables indicadores a escala detallada asociados a estas, algunos de ellos no calculados previamente para la totalidad de la costa andaluza.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se ha desarrollado dentro del proyecto correspondiente al Plan Nacional (CSO2010-15807) y del proyecto de excelencia de la Junta de Andalucía (RNM-6207): “Espacialización y difusión web datos de urbanización y fitodiversidad para la evaluación de la vulnerabilidad ante los procesos de inundación asociados a la subida del nivel del mar en Andalucía”

BIBLIOGRAFÍA

- BOAK, E. H. y TURNER, I. L. (2005): “Shoreline Definition and Detection: A Review”, en *Journal of Coastal Research*, 1, pp. 688 - 703.
- BROWN, I. (2006): *Modelling future landscape change on coastal floodplains using a rule-based GIS. Environmental Modelling Software*. Elsevier, 21 (10), pp. 1479 - 1490.
- BURKE, L., Y. KURA, K. KASSEM, C. RAVENGA, M. SPALDING, and D. MCALLISTER (2001): *Pilot Assessment of Global Ecosystems: Coastal Ecosystems*. World Resources Institute (WRI). Washington D.C., 94 p.
- DEL RÍO, L. (2007): *Riesgos de erosión costera en el litoral atlántico gaditano*. Tesis Doctoral. Universidad de Cádiz. 496 p.
- DÍAZ, P., FERNÁNDEZ, M., PRIETO, A. y OJEDA, J. (2012): “La línea de costa como base para la generación de indicadores de estado y de seguimiento ambiental: modelo de datos y conceptos de líneas de costa en el litoral de Andalucía”, en *Tecnologías de la Información Geográfica en el contexto del Cambio Global*, editado por CSIC y la Asociación de Geógrafos Españoles. Madrid, pp.35 - 44.
- DOLAN, R., HAYDEN, B.P., MAY, P., and MAY, S.K. (1980): “The reliability of shoreline change measurements from aerial photographs”, en *Shore and Beach*, 48(4), pp. 22 - 29.

- EUROPEAN COMMISSION (2004): *Coastal Erosion in Europe. Sediment and space for sustainability. Result from EUROSION Study*, editado por P. Doody, M., Ferreira, S., Lombardo, et al., Netherlands.
- FLETCHER, C.; ROONEY, J.; BARBEE, M.; LIM, S. y RICHMOND, B. M. (2003): "Mapping shoreline change using digital orthophotogrammetry on Maui, Hawaii", en *Journal of Coastal Research* SI 38, pp. 106-124.
- GREENPEACE, (2010): *Destrucción a toda costa, Informe Greenpeace sobre la situación del litoral español*. Madrid, 168 p.
- GUARIGLIA, A., BOUNAMASSA, A., LOSURDO, A., SALADINO, R., TRIVIGNO, M. L., ZACCAGNINO, A. y COLANGELO, A. (2006): "A multisource approach for coastline zapping and identification of shoreline changes", en *Annals of Geophysics*, 46, 1. pp. 295-304.
- HIMMELSTOSS, E. A. (2009): "DSAS 4.0 Installation Instructions and User Guide", en Thielert, E. R., Himmelstoss, E. A., Zichichi, J. L., and Ergul, Ayhan. 2009 *Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0 – An ArcGIS extension for calculating shoreline change*. U. S. Geological Survey Open-File Report 2008-1278.
- HOOZEMANS, F. M. J., MARCHAND, M., and PENNEKAMP H.A. (1993): "A global vulnerability analysis, vulnerability assessments for population, coastal wetlands and rice production on a global scale, 2nd edn", en *Delft Hydraulics and Rijkswaterstaat*, Delft.
- HUGHES, M., MCDOWELL, P.F. and MARCUS, A. (2006): "Accuracy assessment of georectified aerial photographs: Implications for measuring lateral channel movement in a GIS" en *Geomorphology* 74, pp.1-16
- JOHANNESSEN, J. y CHASE, M. (2003): "Coastal Processes, Historic Shoreline Change, and Sediment Distribution of Portage Bay, Lummi Indian Reservation, WA", en *Puget sound reserarch conference*, pp. 1-19.
- MANGOR, K. (2001): *Shoreline Management Guidelines*. DHI Water & Environment, 232 p.
- STIVE, M., AARNINKOV, S., HAMM L., LARSON, M., WIJNBERG, R., NICHOLLS, R. and CAPOBIANCO, M. (2002): "Variability of shore and shoreline evolution", en *Coastal Engineering* 47, pp. 211-235.
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE (2007): *Estrategia de Sostenibilidad de la costa*. Madrid, 23 p.
- OJEDA, J.:
- (2000): "Métodos para el cálculo de la erosión costera. Revisión, tendencias y propuesta" en *Boletín de la AGE* nº 30, pp. 103-118.
 - (2003): "Las costas andaluzas", en *Geografía de Andalucía*. (Coord. Antonio López Ontiveros). Barcelona, Ariel, pp. 118-135.
 - (2005a): "El mapa fisiográfico del litoral de Andalucía", en *Atlas de Andalucía, Tomo II: Cartografía Ambiental*. Consejería de Obras Públicas y Transporte y Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. pp. 241-259 (5 hojas a escala 1:200.000).
 - (2005b): *Desarrollo del subsistema de información del litoral de Andalucía y generación de indicadores de seguimiento del medioambiente costero para el Centro Temático Europeo del Territorio*. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.
- OJEDA, J., BORGNIET, L., PÉREZ, A. y LODER, J. (2002): "Monitoring morphological changes along the coast of Huelva (SW Spain using soft-copy photogrammetry and GIS)", en *Journal of Coastal Conservation*, 8.1, pp. 69-76.
- OJEDA, J., ÁLVAREZ, J. I., MARTÍN, D. y FRAILE, P. (2009): "El uso de las TIG para el cálculo del índice de vulnerabilidad costera (CVI) ante una potencial subida del nivel del mar en la costa andaluza (España)", en *GeoFocus*, nº 9, pp. 83-100.
- OJEDA J., FERNÁNDEZ, M., PRIETO, A., PÉREZ, J. P. y VALLEJO, I. (2010): "Levantamiento de líneas de costa a escalas de detalle para el litoral de Andalucía: criterios, modelo de datos y explotación", en *Tecnologías de la Información Geográfica: La Información Geográfica al servicio de los ciudadanos*, editado por J. Ojeda, M.F. Pita e I. Vallejo. Sevilla, pp. 324-336.

- PAJAK, M.J. y LEATHERMAN, S.P. (2002): "The high water line as shoreline indicator", en *Journal of Coastal Research*, 18(2), pp. 329-337.
- PIAN, S. and MENIER, D. (2011): "The use of a geodatabase to carry out a multivariate analysis of coastline variations at various time and space scales", en *Journal of Coastal Research*, 64, pp. 1722-1723.
- PRIETO, A. (2009): *Propuesta metodológica para el cálculo de tasas de erosión aplicada a los deltas mediterráneos andaluces (1956-2009)*. Departamento de Geografía Física y Análisis Geográfico Regional. Universidad de Sevilla. 109 pp. Inédito.
- RODRÍGUEZ, I., MONTOYA, I., SÁNCHEZ, M.J. y CARREÑO, F. (2009): "Geographical Information Systems Applied to Integrated Coastal Management", en *Geomorphology*, 109, pp. 100-105.
- THIELER, E. R. and DANFORTH, W. W. (1994): "Historical shoreline mapping (I): improving techniques and reducing positioning errors", en *Journal of Coastal Research*, 10, n.º. 3, pp. 549-563.
- VAFEIDIS, A. T., NICHOLLS, R. J., MCFADDEN, L., TOL, R. S. J., HINKEL, J., SPENCER, T., GRASHOFF, P. S., BOOT, G. and KLEIN, R. J. T. (2008): "A new global coastal database for impact and vulnerability analysis to sea-level rise", en *Journal of Coastal Research*, Vol.24 (4), pp. 917-924.
- VICIANA MARTINEZ-LAGE, A. (1998): *La erosión antrópica en las acumulaciones sedimentarias del litoral almeriense*. Tesis Doctoral. Universidad de Granada.
- ZAZO, C. y GOY, J. L. (2000): "Cambios eustáticos y climáticos durante el Cuaternario. Una síntesis sobre su registro en los litorales del sur y sureste de la Península, Islas Canarias y Baleares", en *Geomorfología Litoral. Procesos activos* (Ed. J. R. de Andres y E.J. Gracia). ITGME. pp. 187-206.

PROPUESTA INICIAL DE UNA RED AMPLIADA DE ÁREAS PROTEGIDAS EN ESPAÑA PENINSULAR BAJO EL ENFOQUE DE SU CONEXIÓN CON LA MATRIZ TERRITORIAL¹

Javier Martínez-Vega² y Pilar Echavarría Daspel³

Instituto de Economía, Geografía y Demografía
Centro de Ciencias Humanas y Sociales (CSIC)

RESUMEN

Se propone la oportunidad de ampliar la actual red de Áreas Protegidas de España peninsular bajo una estrategia global de conservación de la naturaleza que vaya más allá de la preservación de los espacios que ya disponen de una figura de protección. Mediante el empleo de Tecnologías de Información Geográfica se han diseñado zonas de amortiguación y corredores ecológicos para que funcionen como conectores de las áreas núcleo que son los actuales Espacios Naturales Protegidos. Esta red ecológica ampliada ocupa 345.733 km², equivalente al 70% de la superficie total del área de estudio. A modo de validación, se ha combinado esta cobertura de Áreas Protegidas con mapas de rareza, representatividad y diversidad de los ecosistemas forestales. De acuerdo a estos indicadores de Ecología del Paisaje, el 82,25% de los ecosistemas forestales más raros de España peninsular se encuentran dentro de la red ampliada de Áreas Protegidas propuesta, al igual que el 82,88% de los montes de mayor representatividad y el 89,21% de las áreas forestales más diversas.

Palabras clave: Redes ecológicas, Áreas Protegidas, zonas de amortiguación, corredores ecológicos, conectividad, TIG, España peninsular.

ABSTRACT

A first proposal of an enlarged network of protected areas in the Iberian Peninsula (Spain), on the basis of their surrounding zones

It offers the opportunity to expand the existing network of protected areas of mainland Spain under a global conservation strategy of nature that goes far beyond of the preservation of spaces that already have a protection figure. Through the use of Geographic Information Technologies are designed buffer zones and ecological corridors to function as connectors core areas are the current Protected Natural Areas. This extended ecological network occupies 345,733 km², equivalent to the 70% of the total area of the study area. By way of validation, has combined this coverage maps Protected Areas scarcity, representativeness and diversity of forest ecosystems. According to these indicators of Landscape Ecology, 82.25% of scarce forest ecosystems mainland Spain are within the expanded network of protected areas proposed, like the 82.88% of the most representative mountains and 89.21% of forest areas more diverse.

Key words: Ecological networks, protected areas, buffer zones, ecological corridors, connectivity, TIG, mainland Spain.

¹ Los resultados de este trabajo se encuentran vinculados a los proyectos FIREGLOBE (CGL2008-01083), financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación, y SUSTAINMED (FP7-KBBE-2009-3), financiado por el 7º Programa Marco de la UE.

² javier.martinez@cchs.csic.es

³ pilar.echavarría@cchs.csic.es

I. INTRODUCCIÓN

La conservación de la naturaleza, la gestión de los recursos naturales y la pérdida de biodiversidad son algunas de las principales preocupaciones ambientales señaladas en la Estrategia Comunitaria de Biodiversidad, en la Estrategia Española para la Conservación y el Uso Sostenible de la Diversidad Biológica de 1998 (Ministerio de Medio Ambiente, 1999), en la Estrategia Española de Desarrollo Sostenible (Ministerio de Presidencia, 2007) y en los informes anuales del Observatorio de la Sostenibilidad en España (OSE, 2012). Las estrategias comunitaria y española recomiendan la necesidad de conservar más allá de los espacios protegidos e indican la importancia de los corredores ecológicos y de otras zonas no protegidas con alto valor ecológico y biodiversidad.

La Ley de Patrimonio Natural y de la Biodiversidad (Ley 42/2007) supone un cambio en la política española sobre diversidad biológica, al incorporar nuevos mecanismos para frenar las amenazas, limitando, especialmente, la expansión urbanística que pudiera afectar al medio natural y obligando a elaborar y respetar los planes de ordenación de recursos naturales. A pesar de este empeño, no siempre se han conseguido los objetivos perseguidos en el conjunto de la matriz territorial, ni siquiera en los espacios protegidos. La Estrategia Española de Desarrollo Sostenible reconoce la importancia de implantar acciones destinadas a preservar y restaurar la biodiversidad.

Otros instrumentos legales y de planificación sectorial se preocupan por incorporar la cuestión de la conservación de la naturaleza y de la biodiversidad en sus disposiciones de ámbito estatal o autonómico. Se repasan, a continuación, algunos que se consideran relevantes.

La Ley de Ordenación Agraria y Desarrollo Rural, que estudió y debatió el Gobierno de España en 2002 (Sancho *et al.*, 2002), contemplaba una nueva realidad rural que dejaba atrás su primacía productiva para abrirse a una plurifuncionalidad y diversidad económica en la que las Áreas Protegidas, los servicios ambientales proporcionados por éstas y el turismo rural vinculado a ellas, jugaban un papel fundamental en el Desarrollo Rural.

El Programa de Desarrollo Rural Sostenible, contemplado en la Ley 45/2007, de 13 de diciembre, prevé, entre las múltiples medidas para el desarrollo rural sostenible, aquellas destinadas a la conservación de la naturaleza y a la gestión de los recursos naturales con el fin de preservar y mejorar la calidad del medio ambiente rural. Las áreas de la Red Natura 2000, los espacios protegidos, los hábitats de mayor interés y los municipios de escasa densidad demográfica y elevada significación de la actividad agraria son consideradas zonas rurales prioritarias a los efectos de la aplicación de este programa.

También, las leyes de Ordenación del Territorio tratan las cuestiones ambientales y la conservación de la naturaleza. Todas las leyes autonómicas, en esta materia, tienen una serie de rasgos comunes, entre los que es preciso destacar la necesidad de delimitar áreas de planificación ambiental o de especial protección por valores naturales y paisajísticos (EUROPARC-ESPAÑA, 2005).

De cualquier modo, la riqueza y singularidad de hábitats en España coloca a nuestro país en puestos relevantes, a nivel europeo y mundial. Internacionalmente, es preciso subrayar la importancia del Convenio de Naciones Unidas sobre Diversidad Biológica, mientras que, en Europa, es conocida la relevancia de las Directivas Aves (79/409/CEE) y Hábitats (92/43/CEE). La segunda recomienda, además, tener en cuenta los elementos del paisaje que dan coherencia a la Red Natura 2000, facilitando la conectividad entre las zonas núcleo. El Real Decreto 1997/1995, de 7 de diciembre, que traspone esta directiva al ordenamiento jurídico español, señala a las vías pecuarias como uno de los posibles conectores de los espacios protegidos.

Como ya es sabido, el diseño de redes ecológicas de ámbito internacional, nacional o autonómico es trascendental para preservar la diversidad biológica y conservar los hábitats y especies amenazados. En nuestro ámbito geográfico de interés, ése es el propósito de la Red Natura 2000 y de la red de Espacios Naturales Protegidos del estado español (de Lucio *et al.*, 2008).

Así pues, es frecuentemente reconocida la insuficiencia de las redes ecológicas para alcanzar los objetivos de conservación de la diversidad biológica y la importancia de complementarlas, incorporando nuevas áreas de interés natural e interconectando las áreas-núcleo entre sí mediante corredores biológicos que favorezcan el movimiento, dispersión e intercambio de las especies protegidas y de sus poblaciones.

Éste es uno de los principales retos señalados en el Plan de Acción para los Espacios Naturales Protegidos del estado español: “desarrollar sistemas de áreas protegidas que integren todos los elementos necesarios para garantizar la diversidad biológica y paisajística del territorio (áreas núcleo, zonas de amortiguación, corredores)” (EUROPARC-ESPAÑA, 2002, p. 13).

Múltiples son los trabajos que inciden en esta línea. Uno de los principales es el publicado por Bennett y Mulongoy (2006). En él, se repasan los principales conceptos y se hace una revisión de experiencias con redes ecológicas, corredores y zonas de protección. Esta revisión responde a la necesidad identificada por el Grupo de Trabajo en Áreas Protegidas, en relación con la Decisión VII/28, adoptada en la Seventh Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity, celebrada en Kuala Lumpur, en 2004.

Investigaciones previas sobre redes y corredores ecológicos han centrado su atención sobre una gran variedad de espacios geográficos (Walker y Craighead, 1997; Laurance y Laurance, 1999; Silori y Mishra, 2001; Woess *et al.*, 2002; Jordán *et al.*, 2003; Tubelis *et al.*, 2004; Wissmar, 2004; Brown y Harris, 2005; Bullock y Samways, 2005; Weber *et al.*, 2006; Graves *et al.*, 2007; Nandy *et al.*, 2007, Roe y Georges, 2007; Vogt *et al.*, 2007; Kaligarić *et al.*, 2008; Parker *et al.*, 2008, Roy y Blois, 2008).

Destacan algunas investigaciones focalizadas en el estudio de corredores riparios y fluviales (Wissmar, 2004; Kaligarić *et al.*, 2008; Tormos *et al.*, 2011; Clerici y Vogt, 2013), el examen de la permeabilidad de las infraestructuras viarias y su influencia sobre la pérdida de conectividad de los hábitats de la Red Natura 2000 (Martín, *et al.*, 2008; Gurrutxaga *et al.*, 2011), en la conectividad del paisaje para la vida silvestre en el proceso de planificación de nuevas carreteras (Woess *et al.*, 2002), en el análisis del grado de cobertura y protección de los bosques a nivel regional (Gurrutxaga, 2008), en la conexión de hábitats en paisajes humanizados y urbanizados mediante corredores ecológicos (Parker *et al.*, 2008; Gurrutxaga *et al.*, 2010), en la identificación y priorización de áreas de mayor importancia ecológica (Weber *et al.*, 2006), en la cooperación transfronteriza entre países involucrados en la conservación de una misma red ecológica internacional (Leibenath *et al.*, 2010) y en el papel de los actores y tomadores de decisiones involucrados (Suskevics *et al.*, 2013).

Los métodos más empleados para alcanzar estos propósitos han sido los análisis cluster (Arendt, 2004; Graves *et al.*, 2007), las técnicas de regresión múltiple (Laurance y Laurance, 1999; Roy y Blois, 2008), los modelos lineales mixtos generalizados (Tubelis *et al.*, 2004), modelos de simulación espacialmente explícita (Jepsen *et al.*, 2005), modelos conceptuales de conectividad ecológica (Parker *et al.*, 2008), técnicas y modelos de ayuda a la decisión (Hilty *et al.*, 2006), análisis GAP (Walker y Craighead, 1997; Gurrutxaga, 2008), dimensión fractal (Kaligarić *et al.*, 2008), encuestas a propietarios (Brown y Harris, 2005), la cartografía automática de corredores a partir del procesado morfológico de imágenes de satélite (Vogt *et al.*, 2007), el análisis multitemporal de la matriz de cambios con imágenes de satélite mediante análisis visual (Nandy *et al.*, 2007), con imágenes de alta resolución espacial (Tormos *et al.*, 2011), técnicas de segmentación y análisis multiescalar (Clerici y Vogt, 2013) y un enfoque o método ecosistémico (Bennett y Mulongoy, 2006), articulado como un esquema para la acción y para una toma de decisiones de carácter holístico.

En España, se han presentado diversas experiencias en esta línea, en un taller sobre conectividad ecológica (EUROPARC-ESPAÑA, 2008). Una de ellas está relacionada con la coherencia global de la Red Natura 2000 en España. Otra tiene por objetivo diseñar una red de corredores ecológicos que asegure la coherencia de la Red Natura 2000 en la Región de Murcia. La última estudia la conectividad ecológica en la provincia de Barcelona desde una concepción holística. Como fruto del intercambio de experiencias se ha propuesto la creación de un grupo de trabajo sobre conectividad ecológica y la recopilación de proyectos y experiencias sobre este tema.

Por último, recientes trabajos e iniciativas inciden en la necesidad de realizar una evaluación de la eficacia de las Áreas Protegidas. No basta con declarar un conjunto de Áreas Protegidas sino que es necesario conservar, planificar y gestionar, adecuadamente, sus recursos naturales, involucrar a la población residente y visitante en la custodia de sus territorios y recursos naturales y disponer de los recursos humanos y financieros necesarios para asegurar una gestión adecuada. Recientemente, CSIC y la Fundación BBVA ha organizado el I Taller Nacional sobre Evaluación de la Eficacia de las Áreas Protegidas, dando a conocer las publicaciones de Rodríguez-Rodríguez y Martínez-Vega (2012, 2013a, 2013b)

y debatiendo sobre sus contenidos. En este taller han participado gestores nacionales y autonómicos, responsables de Áreas Protegidas, así como representantes de organizaciones especializadas en este tema, de asociaciones ecologistas e investigadores. Se discutió acerca de la pertinencia de un sistema de evaluación estandarizado para España y de los indicadores que formarían parte de este sistema de evaluación. Entre otros muchos, destaca ahora la conveniencia de incluir una serie de indicadores que midan la fragmentación, el aislamiento y la accesibilidad de las Áreas Protegidas, considerados éstos como indicadores de presión y amenazas que restarían puntuación al índice global de eficacia. En todos los casos, un análisis espacial de la matriz territorial circundante a las Áreas Protegidas es fundamental.

2. OBJETIVO

El objetivo principal de este trabajo es proponer una metodología operativa, apoyada en herramientas SIG, para diseñar una red de espacios de interés natural, en el territorio peninsular español, interconectados geográficamente entre sí y complementarios de los que ya se encuentran protegidos por las redes autonómica, estatal y europea. El fin de esta red ampliada es extender la conservación de la naturaleza, mediante la incorporación de dos figuras adicionales a las zonas ya reguladas. Por un lado, las zonas de amortiguación que rodean y protegen a los espacios naturales de mayor valor, absorbiendo los impactos ambientales que, eventualmente, pudieran afectarlos. Por otro, añadiendo los corredores biológicos, de tipo fluvial, que facilitan la conectividad entre los espacios de mayor valor. Se pretende que esta red ampliada de Áreas Protegidas del ámbito peninsular español, inserta en su matriz territorial, sea la base que facilite, posteriormente, la regulación, ordenación y planificación de los usos del suelo bajo un enfoque dinámico de mayores restricciones en las zonas núcleo hasta menores en las zonas exteriores de influencia. En otras palabras, se persigue su sostenibilidad. Los eventuales Planes de Ordenación de Recursos Naturales (PORN) y los Planes Rectores de Uso y Gestión (PRUG) de estas nuevas figuras complementarias de protección podrían ser tenidos en cuenta en la simulación de futuros escenarios verdes de estos territorios mediante modeladores basados en técnicas de regresión logística (CLUE) y de redes neuronales (LCM-IDRISI) (Gallardo y Martínez-Vega, 2012).

El interés de las poblaciones locales por sus Áreas Protegidas justifica, de alguna forma, este objetivo a pesar del contexto de crisis económica en el que estamos envueltos y de las limitaciones de actividades que imponen la planificación y gestión de estas zonas (Rodríguez-Rodríguez, 2012). Cada día existe mejor disposición al pago por el uso y visita de estas áreas y ellas proporcionan mayores servicios ambientales que son más apreciados por las poblaciones residentes y visitantes.

3. ÁREA DE ESTUDIO

Como se ha comentado anteriormente, este trabajo exploratorio deriva de la información generada en el marco del proyecto FIREGLOBE (Chuvienco *et al.*, 2012; Martínez-Vega y Chuvienco, 2012). Aunque este proyecto ha centrado su atención en dos escalas -global y nacional- en este trabajo nos centraremos en la escala nacional, aunque el proyecto se ha focalizado, exclusivamente, en el territorio de España peninsular. Así pues, se han dejado fuera las tres provincias de los archipiélagos balear y canario.

En conjunto, España peninsular abarca un territorio compuesto por 47 provincias que ocupan una superficie total de 493.715 km², poblada por 43.862.718 hab., según el último censo de 2012, con una densidad promedio ligeramente inferior a 89 hab/km². Según los datos de CORINE Land Cover 2006, las áreas forestales ocupan una superficie de 254.058 km² que equivale al 51,5% de la superficie total. En el área de estudio hay presencia de espacios forestales bien conservados, de alto valor ecológico y paisajístico, que contienen endemismos y zonas con altos índices de rareza y singularidad en el conjunto de la UE.

Asimismo, contiene numerosas Áreas Protegidas, bajo distintas figuras de protección reguladas por distintos mecanismos e integradas en distintas redes de protección. Según los datos de EUROPARC-España (2012), en España peninsular el 12,4% de su superficie terrestre se encuentra protegida, lo que equivale a 6.101.048 ha. Adicionalmente, si consideramos los espacios terrestres incluidos en Red Natura 2000, hay que reseñar que España es el país de la UE que más superficie terrestre

aporta a esta red ecológica continental. Tan sólo el territorio de España peninsular incorpora un total de 13.650.676 ha, lo que supone el 27,7% de la superficie terrestre de la red. En este territorio están representadas 3 de las 9 regiones biogeográficas de Europa. No obstante, conviene considerar que existe solapamiento geográfico entre las figuras de protección.

También hay abundancia de otras áreas de interés natural que, sin pertenecer ahora a ninguna red de espacios protegidos, pueden complementar la disponibilidad de recursos naturales, susceptibles de ser regulados o protegidos en un futuro.

Sin embargo, las principales amenazas para su conservación son la elevada presión demográfica, recreativa y urbanística de algunos ecosistemas naturales, especialmente los más próximos a las grandes urbes. Los ecosistemas forestales se encuentran amenazados por el inicio de incendios forestales como consecuencia de las variadas negligencias y por la rápida propagación de los incendios forestales debido a las características del territorio, de las condiciones físicas y de una insuficiente gestión forestal (selvicultura preventiva, limpieza de las franjas de seguridad, etc.). Frecuentemente, los incendios afectan a lugares de elevado valor ecológico y a espacios de la Red Natura 2000.

Por otro lado, las áreas protegidas se ven amenazadas por la fragmentación de las numerosas teselas de la matriz territorial en las que se encuentran insertas y por su aislamiento y pérdida de conectividad con otras áreas protegidas vecinas como consecuencia de la construcción de grandes infraestructuras viarias (autopistas, autovías, infraestructuras ferroviarias de Alta Velocidad), aeroportuarias y portuarias. Por otra parte, en las áreas forestales se encuentran montes que han perdido su funcionalidad tradicional y se encuentran abandonados, sin ser gestionados adecuadamente. Por último, puede decirse que existe ausencia de una planificación del territorio no urbano y de la ordenación de los recursos forestales. En diversos lugares se constata la pérdida de suelo por los usos inadecuados en zonas sensibles donde el riesgo de erosión es moderado o elevado.

4. MATERIAL Y MÉTODOS

Los datos utilizados como fuentes de información de este trabajo han sido diversos. Con objeto de localizar lo que llamaremos las áreas núcleo se ha compilado la siguiente información cartográfica procedente, la mayor parte de ella, del Banco de Datos de la Biodiversidad del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente que, a su vez, recoge y coordina información geográfica producida o suministrada por las Comunidades Autónomas, universidades y por organizaciones de conservación de la naturaleza:

- Cobertura de Espacios Naturales Protegidos que incluye diversas figuras de protección: Parques Nacionales, Parques Naturales, Otros Parques (Regionales, Rurales, etc.), Reservas Naturales, Otras Reservas, Paisajes Protegidos, Parajes, Monumentos Naturales, Biotopos Protegidos y Otras Figuras).
- Espacios de la Red Natura 2000: Zonas de Especial Protección para las Aves y Lugares de Importancia Comunitaria.
- Áreas Importantes para las Aves (IBAS), designadas por la Sociedad Española de Ornitología.
- Reservas de la Biosfera del Programa MAB de la UNESCO.
- Humedales de importancia internacional inscritos en la lista del Convenio RAMSAR.
- Zonas Especialmente Protegidas de Importancia para el mar Mediterráneo (ZEPIM).

Dada la gran variedad de figuras de protección existentes y con el objetivo de poder comparar los resultados con los de otras zonas geográficas del mundo, se consideró pertinente realizar una armonización de las áreas protegidas peninsulares para equipararlas con las categorías oficiales de la Unión Internacional de Conservación de la Naturaleza (tabla 1).

Tabla 1. Equivalencias entre las figuras regionales, nacionales e internacionales de protección de las Áreas Protegidas.

| Categorías a nivel de Comunidades Autónomas | Grupos de Categorías para España (incluyendo categorías internacionales) | Categoría UICN |
|--|---|--|
| Reserva Natural, Reserva Natural Concertada, Reserva Natural Dirigida, Reserva Natural Especial, Reserva Natural Integral, Reserva Natural Parcial, Reserva, Reserva Integral, Reserva Ley de Protección Propia, Sitio de Interés Científico, Sitio Natural de Interés Nacional | Reserva Natural | I. Strict Natural Reserve /Wild Natural Area |
| Parque Nacional | Parque Nacional | II. National Park |
| Monumento Natural, Monumento Natural de Interés Nacional, Árbol Singular, Enclave Natural, Geoparque, Área Natural Singular | Monumento Natural, Geoparque | III. Natural Monument |
| Reserva Natural de Fauna Salvaje, Reserva de Fauna, Reserva Fluvial, Refugio de Fauna, Reserva Biogenética, Régimen de Protección Preventiva, Biotopo Protegido, Corredor Ecológico y de Biodiversidad, Humedal Protegido, Humedal de Importancia Internacional (Ramsar), microrreserva. | Reserva Natural, Reserva Biogenética, Humedal de Importancia internacional (Ramsar) | IV. Areas of Habitats and Species Management |
| Paisaje Protegido, Paraje Pintoresco, Paraje Natural Municipal, Paraje Natural, Paraje Natural de Interés Nacional, Parque Periurbano, Parque Periurbano de Conservación y Ocio, Área Natural Recreativa | Paisaje Protegido | V. Protected Land or Sea Landscape |
| Parque Natural, Parque Regional, Parque Rural, Plan Especial de Protección, Lugar de Interés Comunitario, Zona de Especial Protección para las Aves, Zona Especial de Conservación, Zona de Especial Conservación de Importancia Comunitaria, Zona de Especial Protección de los Valores Naturales, Zona de Interés Regional, Zona de la Red Ecológica Europea Natura 2000, Zona de Especial Conservación, Plan de Espacios de Interés Natural de Cataluña (PEIN), Zona Especialmente Protegida de Importancia para el Mediterráneo (ZEPIM), Espacio Natural Protegido | Parque Natural, Reserva de la Biosfera, Espacio Protegido Red Natura 2000, Zona Especialmente Protegida de Importancia para el Mediterráneo (ZEPIM) | VI. Protected area with managed resources. |

Fuente: EUROPARC-España, 2005b.

De la planimetría de la base cartográfica digital, EUROPA ESRI, actualizada en 2008, que forma parte de la colección de datos llamada ESRI Data & Maps, se han extraído los ríos permanentes y láminas de agua con objeto de poder generar los corredores ecológicos de tipo fluvial. Se han excluido las corrientes de agua artificiales como los canales y otras infraestructuras de riego.

Del proyecto europeo SUSTAINMED se ha utilizado la cobertura de polígonos NUTS3, equivalentes a las provincias españolas, con objeto de calcular la superficie protegida actual, la superficie de la red ampliada de Áreas Protegidas y poder comparar así las diferencias entre ambas opciones a este nivel de detalle. Se han disuelto las fronteras interiores, conservando el perímetro exterior de las provincias litorales y de las provincias fronterizas con Portugal y Francia a modo de perímetro de España peninsular.

Se ha utilizado el mapa de CORINE-Land Cover 2006 para reclasificar las clases de usos del suelo en tres grandes dominios: forestal, agrícola y urbano.

Asimismo, se han utilizado los mapas de rareza, representatividad y diversidad del proyecto FIREGLOBE (Martínez Vega *et al.*, 2012), con objeto de conocer qué proporción de los territorios de mayor valor ecológico están contenidos en la red ampliada de Áreas Protegidas propuesta en este trabajo.

La metodología se basa en el enfoque aportado por Bennett y Mulongoy (2006), en el contexto de la revisión de experiencias con redes ecológicas, corredores y zonas de amortiguación con objeto de aportar ideas para integrar las Áreas Protegidas en redes más amplias que mantengan la estructura y funcionalidad ecológica y las relaciones con Áreas Protegidas vecinas.

Se han utilizado las funciones básicas de análisis espacial, en un SIG. Mediante la herramienta de diseño de buffers, se ha dibujado un perímetro de protección de 5.000 m. alrededor de los Espacios Naturales Protegidos y de los espacios de la Red Natura 2000 terrestres, a modo de zonas de amortiguación. No se

han considerado las áreas protegidas marinas. Asimismo, alrededor de los cursos de agua permanentes y de las láminas de agua se han señalado corredores fluviales. En función de su contexto geográfico, se les ha dado un tratamiento desigual. Cuando los cursos o láminas de agua atraviesan zonas de vegetación silvestre y seminatural o cuando estas zonas se encuentran a menos de 10 m. de distancia de aquellos, el corredor fluvial tiene un ancho de 750 m, a cada lado de la entidad hidrográfica. Sin embargo, cuando las aguas atraviesan zonas de cultivos, estos corredores biológicos se han estrechado hasta 150 m., a cada lado. Los buffers de las zonas de amortiguación y de los corredores ecológicos terrestres han sido cortados con el perímetro de España peninsular, excluyendo las zonas de influencia incluidas en espacios marinos.

Como después se verá en los resultados, mediante el diseño de las zonas de amortiguación y de los corredores ecológicos, las áreas núcleo quedan conectadas todas entre sí, evitando su aislamiento y reduciendo la fragmentación de la matriz territorial que queda entre las áreas núcleo.

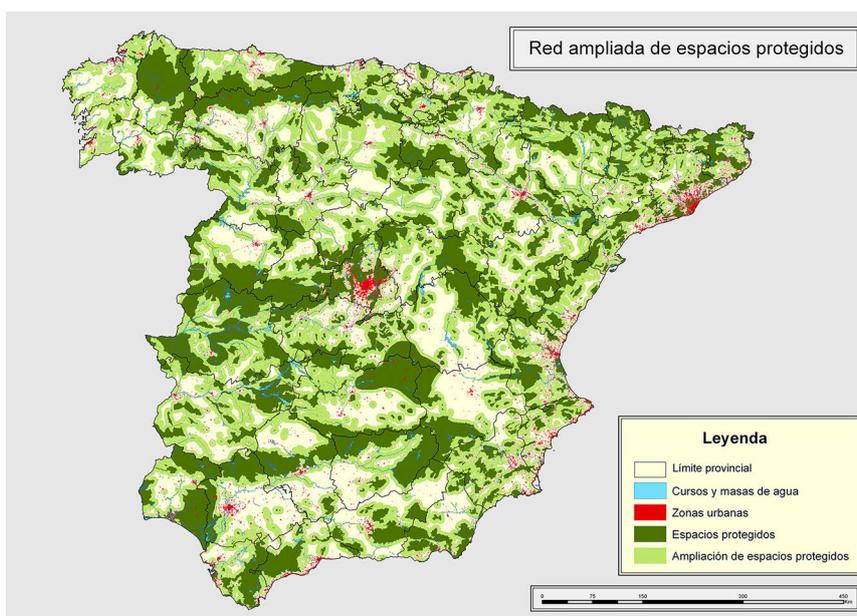
Por último, alrededor de las zonas urbanas se ha dibujado un buffer de 1.000 m., con objeto de excluir, de esta propuesta de red ampliada de Áreas Protegidas, estas zonas periurbanas en proceso de cambio, que reciben mayores influencias y presiones antrópicas y que fragmentan las Áreas Protegidas, dificultando la conectividad entre unas zonas núcleo y otras. También han sido eliminados los buffer de las zonas urbanas, localizados fuera del perímetro administrativo de España peninsular.

5. RESULTADOS

La red ampliada de Áreas Protegidas propuesta, compuesta por los Espacios Naturales Protegidos y por los sitios de la Red Natura 2000, por sus zonas de amortiguación y por los corredores fluviales, ocupa una superficie de 345.733 km², lo que significa un 70% del territorio peninsular español.

En la figura 1 se observa la distribución espacial del conjunto de la red ampliada propuesta sobre el territorio peninsular español. En ella, se pueden diferenciar claramente los espacios protegidos actuales o áreas núcleo (en verde oscuro), las zonas de amortiguación que rodean a las primeras y los corredores ecológicos (en verde claro)⁴ que conectan las áreas núcleo y las zonas de amortiguación entre sí, siguiendo los cuerpos de agua y los cursos fluviales naturales permanentes, evitando, en todo momento, las actuales áreas urbanas y sus zonas de influencia inmediata.

Figura 1. Mapa de la red ampliada propuesta de Áreas Protegidas en España peninsular.



Elaboración propia

⁴ En esta figura no se han diferenciado las zonas de amortiguación y los corredores ecológicos para no dificultar su lectura cartográfica.

Como se puede apreciar, existe una conectividad aceptable entre las Áreas Protegidas actuales -áreas núcleo- situadas en áreas de montaña, especialmente siguiendo la cornisa cantábrica y Pirineos. Al sur de la depresión del Ebro, existe cierto encadenamiento entre los Picos de Urbión, la sierra de la Demanda y la Ibérica. Igualmente, las áreas núcleo ocupan buena parte del Sistema Central y de la Serranía de Cuenca, de Sierra Morena y Doñana y de Sierra Nevada hasta la Serranía de Ronda. En la Comunidad de Madrid y en Cataluña, las áreas metropolitanas de Madrid y Barcelona fragmentan la matriz territorial y son las responsables de la interrupción geográfica de los espacios protegidos.

Por el contrario, en las dos mesetas y en las dos grandes depresiones -Ebro y Guadalquivir- existe cierta desconexión entre unas áreas núcleo y sus vecinas como consecuencia de la inmensidad geográfica de estas grandes unidades fisiográficas. En estos casos, es muy evidente, y elocuente gráficamente, el papel de conectores que juegan las áreas de amortiguación y los corredores ecológicos que siguen las riberas de los principales ríos -Duero, Tajo, Guadiana, Guadalquivir y Ebro- y de sus afluentes.

De acuerdo con Bennett y Mulongoy (2006), las zonas de amortiguación deben proteger al conjunto de las áreas núcleo de influencias externas potencialmente dañinas y deben ser consideradas áreas esencialmente de transición, caracterizadas por usos compatibles y sostenibles.

Los corredores biológicos, en el sentido de uniones funcionales entre sitios de interés ecológico, son dispositivos que mantienen un grado de coherencia entre estos ecosistemas, con objeto de paliar su fragmentación (Bennett y Mulongoy, 2006). También, se dice que son espacios que tienen, usualmente, una forma alargada y que facilitan la movilidad de los organismos entre distintos hábitats que están conectados entre sí a través de estos corredores, pudiendo ser analizados a distintos niveles y escalas, desde la intercontinental hasta la local (Hilty *et al.*, 2006).

Esta propuesta ampliada supone un incremento de 187.582 km² adicionales a la red actual de Áreas Protegidas, lo que significa casi duplicar la superficie actual (tabla 2). Por otra parte la red propuesta gana en conectividad a la red actual. Tras un análisis de las 479 manchas mayores de 3 ha que forman parte de esta red ampliada, tan sólo 6 de ellas, mayores de 50.000 ha cada una, ocupan el 98,06% de la superficie total de la red, existiendo grandes y múltiples corredores que conectan unas grandes manchas con otras.

Tabla 2. Superficie de las Áreas Protegidas propuestas.

| NUTS | Provincias | Superficie geográfica (km ²) | AP actuales (km ²) | AP actuales (%) | AP ampliadas (km ²) | AP ampliadas (%) |
|-------|------------|--|--------------------------------|-----------------|---------------------------------|------------------|
| ES111 | A Coruña | 7.983 | 436 | 5,46 | 4.475 | 56,05 |
| ES112 | Lugo | 9.878 | 5.985 | 60,59 | 8.467 | 85,71 |
| ES113 | Ourense | 7.294 | 1.460 | 20,01 | 4.382 | 60,08 |
| ES114 | Pontevedra | 4.511 | 255 | 5,66 | 2.842 | 63,01 |
| ES120 | Asturias | 10.610 | 4.288 | 40,42 | 8.138 | 76,70 |
| ES130 | Cantabria | 5.317 | 1.913 | 35,98 | 4.097 | 77,07 |
| ES211 | Álava | 3.035 | 884 | 29,12 | 2.523 | 83,14 |
| ES212 | Guipúzcoa | 1.979 | 428 | 21,63 | 1.261 | 63,71 |
| ES213 | Vizcaya | 2.215 | 425 | 19,21 | 1.261 | 56,94 |
| ES220 | Navarra | 10.386 | 2.691 | 25,91 | 7.949 | 76,54 |
| ES230 | La Rioja | 5.042 | 2.581 | 51,19 | 3.981 | 78,95 |
| ES241 | Huesca | 15.647 | 5.077 | 32,45 | 12.550 | 80,20 |
| ES242 | Teruel | 14.810 | 4.358 | 29,42 | 11.149 | 75,28 |
| ES243 | Zaragoza | 17.273 | 4.320 | 25,01 | 11.988 | 69,40 |
| ES300 | Madrid | 8.023 | 3.523 | 43,91 | 3.916 | 48,82 |

| | | | | | | |
|-------|-------------|----------------|----------------|--------------|----------------|--------------|
| ES411 | Ávila | 8.049 | 4.407 | 54,75 | 6.710 | 83,37 |
| ES412 | Burgos | 14.282 | 3.211 | 22,49 | 10.265 | 71,87 |
| ES413 | León | 15.590 | 5.449 | 34,95 | 10.072 | 64,61 |
| ES414 | Palencia | 8.049 | 1.872 | 23,25 | 5.944 | 73,85 |
| ES415 | Salamanca | 12.361 | 4.387 | 35,49 | 8.064 | 65,24 |
| ES416 | Segovia | 6.918 | 1.795 | 25,94 | 4.525 | 65,41 |
| ES417 | Soria | 10.299 | 2.404 | 23,35 | 7.844 | 76,16 |
| ES418 | Valladolid | 8.109 | 1.747 | 21,54 | 5.416 | 66,80 |
| ES419 | Zamora | 10.569 | 3.238 | 30,63 | 8.134 | 76,96 |
| ES421 | Albacete | 14.920 | 4.744 | 31,80 | 8.824 | 59,14 |
| ES422 | Ciudad Real | 19.801 | 7.301 | 36,87 | 14.674 | 74,11 |
| ES423 | Cuenca | 17.130 | 4.273 | 24,94 | 9.964 | 58,17 |
| ES424 | Guadalajara | 12.203 | 4.419 | 36,21 | 9.396 | 77,00 |
| ES425 | Toledo | 15.363 | 5.080 | 33,07 | 11.195 | 72,87 |
| ES431 | Badajoz | 21.791 | 5.683 | 26,08 | 15.904 | 72,98 |
| ES432 | Cáceres | 19.889 | 10.125 | 50,91 | 17.748 | 89,24 |
| ES511 | Barcelona | 7.755 | 1.930 | 24,88 | 3.996 | 51,52 |
| ES512 | Girona | 5.937 | 2.372 | 39,94 | 4.274 | 71,99 |
| ES513 | Lleida | 12.196 | 4.106 | 33,67 | 10.372 | 85,04 |
| ES514 | Tarragona | 6.315 | 2.200 | 34,83 | 4.693 | 74,32 |
| ES521 | Alicante | 5.819 | 1.261 | 21,67 | 3.258 | 55,99 |
| ES522 | Castellón | 6.638 | 2.340 | 35,25 | 5.333 | 80,33 |
| ES523 | Valencia | 10.808 | 3.350 | 31,00 | 7.429 | 68,73 |
| ES611 | Almería | 8.769 | 2.802 | 31,95 | 5.884 | 67,10 |
| ES612 | Cádiz | 7.443 | 2.734 | 36,73 | 5.277 | 70,90 |
| ES613 | Córdoba | 13.770 | 3.490 | 25,34 | 7.716 | 56,04 |
| ES614 | Granada | 12.639 | 3.326 | 26,32 | 7.025 | 55,58 |
| ES615 | Huelva | 10.149 | 5.381 | 53,02 | 7.503 | 73,93 |
| ES616 | Jaén | 13.487 | 5.640 | 41,82 | 9.405 | 69,74 |
| ES617 | Málaga | 7.308 | 2.497 | 34,17 | 4.911 | 67,20 |
| ES618 | Sevilla | 14.045 | 3.273 | 23,30 | 7.151 | 50,91 |
| ES620 | Murcia | 11.310 | 2.693 | 23,81 | 7.845 | 69,36 |
| | | 493.715 | 158.151 | 32,03 | 345.733 | 70,03 |

Fuente: SIG. Elaboración propia.

A nivel administrativo hay grandes diferencias entre unas provincias y otras. Los casos más extremos son Coruña y Pontevedra que multiplican por más de 10 veces la superficie protegida en esta red ampliada respecto a la existente. Ello se debe al gran número de cuerpos y corrientes de agua permanentes, a las extensas zonas forestales y a la escasa superficie urbana y agrícola. El caso contrario es Madrid. Se trata de un caso particular muy llamativo. A pesar de la extensa superficie urbana y artificial y al continuado proceso de crecimiento urbano de la región a lo largo de las últimas décadas, la Comunidad de Madrid protege, en la actualidad, casi un 44% de su superficie geográfica mediante la designación de 10 Espacios Naturales Protegidos y de un amplio número de zonas de la Red Natura 2000. En este trabajo, se propone la protección de otros 400 km², apenas un 5% más del territorio regional. Ello se debe a que se excluyen de esta propuesta las áreas urbanas y sus zonas de influencia correspondientes que, en esta región, son muy extensas.

En toda la red ampliada -áreas núcleo, zonas de amortiguación y corredores ecológicos-, los gestores del territorio deben prestar especial atención a la regulación de usos del suelo para desterrar aquellos que puedan ser considerados poco sostenibles. Para facilitar la gestión y una alerta temprana a los gestores de estos espacios, sería muy conveniente hacer un seguimiento de las tendencias y evolución de los usos del suelo (CORINE-Land Cover 1990-2000-2006 y el futuro mapa de 2012 o mapas de SIOSE) y cruzar estas coberturas con un mapa de usos potenciales o de capacidad agroforestal elaborado mediante el sistema FAO (1976) o mediante sistemas expertos como MicroLEIS (de la Rosa *et al.*, 2004, 2009). De esta manera, los expertos pueden realizar un seguimiento exhaustivo y localizar, de forma temprana, posibles incompatibilidades entre los usos del suelo y la capacidad de uso de las tierras, poniendo los medios necesarios para reconducir posibles amenazas y usos incompatibles con los objetivos de conservación.

6. APROXIMACIÓN A UNA VALIDACIÓN

A falta de una posibilidad real de validación de los resultados y de una consulta a expertos, que se realizará próximamente, se ha probado a comparar los resultados obtenidos en esta propuesta de red ampliada de Áreas Protegidas con los mapas de rareza, representatividad y diversidad, elaborados en el marco del proyecto FIREGLOBE sobre el mismo ámbito geográfico: España peninsular. El objetivo es conocer qué proporción de los usos del suelo más raros y representativos y qué porcentaje de los paisajes biogeográficos más diversos de este territorio se encuentran incluidos en esta red ampliada de Áreas Protegidas. Martínez-Vega *et al.*, (2012) calcularon estos mapas empleando estos 3 indicadores de Ecología del Paisaje (índices de rareza, representatividad y diversidad de Simpson) en el entorno del programa FRAGSTATS.

Como puede apreciarse en la tabla 3, el 82,85% de los ecosistemas forestales de España peninsular que tienen un índice de rareza superior a 0,86⁵ se encuentran dentro de la red ampliada de Áreas Protegidas propuesta.

Tabla 3. Superficie de los ecosistemas forestales de mayor rareza, representatividad y diversidad.

| | Km ² | % |
|--|-----------------|-------|
| Ecosistemas forestales de rareza alta | 121.301 | |
| Ecosistemas forestales de rareza alta en red ampliada | 99.775 | 82,25 |
| Ecosistemas forestales de representatividad alta | 72.999 | |
| Ecosistemas forestales de representatividad alta en red ampliada | 60.504 | 82,88 |
| Ecosistemas forestales de diversidad alta | 46.643 | |
| Ecosistemas forestales de diversidad alta en red ampliada | 41.608 | 89,21 |

Fuente: SIG. Elaboración propia.

En la figura 2 se aprecia la distribución espacial de los ecosistemas forestales más raros de la península española, siguiendo las principales elevaciones montañosas y algunos de los ecosistemas esteparios del interior y otros litorales.

Adicionalmente, en la red ampliada se incluyen el 82,88% de algunos ecosistemas forestales que poseen una alta representatividad en el conjunto geográfico de Europa. Uno de los ejemplos más significativos de esta elevada representatividad es, junto a los montados portugueses, la inclusión de los típicos ecosistemas agrosilvopastorales de las dehesas españolas.

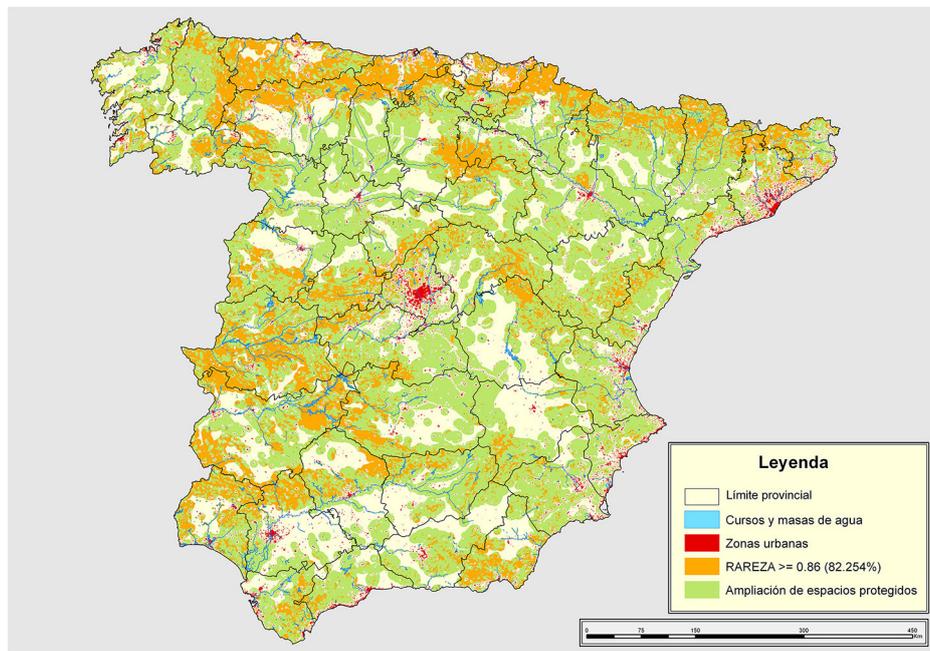
Por último, se incluyen también en esta red ampliada el 89,21% de los ecosistemas forestales que poseen mayor diversidad paisajística (figura 3). La mayor parte de ellos se localizan en los sistemas montañosos, formando paisajes más diversos y fragmentados desde el punto de vista de la ocupación del suelo.

⁵ Se ha considerado el intervalo de mayor rareza. El rango de valores del índice de rareza se mueve entre 0 = menor rareza y 1 = máxima rareza.

7. CONCLUSIONES, DISCUSIÓN Y DESARROLLOS FUTUROS

Desde el punto de vista metodológico, una vez más, se ha demostrado el potencial de las tecnologías de información geográfica (TIG) para la delimitación de corredores biológicos. También lo han demostrado trabajos anteriores (Walter y Craighead, 1997; Nandy *et al.*, 2007; Vogt *et al.*, 2007; Gurrutxaga *et al.*, 2010; Tormos *et al.*, 2011; Martínez-Vega y Echavarría, 2012; Clerici y Vogt, 2013), al igual que han comprobado la utilidad de aquéllas para la evaluación del estado de conservación de los corredores y para su seguimiento temporal. Se trata de una propuesta metodológica sencilla con objeto de estudiar, ahora, su viabilidad en términos políticos, funcionales y económicos.

Figura 2. Mapa de los ecosistemas forestales de mayor rareza incluidos en la red ampliada de Áreas Protegidas.



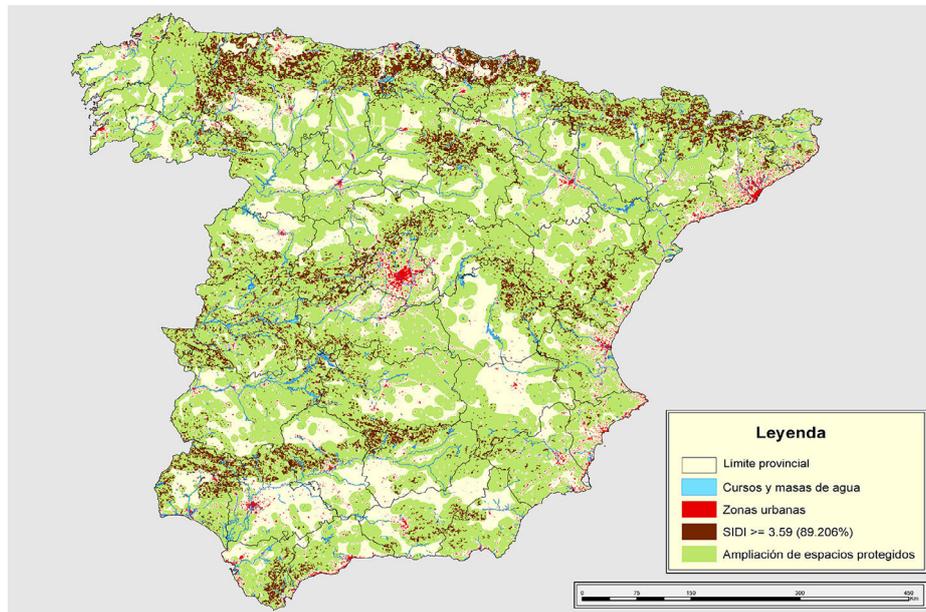
Elaboración propia.

Quedan unos cuantos retos por afrontar. Desde el punto de vista operativo, será difícil de afrontar la eventual implantación de una red de este tipo. Sería necesario que algún organismo de la administración estatal (DG de Medio Natural) coordinase a todas las Comunidades Autónomas y armonizase sus prioridades e intereses con objeto de asegurar una red estatal de Áreas Protegidas que tenga coherencia y continuidad espacial.

Por otra parte, un incremento tan grande de la red de Áreas Protegidas puede ser controvertido. Científicamente, tal vez esta red ampliada proporcione una respuesta positiva a las dudas que plantean algunos investigadores acerca de si la declaración de áreas protegidas en la Península Ibérica garantiza la conservación de los recursos naturales con el fin de diseñar mejor los futuros espacios protegidos. En este sentido, Araújo *et al.*, (2007) concluyen que, en la red actual, hay carencias. Para garantizar la conservación de determinados grupos de anfibios, reptiles, aves y flora, sería preciso incrementar el número de Áreas Protegidas, prestando especial atención a los espacios de la Red Natura 2000. La cuestión radica en saber si esta red ampliada cubriría adecuadamente estas carencias.

En el terreno operativo y financiero, esta iniciativa de red ampliada de Áreas Protegidas tiene difícil encaje en el actual Marco de Acción Prioritaria del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente y de la UE. El artículo 8 de la Directiva Hábitats establece las medidas de gestión y la disponibilidad de financiación. El reto al que se enfrentan los estados miembros es la falta de recursos económicos suficientes para gestionar los espacios actuales de la Red Natura 2000. Especialmente relevante es este asunto para España dado el gran número de espacios que aporta a la red y la gran superficie que tiene que gestionar.

Figura 3. Mapa de los ecosistemas forestales de mayor diversidad paisajística incluidos en la red ampliada de Áreas Protegidas.



Elaboración propia.

Algunas estimaciones realizadas en 2007 indicaban un coste de conservación de todos los espacios de la Red Natura 2000 cercanos a 5.000 millones de €/año. Se calcula que, en España, el coste de conservación ronda los 1.000 millones de €/año (Aymerich, 2013).

En caso de que no exista financiación suficiente, se plantea relajar la conservación de los espacios de la red Natura 2000 o, como alternativa, diseñar un plan para priorizar la conservación de los recursos naturales y espacios más importantes a través de lo que se llama Marco de Acción Prioritaria (MAP) en Red Natura 2000 con un horizonte temporal en el periodo 2014-2020. Cada estado miembro de la UE tiene que diseñar este marco, entendiéndose que se trata de un instrumento de programación estratégica plurianual. No es un plan vinculante pero sí orientador de la toma de decisiones de los gestores y de los financiadores. En el MAP español se han definido 850 medidas clave para los hábitats y especies implicados y se ha priorizado la inversión en la red.

Para paliar la insuficiencia de financiación a través de los canales habituales, además de utilizar los mecanismos financieros disponibles y los fondos LIFE+, se están buscando otros mecanismos alternativos de financiación: reforzamiento del programa LIFE-Biodiversidad, pagos por servicios ambientales, compensaciones, etc.

La Comisión de la UE ha realizado un estudio de relación costes-beneficios de la Red Natura 2000 y ha estimado que, aunque los costes de conservación de los espacios de la red se sitúan en torno a los 5.000 millones de €/año, los beneficios podrían estimarse entre 200.000 y 300.000 millones de €/año.

Bajo un escenario político-económico de este tipo, podría ser aceptable y viable una propuesta similar a la que se plantea en este trabajo: la ampliación de una red de Áreas Protegidas en España.

Otro aspecto discutido es la anchura de las zonas de amortiguación y de los corredores biológicos. Dependiendo de los recursos a proteger -flora y/o fauna y, en concreto, de las características y hábitos de las especies animales que se pretenden proteger-, existe una amplia variedad de anchuras utilizadas en trabajos previos sobre corredores biológicos: de 20 a 100m. (Bullock y Samways, 2005), de 30 a 40m. e incluso a 200m. (Laurance y Laurance, 1999), de 20 a 60m. (Tubelis et al., 2004), 375m. (Roy y Georges, 2007) y, en algunos casos, se trabaja con una anchura variable, en función de criterios definidos previamente, en torno a los 2.000m. (Gurrutxaga, 2008). Así pues, éste es un tema sobre el que es preciso seguir trabajando para estudiar los efectos biológicos y socioeconómicos de considerar distintos tamaños de amplitud de los corredores.

En posteriores trabajos se pretende calcular un índice de conectividad, a nivel de paisaje, definido por el número de uniones funcionales entre todas las manchas del mismo tipo de uso del suelo (McGarigal et al., 2002, 2007), considerando los grandes usos del suelo (artificial, agrícola, forestal, otros). A la inversa, se calculará un índice de fragmentación, a nivel de paisaje, considerando una ventana móvil de 1 Km² sobre el mapa de usos, reclasificado en las tres categorías antes mencionadas. Estos índices podrían calcularse de forma dinámica en el tiempo, considerando los mapas de CORINE-Land Cover de 2006 y 2012 y compararlos con los escenarios tendenciales y verdes que podrían construirse para algún año futuro de referencia (2025) con objeto de ayudar en el proceso de toma de decisiones.

En resumen, es preciso seguir trabajando en estas líneas para hacer una propuesta definitiva de un sistema completo de Áreas Protegidas.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Ministerio de Ciencia e Innovación y al 7º Programa Marco de la UE la financiación de los proyectos FIREGLOBE y SUSTAINMED, que han servido de base al trabajo desarrollado en este artículo.

BIBLIOGRAFÍA

- ARAÚJO, M. B., LOBO, J. M. y MORENO, J. C. (2007): "The effectiveness of Iberian Protected Areas in conserving terrestrial biodiversity" *Conservation Biology*, vol. 21, nº 6, pp. 1423-1432.
- ARENDT, R. (2004): "Linked landscapes. Creating greenway corridors through conservation subdivision design strategies in the northeastern and central United States", *Landscape and Urban Planning*, nº 68, pp. 241-269.
- AYMERICH, M. (2013): *Marco de Acción Prioritaria en Red Natura 2000*, CSIC-Fundación Biodiversidad, Madrid, Comunicación personal.
- BENNETT, G. y MULONGOY, K. J. (2006): *Review of experience with ecological networks, corridors and buffer zones*, Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal, Technical Series nº 23, 100 p.
- BOSQUE, J. y VILÀ, J. (1989): *Geografía de España*, Planeta, Madrid.
- BROWN, R. y HARRIS, G. (2005): "Comanagement of wildlife corridors: the case for citizen participation in the Algonquin to Adirondack proposal", *Journal of Environmental Management*, nº 74, pp. 97-106.
- BULLOCK, W. y SAMWAYS, M. (2005): "Conservation of flower-arthropod associations in remnant African grassland corridors in an afforested pine mosaic", *Biodiversity and Conservation*, nº 14, pp. 3093-3103.
- CHUVIECO, E., AGUADO, I., JURDAO, S., PETTINARI, M. L., YEBRA, M., SALAS, J., HANTSON, S., DE LA RIVA, J., IBARRA, P., RODRIGUES, M., ECHEVERRÍA, M., AZQUETA, D., ROMÁN, M. V., BASTARRIKA, A., MARTÍNEZ, S., RECONDO, C., ZAPICO, E. y MARTÍNEZ-VEGA, J. (2012): "Integrating geospatial information into fire risk assessment", *International Journal of Wildland Fire*, <http://www.publish.csiro.au/paper/WF12052.htm>
- CLERICI, N. y VOGT, P. (2013): "Ranking European regions as providers of structural riparian corridors for conservation and management purposes", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, nº 21, pp. 477-483.
- DE LUCIO, J. V., MÚGICA, M., GÓMEZ-LIMÓN, J., MARTÍNEZ, C., PUERTAS, J. y ATAURI, J. A. (2008): *Anuario Europarc-España del estado de los espacios naturales protegidos 2007*, Fundación Fernando González Bernáldez, Madrid, 224 p. Disponible en: http://www.redeuroparc.org/documentos_anexos/Publicaciones/Anuario/anuario2007.pdf
- EUROPARC-ESPAÑA:
- (2002): *Plan de acción para los Espacios Naturales Protegidos del estado español*, Fundación Fernando González Bernáldez, Madrid, 168 pp.
 - (2005a): *Integración de los espacios naturales protegidos en la ordenación del territorio*, Fundación Fernando González Bernáldez, Madrid, 120 p.

- (2005b): *Procedimiento de asignación de las categorías de manejo UICN a los espacios naturales protegidos*, Oficina Técnica de EUROPARC-España, http://www.sgea.org/documentos/000033_categorias_uicn.pdf
- (2008): “ESPARC 2008: Avances en la gestión eficaz de las áreas protegidas: retos hasta el 2013”, *Actas del XIV Congreso de Europarc-España*. Madrid, Fundación Fernando González Bernáldez, 144 p.
- (2012): *Anuario 2011 del estado de las Áreas Protegidas en España*, FUNGOBE, Madrid, 186 pp.
- FAO (1976): *A Framework for Land Evaluation*. Soil Bulletin. 32. Rome.
- GALLARDO, M. y MARTÍNEZ-VEGA, J. (2012): “Cambios de usos del suelo en la Comunidad de Madrid: analizando el pasado y simulando el futuro”, En: Martínez-Vega, J. y Martín Isabel, M.P. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica en el contexto del Cambio Global*, CSIC-AGE, Madrid, pp. 305-314.
- GRAVES, T. A., FARLEY, S., GOLDSTEIN, M. I. y SERVHEEN, C. (2007): “Identification of functional corridors with movement characteristics of brown bears on the Kenai Peninsula, Alaska”, *Landscape Ecology*, nº 22, pp. 765-772.
- GURRUTXAGA, M. (2008): “Patrones de cobertura y protección de los bosques naturales en el País Vasco”, *Geographicalia*, nº 53, pp. 49-72.
- GURRUTXAGA, M., LOZANO, P.J. y DEL BARRIO, G. (2010): “GIS-based approach for incorporating the connectivity of ecological networks into regional planning”, *Journal for Nature Conservation*, nº 18, pp. 318-326.
- GURRUTXAGA, M., RUBIO, L. y SAURA, S. (2011): “Key connectors in protected area networks and the impact of highways: A transnational case study from the Cantabrian Range to the Western Alps (SW Europe)”, *Landscape and Urban Planning*, nº 101, pp. 310-320.
- HILTY, J. A., LIDICKER, Jr., WILLIAM, Z. y MERENLENDER, A. M. (2006): *Corridor Ecology: The science and practice of linking landscapes for Biodiversity Conservation*, Island Press, 324 pp.
- JEPSEN, J. U., BAVECO, J. M., TOPPING, C. J., VERBOOM, J. y VOS, C. C. (2005): “Evaluating the effect of corridors and landscape heterogeneity on dispersal probability: a comparison of three spatially explicit modelling approaches”, *Ecological Modelling*, nº 181, pp. 445-459.
- JORDÁN, F., BÁLDI, A., ORCI, K. M., RÁ CZ, I. y VARGA, Z. (2003): “Characterizing the importance of habitat patches and corridors in maintaining the landscape connectivity of a *Pholidoptera transsylvanica* (Orthoptera) metapopulation”, *Landscape Ecology*, nº 18, pp. 83-92.
- KALIGARIC, M., SEDONJA, J. y SAJNA, N. (2008): “Traditional agricultural landscape in Goricko Landscape Park (Slovenia): distribution and variety of riparian stream corridors and patches”, *Landscape and Urban Planning*, nº 85, pp. 71-78.
- LAURANCE, S. G. y LAURANCE, W. F. (1999): “Tropical wildlife corridors: use of linear rainforest remnants by arboreal mammals”, *Biological Conservation*, nº 91 (2-3), pp. 231-239.
- LEIBENATH, M., BLUM, A. y STUTZRIEMER, S. (2010): “Transboundary cooperation in establishing ecological networks: The case of Germany’s external borders”, *Landscape and Urban Planning*, nº 94, pp. 84-93.
- MARTÍN, B., ORTEGA, E., MANCEBO, S. y OTERO, I. (2008): “Fragmentación de los hábitats de la Red Natura 2000 afectados por el PEI (Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte)”, *Geofocus*, nº 8, pp. 44-60.
- MARTÍNEZ VEGA, J., MARTÍN ISABEL, M. P. y ROMERO CALCERRADA, R. (2003): “Valoración del paisaje en la Zona de Especial Protección de Aves Carrizales y Sotos de Aranjuez (Comunidad de Madrid)”, *Geofocus*, nº 3, pp. 1-21.
- MARTÍNEZ-VEGA, J. y CHUVIECO, E. (2012): “Elaboración de un índice sintético de riesgo de incendios forestales en España Peninsular”, *Boletín de la Real Sociedad Geográfica*, nº CXLVIII, pp. 73-94.

- MARTÍNEZ VEGA, J. y ECHAVARRÍA DASPET, P. (2012): “Hacia una estrategia global de conservación de la naturaleza en la provincia de Cuenca”, *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, nº 59, pp. 201-220.
- MARTÍNEZ-VEGA, J., ECHAVARRÍA, P., IBARRA, P., ECHEVERRÍA, M. y RODRIGUES, M. (2012): “Valoración del paisaje de España peninsular en el contexto de la generación de un índice sintético de riesgo de incendios forestales”, En: Martínez-Vega, J. y Martín Isabel, M.P. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica en el contexto del Cambio Global*, CSIC-AGE, Madrid, pp. 133-142.
- McGARIGAL, K., MARKS, B., HOLMES, C. y ENE, E. (2002): *Fragstats 3.3. Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure*, Department of Natural Resources Conservation, University of Massachusetts.
- McGARIGAL, K., ENE, E. y HOLMES, C. (2007): *Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps*, University of Massachusetts. <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE (1999): *Estrategia española para la conservación y el uso sostenible de la diversidad biológica*, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, 160 pp.
- MINISTERIO DE PRESIDENCIA (2007): *Estrategia española de Desarrollo Sostenible*, Ministerio de Presidencia, Madrid, 122 pp. Disponible en: <http://www.la-moncloa.es/NR/rdonlyres/B73920C0-8F78-4EFE-83D8-A570345ADBA4/0/EEDS.pdf>.
- NANDY, S., KUSHWAHA, S. P. S., MUKHOPADHYAY, S. (2007): “Monitoring the Chilla-Motichur wildlife corridor using geospatial tools”, *Journal for Nature Conservation*, nº 15, pp. 237-244.
- OSE (2012): *Sostenibilidad en España 2012*, Observatorio de la Sostenibilidad en España, Alcalá de Henares.
- PARKER, K., HEAD, L., CHISHOLM, L. A. y FENELEY, N., (2008): “A conceptual model of ecological connectivity in the Shellharbour Local Government Area, New South Wales, Australia”, *Landscape and Urban Planning*, nº 86, pp. 47-59.
- RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ, D. (2012): “Perception, use and valuation of Protected Areas in an economic crisis context”, *Environmental Conservation*, nº 39, pp. 162-171.
- RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ, D. y MARTÍNEZ-VEGA, J.:
- (2012): “Proposal of a system for the integrated and comparative assessment of protected areas”, *Ecological Indicators*, nº 23, pp. 566-572. Appendix A: Supplementary data. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.05.009>
 - (2013a): *Evaluación de la eficacia de las áreas protegidas. El Sistema de Evaluación Integrada de Áreas Protegidas (SEIAP). Resultados de la primera evaluación integrada de los espacios naturales protegidos de la Comunidad de Madrid*, Fundación BBVA, Bilbao, 314 pp., <https://digital.csic.es/handle/10261/76701>
 - (2013b): “Results of the implementation of the System for the Integrated Assessment of Protected Areas (SIAPA) to the protected areas of the Autonomous Region of Madrid (Spain)”, *Ecological Indicators*, nº 34, pp. 210-220. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X13001829>
- ROE, J. H. y GEORGES, A. (2007): “Heterogeneous wetland complexes, buffer zones, and travel corridors: Landscape management for freshwater reptiles”, *Biological Conservation*, nº 135, pp. 67-76.
- ROSA, D. de la, MAYOL, F., DIAZ-PEREIRA, E., FERNÁNDEZ, M. y ROSA Jr., D. de la (2004): “A land evaluation decision support system (MicroLEIS DSS) for agricultural soil protection with special reference to the Mediterranean region”, *Environmental Modelling & Software*, nº 19, pp. 929-942.
- ROSA, D. de la, ANAYA-ROMERO, M., DIAZ-PEREIRA, E., HEREDIA, N. y SHAHBAZI, F. (2009): “Soil-specific agro-ecological strategies for sustainable land use. A case study by using MicroLEIS DSS in Sevilla Province (Spain)”, *Land Use Policy*, nº 26, pp. 1055-1065.
- ROY, V. y BLOIS, S. (2008): “Evaluating hedgerow corridors for the conservation of native forest herb diversity”, *Biological Conservation*, nº 141, pp. 298-307.

- SILORI, C. S. y MISHRA, B. K. (2001): "Assessment of livestock grazing pressure in and around the elephant corridors in Mudumalai Wildlife Sanctuary, south India", *Biodiversity and Conservation*, nº 10, pp. 2181-2195.
- SUSKEVICS, M., TILLEMANN, K. y KÜLVIK, M. (2013): "Assessing the relevance of stakeholder analysis for national ecological network governance: The case of the Green Network in Estonia", *Journal for Nature Conservation*, nº 21, pp. 206-213.
- TORMOS, T., KOSUTH, P., DURRIEU, S., VILLENEUVE, B. y WASSON, J. G. (2011): "Improving the quantification of land cover pressure on stream ecological status at the riparian scale using High Spatial Resolution Imagery", *Physics and Chemistry of the Earth*, nº 36, pp. 549-559.
- TUBELIS, D. P., COWLING, A. y DONNELLY, C. (2004): "Landscape supplementation in adjacent savannas and its implications for the design of corridors for forest birds in the central Cerrado, Brazil", *Biological Conservation*, nº 118, pp. 353-364.
- VOGT, P., RIITERS, K.H., IWANOWSKI, M., ESTREGUIL, C., KOZAK, J. y SOILLE, P. (2007): "Mapping landscape corridors", *Ecological Indicators*, nº 7, pp. 481-488.
- WALKER, R. y CRAIGHEAD, L. (1997): *Analyzing wildlife movement corridors in Montana using GIS*, disponible en: <http://proceedings.esri.com/library/userconf/proc97/proc97/to150/pap116/pap116.htm>
- WEBER, T., SLOAN, A. y WOLF, J. (2006): "Maryland's Green Infrastructure assessment: development of a comprehensive approach to land conservation", *Landscape and Urban Planning*, nº 77, pp. 94-110.
- WISSMAR, R. C. (2004): "Riparian corridors of Eastern Oregon and Washington: functions and sustainability along lowland-arid to mountains gradients", *Aquatic Sciences*, nº 66, pp. 373-387.
- WOESS, M., GRILLMAYER, R. y VOELK, F. H. (2002): "Green bridges and wildlife corridors in Austria", *Zeitschrift für Jagdwissenschaft*, nº 48, pp. 25-32.

MODELO DE EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ACOGIDA DEL TERRITORIO CON SIG Y TÉCNICAS DE DECISIÓN MULTICRITERIO RESPECTO A LA IMPLANTACIÓN DE EDIFICACIONES EN ESPACIOS RURALES

Federico Benjamín Galacho Jiménez y Juan Antonio Arrebola Castaño
Departamento de Geografía, Universidad de Málaga

RESUMEN

Se muestra un método, que apoyado en propuestas científicas, ayuda en la planificación del uso sostenible del territorio. Dicho método se basa en los modelos de evaluación de la capacidad de acogida del territorio. Su fundamento es el desarrollo de una metodología de evaluación con una perspectiva amplia de la sostenibilidad rural y contempla la necesaria puesta en valor de los recursos naturales, la preservación del medio por su calidad ambiental y la minimización de los riesgos naturales. Con él se evaluará la implantación de edificaciones relacionadas con el proceso de urbanización difusa en los espacios rurales. Para ello se aborda la evaluación de las condiciones particulares del medio rural en orden a la mejor estimación de sus posibilidades y de su vulnerabilidad respecto a los riesgos naturales. Como resultado se ha realizado una evaluación basada en juicios de valor claramente definidos y en atributos concretos del territorio. Mediante este proceso se obtiene una capa de información que muestra una clasificación del espacio estudiado con una valoración asignada a cada parte del territorio en función de su capacidad para acoger los usos que han sido evaluados.

Palabras claves: sistemas de información geográfica, técnicas de decisión multicriterio, capacidad de acogida, medio rural.

ABSTRACT

Evaluation model of land carrying capacity with GIS and decision techniques multicriteria regarding the implementation of building in rural areas

It shows a method that relied on scientific proposals, assistance in planning sustainable land use. This method is based on evaluation models of carrying capacity of the land. Its foundation is the development of an evaluation methodology with a broad perspective of rural sustainability and provides the necessary enhancement of natural resources, the preservation of their environmental quality and the minimization of natural hazards. With it will assess the implementation of process-related buildings urban sprawl in rural areas. This evaluation addresses the particular conditions of rural spaces in order to better estimate their potential and their vulnerability to natural hazards. As a result, the evaluation was based on value judgments based on clearly defined and specific attributes of the territory. This process results in a layer of information that shows a classification of the studied space with a score assigned to each part of the territory according to its ability to host applications that have been evaluated.

Key words: geographic information systems, multicriteria decision techniques, capacity models, rural spaces.

1. INTRODUCCIÓN

Se parte de la consideración de que el conocimiento de las formas de ocupación, los nuevos usos o funciones y las consecuencias derivadas de ello en aquellas partes del territorio que no son consideradas como urbanas se revela esencial para poder abordar con ciertas garantías la ordenación y planificación integral del territorio. Mientras que en los espacios urbanos la regulación edificatoria y urbanizadora,

incluso su incidencia en el entorno, se encuentra claramente definida y estructurada, en los espacios rurales los modelos de crecimiento, de colonización del espacio, de renovación de la edificación tradicional se desarrollan de modo incontrolado. Valga como muestra observar como se han extendido y vulgarizado los tipos de construcciones de casas de campo que se han convertido en símbolos regionalistas o en la base de un repertorio estilístico o adulterado de “chalecitos” característicos de cualquier urbanización en el medio urbano que se precie (recuérdese sin ir más lejos cualquier anuncio inmobiliario pregonando las excelencias de la casa tipo cortijo, masía, caserío, villa mediterránea o incluso más exóticos como el tirolés, ibicenco, provenzal, alpino, etc.). En este terreno, en el que no vamos a entrar, se ha llegado a límites caricaturescos, con nefasta incidencia territorial. La diferencia entre los tipos arquitectónicos urbanos y los rurales no es otra que de escala. Por eso, lo que nos interesa aquí es analizar la capacidad del proceso constructivo de configurar el paisaje y de ordenarlo (o desordenarlo, según se mire), además de la incidencia de éste en el medio rural. Por consiguiente, para observar lo que nos interesa analizar, es necesario un alejamiento físico e intelectual que permita ver, no los componentes o la estructura orgánica del edificio o la implantación, con ser éstos de sumo interés, sino su área de influencia, su incidencia en el paisaje, su capacidad ordenadora, su papel humanizador o su impacto ambiental. Estas consideraciones surgen de una constatación de la realidad analizada. En el medio rural ya existía un modelo de hábitat, en cada lugar prevalecía un tipo arquitectónico propio, adaptado a las características del terreno y a su paisaje.

Paralelamente se abren las posibilidades para su planificación, especialmente si se trata de armonizar desarrollo y sostenibilidad. Sin embargo, la extensión del proceso urbano a estos espacios resulta especialmente grave. Fundamentalmente por cuatro aspectos: por la forma como se ha venido desarrollando: sobre una base especulativa, porque sus efectos se han visto acentuados al desarrollarse sobre espacios de funcionalidad rural predominante que adolecen de una fragilidad y vulnerabilidad característica, porque el modelo se fundamenta en una fuerte demanda residencial de élites socio-económicas de orígenes diversos y, por la dejadez de la responsabilidad política de las distintas administraciones en sus competencias de actuación sobre ellos. En Galacho (2010 y 2011) se vierten algunas reflexiones al respecto.

En esta situación nos ha parecido de utilidad diseñar un instrumento de apoyo a la decisión, que fundamentado en propuestas científicas, ayude en el marco amplio de la planificación del uso sostenible del espacio rural. Para ello se considera como primordial abordar la ordenación de los usos edificatorios en el medio rural a través de una evaluación de la aptitud del territorio para acogerlos y de sus efectos inducidos con especial referencia a los riesgos naturales. Así evaluar las condiciones particulares del medio rural en orden a la mejor estimación de sus posibilidades, realizar evaluaciones basadas en juicios de valor claramente definidos y basándose en atributos concretos del territorio para desarrollar simulaciones y establecer escenarios de actuaciones distintos. Con estas finalidades se acomete, como eje fundamental, el desarrollo de esta metodología de evaluación con una perspectiva amplia de la sostenibilidad rural: contemplando la necesaria puesta en valor de los recursos naturales, la utilización del medio en proporción a su calidad ambiental y su sostenibilidad social.

La propuesta metodológica que hacemos se inserta en el marco de la investigación en planificación física y en el desarrollo rural, y en el ámbito instrumental de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y las Técnicas de Evaluación Multicriterio (EMC).

El concepto de capacidad de acogida es considerado como un concepto teórico que hace referencia al uso óptimo del territorio en orden a su sostenibilidad. Más concretamente, Gómez Orea (1992, 25) lo define como “*el grado de idoneidad o cabida que presenta el territorio para una actividad teniendo en cuenta a la vez, la medida en que el medio cubre sus requisitos locacionales y los efectos de dicha actividad sobre el medio*”. De ello se deriva que los usos evaluados obtendrán su localización óptima cuando sean asignados en un lugar que los pueda recibir sin que se degraden gravemente sus características ecológicas o paisajísticas, de tal manera que su integración en el medio cuente con la mayor aptitud y el menor impacto posibles. Por tanto las propiedades del territorio son valoradas en su significado con relación al desarrollo de las actuaciones. Consideradas dichas propiedades en su conjunto, para cada espacio determinado y para unas posibles actuaciones concretas. En este contexto, el significado de capacidad de acogida del territorio se entiende derivado de la concurrencia de ciertas características y elementos ambientales significativos en un espacio determinado.

Dicho concepto fue puesto en práctica, en un principio, dentro de la teoría de la planificación física con base ecológica que se ha venido desarrollando con el soporte de diferentes propuestas metodológicas basadas en procedimientos y criterios de clasificación, agregación y análisis. Cabe destacar en esta línea las aportaciones sucesivas de: Canter (1977, 1979 y 1985), Clark (1978, 1980), Bisset (1980), Rau y Wooten (1980), Hollick (1981), Lee (1982 y 1983) y Black (1991), entre otros.

En la práctica de la ordenación territorial y el planeamiento urbanístico este concepto teórico se ha desarrollando sobre dos basamentos: el análisis de las aptitudes y el análisis de los impactos. El primero, que se orienta a la valoración de las oportunidades que el medio ofrece al desenvolvimiento de la actividad humana, es una práctica básica en la planificación territorial. El segundo, el análisis de los impactos, cuya base son las directrices de protección, parte de la valoración de la fragilidad del medio, a fin de establecer las limitaciones de uso que puedan impedir su deterioro. La integración de estas dos líneas de evaluación del territorio, la de aptitud y la de impacto, puede derivar en la elaboración de un modelo territorial ideal, en el que se optimice el aprovechamiento de los recursos y la implantación de las actividades. Este modelo se basa en los mismos conceptos de aptitud (que resume el grado de adaptación del medio a los requerimientos del objeto para el que es evaluado) e impacto (los efectos negativos que pueden derivarse de la implantación de las actividades). Se incluye también de modo habitual el concepto de restricción, al desarrollarse la metodología a modo de evaluación orientada a un objetivo preciso: delimitar entre las alternativas reales las que son incompatibles (natural o normativamente) con el objeto de la evaluación.

En Galacho y Ocaña (2006) realizábamos una propuesta metodológica basada en un modelo de evaluación que pretendía medir la capacidad del territorio para acoger los usos comúnmente previstos en los planes de ordenación urbanística; en ese caso, residenciales y comerciales en nuevos sectores de planeamiento. Se diseñaba y aplicaba un método que fundamentado en información territorial y urbanística, organizada y actualizada, servía para la obtención de valores de capacidad de acogida del territorio para cada uso o actividad propuesto en los documentos de planeamiento urbanístico. Con todo ello se pretendía que la información espacial generada se pudiese utilizar de apoyo a la toma de decisiones en las distintas fases de redacción de los documentos de planeamiento y que ésta se realizase sobre una base objetiva que permitiese evaluar los procesos que determinan la realidad urbana y territorial de los municipios; y sobre todo, para el diseño de las implantaciones de los suelos urbanizables que darían lugar a los desarrollos urbanísticos futuros. Posteriormente, en las sucesivas aplicaciones del modelo diseñado entonces observamos una serie de dificultades inherentes a los procesos de planificación derivados esencialmente de un hecho: la dificultad de cuantificar en su justa medida los efectos territoriales de las actividades económicas en general y de los usos urbanísticos concretos en particular. Con ello queremos decir que un método como el propuesto puede conducir a distintas posibilidades o soluciones, representadas gráficamente en mapas con diferentes grados de capacidad de acogida.

La metodología que ahora proponemos, evolucionada de la anteriormente mencionada, ha sido objeto de una profunda revisión. De acuerdo al nuevo objeto de evaluación, concerniente a la consideración de los efectos inducidos por la implantación de edificaciones aisladas en espacios rurales, se plantea ahora que sobre el escenario actual se genere una zonificación que abarque todo el territorio y sirva para crear un marco de referencia que regule los crecimientos o implantaciones futuras. En dicho escenario, que sirve de punto de partida espacio-temporal, las actuaciones existentes pueden ser valoradas como negativas o como positivas. Bajo este supuesto se pueden establecer estrategias distintas. Se puede optar por maximizar o minimizar los efectos de las implantaciones según distintos argumentos y circunstancias. Si optamos por maximizar los efectos negativos y minimizar los positivos, el resultado será el particular a este enfoque. Y en este sentido, se contraponen los conceptos de fragilidad, singularidad, rareza, etc., a otras consideraciones de sociales y económicas. Obtendremos otro resultado si actuamos de modo contrario, y el enfoque se centra en esgrimir los efectos positivos sobre los negativos que pueden encontrarse en el área objeto de aplicación, donde, a su vez, pueden darse entrada a gran número de alternativas razonables relacionadas con este objetivo. De cualquier manera consideramos que la valoración del óptimo debe evidenciar la adecuación del área de aplicación del modelo a determinados usos y también a diferentes grados de conflicto. Así, la aptitud óptima realza la capacidad territorial para acoger las actuaciones, con matices derivados de las posibles orientaciones favorables que puedan inducirse sobre los elementos espaciales y los procesos actuantes por la implantación de dichas actividades.

Por consiguiente, la lógica del modelo de evaluación no se construye sobre un proceso cerrado, cuyo inicio es la formulación del objeto de la valoración y su fin la obtención de una propuesta final única, sino a través de posibles alternativas y según diversos escenarios. Aunque en la práctica esto complica enormemente el diseño del modelo, no obstante, con ello se avanza en la construcción de escenarios futuros, y el método puede dotarse de un cariz predictivo. Pero para ello, metodológicamente, necesitamos llegar a valoraciones con una desagregación muy elevada de juicios parciales.

La utilización combinada de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y las Técnicas de Evaluación Multicriterio (EMC) se constituyen en unas herramientas muy útiles para su aplicación en los procesos de evaluación territorial. Así el método adquiere la máxima aplicabilidad posible, siendo posible investigar el número de alternativas y, en definitiva, facilitar la toma de decisiones. Como se afirma, las ventajas de utilizar estas técnicas con SIG se sitúan en poder resolver con todo rigor la interrelación de las diversas variables del territorio, otorgándosele el peso y la proporcionalidad adecuada o necesaria en cada momento. Un atributo cualquiera contenido en cada una de las capas de información de un SIG, pueden ser dentro de él, ponderado como elemento positivo o negativo según un determinado objeto. Y puede igualmente ser valorado en conjunción con otros y en función de ello contrarrestado, potenciado o anulado. En base a esto, un aspecto crucial de la metodología es el diseño de criterios y factores que fundamentan las distintas evaluaciones, así como la necesaria experimentación en un ámbito geográfico determinado. A su vez, en lo que concierne al proceso de evaluación, su diseño dentro de un SIG, permite aprovechar las potencialidades de éste en la interrelación de las capas de información requeridas (capas que darán lugar a criterios y factores) y sus utilidades de análisis/evaluación; de modo que sea factible su aplicación y revisión en otros escenarios espaciales con la mera adecuación de los datos, y en su caso de los procesos, a las nuevas condiciones geográficas o territoriales. Con ello el método adquiere un carácter aplicado y una finalidad demostrativa y se convierte en una herramienta dúctil, con la que se puede interactuar, capaz de reorientar las evaluaciones de acuerdo a diferentes puntos de vista. Así los resultados serán validos en función de los juicios y las valoraciones emitidas, teniendo cabida por tanto experimentar sobre resultados alternativos, rectificar los juicios, considerar o no determinadas variables o criterios, etc.

Han proporcionado fundamentos científicos a estos procedimientos y técnicas los siguientes autores: Nijkamp (1977, 1990), Voogd (1983), Seo (1988), Janssens (1992), Eastman *et al.*, (1993a,b), Jankowski (1995), Gal *et al.*, (1999), Malczewski (1999), Triantaphyllou (2000), Belton y Stewart (2002), Roy (2007) y Munda (2008); y en España, Romero (1993), Barredo (1996), Barba y Pomerol (1997), Santos (1997, 1998) y Moreno (2000, 2002). La utilidad de estos procedimientos es reconocida y el campo de aplicación de la EMC combinada con SIG para la evaluación de la capacidad de acogida del territorio en diversas temáticas es extenso, citamos algunos trabajos: Barredo y Bosque (1995), Ocaña y Galacho (2002), Galacho *et al.*, (2004), Bosque y Moreno (2004), Gómez y Barredo (2005), Molero *et al.*, (2007), Moreno y Buzai (2008) y Galacho *et al.*, (2009).

2. PROPUESTA METODOLÓGICA

2.1. Planteamientos de partida

Nuestro objetivo principal será obtener una capa de información que muestre una clasificación del espacio estudiado con una valoración asignada a cada parte del territorio en función de su capacidad para acoger los usos que son evaluados: en este caso, las edificaciones y construcciones según distintas tipologías. Posteriormente con esta capa se procederá a asignar la valoración obtenida a dichas edificaciones.

Con la información resultante se podrá proceder a la generación de alternativas, y se podrá determinar en qué zonas se acoge más adecuadamente el uso analizado o las tipologías que presenta dicho uso. O en este caso, como podemos encontrar varias tipologías a evaluar: edificaciones aisladas, bien de uso residencial o no (naves, almacenes, etc.), sectores edificatorios de baja densidad, concentración de edificaciones aisladas que por su proximidad parcelaria dan lugar a hábitat concentrado, etc..., cuál o cuáles de ellas se adecuan mejor en cada punto.

Por consiguiente, en el marco de esta propuesta metodológica la definición del objeto de la evaluación es un aspecto fundamental porque va a determinar la secuencia de la evaluación multicriterio, entendida ésta como un proceso lógico. Concretamente de ello dependerá la definición del proceso de evaluación posterior, y fundamentalmente la selección de los variables territoriales que formarán parte de la evaluación, la configuración de los factores y criterios y sus puntuaciones.

2.2. Desarrollo del proceso metodológico

2.2.1. Definición del objeto y criterios de la evaluación

Partimos de que centraremos nuestro objeto en la evaluación de la capacidad de acogida del territorio (espacios rurales en este caso) para implantación de edificaciones e instalaciones según las diversas tipologías que se pueden dar.

El objeto de evaluación establecido determina la definición de los criterios de la evaluación. Esta es una cuestión básica que se aborda con una finalidad operativa y determina como dichos criterios serán caracterizados y medidos; de ello dependerá gran parte del resultado final del proceso de evaluación. Esta propuesta metodológica de un solo objetivo define dos criterios principales: aptitud y vulnerabilidad al riesgo natural.

El primer criterio que se aborda es el de aptitud. Este criterio hace referencia a las cualidades del territorio, potenciales y/o restrictivas, para la implantación de las instalaciones y edificaciones determinadas en el objeto de la evaluación. Para ello el método se dirige a valorar tres aspectos del medio físico que determinarán las cualidades del territorio para el objeto propuesto y que se configuran en base a tres criterios: la aptitud física para la construcción, la aptitud ambiental y la capacidad de absorción visual.

En el denominado criterio de *aptitud física para la construcción* se consideran las condiciones constructivas de los terrenos. Con ello se pretende valorar las características del terreno en función de su idoneidad para la edificación y sus condicionantes técnicos. Se valoran dentro del criterio de aptitud física para la construcción: las variables pendiente y litología según sus cualidades de compresibilidad y capacidad portante y el factor estabilidad del terreno, que combina los grados de la pendiente con la resistencia de los tipos litológicos (tendencia al desplazamiento).

Para el denominado criterio de *aptitud ambiental* se ha considerado el análisis de los factores ambientales que pueden ser susceptibles a la degradación, considerando el suelo respecto a su capacidad agrológica y a su vocación forestal, y las características de la vegetación natural. La valoración de los suelos se aborda desde dos perspectivas: una, según su capacidad agrológica, considerada como recurso para la actividad agrícola más que por sus características naturales; y dos, en función de la valoración de sus condiciones de comportamiento forestal. De acuerdo a esto, la capacidad agrológica de los suelos es un elemento de caracterización fundamental para la definición de las unidades básicas del entorno rural por cuanto de ello derivan los usos y aprovechamientos agrícolas y no agrícolas. Por su parte, la vegetación natural se trata fundamentalmente considerando las zonas de vegetación natural, basándonos en la estructura, fisonomía y especies dominantes. No obstante, se da el caso de que en muchas zonas la vegetación natural sea bastante relictiva, y entonces se puede optar por considerar entonces la vegetación potencial.

Como tercer criterio de aptitud hemos aludido al criterio de *capacidad de absorción visual* donde se valora la aptitud que tiene un paisaje de absorber visualmente modificaciones o alteraciones sin detrimento de su calidad visual. Se opta por abordar el tratamiento del paisaje considerando solamente sus cualidades visuales y prescindiendo del resto de percepciones sensoriales, con la finalidad de poder valorar la integración de las edificaciones o implantaciones. El objeto de este criterio es determinar las áreas visibles desde un conjunto de puntos relevantes y en base a ello se establece la medida en qué cada área contribuye a la percepción del paisaje y a la obtención de parámetros globales que permiten caracterizar el territorio objeto de estudio en términos visuales. En este sentido podemos destacar el ensayo de evaluación del paisaje visual mediante SIG realizado por Ocaña *et al.*, (2004). Así pues, las condiciones de visibilidad son consideradas como cualidades del paisaje, lo que lleva a matizar, que mientras para el resto de los

criterios, la calidad es un concepto relativo a la capacidad de acoger una determinada actividad, para el paisaje es un término absoluto, por lo que dichas cualidades son indicadores de la calidad del medio.

El segundo criterio mencionado como principal es el de la vulnerabilidad al riesgo natural. Se parte del hecho constatado que en numerosos casos la implantación de las edificaciones, instalaciones, etc. se realiza en lugares de riesgo y a su vez, las acciones relacionadas con su localización pueden modificar el entorno y generar riesgos inducidos, los cuales no sólo se pueden dar en el espacio inmediato de localización sino también pueden llegar a sentirse a distintas considerables de donde tuvieron su origen (por ejemplo, cuando se trata de modificar los cauces en su cabeceras o alterar la cubierta vegetal). En la configuración de este criterio interesa pues considerar la vulnerabilidad potencial a los riesgos y al mismo tiempo, los riesgos inducidos. En este sentido, se evidencia por tanto que no sólo se debe considerar el riesgo en sí mismo sino también es adecuado hacer depender la asignación de pesos de la valoración de las características de las edificaciones o construcciones a implantar. Pero es habitual que se de el caso de que no se disponga de un dimensionamiento efectivo de dichas edificaciones, y es cosa frecuente que sólo se puedan valorar propuestas de usos o instalaciones, por lo que es recomendable optar por medir el riesgo potencial de acuerdo a las características del medio. Por ello como mínimo es imprescindible localizar las actuaciones propuestas.

El criterio de vulnerabilidad al riesgo natural se conforma con cuatro factores: alteración morfodinámica, movimientos gravitacionales, inundación e incendios forestales.

La *alteración morfodinámica* hace referencia fundamentalmente a la erosión, en el sentido de que bajo esta denominación se engloban un conjunto de procesos físicos y químicos que producen modificaciones de las formas superficiales. Entendemos que la implantación de edificaciones, o asimismo las actuaciones relacionadas con ellas como movimientos de tierras para el allanamiento del terreno, viales de acceso, etc. puede derivar en la activación de procesos, latentes o no, de erosión, bien por aceleración de procesos activos, bien por alteración de las condiciones funcionales del terreno. Al mismo tiempo, los cambios de usos del suelo derivados de la implantación de edificaciones pueden ser altamente perturbadores de los fenómenos erosivos, generando riesgos inducidos para la población en combinación con otros factores (activación de los movimientos en masa y alteración del funcionamiento de la red hídrica superficial).

Respecto a los *movimientos gravitacionales* hay que decir que en cuanto la topografía deja de ser llana es relevante otorgar importancia a los riesgos asociados a procesos gravitacionales. Como se sabe, normalmente estos fenómenos se producen por la confluencia de un conjunto de factores relacionados con las características fisiográficas de los terrenos: pendiente, litología, cobertura vegetal, profundidad del suelo y desarrollo edáfico, fracturación y meteorización de la roca, orientación de las laderas, etc. En la configuración de este criterio se identifican los diferentes tipos de riesgo asociados con cada uno de los tipos de movimientos, que pueden ser caídas de bloques, deslizamientos, flujos y movimientos complejos. Comúnmente los procesos gravitacionales se suceden de modo asociado, una asociación característica es la que se produce entre deslizamientos y flujos. Así, esta conjunción y la magnitud en que se produce o se pueda producir determinan la proporcionalidad del riesgo y por tanto, las puntuaciones que se derivan en el proceso de evaluación.

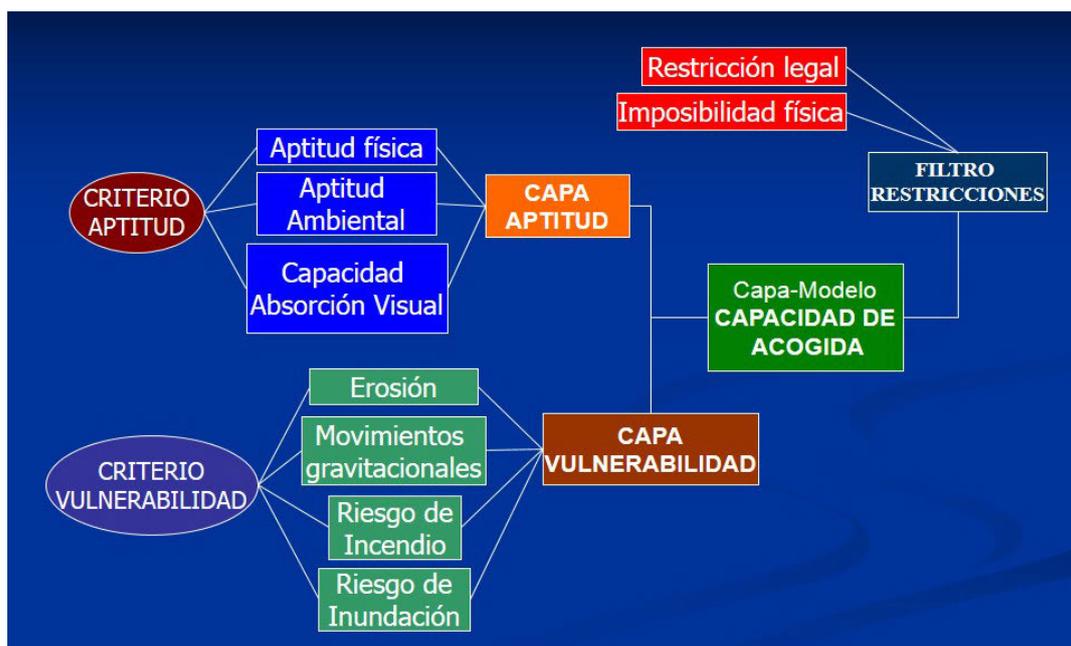
La vulnerabilidad del terreno frente al *riesgo de inundación* se resuelve mediante la elaboración de las áreas inundables para los periodos de retorno definidos por las directrices de Protección Civil: 50, 100 y 500 años. Para ello se ha utilizado el clásico método hidrometeorológico con las fórmulas de Témez a partir del cual se determinan los caudales de referencia para un determinado periodo de retorno. Este método hidrometeorológico es el recogido en el BOE nº 123 (instrucción de carreteras 5.2-IC «drenaje superficial»). En él, quedan recogidos los criterios y fórmulas que hemos tenido en cuenta en el cálculo de los caudales de avenida.

Por último, se ha considerado también el riesgo de *incendios forestales*. La magnitud y frecuencia de los episodios acaecidos en España durante los periodos estivales hacen que la consideración de la peligrosidad asociada a los incendios forestales esté justificada en este método. Aún más si tenemos en cuenta que el espacio rural ha venido siendo ocupado durante los últimos años por un urbanismo difuso que complica en gran medida cualquier tarea de extinción y obliga a fuertes medidas de prevención. Este criterio se configura en función de tres elementos que influyen principalmente en un incendio: el meteorológico, el topográfico y el factor combustibilidad.

Finalmente, se ha establecido un filtro de restricciones compuesto por dos grupos de criterios: restricción legal e imposibilidad física. El primero hace referencia a las restricciones legales impuestas por las distintas normativas y legislaciones sectoriales vigentes: dominios públicos, protecciones ambientales, suelos protegidos, etc. y el segundo a la imposibilidad física que impida realizarse cualquier iniciativa constructiva, bien por la presencia de láminas de agua, o bien por cualquier otra circunstancia similar. Cada uno de ellos se convierte en claro criterio de restricción, de tal manera que cada criterio por sí mismo puede calificar zonas diferentes del territorio, de modo que un área puede verse afectada por sólo uno de ellos o por los dos. No es pertinente establecer valoración alguna, respecto a la importancia relativa de uno u otro, pues como se ha dicho, cada uno de ellos, aisladamente, ya determinaría la exclusión del territorio en la posible implantación de un uso de los considerados. Sin embargo, hay que tener presente que la acumulación de criterios de restricción modela el resultado de la evaluación final.

Como se ha visto hasta aquí, para componer la estructura de los dos criterios principales de aptitud y vulnerabilidad se han desgranado otros criterios en un proceso de especialización. Estos criterios se configuran en base a una o varias variables territoriales o en base a uno o varios factores. De esta manera, cada alternativa proviene de una variable territorial y con ello cualquier área donde se localice dicha alternativa es en sí misma una posible alternativa. Es cuestión importante enumerar adecuadamente las variables territoriales y los factores que darán lugar a dichos criterios. Ante el considerable número de variables que pudieran surgir, se utilizarán sólo aquellas que se consideran significativas, positiva o negativamente, intentando evitar las redundancias consecuentes de las relaciones existentes entre los elementos y características ambientales. En la figura 1 se muestra la lógica del proceso de evaluación.

Figura 1. Esquema del proceso de evaluación.



2.2.2. Puntuación las variables y factores territoriales para su configuración como criterios de la evaluación

En el apartado anterior hemos definido los criterios de la evaluación y cuál es su composición, es decir, qué variables y factores territoriales los configuran. Ahora se aborda un proceso de puntuación de sus atributos. Si antes proceso de evaluación estaba determinado por las variables territoriales consideradas como se ha comentado, ahora lo está por el tratamiento del que sean objeto dichas variables en su conversión a factores y criterios de evaluación. Los criterios resultantes finalmente albergarán las alternativas existentes, cada alternativa poseerá un conjunto de características que la diferenciarán de otra, y al mismo tiempo, la caracterizarán; así cada alternativa adquirirá una puntuación en función del criterio al que pertenece.

El proceso que se explica a continuación es realizado para todas las variables. Las variables y factores que dan lugar a los criterios presentarán distintas escalas de medida y además, poseerán en unos casos atributos cuantitativos y en otros cualitativos. Esto supone un problema para la posterior aplicación de las reglas de decisión. Por tanto se trata de operar con los valores de las diferentes variables y factores en una misma escala y expresar sus atributos de forma numérica. Como recurso para realizar esto y representar así la relación de los factores y las alternativas que definen una evaluación es una matriz. En esa matriz, los criterios (j) pueden ocupar la columna principal y las alternativas (i), la fila principal. Dicha matriz la denominaremos matriz de puntuaciones. Ya que los valores internos de esta matriz son llamados puntuaciones de criterios (X_{ij}), y representan el valor o nivel de deseabilidad que se establece para cada alternativa en cada factor. Una vez que a una variable o factor se le asignan pesos o puntuaciones este pasa a ser considerado como un criterio.

Para la puntuación de los valores de las variables hemos usado el método de las jerarquías analíticas propuesto por Saaty (1980). Con este procedimiento se establece una matriz cuadrada en cuyas filas y columnas está definido el número de atributos de las variables (clases) a ponderar. El resultado es una matriz de comparación entre pares de clases, en la que se observa la importancia de cada una de ellas sobre cada una de los demás (a_{ij}). La escala de medida establecida para la asignación de los juicios de valor (a_{ij}) es una escala de tipo continuo (ratios o razón) que va desde un valor mínimo de 1/9 hasta 9, definida también por Saaty (1980), entendiéndose como extremadamente menos importante (1/9) hasta extremadamente más importante (9), indicando el valor 1 de igualdad en la importancia entre pares de factores. Este proceso se presta por su claridad a que sea realizado por técnicos expertos en una materia concreta sin que sea necesario su conocimiento de las técnicas de evaluación multicriterio.

A continuación, en base a las matrices elaboradas, se determina el eigenvector principal, que representa el orden de prioridad de los factores y establece los pesos (w_{ij}), proporcionando una medida cuantitativa de la consistencia de los juicios de valor entre pares de factores como se indica en Saaty (1980). Para cada factor, a partir los juicios de valor entre pares de factores de la matriz de comparación se establece el eigenvector principal, que representará el orden de prioridad de los factores y establecerá los pesos (w_{ij}), pasando a considerar el eigenvalor máximo (λ_{MAX}) de la matriz como una medida de la consistencia de los juicios.

El eigenvector principal conviene que sea normalizado para obtener así el vector de prioridades y que los valores de las alternativas en los distintos ejes estén también normalizados. La normalización en nuestro caso ha sido del tipo 0 = mínima aptitud -más negativo- y 1 = máxima aptitud -más positivo-. De los múltiples sistemas de normalización de vectores que pueden utilizarse, se ha optado por uno de los más simples, y se consigue aplicando la siguiente ecuación (Voogd, 1983):

$$e_{ij} = \frac{(x_{ij} - \min x_{ij})}{(\max x_{ij} - \min x_{ij})}$$

Donde:

e_{ij} valor normalizado de la alternativa i en el criterio j. x_{ij} valor de la alternativa i en el criterio j. min y max: los valores mínimos y máximos de las alternativas en el criterio.

Esta normalización da como resultado valores de 0 a 1 como se ha comentado, con la ventaja de que no efectúa una transformación de la variable, por lo que la proporcionalidad se mantiene. Además, se agradece su utilización cuando el proceso es complejo y nos vemos forzados a volver sobre las puntuaciones y los valores en determinados momentos del proceso de evaluación.

Cuando se trate de las variables cualitativas, la ordenación jerárquica de dichas variables (por ejemplo de mejor a peor) se realiza traduciendo los atributos a valores numéricos, mediante una escala de medida de 1 a 0 o viceversa (operación que se identifica como "función de utilidad"), permite puntuar con un valor numérico a las variables de este tipo. Se advierte que, en este proceder, el problema se desplaza a cómo establecer la ordenación jerárquica, que implica un análisis de preferencias, problema del que tampoco quedaban excluidas las variables cuantitativas, expresadas en escala numérica, cuando no es

proporcional su preferencia al valor de la variable. En este punto, las preferencias pueden estar claras para el analista (ocurre cuando intervienen juicios técnicos que avalan una determinada jerarquía) o pueden tener un nivel de incertidumbre importante.

2.2.3. Asignación de pesos a los criterios de la evaluación y aplicación de las reglas de decisión para la consecución de la capa modelo de la evaluación

Una vez realizadas las tareas descritas en los dos apartados anteriores, los criterios han pasado a formar las partes de un juicio y ser el punto de referencia de las reglas de decisión. Ahora cada criterio será valorado respecto a los demás criterios según las reglas de decisión que se han establecido. Una regla de decisión, en la lógica del proceso de evaluación, se formaliza mediante una serie de procedimientos aritméticos-estadísticos que posibilita la integración de los criterios establecidos en un índice de simple composición, proveyendo la manera de comparar las alternativas utilizando dicho índice (Eastman *et al.*, 1993a). Tales reglas se refieren a aspectos concretos como la medida de los atributos para dar valor a los criterios, o a la forma de integrar los criterios en la evaluación de las alternativas.

Como se sabe, existen dos tipos principales de procedimientos de evaluación multicriterio, desde el punto de vista operativo y de tratamiento de los datos: las técnicas no compensatorias y las técnicas compensatorias (Jankowski, 1995). Las técnicas no compensatorias demandan una jerarquización ordinal de los criterios basada en las prioridades de la evaluación, por tanto mediante la indicación de un valor ordinal o bien el orden de importancia de los criterios, sin establecer un peso de manera cuantitativa. Mientras que las técnicas compensatorias requieren que se especifiquen los pesos de los criterios como valores cardinales o funciones de prioridad, de manera numérica en escala de razón. No nos parece que pueda haber inconveniente en combinar estos dos métodos en el proceso.

En nuestro método, se ha acudido a las técnicas compensatorias, aquellas que manejan simultáneamente los criterios asumiendo la posible compensación entre ellos, en el caso de la evaluación de los criterios de aptitud e vulnerabilidad. En este momento de la evaluación, hemos considerado que los procedimientos compensatorios se adaptan mejor a la lógica del modelo. Dentro de los procedimientos compensatorios, se nos abre la posibilidad de utilizar dos tipos de métodos, como métodos de cálculo para derivar la ordenación lineal de las alternativas a partir de las puntuaciones que se le han adjudicado a los diferentes criterios. Cuando se ha creado un factor desde dos o más variables territoriales se ha utilizado el método aditivo de la sumatoria lineal ponderada y cuando se ha tratado de la configuración de los criterios se ha utilizado la distancia al punto ideal. Creemos que el concepto de situación ideal es fácilmente intuible y la disimilitud respecto a ella es una medida significativa; al mismo tiempo, porque se adapta mejor a la lógica de nuestro modelo de evaluación que aborda un problema de decisión con objetivo simple y permite manejar simultáneamente los criterios asumiendo la posible compensación entre ellos. La opción de la distancia al punto ideal conlleva que el proceso utilice las puntuaciones de las alternativas para medir su similitud con una situación óptima, teórica, que lógicamente estará definida por las mejores puntuaciones posibles en cada criterio. Es una forma de ordenar linealmente las alternativas, también sencilla y clara, en la que lógicamente hay compensación entre los criterios, pero midiendo la desviación de las puntuaciones de las alternativas en cada criterio respecto al valor óptimo y no directamente las propias puntuaciones. A partir de la estructura inicial del procedimiento, podemos establecer que no plantea excesivas limitaciones en su ejecución en relación al número de alternativas a evaluar, ni el número de criterios a ser considerados, lo que le confiere excelentes posibilidades para ser manejado con el SIG. De esta manera, los criterios aptitud física, aptitud ambiental y aptitud funcional que forman el criterio de aptitud y los criterios que forman parte vulnerabilidad al riesgo natural han sido valorados mediante el cálculo de la distancia entre cada alternativa y el punto ideal, de manera que podemos seleccionar aquellas alternativas más cercanas a dicho punto ideal hasta obtener la capa de capacidad de acogida según el objeto de la evaluación sin la aplicación del filtro de restricción, lo que se hará posteriormente (ver figura 1 para ilustración del proceso de evaluación). La ecuación utilizada ha sido la siguiente, tomada de Barredo (1996):

$$Lp = \left[\sum_{j=1}^n w_j |x_{ij} - 1|^p \right]^{1/p}$$

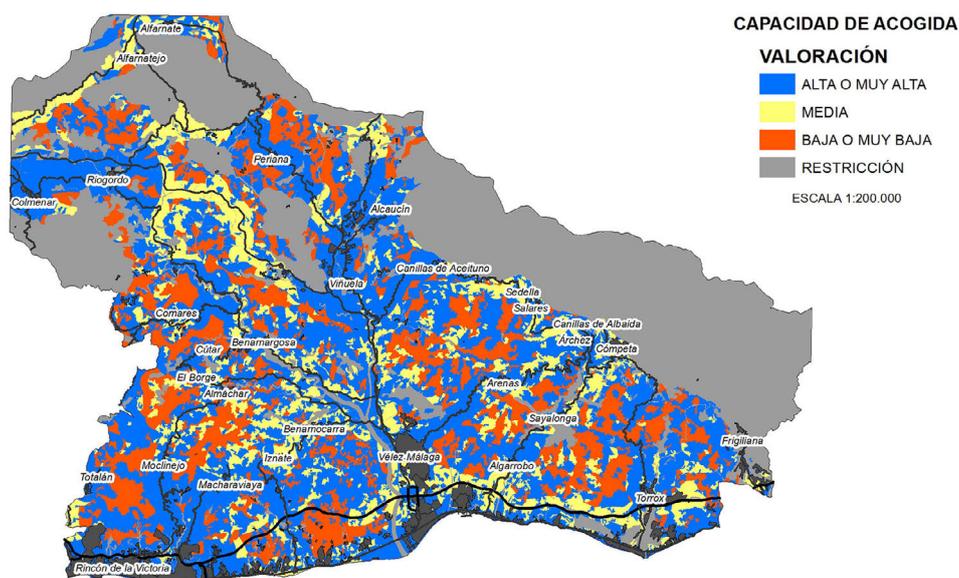
Donde:

w_j : peso del criterio j . x_{ij} : valor de la alternativa i en el criterio j ; y p : métrica para el cálculo de la distancia ($p=2$ corresponde a la distancia euclidiana)

Al resultado anterior, y con finalidad de obtener la capa modelo definitiva hemos aplicado el filtro de restricción. Los criterios de restricción en sí implican, dentro de los juicios que orientan nuestra evaluación, que se trata de limitación absoluta que no puede compensarse con otro factor positivo. Por ello, en este caso, hemos optado por las técnicas no compensatorias. Esta circunstancia tiene su justificación en que no se suelen emplear los criterios de restricción de manera numérica en escala de razón continuas, sino simplemente en forma de presencia o ausencia, puesto que no hay operaciones compensatorias con relación a ellos. Una vez que se han descartado las alternativas donde se aplican los criterios de restricción, el modelo de evaluación barajará combinadamente los criterios de aptitud y de vulnerabilidad para el resto del territorio, es decir, las alternativas posibles.

El resultado de todo el proceso queda sintetizado en una capa de información que muestra una zonificación o clasificación del espacio estudiado con una valoración asignada a cada parte del territorio en función de su capacidad para acoger los usos que han sido evaluados, según se muestra en la figura 2.

Figura 2. Capa modelo resultante del proceso de evaluación.



3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez obtenida la capa modelo de acogida, analizamos los resultados de su aplicación en un área geográfica concreta de la provincia de Málaga: la comarca de la Axarquía. Este espacio geográfico se localiza en la zona oriental de la provincia de Málaga (España), abarcando una extensión de 1.023,72 km² (12,68 % de la superficie provincial). Engloba a 31 municipios que pueden ser agrupados en dos realidades territoriales: una, la costa en la que se sitúan 5 municipios que abarcan una superficie de 331,26 km² (32,36 % de la superficie de la comarca), y otra, el interior en el que se localizan 26 municipios en una superficie de 692,46 km² (67,64 % de la superficie de la comarca). Sobre este espacio, considerado un área de transición rural-urbana, pero en la que la funcionalidad rural aun es predominante, el proceso urbano, espontáneo y sin planificación, ha irrumpido siguiendo un modelo de urbanismo difuso en suelo rústico.

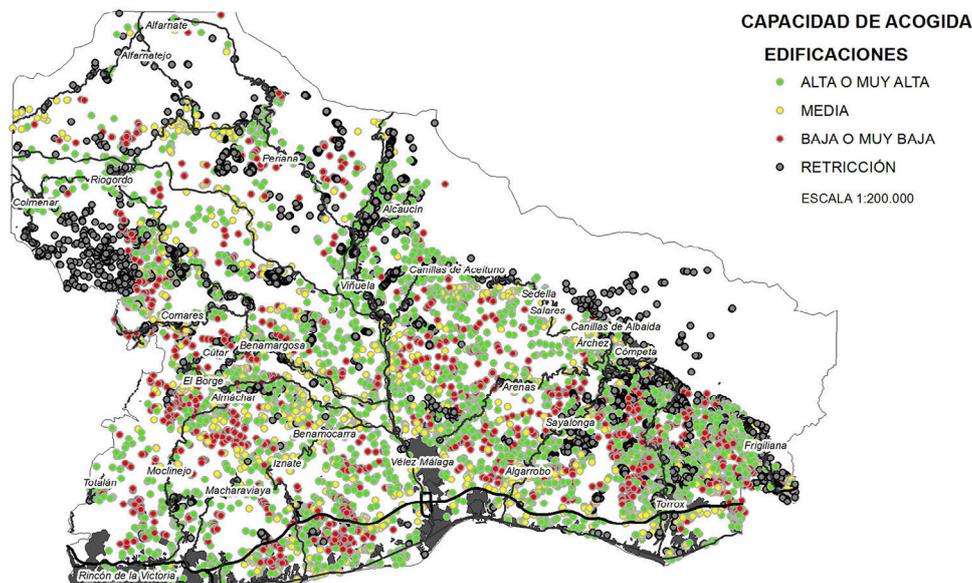
El germen de este fenómeno se encuentra en el proceso de ocupación territorial del litoral de la provincia de Málaga ligado a la actividad turística durante las últimas décadas, que ahora se extiende hacia el interior a través de la ocupación indiscriminada del espacio rural bajo una nueva forma de uso residencial turístico; una tipología peculiar de vivienda aislada basada en el diseminado tradicional y en una estructura parcelaria caracterizada por un minifundismo extremo. Los municipios del área aportan el suelo para el desarrollo de este fenómeno y se resarcen así de haber quedado en una posición marginal durante el proceso de desarrollo económico del litoral de las últimas décadas, pasando ahora a ser los protagonistas por su potencialidad residencial ante esta nueva demanda turística: la de la casa en el campo.

En Galacho (2011) se analiza el fenómeno y se muestran unas cifras que tienen como finalidad poner en evidencia la magnitud del fenómeno y algunas de sus características más destacadas en la provincia de Málaga. Hay que hacer notar que el fenómeno reciente de implantación de edificaciones se ha desarrollado, por lo general, de forma irregular cuando no declaradamente ilegal. Aunque también se encuentran casos dentro de la legalidad vigente en el momento de su aparición pero que actualmente podrían enmarcarse como casos en el límite de la arbitrariedad e interpretación abusiva de la normativa urbanística o las leyes del suelo. Aprovechando las circunstancias que prevé la legislación urbanística para la edificación en suelo no urbanizable, y como se ha comentado, apoyadas en las formas de hábitat tradicional en diseminado, se han venido realizando construcciones espontáneas no adscritas a ninguna figura de planeamiento particular (plan parcial, programa de actuación urbanística, proyecto de urbanización, etc.) pero que en muchos casos cuentan con documento administrativo (licencia municipal), es decir, desarrolladas en desacuerdo con el planeamiento pero con permiso municipal.

Las tipologías residenciales de este medio rural son variopintas, y de entre ellas destacamos aquellas relacionadas con el objeto de nuestro estudio: edificaciones de uso residencial ubicados en parcelaciones históricas o en parcelaciones ilegales, formación de núcleos de autoconstrucción por la aglomeración de edificaciones aisladas de modo espontáneo, e implantaciones residenciales de carácter turístico (hoteles rurales y casas rurales fundamentalmente). En conjunto las edificaciones de uso residencial ubicadas en parcelaciones históricas o en parcelaciones ilegales tienen un carácter aislado y se han construido en suelo no urbanizable, la gran mayoría de ellas sin vinculación efectiva con la explotación agrícola o ganadera originaria. Situación que ha venido suponiendo una interpretación abusiva de la legislación vigente en unos casos o un proceso completamente irregular en otros; sobre todo cuando se han producido segregaciones por herencia cuyas partes luego se han vendido por separado, o cuando las parcelaciones históricas han sufrido un proceso de parcelación ilegal. Otra casuística es la derivada de las iniciativas relacionadas con la actividad agraria: naves o almacenes de aperos, que posteriormente pasan a convertirse en viviendas, bien mediante transformación total o bien mediante combinación de ambos usos. En este caso se realizan construcciones espontáneas no adscritas a ninguna figura de planeamiento particular (plan parcial, programa de actuación urbanística, proyecto de urbanización, etc.), carentes de documento administrativo (licencia municipal), o en su caso, si se dispone, es únicamente de licencia municipal para almacén de aperos y objetos de labranza (generalmente se permiten unas instalaciones de una dimensiones muy inferiores de las que realmente se ejecutan).

En este contexto, para completar el análisis hemos realizado un proceso de catalogación del número de edificaciones en el suelo rústico atendiendo fundamentalmente a las tipologías comentadas. Se han contabilizado en la comarca objeto de estudio un total de 22.347 edificaciones en suelo rústico y en situación de irregularidad o ilegalidad. La cuantificación y posterior catalogación se ha realizado por medio de un estudio ortofotogramétrico con SIG y mediante trabajo de campo. La finalidad ahora es evaluar las características de su localización y mediante operaciones de análisis espacial se les ha asignado la valoración contenida en la capa modelo de capacidad de acogida. Con ello establecemos la correlación entre la capacidad de acogida del territorio y la localización de dichas edificaciones e instalaciones. En la figura 3 se muestra el resultado de esta operación.

Figura 3. Valoración de las edificaciones en relación con la capacidad de acogida.



Del total de las edificaciones de uso residencial contabilizadas: 22.347, 2.978 edificaciones se situaban en zonas que han sido valoradas como de capacidad de acogida muy baja o baja (13,33% del total). Por tanto en estas edificaciones se sintetizan unas cualidades territoriales que presentan escasas aptitudes para la construcción, fundamentalmente por la prevalencia de pendientes y tipos litológicos con características que son consideradas no aptas para la ubicación de edificaciones; a su vez, éstas producen una alteración relevante de los valores ambientales de la zona de ubicación por su efecto sobre la vegetación natural y los suelos; y, en su conjunto presentan una escasa integración paisajística, fundamentalmente por tratarse de tipologías no acordes y por el empleo de materiales constructivos ajenos al modelo tradicional. A ello hay que unir que se encuentran en zonas de elevada vulnerabilidad al riesgo natural, fundamentalmente por ser causantes del riesgo de erosión, sobre todo en su fase de construcción y al estar expuestas al riesgo de movimientos gravitacionales (deslizamientos, movimientos en masa y desprendimientos) por las peculiaridades físicas de su ubicación (zonas de elevadas pendientes y situación a media ladera). Con esta valoración suelen coincidir las edificaciones de uso residencial ubicadas en parcelaciones ilegales o diseminados de aparición espontánea.

En zonas que han sido valoradas como de capacidad de acogida intermedia se sitúan 4.904 edificaciones (21,94% del total). Estas edificaciones se localizan en zonas en las que confluyen una serie de características físicas y paisajísticas particulares: zonas de relieve alomando y de media altura (entre 400 y 600 metros s.n.m) y pendientes moderada entre el 10% y el 20%. No obstante, en su evolución reciente hacia un aumento considerable de su número y la formación de conglomerados producen una integración en el medio de difícil encaje, fundamentalmente en lo que se refiere al paisaje. En la mayoría de los casos no se encuentran en zonas de vulnerabilidad al riesgo natural. En este grupo se suelen localizar las edificaciones de uso residencial ubicados en parcelaciones históricas que han sufrido procesos de segregación por herencia e implantaciones residenciales de carácter turístico: hoteles rurales y casas rurales principalmente.

Por otra parte, se han valorado como edificaciones localizadas en zonas de capacidad de acogida muy alta o alta un total de 6.420 edificaciones (28,73% respecto al total). Esta valoración se corresponde a zonas caracterizadas por una aptitud para la construcción cercana a lo deseable, situadas en las zonas de menor pendiente y relieve más suave, escasamente afectadas por los riesgos considerados, rodeadas de cultivos de subtropicales o frutales lo que favorece su integración paisajística. Este conjunto se corresponde principalmente con los diseminados tradicionales, que si bien en muchos casos tienen otra funcionalidad, han mantenido su localización y morfología originaria, aunque en algunos casos

hayan sufrido un proceso de restauración y reconversión más o menos acertado. Esto significa que son edificaciones que responden a la lógica territorial del hábitat rural de la zona y que por tanto, surgieron eludiendo aspectos de vulnerabilidad al riesgo natural y buscaron la localización más idónea.

Finalmente, encontramos 8.045 edificaciones (36% del total) en zonas afectadas por el filtro de restricciones que hemos aplicado: principalmente con prevalencia de las restricciones legales establecidas (dominios públicos, zonas protegidas, servidumbres, vías pecuarias o protecciones impuestas por la planificación urbanística o territorial). En este grupo se encuentran las edificaciones surgidas de modo espontáneo y que han llegado a formar los núcleos de autoconstrucción y las edificaciones aisladas surgidas al margen del planeamiento urbanístico en parcelaciones ilegales, o las surgidas de modo espontáneo por consolidación de edificaciones en antiguas zonas dedicadas a la agricultura y que obtuvieron en su momento una licencia municipal para almacén de aperos y objetos de labranza. Además muchas de estas edificaciones se encuentran en zonas de vulnerabilidad al riesgo de inundación al situarse dentro del dominio público hidráulico.

4. CONCLUSIONES

Hemos querido demostrar que las características del proceso de urbanización en el espacio rural engaña en su apariencia, dada su extensión en el territorio y aunque parezca que es menos potente que en los espacios urbanos, en las últimas décadas ha pasado ha extenderse con gran intensidad hacia los espacios que quedaban expeditos de urbanización y hacia los espacios eminentemente rurales interiores. Ante lo constatado parece evidente que un aspecto fundamental que debe ser acometido de modo urgente y regulado a través de las figuras de planeamiento municipal y territorial es el control de las edificaciones y viviendas en el suelo rústico. Aunque este no sea un fenómeno nuevo sino más bien un problema nunca solucionado. De tal manera que es posible afirmar que la introducción en el medio rural del uso residencial no se viene produciendo de modo planificado ni de acuerdo con las condiciones naturales de éste, sino todo lo contrario, la irregularidad de las acciones e implantaciones es la nota predominante.

Con la intención de aportar un instrumento para el diagnóstico y la toma de decisión en el sentido que nos ocupa hemos definido esta metodología cuya lógica es construir un proceso claramente definido cuyo inicio es la formulación del objetivo de la valoración y su fin la obtención de una capa modelo de acogida final. Pero en su lógica interna se pretende no construir un proceso cerrado. Consideramos que con referencia a otras experiencias estudiadas, el modelo avanza en la construcción de la valoración con una desagregación muy elevada de juicios parciales, lo que le convierte en una herramienta dúctil, con la que se puede interactuar, capaz de reorientar la evaluación de acuerdo a diferentes puntos de vista. En este sentido, somos plenamente conscientes que el resultado de la evaluación es válido en función de los juicios y las valoraciones emitidas, teniendo cabida por tanto experimentar sobre resultados alternativos, rectificar los juicios, considerar o no determinadas variables o criterios, etc. Realizado el proceso de evaluación, la información aparece ahora expresada en función del significado del medio en su conjunto para las actividades consideradas.

Teniendo en cuenta que nuestra propuesta metodológica pretende ser dúctil se ha optado por definir ésta en torno a cuatro conceptos básicos: calidad, fragilidad, aptitud y vulnerabilidad al riesgo. Hemos observado como el medio puede ser descrito en función de sus elementos y variables geográficas, y estudiado a través de los conceptos de calidad y fragilidad, la relación de estos dos conceptos con las actividades o usos vendrá dada a través de los conceptos de aptitud y vulnerabilidad al riesgo. Por consiguiente, nos moveremos en un proceso en el que primero se hace una caracterización de las cualidades físico-ambientales y después una estimación de los distintos tipos de implantaciones. Con ello se ha sinterizado el grado de adaptación de dichas implantaciones al medio, para después se ha hecho una valoración de las alternativas preferidas con la finalidad de cuantificar los efectos negativos derivados de estas acciones. Por lo tanto, se estimarán procedimientos de valoración diferentes según cada caso (definido el caso como el objeto de la evaluación). Es base a la consideración de que las propiedades del territorio tienen un significado en orden al desarrollo de las actuaciones (consideradas estas propiedades en su conjunto, para cada espacio determinado y para unas posibles actuaciones) se define la capacidad que tiene dicho espacio para desarrollar en él dichas actuaciones; así el significado de capacidad de

acogida del territorio se entiende derivado de la concurrencia, en un espacio determinado, de ciertas características y elementos ambientales significativos. Se trata pues de diseñar procesos de evaluación orientados a objetos específicos con la intención de delimitar entre las alternativas reales las que sean compatibles con un objeto de evaluación concreto.

Como consecuencia de todo ello se podrán presentar una diversidad de factores susceptibles de intervenir en la definición de los conceptos básicos de aptitud y vulnerabilidad, incluso en el filtro de restricciones; y al mismo tiempo, se configurará un marco de relaciones plural (los lugares de un territorio admiten valoraciones diferentes según la prioridad establecida: el objeto de la evaluación) que sitúa al planificador en el dilema habitual de las alternativas en conflicto.

Un esquema de este tipo permite generar distintas posibilidades de mapas de usos óptimos, por ejemplo, de aptitud o capacidad alta para tipología concretas, pudiendo representar gráficamente qué zonas no responden a un nivel alto de aptitud. Además con este proceso es posible evidenciar también los grados de conflicto que pueden encontrarse y puede darse entrada a gran número de alternativas razonables.

Respecto a esto último y según el número de alternativas barajado, puede ser conveniente realizar una ordenación de las mismas por su capacidad con relación a las cualidades territoriales consideradas de calidad, fragilidad, aptitud y vulnerabilidad. Así se define de forma sistemática una relación de orden $a_{ej} > a_{mi}$ (la tipología j de la actividad e es preferible a la tipología i de la actividad m). Esta operación puede resultar laboriosa y es conveniente proceder por aproximaciones sucesivas, entendiendo cada actividad mediante criterios que atiendan al concepto de compatibilidad territorial, tal y como se sugiere en MMA (2000, 669-670) realizar la toma de decisiones según un proceso de análisis aproximativo:

Localización de las tipologías edificatorias sobre la capa modelo resultante del proceso de evaluación y que muestra las clases de aptitud. Se determina en qué áreas sólo una de las tipologías aparece en dos clases superiores. El territorio queda dividido en: áreas a las que se le atribuye ya un uso óptimo (sólo una tipología posible a nivel alto), áreas conflictivas (con más de una tipología posible a nivel alto) y áreas en que ninguna tipología posible alcanza nivel alto.

Relación de orden entre las tipologías que se excluyen o penalizan geográficamente. Se establecen diversas alternativas según relaciones de orden diferentes.

Solución de los conflictos mediante el orden establecido (en las alternativas). Atribución de la tipología que preceda a las demás en el orden de la permutación.

Medición de las superficies resultantes atribuidas a los distintos usos o tipologías de cada uso y toma de decisión de si la distribución es admisible en el contexto general; o si no lo es, se realizan las modificaciones pertinentes en la dirección precisa la relación establecida.

En definitiva, consideramos que es necesario disponer de instrumentos y métodos para una eficaz de ordenación territorial cuyos principios básicos partan de encarar los problemas territoriales mediante la integración de los objetivos económicos, sociales y ambientales. Se aboga por actuar decididamente en la gestión integrada del territorio, mediante la cual se establezcan estrategias de planificación y gestión de los recursos y el espacio. En nuestra consideración, los modelos de capacidad de acogida se adecuan perfectamente a este objetivo, apoyados en las TIGs y las Técnicas de Evaluación Multicriterio. La ideología que rige los planteamientos de esta metodología es que la gestión integrada del territorio implica la voluntad de favorecer que la transformación del espacio rural no se realice bajo los modelos urbanos actuales congestivos y masivos sino que se realice bajo la perspectiva de un sistema más equilibrado apoyado en los núcleos existentes y en los espacios de interés ambiental, cuya integración territorial es fundamental para la consecución de un equilibrio entre el medio rural y el urbano.

BIBLIOGRAFÍA

- BARBA, S. y POMEROL, J. C. (1997): *Decisiones multicriterio: fundamentos teóricos y utilización práctica*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Alcalá de Henares, Alcalá de Henares, 420 p.
- BARREDO, J. I. (1996): *Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio*. Ra-Ma Editorial, Madrid, 264 p.

- BARREDO, J. I. y BOSQUE, J. (1995): "Integración de evaluación multicriterio y sistemas de información geográfica para la evaluación de la capacidad de acogida del territorio y asignación de usos del suelo", en *Actas IV Congreso Español de Sistemas de Información Geográfica*, Barcelona, pp. 191-200.
- BELTON, V. y STEWART, T. (2002): *Multiple criteria decision analysis: an integrated approach*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 369 p.
- BISSET, R. (1980): "Methods for environmental impact analysis: recent trends and future prospects", en *Journal of Environmental Manage*, nº 11, pp. 27-43.
- BLACK, P. E. (1991): *Environmental Impact Analysis*. Kinko's Center. Syracuse (New York), 310 p.
- BOSQUE, J. y MORENO, A. (2004): *Sistemas de Información Geográfica y localización de instalaciones y equipamientos*. Ra-Ma Editorial, Madrid, 384 p.
- CANTER, L. W.:
- (1977, 1996 2ª Edición): *Environmental Impact Assessment*. McGraw Hill. New York, 331 p.
 - (1985): *Environmental Impacts of Agricultural Production Activities*, Lewis Publishers Inc., Chelsea, Michigan, 209 p.
- CANTER, L. W. y HILL, L. G. (1979): *Handbook of Variables for Environmental Impact Assessment*. Ann Arbor. Michigan, 201 p.
- CLARK, B. D.:
- (1978): "Methods of environmental impact analysis", en *Built Environ*, nº 4, pp. 111-121.
 - (1980): *A manual for the assessment of major development proposals*. Her Majesty's Stationery Office. England.
- EASTMAN, J. R., KYEM, P. A. y TOLEDANO, J. (1993a): *Gis and Decision Making*. United Nations Institute for Training and Research (UNITAR), Ginebra.
- EASTMAN, J. R., JIN, W., KYEM, P. A. y TOLEDANO, J. (1993b): "An algorithm for Multi-Objective Land Allocation Using GIS" en *Proceedings International Workshop on GIS*, Beijing, Chinese Academy of Science, pp. 261-270.
- GAL, T., STEWART, J. y HANNE T. (1999): *Multicriteria decision making: advances in MCDM models, algorithms, theory, and applications*. Kluwer Academic Publishers, Boston, 560 p.
- GALACHO, F. B., OCAÑA, C. y MANCERAS, J. A. (2004): "Diseño de un Sistema de Apoyo a la Decisión Espacial (SADE/SDSS) para la planificación y gestión territorial a escala local", en *Actas del XI Congreso de Métodos Cuantitativos, Sistemas de Información Geográfica y Teledetección*. Murcia, pp. 13-27
- GALACHO, F. B. y OCAÑA, M. C. (2006): "Tratamiento con SIG y Técnicas de Evaluación Multicriterio de la capacidad de acogida del territorio para usos urbanísticos: residenciales y comerciales", *Actas del XII Congreso Nacional De Tecnologías de la Información Geográfica, Cd-Rom*. Granada, pp. 1.509-1.525.
- GALACHO, F. B., RAMÍREZ, J. F., OCAÑA, C., GÓMEZ MORENO, M. L., JUAN, J. I. y ARREBOLA, J. A. (2009): "Desarrollo metodológico para la evaluación de la capacidad de acogida del territorio respecto a actividades ecoturísticas en la cuenca de Valle de Bravo-Amanalco (Estado de México)" en Leyva López, J. C., Avilés Ochoa, E. y Zepeda Rodríguez, J. J. (editores): *Herramientas Operativas para el Análisis Multicriterio del Desarrollo Económico Local*. Universidad de Occidente, México, pp.165-214.
- GALACHO, F. B.:
- (2010): "La irrupción del proceso urbano en los espacios rurales. Reflexiones acerca de las características de una nueva forma de relación entre territorio y economía", en Delgado, C., Juaristi, J. y Tomé, S. (edit.): *Ciudades y paisajes urbanos en el siglo XXI*, Ediciones de Librería Estudio. Santander, pp. 297-314.
 - (2011): "Implicaciones territoriales y aspectos sociales del urbanismo difuso en áreas de transición rural-urbana. su análisis en la provincia de Málaga (España), en *Actas del XXII Congreso de la Asociación de Geógrafos de España, vol. 1*. Alicante, pp. 267-278.

- GÓMEZ OREA, D. (1992): *Evaluación de Impacto Ambiental*. Editorial Agrícola Española S.A. Madrid, 222 p.
- GÓMEZ, M. y BARREDO, J.I. (2005): *Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio*, Ra-Ma Editorial, Madrid, 279 p.
- HOLLICK, M. (1981): "The role of quantitative decision-making methods in environmental impact assessment", en *Journal of Environmental Manage*, nº 12. pp. 65-78.
- JANKOWSKI, P. (1995): "Integrating geographical information systems and multiple criteria decision-making methods" en *International Journal of Geographical Information Systems*, 9, 3, pp. 251-273.
- JANSSENS, R. (1992): *Multiobjective decision support for environmental management*. Kluwer, Dordrecht, 232 p.
- LEE, N.:
- (1982): "The future development of environmental impact assessment", en *Journal of Environmental Manage*, nº 14. pp. 71-90.
 - (1983): "Environmental Impact Assessment: A Review", en *Applied Geography*, nº 3, pp. 60-79.
- MALCZEWSKI, J. (1999): *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. John Wiley & Sons, Inc., New York, 408 p.
- MMA -Ministerio de Medio Ambiente- (2000): *Guía para la elaboración de estudios del medio físico*. Centro de Publicaciones de la Secretaría General Técnica del Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, 809 p.
- MOLERO, E., GRINDLAY, A.L. y ASENSIO, J.J. (2007): "Escenarios de aptitud y modelización cartográfica del crecimiento urbano mediante técnicas de evaluación multicriterio", en *GeoFocus*, nº 7, pp. 120-147.
- MORENO, J. M. Y ESCOBAR, M. T. (2000): "El pesar en el proceso analítico jerárquico", en *Estudios de Economía Aplicada* nº 14, pp. 95-105.
- MORENO, J. M. (2002): "El Proceso Analítico Jerárquico. Fundamentos. Metodología y Aplicaciones", en Caballero, R. y Fernández, G.M.: *Toma de decisiones con criterios múltiples*. RECT@ Revista Electrónica de Comunicaciones y Trabajos de ASEPUMA, Serie Monografías, nº 1, pp. 21-53.
- MORENO JIMÉNEZ, A. Y BUZAI, G.D. (2008): *Análisis y planificación de servicios colectivos con Sistemas de Información Geográfica*. Departamento de Geografía Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, 158 p.
- MUNDA, G. (2008): *Social multi-criteria evaluation for a sustainable economy*. Springer-Verlag, Berlín Heidelberg, 210 p.
- NIJKAMP, P. y VAN DELFT, A. (1977): *Multi-criteria analysis and regional decision making*. Martinus Nijhoff. The Netherlands, 135 p.
- NIJKAMP, P. (1990): *Multicriteria evaluation in physical planning*. Elsevier Science Publishers, The Netherlands, 219 p.
- OCAÑA, C. y GALACHO, F.B. (2002): "Un modelo de aplicación de SIG y evaluación multicriterio al análisis de la capacidad de territorio en relación a funciones turísticas", en *Actas del IV Congreso Nacional Turismo y Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, (Turitec)*, Málaga, pp. 235-253.
- OCAÑA, C., GÓMEZ, M^a.L. y BLANCO, R. (2004): *Las vistas como recurso territorial. Ensayo de evaluación del paisaje visual mediante un SIG*. Universidad de Málaga (Departamento de Geografía), Málaga, 172 p.
- RAU, J. G. y WOOTEN, D. C. (1980): *Environmental Impact Analysis Handbook*. McGraw Hill. New York, 642 p.
- ROMERO, C. (1993): *Teoría de la decisión multicriterio: conceptos, técnicas y aplicaciones*. Alianza Universidad-Textos, Madrid, 195 p.
- ROY, B. (2007): *Metodología multicriterio de ayuda a la decisión*. Ediciones Tórculo, Santiago de Compostela, 250 p.

SAATY, T. L. (1980): *The Analytical Hierarchy Process*. Mc Graw Hill. Nueva York. 333 p.

SANTOS, J. M.:

- (1997): “El planteamiento teórico multiobjetivo/multicriterio y su aplicación a la resolución de problemas medioambientales y territoriales mediante los SIG raster”, en *Espacio, Tiempo y Forma (Serie VI, Geografía)*, nº 10 pp. 129-151.
- (1998): “El tratamiento de variables ordinales en la metodología de la evaluación multicriterio (EMC): el método de las precedencias”, en *Tecnología geográfica para el siglo XXI (Actas del VIII Coloquio del Grupo Métodos Cuantitativos, SIG y Teledetección de la AGE)*. Barcelona, pp. 120-131.

SEO, F. (1988): *Multiple criteria decision analysis in regional planning: concepts, methods and applications*. Reidel, London, 230 p.

TRIANAPHYLLOU, E. (2000): *Multi-criteria decision making methods: a comparative study*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 324 p.

VOOGD, H. (1983): *Multicriteria Evaluation for Urban and Regional Planning*. Pion, London, 367 p.

GEOVISUALIZACIÓN DE LA POBLACIÓN: NUEVAS TENDENCIAS EN LA WEB SOCIAL¹

Pablo Mateos²

Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social (CIESAS)
Guadalajara, México

RESUMEN

La visualización geográfica, o geovisualización, sitúa al espacio como eje central en la exploración del conocimiento sobre el mundo que nos rodea. En este artículo se resumen algunas de las nuevas tendencias en la geoweb y la geovisualización de información sociodemográfica. Se presentan una serie de aplicaciones desarrolladas en proyectos de investigación en University College London (UCL), Reino Unido. Dichos proyectos de geovisualización tienen como fin hacer accesibles al público en general, representaciones alternativas de fenómenos sociales y poblacionales en el territorio. Para ello se facilita la contribución de contenido proveniente de diversas fuentes y sitios web, que puede ser integrado virtualmente a través de *mapping mashups*. Estos “agregados cartográficos” son configurados a gusto del usuario final sin ningún costo, permitiéndole compartir con el mundo su particular representación de la realidad socio-espacial en maneras inimaginables hace tan solo siete años.

Palabras clave: geovisualización, cartografía temática, censo de población, desigualdades urbanas, UCL-CASA.

ABSTRACT

Geovisualization of populations: New trends in the social web

Geographic visualization, or geovisualization, places space as the central theme in knowledge exploration about the world around us. This paper reviews recent trends in the geoweb and geovisualization of sociodemographic information. The paper presents several examples of research projects to geovisualize social and population dynamics developed at University College London (UCL). The main aim of these research projects on geovisualisation is to make available to the general public alternative representations of social and population phenomena over space. To this end, new geovisualisation technologies facilitate the combination of geographic content supplied from various sources and websites, but integrated together through *mapping mashups*. These “cartographic aggregations” are built to fit the end user’s preferences at no cost. As a result, an average lay user can share with the world their particular socio-spatial representations of reality in ways that seemed unthinkable just a few years ago.

Key words: geovisualization, thematic mapping, census of population, urban inequalities, UCL-CASA.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos diez años la geovisualización, o la representación visual de información geográfica, ha experimentado una auténtica revolución como resultado de una serie de factores técnicos y sociales que se abordan en este artículo.

¹ Este artículo se ha elaborado dentro del proyecto de investigación “Contaminación atmosférica urbana y justicia ambiental: metodología de evaluación y estudio de casos con sistemas de información geográfica”, financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación de España, referencia CSO2011-26177.

² pmateos@ciesas.edu.mx.

Pese a los rápidos desarrollos de la cartografía digital entre las décadas de los 60 a los 90, e incluso su transposición en la web a partir de mitad de los 90, es solamente a partir de la mitad de la pasada década cuando se ha constatado una explosión de interés en el papel de la geografía como eje central en la exploración del conocimiento sobre el mundo que nos rodea. En efecto, “el mapa” se ha establecido rápidamente como una de las ventanas principales por las que el usuario medio de Internet se asoma a explorar el mundo que le rodea. Como factor crucial de este “renacimiento” de la geovisualización ha tenido mucho que ver la aportación de diversas formas creativas para la visualización del creciente volumen de información disponible por Internet, pero que parte de los ciudadanos y grupos pequeños en lugar de los Estados y las grandes corporaciones, los tradicionales productores de información geográfica. Este fenómeno ha sido denominado como la “democratización” de la información geográfica (Butler, 2006) y está caracterizado por formas muy innovadoras de geovisualización de información de muy distinta procedencia. En los últimos años, el ciudadano ordinario ha tomado un papel protagonista en la creación de representaciones alternativas de su entorno que desafien la legitimidad de las estadísticas y cartografías oficiales y denuncien las desigualdades socio-espaciales que le son palpables en su territorio inmediato.

En este artículo se argumenta que estos cambios en el tipo de agentes participantes, prácticas y técnicas de geovisualización de fenómenos sociales o naturales sobre el espacio, tienen una mayor trascendencia social que todos los desarrollos técnicos acaecidos en las décadas precedentes en el mundo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la cartografía. Dichas tendencias en geovisualización se han desarrollado de manera paralela al surgimiento de la web de segunda generación, también llamada web 2.0 o web social, que en el plano geográfico se ha venido a denominar la Geoweb (Elwood, 2009). A través de la Geoweb, los ciudadanos se han sentido rápidamente “empoderados” para explorar y expresar fenómenos geográficos de manera muy ágil e intuitiva. Dichos procesos han llevado a una rápida proliferación de habilidades básicas de interpretación espacial, que algunos autores han denominado la “alfabetización espacial” de la población. Sin embargo, los geógrafos y otros profesionales de la información geográfica, así como la academia y las instituciones gubernamentales en general, han llegado tarde a esta revolución en la democratización de la geovisualización. Éstos procesos realmente se han gestado en ámbitos mucho más cercanos a los usuarios finales y sus problemas de aplicación práctica, en gran parte resueltos por el amplio mundo de la informática, o las ciencias de la información sin geografía como adjetivo. Dicha transferencia del centro del protagonismo en la generación, adopción e interpretación de la información geográfica, desde “las élites” hacia los ciudadanos, tendrá una serie de importantes consecuencias futuras que apenas alcanzamos a vislumbrar en estos momentos. En este artículo intentaremos esbozar la dirección principal de dichos cambios a través de una serie de ejemplos ilustrativos de dicha transformación tomados de primera mano en uno de los centros de investigación dónde se han gestado algunas de estas tendencias.

El objetivo de este artículo es doble. Por un lado, pretende sintetizar una serie de tendencias generales de índole técnica y social acaecidas en los últimos siete años en el mundo de la información geográfica y la geovisualización, como son la alfabetización espacial, la geoweb, y la información geográfica voluntaria, estableciendo las principales consecuencias de dichos cambios para el sector de la información geográfica. Por otro lado, se utilizan una serie de ejemplos de geovisualización innovadora de fenómenos socio-demográficos en el espacio para ilustrar dichas tendencias, establecer diferencias con los “usos y costumbres” anteriores, y acercar y promover el uso de dichas técnicas entre la comunidad de geógrafos y profesionales de la información geográfica de habla española.

En este artículo, en una primera parte (secciones 2, 3, y 4) se revisan dichas tendencias; desde la “información geográfica voluntaria” (*volunteered geographic information*) (Goodchild 2007) y la alfabetización de la población (*spatial literacy*), pasando por la geoweb y la geovisualización, para entrar de lleno en los denominados *mapping mashups* (que en este artículo traducimos como “agregados cartográficos”) la principal técnica que ha facilitado esta transformación. En una segunda parte, el artículo presenta las consecuencias de estos desarrollos para la difusión de información socio-demográfica (sección 5), presentándose una serie de estudios de caso desarrollados por un equipo de geógrafos en *University College London* (UCL) (secciones 6, 7 y 8). Finalmente se presentan una serie de conclusiones que cierran el artículo.

2. LA “ALFABETIZACIÓN ESPACIAL” DE LA POBLACIÓN Y LA ERA DE LA “INFORMACIÓN GEOGRÁFICA VOLUNTARIA”

El mundo en el que la información geográfica oficial fluía lentamente a través de costosas plataformas y complicados protocolos de intercambio de datos principalmente dirigidos a expertos de Sistemas de Información Geográfica (SIG), se derrumbó repentinamente en el verano de 2005, momento de aparición de los denominados “globos digitales” (Butler, 2006). Dichos globos en 3-D, tales como *Google Earth* o *Microsoft Virtual Earth*, y sus representaciones en mapas 2-D como *Google Maps*, *Yahoo Maps*, *Bing Maps* u *OpenStreetMap*, se han convertido rápidamente en un omnipresente “telón de fondo” geográfico sobre el cual los ciudadanos comunes y corrientes comparten de manera cotidiana todo tipo de contenido con algún componente espacial. Estos globos digitales y mapas en línea (*online maps*), forman parte de un conjunto de desarrollos tecnológicos acaecidos desde mediados de los años 2000, que han conformado un nuevo “ecosistema” denominado como la *geoweb* (Elwood, 2010a). La *geoweb* ha cambiado radicalmente el mundo de la información geográfica (IG) y su relación con la ciudadanía de a pie en cuestión de muy pocos años. A continuación se describen brevemente los avances socio-tecnológicos que han facilitado la revolución de la *geoweb*; la web 2.0, la información geográfica voluntaria, tecnologías de georeferenciación, mejoras en el procesamiento gráfico e internet de banda ancha.

La web 2.0 es un término genérico para definir colectivamente una serie de desarrollos en Internet que han cambiado profundamente a ésta a partir del año 2000. Se trata de un vuelco en la manera en la que se genera, disemina, circula y se consume información. En la primera generación de Internet, desde su aparición en torno a 1993 hasta el cambio de siglo, la información fluía “de arriba abajo”, de manera estática y controlada por estructuras de poder que acreditaban la veracidad y calidad del contenido (gobiernos, empresas, instituciones civiles, ONGs, etc). El papel del usuario final era el de un consumidor pasivo de “contenido pre-verificado”. Con la segunda generación de Internet, la Web 2.0, las distinciones entre productores y usuarios de información se han difuminado (Budhathoki *et al.*, 2008). Cualquier usuario puede contribuir información en innumerables sitios compartiendo la tarea de proveer contenidos en Internet que otras personas encontrarán de utilidad. Esta filosofía “de abajo a arriba” está materializada por blogs, wikis, redes sociales, comentarios a páginas, videos tipo *YouTube*, periodismo ciudadano, y una infinidad de canales de comunicación diversos para proveer distintas versiones o representaciones de la realidad. La característica común de dicha revolución en la producción de información se ha venido a llamar el “contenido generado por usuarios” (*user generated content*), o por “la multitud” (*crowd-sourcing*), y un caso particular del mismo es el contenido geográfico. Goodchild (2007) ha acuñado el término “información geográfica voluntaria” (*volunteered geographic information*) o VGI, por sus siglas en inglés, para referirse a dicho contenido geográfico generado por los usuarios de manera altruista. La VGI se define como la extendida práctica de un gran número de ciudadanos que se involucran a título particular, y generalmente con escasa formación, en la creación de información geográfica de manera voluntaria. De manera agregada, millones de colaboraciones cotidianas individuales hacen que la VGI esté llamada a alterar la generación de conocimiento geográfico, que hasta hace apenas una década era una tarea exclusiva de los gobiernos, concebido como recurso estratégico del Estado. Ejemplos de VGI son: plataformas abiertas (*open source*) de mapas como *OpenStreetMap* (OSM) o *Wikimapia*; fotos geocodificadas en *Picasa*, *Flickr* o *Facebook*; comentarios geocodificados; información de movilidad (p.ej. densidad de tráfico) capturada por cientos de personas como sensores a través del teléfonos móviles y GPS (*Global Positioning System*); e infinidad de datos sobre puntos de interés, medio ambiente, transporte público, y un largo etc. que los ciudadanos suben a Internet con una localización sobre un mapa.

Otro pilar en el que se ha fundado la *geoweb* es la proliferación de tecnologías que facilitan enormemente la georeferenciación de información, es decir la descripción precisa de su localización espacial. Éstas son: el GPS, hoy en día omnipresente en teléfonos móviles, cámaras, ordenadores, coches, contenedores y muchos otros objetos; los callejeros digitales que permiten transformar una dirección postal o un topónimo en unas coordenadas geográficas, bien automáticamente o visualmente apuntando en un mapa; y la auto-ubicación de teléfonos móviles inteligentes (*smartphones*), que permiten geocodificar (*geotagging*) cualquier información que se sube a internet desde el mismo (por ejemplo, prácticas de *geoblogging*).

Otros desarrollos que han facilitado la revolución de la geoweb son la mejora dramática en la capacidad de procesamiento gráfico de imágenes en los ordenadores, y el incremento en el acceso a Internet especialmente a través de banda ancha (ADSL en España). Estos dos aspectos por ejemplo fueron cruciales para el éxito de *Google Earth*, una tecnología que estaba ya disponible desde mitad de los años 90 pero solamente accesible por medio de super-ordenadores y redes de alta velocidad privadas (Goodchild, 2007).

Como resultado de estas tendencias, el conjunto de desarrollos conocidos como la Geoweb ha hecho que la mayoría de usuarios de internet se hayan acostumbrado rápidamente al manejo intuitivo de información geográfica, adquiriendo una cierta “alfabetización espacial” (*spatial literacy*) (Schultz *et al.*, 2008). Mientras hasta hace apenas siete años, aquellos que utilizaban mapas en papel o por ordenador eran claramente una minoría, hoy aquel que no sabe leer mapas o interpretar información geográfica en la web sufre una “analfabetización espacial” que le impide acceder o entender gran parte de los contenidos que hoy circulan por Internet. En gran medida, la propagación de dicha alfabetización espacial ha sido facilitada por importantes desarrollos en el campo de la geovisualización.

3. GEOVISUALIZACIÓN

La visualización geográfica o geovisualización (GVis por sus siglas en inglés), se refiere a la representación visual de información geográfica para facilitar la comunicación de conocimiento espacial (Kraak, 2007). El campo más amplio de la visualización ha sido definido en español como “la transmisión de información y conocimiento a través de imágenes dirigidas a la vista” (Ojeda Zújar 2010, p.445), dentro del cual la geovisualización atañe a la información geográfica. Dichas definiciones desvelan su larga historia tanto en el mundo analógico (desde el origen de la cartografía) como en el digital (desde el origen de los SIG en los años 60). La principal ventaja de la geovisualización como herramienta de investigación es su utilidad en “todas las etapas de resolución de problemas en el análisis geográfico, desde el desarrollo de las hipótesis iniciales, hasta el descubrimiento de conocimiento, análisis, presentación y evaluación” (Buckley *et al.*, 2000, p.2). No obstante, el valor de la geovisualización recae principalmente en la exploración de información geográfica y la comunicación de resultados, y no tanto en las etapas de análisis *per se*, el territorio tradicionalmente reservado al análisis espacial. Así, la geovisualización ofrece una manera sencilla de reducir la complejidad de grandes volúmenes de datos disponibles por Internet, o lo que se ha venido llamando el nuevo paradigma del *Big Data*. La geovisualización es clave para detectar patrones y relaciones en dichas masas de datos, permitiendo la búsqueda y recuperación de información incluso aunque inicialmente no se sepa muy bien lo que se está buscando (MacEachren y Kraak, 2001).

La geovisualización es un caso particular, una extensión espacial, del amplio campo de la visualización de información, es decir la representación visual y dinámica de la información para su mejor comprensión. Esta genealogía de la geovisualización ha sido generalmente ignorada por muchos profesionales de los SIG, que en gran medida han sido sobrepasados por las recientes tendencias de la geoweb y la geovisualización. Sin embargo, el espectacular desarrollo de la geovisualización en los últimos años no se entiende sin los desarrollos paralelos acaecidos en diversos campos como; informática, estadística, física, análisis visual (*visual analytics*), diseño (la infografía), procesamiento de gráficos (*computer graphics*) y los video-juegos. Es decir, la reciente revolución en geovisualización ha acaecido mayoritariamente de manera desconectada del nicho de los especialistas en SIG, tradicionalmente dominado por los profesionales de la Geografía, Ingeniería y otras ciencias sociales y medioambientales con un alto componente espacial.

Aunque los geógrafos han llegado tarde a este “renacimiento” de la geovisualización, se ha forjado un amplio consenso acerca del gran potencial que tiene la “geografía” (en minúsculas y en sentido amplio) para erigirse en el eje central de la visualización y exploración innovadora del conocimiento (Dodge, McDerby y Turner, 2006). Es decir, el mapa rápidamente se ha convertido en la ventana a través de la cual el ciudadano común y corriente interroga al mundo que le rodea para buscar y compartir información relevante. De ahí la justificación de la gran inversión en información geográfica que ha hecho el gigante Google, y el desarrollo de herramientas muy innovadoras para su exploración que pone gratuitamente a disposición del público. En otras palabras, la geovisualización, facilitada por la creciente alfabetización espacial de la ciudadanía, se torna en un interfaz clave para dar sentido al creciente volumen de información disponibles en Internet.

La geovisualización no solamente consiste en representaciones espaciales de información cuantitativa a través de mapas (temáticos, físicos, de puntos, de superficies, fotografía aérea/satélite, etc), o incluso de cartogramas. Además de éstos, la geovisualización también incluye representaciones no cartográficas de datos cuantitativos con componentes espaciales (diagramas de redes, gráficos estadísticos, etc.), así como de material cualitativo que permite dotar de “significados” al espacio, como la fotografía, video, texto o audio con referencia explícita a su componente espacial. Elwood (2010b) ofrece un interesante resumen de las tendencias de la geovisualización de información cualitativa y multimedia en la geoweb. Finalmente, las recientes herramientas de geovisualización permiten sobre todo la combinación dinámica entre varias de estas representaciones visuales del espacio. Una herramienta clave para facilitar dichas combinaciones de geovisualizaciones es conocida como agregados cartográficos (*mapping mashup*). Ésta permite a un usuario común combinar geovisualizaciones de datos cualitativos o cuantitativos de muy diversa procedencia y calidad por las cuales navega sin ser consciente de debates entre epistemologías científicas y principios cartográficos. Es por esto que algunos han venido a llamar esta manera de entender la geovisualización y la geoweb como una nueva corriente ciudadana fuera de la ciencia; la *neogeografía* (Turner, 2006) o la “geografía de las masas” (Hudson-Smith *et al.*, 2009), protagonizada por un público amateur de “cartógrafos profanos” (*lay cartographers*) (Elwood, 2010b). Aunque la elección del término *neogeografía* ha sido muy discutida (Leszczynski, 2010), el impacto de la revolución en la geovisualización acaecida en los últimos cinco años a través de los agregados cartográficos (*mapping mashups*), principalmente fuera de la academia, es innegable.

4. MAPPING MASHUPS O AGREGADOS CARTOGRÁFICOS

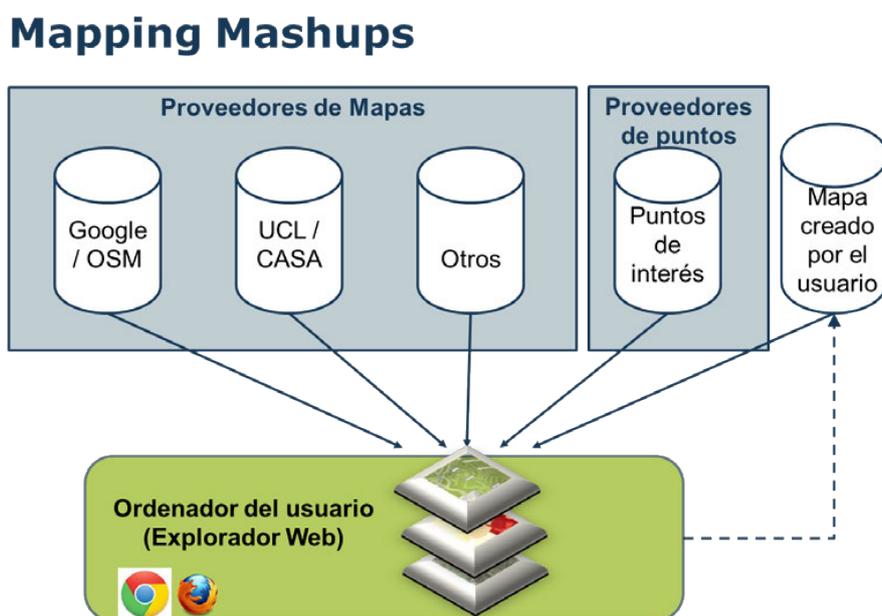
El principal desarrollo tecnológico que ha permitido la revolución en la geovisualización descrita en el anterior apartado, ha sido la posibilidad de combinar en la pantalla del usuario información geográfica de muy distinta procedencia sobre una base cartográfica estándar. Esta tecnología se conoce de manera general como agregados cartográficos (*mapping mashups*), literalmente un “conglomerado o mezcla de mapas”. Este término ha sido adoptado rápidamente para referirse a las aplicaciones web de tipo híbrido que combinan información geográfica o aplicaciones de software de dos o más fuentes (Monmonier 2007). Estos *websites* tienen en común una nueva manera para facilitar no sólo el acceso a información geográfica sino la contribución de contenido georeferenciado proveniente del propio usuario o de diversas fuentes, todos ellos integrados virtualmente a través de *mapping mashups*. Dicho contenido puede incluir datos censales, estadísticas del gobierno, información de servicios comerciales, así como información geográfica voluntaria (VGI). Estos “collages cartográficos”, son configurados a gusto del usuario final sin ningún costo, permitiéndole compartir con el mundo su particular representación de la realidad en maneras inimaginables hace tan solo unos años.

Su éxito se debe a una combinación de nuevas formas de visualización gráfica y acceso a la información geográficas de una manera dinámica que es rápida y fácilmente entendida por cualquier tipo de público. Lo que caracteriza esta tecnología es que está construida principalmente con una perspectiva de “abajo a arriba”, en el que varios usuarios u organizaciones proporcionan contenido desde varios servidores y *websites*, en lugar de basarse en una estructura diseñada “de arriba a abajo” para difundir información geográfica de manera centralizada. En la Figura 1 se ofrece un diagrama de cómo se configura la información agregada en un *mapping mashup*. (Vid. Figura 1)

La tecnología de agregados cartográficos (*mapping mashups*) más utilizada tiene como base los mapas de *Google Maps*, un servicio web que “aumentó espectacularmente las expectativas de los usuarios con sus movimientos fluidos, una experiencia intuitiva y cartografía competente” (Fairhurst, 2005: 57). Además de los proveedores comerciales de globos digitales y mapas en línea ya citados, existe también una comunidad de software libre que ha tenido mucho éxito en el campo de la información geográfica, denominada *OpenStreetMap* (OSM) (www.openstreetmap.org) a la que se hará referencia más adelante. Aunque *Google Maps* no es una herramienta SIG como tal, la disponibilidad de una interfaz de programación de aplicaciones (API) estimula que los usuarios con conocimientos de programación básicos puedan construir sus propias aplicaciones usando *Google Maps* como un interfaz de visualización e integrando (o “mezclando” en la acepción del término *mashup*) sus propios datos geográficos. Por lo tanto, a los datos que

proporciona el usuario, por ejemplo un mapa de puntos o mapa temático con alguna variable de interés, o fotografías, vídeos, audio y comentarios, se le da un marco geográfico fundamental, a través de cartografía de base muy detallada, que ayuda a situar y contextualizar la información temática presentada. Algunos se refieren a dicha cartografía base como “la geografía real”, a diferencia de un SIG tradicional con un fondo “en blanco”. Dicha cartografía de base incluye toponimia, límites administrativos, redes de carreteras y calles, puntos de interés, imágenes satélite y aéreas, y un largo etc., de manera estandarizada para todo el mundo, y con una granularidad (grado de detalle) que varía automáticamente según la escala (nivel de zoom). Antes de la aparición de *Google Maps*, los desarrolladores de mapas web tenían que dedicar mucho tiempo y un alto presupuesto a conseguir cartografía contextual relevante, o resolver complicados problemas de propiedad intelectual o proyecciones cartográficas respecto de la información geográfica adquirida en cada país o área de interés. Todo esto solo para tener un mapa base sobre el que mostrar los fenómenos que realmente interesaban. Además, las visualizaciones sobre *Google Maps* y *Google Earth*, y sus equivalentes en otros competidores, permiten al usuario cambiar la ubicación o la escala cartográfica de la visualización de una manera muy sencilla e intuitiva. Es decir, el usuario no tiene por qué saber de escalas cartográficas, proyecciones, *shapefiles*, códigos de hojas, simbología, así como niveles de cartografía administrativa (p.ej. distrito, código postal, asentamiento, municipio, provincia, etc) en cada país. El propósito central de los agregados cartográficos (*mapping mashups*) es por tanto que cualquier usuario con datos con alguna ubicación espacial (por ejemplo de GPS, de un teléfono móvil, o con direcciones, códigos postales o topónimos tomados de Internet) puede crear un mapa interesante en muy poco tiempo y sin ningún costo. Además, lo puede poner a disposición de otros usuarios que pueden incluso seguir añadir contenido al mismo a través de otras capas temáticas. Este hecho convierte a los API como *Google Maps*, o *Google My Maps*, en una herramienta para crear y publicar datos geográficos a través de un interfaz que se configura en una suerte de “tablón de anuncios global” (Barr, 2008).

Figura 1. Diagrama de un *mapping mashup*



Clave: OSM= Open Street Map; UCL= University College London; CASA= Centre for Advanced Spatial Analysis

Finalmente, procede aclarar que la descripción de usuarios y la facilidad de creación de agregados cartográficos (*mapping mashups*) hecha en esta sección son necesariamente simplistas y homogeneizadoras. Obviamente existen varios tipos de “usuarios” de estas tecnologías. Distinguiremos aquí tres niveles generales; nivel 1, aquellos usuarios con conocimientos básicos de programación, los cuales pueden crear sus propios agregados cartográficos (*mapping mashups*); nivel 2, un nivel intermedio de usuarios “hábiles”, quienes pueden contribuir con nueva información (VGI), dependiendo de la facilidad dispuesta

por el nivel 1 para ello; nivel 3, usuarios “básicos” que solamente “leen” el navegador, consumiendo la información disponible en los agregados cartográficos (*mapping mashups*). Esta estratificación de usuarios de la geoweb introduce nuevos mecanismos de exclusión, ya que solamente los usuarios del nivel 1 pueden crear sus propios agregados cartográficos (*mapping mashups*) (Elwood, 2009). No obstante, se puede argumentar que dichos factores son menos excluyentes que las barreras de acceso a la tecnología tradicional de los SIG cuyo coste de aprendizaje es mucho mayor y el nivel de especialización desalentaba a muchas personas de otras disciplinas con conocimientos de programación que ahora adoptan fácilmente los agregados cartográficos (*mapping mashups*). En cualquier caso los cambios de la última década descritos en el artículo, a través de la mencionada democratización de la información geográfica, han acelerado radicalmente las tendencias pre-existentes hacia el llamado “paradigma geotecnológico” (Buzai, 2001) o el “entendimiento geotecnológico de la cientificidad” (Moreno, 2013).

5. GEOVISUALIZACIÓN DE INFORMACIÓN SOCIO-DEMOGRÁFICA

En la mayoría de los países desarrollados, los medios de acceso a geovisualizaciones dinámicas de información socio-demográfica “oficial” no han estado a la altura de las cambiantes expectativas del ciudadano, que como ya vimos está “alfabetizado espacialmente”. Las agencias estatales encargadas de producir y difundir las estadísticas oficiales sobre la población y el territorio, se han movido muy lentamente en el campo de la geovisualización. Pese a la universal presencia de la difusión por Internet, la dinámica para hacerlo suele ser muy estática y centralizada. Ésta consiste principalmente en dos metodologías; a) la búsqueda alfanumérica en una base de datos con la consecuente descarga de archivos pesados sin contexto; y b) mapas estáticos (imágenes) servidos por rígidas y lentas plataformas de SIG basadas en tecnologías caras y cerradas concebidas en los años 90 (por ejemplo ArcGIS server y estándares del Open GIS Consortium conocidos por las siglas WMS o WFS). Un ejemplo claro del vacío creado entre la geoweb y las geovisualizaciones oficiales de estadísticas de población, es el Censo de 2001 en el Reino Unido, cuyos mapas son accesibles a través del servicio *Neighbourhood Statistics* de la Oficina Nacional de Estadística (<http://www.neighbourhood.statistics.gov.uk>). Para acceder a un mapa de una variable censal es necesario contestar una serie de preguntas de cierto corte técnico y pasar por 11 pantallas hasta finalmente llegar a un mapa de una zona y resolución concreta. Si la combinación de elementos (geografía limítrofe, escala de desagregación, variable censal, método de clasificación, y esquema de color) no es la adecuada, hay que comenzar de nuevo y rehacer los 11 pasos. Esta filosofía de geovisualización diseñada en los años 90 y orientada a los especialistas del Censo, es totalmente inadecuada para diseminar los datos censales a las nuevas generaciones de usuarios de Internet, o la “Generación Google” (CIBER, 2008).

Dada esta clara necesidad, en los últimos cinco años se han desarrollado una serie de esfuerzos para llenar dicho vacío. Entre de ellos, destacan las aportaciones hechas por geógrafos de la población en el Reino Unido. En el resto de este artículo se describen una serie de casos de estudio, centrados en aplicaciones de geovisualización sociodemográfica para explorar desigualdades espaciales en ámbitos urbanos. Se presentan diversos ejemplos de proyectos de investigación desarrollados en University College London (UCL) (Department of Geography y Centre for Advanced Spatial Analysis - CASA), como son *MapTube*, *Gmap Creator*, *Census Profiler*, y *LondonProfiler* entre otros. Todos estos proyectos de geovisualización tienen como fin hacer accesibles al público en general, representaciones alternativas y ágiles de fenómenos poblacionales en el territorio.

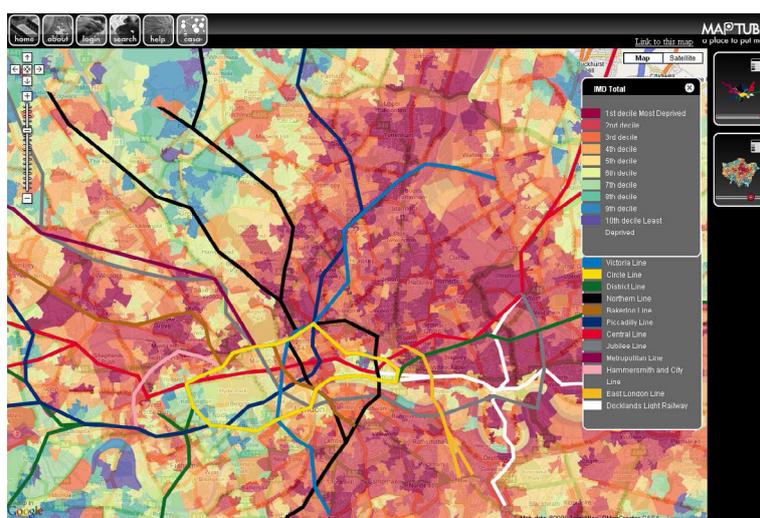
Con esta filosofía de abrir las herramientas de geovisualización a cualquier usuario, a partir de 2005 el Centre for Advanced Spatial Analysis (CASA) (<http://www.bartlett.ucl.ac.uk/casa>) de University College London (UCL) ha desarrollado una serie de sitios web con aplicaciones de agregados cartográficos (*mapping mashups*) que han tenido mucho éxito entre varios tipos de audiencias en varios países. Todas las herramientas mencionadas en adelante están adecuadamente documentadas a través de artículos de investigación (*working papers*) citados o documentación disponible en las páginas web que se aportan como referencia. En el artículo se omite cualquier tipo de digresión técnica, y aquellos lectores interesados pueden consultar más detalles en las referencias citadas para cada herramienta mencionada.

6. LOS COMIENZOS: GMAP CREATOR Y MAPTUBE

Gmap Creator³ fue la primera herramienta desarrollada por CASA en 2005 para permitir a un usuario publicar un mapa temático sobre *Google Maps*. Gmap Creator es un programa que se puede descargar gratuitamente y requiere que los datos de entrada estén en el formato cartográfico estándar denominado “*shapefile*”. Dicho fichero ha de contener un mapa del área de interés con una división del espacio en zonas (representadas por polígonos), cada una de las cuales tiene asociados los datos de una o más variables correspondientes a dicha zona. Una vez importado dicho fichero *shapefile* en Gmap Creator, el usuario señala la variable a representar, el tipo de clasificación de datos en intervalos y el esquema de color para representar la variable. Como resultado Gmap Creator convierte el fichero vectorial tipo *shapefile* en una versión raster o imagen de dicho mapa, que posteriormente “trocea” en cientos o miles de teselas, de acuerdo con el formato de *Google Maps*. El número y tamaño de dichas teselas está determinado por la extensión del área de interés y los niveles de zoom (o de escala en la terminología cartográfica clásica) que se pretendan ofrecer al usuario final. Cada tesela se guarda como un archivo de imagen con formato JPEG con una nomenclatura específica que permite a *Google Maps* determinar su posición geográfica exacta y el nivel de zoom al que debe mostrarse. Finalmente el usuario de Gmap Creator decide dónde quiere guardar el nuevo mapa resultante y hacerlo disponible en la web. La posición de este mapa se indica en el diagrama de la Figura 1 como (UCL/CASA). El resultado final es un mapa temático disponible en la web, donde el mapa de fondo es el entorno estándar de *Google Maps* (mapa vectorial y/o mapa satélite) que reside en los servidores de Google, al cual se sobrepone el mapa temático que reside en los servidores del creador de este particular *mashup*. Ambos se mezclan únicamente al llegar al navegador del usuario final (ver Figura 1).

Para demostrar la utilidad de la superposición de diversas capas temáticas con esta arquitectura “ligera”, se creó el sitio de Internet denominado “MapTube” (www.maptube.org). El nombre del mismo denota la idea de democratizar la publicación de información geográfica estableciendo un paralelismo con el popular sitio de publicación de videos *YouTube*. En este sitio se pueden subir mapas creados mediante Gmap Creator por diversos usuarios y superponerlos entre ellos formando una suerte de “*meta-mashup*”. En la Figura 2 se ofrece un ejemplo de un mapa en MapTube donde se representan dos mapas aportados por usuarios, un mapa temático de marginalidad socioeconómica en Londres (primera capa) y un mapa de las líneas de metro (segunda capa), ambos sobre la cartografía base ofrecida por Google (tercera capa). Cabe enfatizar que estos tres mapas provienen de tres servidores y organizaciones distintas, y se juntan únicamente en el navegador del usuario final (ver diagrama de la Figura 1).

Figura 2. Ejemplo de visualización en *MapTube*; Mapa del índice de marginalidad y líneas de metro



Fuente: www.maptube.org. Elaboración propia

³ Software disponible gratuitamente en http://www.bartlett.ucl.ac.uk/casa/latest/software/gmap_creator

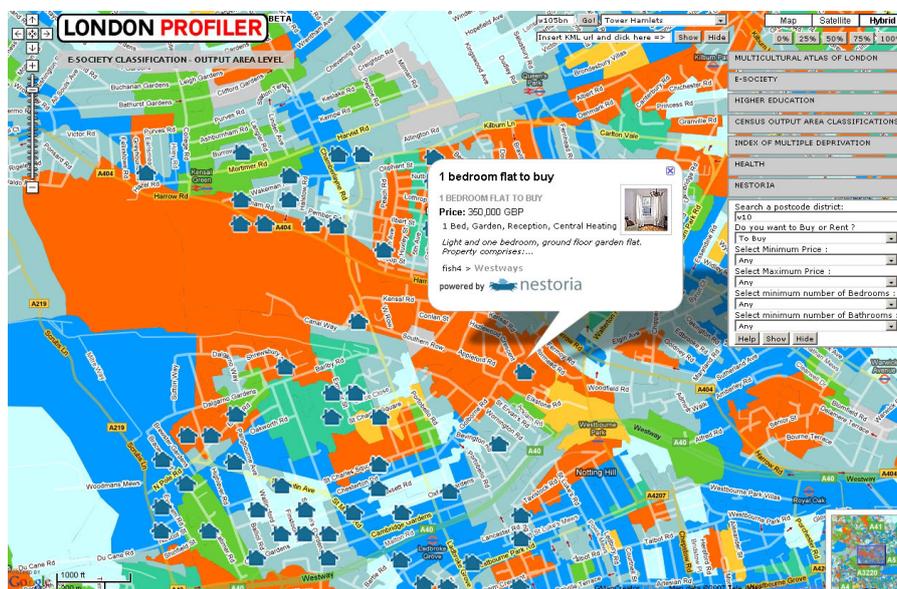
7. LONDOGNPROFILER – UN ATLAS SOCIOECONÓMICO DE LONDRES

Utilizando la tecnología descrita en el anterior apartado, un equipo del departamento de Geografía de UCL (Gibin, Longley, Singleton y Mateos) desarrolló un atlas socioeconómico de Londres denominado London Profiler (www.londonprofiler.org). Los detalles acerca de cómo fue creado LondonProfiler pueden ser consultados en el artículo publicado por Gibin *et al.*, (2008). En dicho atlas se representan diversos aspectos sobre la realidad socioeconómica de Londres utilizando datos de muy diversa procedencia. A continuación se describen los principales ámbitos temáticos y las referencias donde se puede encontrar más información sobre los mismos:

- Atlas Multicultural de Londres (Mateos *et al.*, 2007)
- Clasificación de la sociedad de la información *E-Society* (Longley y Singleton, 2009)
- Clasificación del nivel educativo en el acceso a educación superior (Corver, 2005)
- Estadísticas de atención hospitalaria (www.hesonline.nhs.uk)
- Índice múltiple de marginalidad (Office of the Deputy Prime Minister, 2004)
- Clasificación de zonas en niveles socio-demográficos - Output Area Classification (Vickers and Rees, 2007)
- Mapa de accesibilidad en el transporte público (Transport for London: <http://data.london.gov.uk/datastore/package/public-transport-accessibility-levels>)
- Mapa de niveles de crimen (<http://www.police.uk/>)
- Precios de vivienda (www.nestoria.com)

Cabe resaltar que todos estos ocho ámbitos contienen datos más recientes que aquellos publicados en el censo de población de 2001, el cual, a la hora de escribir estas líneas en Octubre de 2012, todavía es la última versión del censo disponible en el Reino Unido. Es decir, a través de la recopilación de distintas estadísticas y fuentes administrativas, de diversa índole y resolución espacial, se puede producir un atlas coherente de población sin la necesidad de esperar a los datos decenales del censo. Éste puede ser actualizado de manera continua a medida que dichos datos son actualizados por cada una de las fuentes.

Figura 3. *LondonProfiler*; mapa de puntos con viviendas en venta sobre un mapa temático con el índice de marginalidad en un barrio del oeste de Londres.

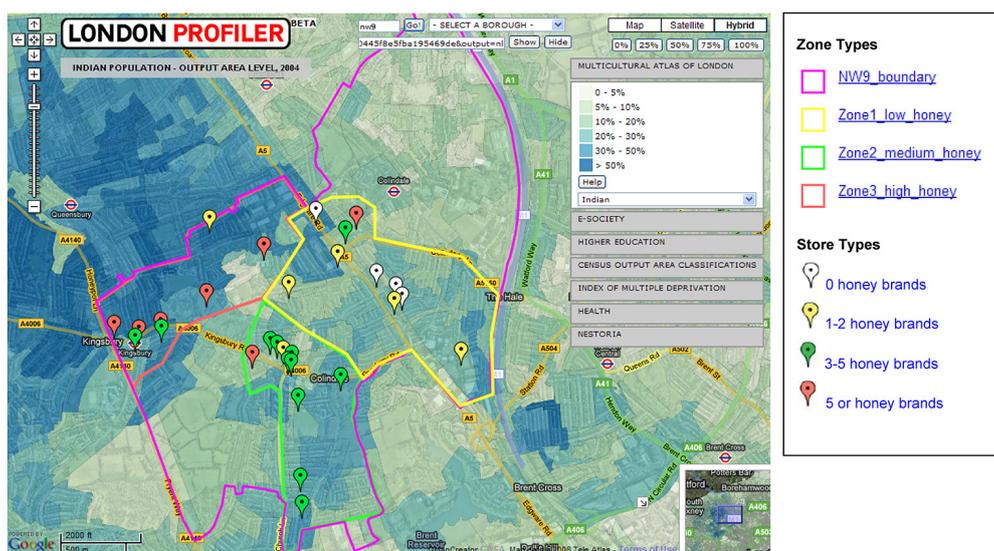


Fuente: www.londonprofiler.org. Elaboración propia en julio de 2008.

Otra de las novedades de LondonProfiler es la facilidad para conectarse con otros sitios web que proveen información geográfica a través del formato estándar KML de Google, y mostrarla sobre los mapas temáticos creados. Se ofrecen dos ejemplos en LondonProfiler. El primero es un servicio inmobiliario que ofrece información sobre viviendas en venta o alquiler por zonas de Londres llamado Nestoria (www.nestoria.com). A través de un simple menú el usuario de LondonProfiler selecciona

un criterio de búsqueda de viviendas (rango de precio y tamaño) que es transmitido al *website* de Nestoria en tiempo real. En menos de dos segundos aparece una capa de puntos sobre el mapa temático sobreponiendo los inmuebles actualmente disponibles en el mercado que cumplen con dicho criterio de selección. Así, por ejemplo podemos explorar fotos y precios de viviendas junto con su localización y mapas socioeconómicos del entorno (índice de marginalidad, calidad escolar, servicios de salud, nivel de criminalidad, accesibilidad, etc.). Un ejemplo de este tipo de mapas se ofrece en la Figura 3. Finalmente, otro servicio en LondonProfiler permite al usuario “pegar” una dirección de internet (URL) donde previamente se haya colocado un archivo KML con algún mapa creado por el propio usuario. Es decir, se visualiza un mapa de puntos o de coropletas (temático) creado para algún uso específico, sobre los mapas generales socioeconómicos de LondonProfiler combinados con la cartografía de base de *Google Maps*. Esto permite que con unos pocos clics tengamos un mapa muy rico en detalle y contexto que puede ser creado por un usuario sin ninguna experiencia en SIG. Esto es precisamente lo que hemos hecho con estudiantes en la licenciatura de geografía tras un trabajo de campo donde recogieron información en una hoja de cálculo sobre productos de venta en tiendas de comestibles y que georeferenciaron y representaron en LondonProfiler junto con la distribución de ciertos grupos étnicos. Un ejemplo del resultado de dicho ejercicio se muestra en la Figura 4 (nótese parte de la dirección de internet en la franja superior central a la izquierda del botón de “Show”). Esta es la ubicación del archivo creado por los alumnos en Google MyMaps).

Figura 4. Ejemplo del uso de LondonProfiler para un proyecto de campo con estudiantes de licenciatura.



Fuente: Pablo Mateos y Paul Densham. Salida de campo con alumnos de primero de licenciatura en 2008.

8. CENSUSPROFILER – GEOVISUALIZANDO EL CENSO DE POBLACIÓN PARA LA GENERACIÓN GOOGLE

El ejemplo final presentado en este trabajo se refiere a los resultados de un proyecto de investigación titulado “Geovisualización de información geográfica del Censo”, o *Censusgiv* por su acrónimo en inglés⁴. Este proyecto desarrolló un nuevo sistema de geovisualización muy intuitivo con datos del Censo del Reino Unido, como prototipo para su posible uso en la divulgación de los datos del Censo de 2011. El prototipo se encuentra disponible en la página web www.censusprofiler.org y sirve aquí para demostrar el potencial de estas aplicaciones en la visualización geográfica del Censo y otros conjuntos de datos de población.

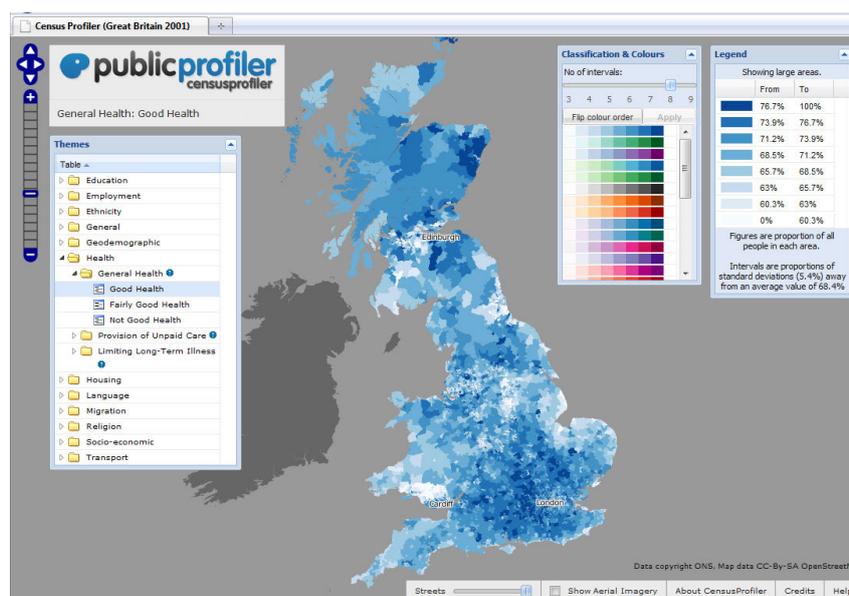
⁴ Proyecto de investigación financiado por el Economic and Social Research Council (ESRC) en el marco del Programa de Desarrollo del Censo (número de beca RES-348-25-0015)

A finales de la década de los 2000, la oficina nacional de estadísticas del Reino Unido y la comunidad científica usuaria de datos de población eran conscientes de que en el campo del censo y otros conjuntos de datos administrativos de la población se estaba “perdiendo el tren” de las innovaciones en geovisualización en la era de la Web 2.0. El censo de 2001, hace once años, llevó a la elaboración de un conjunto de herramientas en línea que proporcionaban un acceso a una gama cada vez mayor de productos de datos digitales de libre disposición de la Oficina Nacional de Estadísticas (ONS). Sin embargo, los medios para visualizar y analizar la dimensión espacial de estos conjuntos de datos todavía hoy en 2012 sólo están disponibles para unos pocos investigadores que tienen un conocimiento profundo de SIG. Esto es necesario para poder vincular datos alfanúmericos con la cartografía digital que se distribuye por separado. A raíz de esta situación, en 2008 un equipo de geógrafos de *University College London* (UCL) consiguió financiación para un proyecto que podría ayudar a remediar esta situación, proyecto que dio como resultado la plataforma *CensusProfiler*.

Dicho proyecto partió de la premisa de que, para lograr una mayor difusión de los resultados del Censo de 2011, las visualizaciones geográficas del mismo se deberían construir en una plataforma que girara en torno a un mapa como elemento de partida (en lugar de a una serie de consultas en una base de datos). Dicho mapa de inicio, debería mostrar la geografía real de una zona, y no un mapa en blanco o administrativo de zonas censales. Así, los usuarios se familiarizarían rápidamente con la información de la zona y la interfaz de usuario. Es decir, la herramienta de difusión de datos no supondría un obstáculo entre el usuario y la información geográfica. A partir de dicho mapa el usuario puede sumergirse en niveles de zoom con mucho más detalle, moverse rápidamente a otras zonas de la ciudad o del país, o cambiar de variable censal una vez que haya encontrado una zona de interés, e incluso añadir otra información. Todo esto utilizando el estilo de navegación intuitiva del *Google Maps* y *Google Earth*.

El resultado final con el prototipo de geovisualización del Censo de 2011 (con datos de 2001) puede ser explorado en www.censusprofiler.org. Este fue realizado con una tecnología distinta a la descrita anteriormente. Es decir, se prescindió de Google como proveedor de información geográfica base, sustituyéndose por *OpenStreetMap* (OSM), una plataforma de carácter abierto y gratuito. Dicha cartografía se puede descargar y transformar libremente eligiendo qué elementos y cómo han de ser representados en el mapa base. Asimismo, se confeccionó una arquitectura basada en el software abierto y libre lo cual facilita su popularización y adaptación por futuros desarrolladores en éste área. La descripción técnica completa detrás de *CensusProfiler* se encuentra disponible en Mateos y O’Brien (2011). Un ejemplo del aspecto del sitio web se muestra en la Figura 5.

Figura 5. Pantalla principal del *CensusProfiler*, prototipo de geovisualización del Censo del Reino Unido.



Fuente: www.censusprofiler.org. Elaboración propia en Noviembre de 2011.

La ventaja principal de CensusProfiler es la facilidad de navegación (*panning* y *zooming*) y lo intuitivo de las decisiones a tomar para llegar a un mapa interesante. En otras palabras, el mapa es la ventana para interrogar los datos del censo y no el resultado final. Éste tipo de geovisualización no interfiere en la exploración de los datos, ya que decisiones como el nivel de desagregación geográfica de los datos censales (tamaño de zonas o distritos), el grado de detalle en la cartografía base de contexto, o el método de clasificación en intervalos para el mapa temático son tomadas automáticamente por el sistema. El primer y segundo factor dependen de la escala de observación (nivel de zoom), mientras que el tercer factor del tipo de variable seleccionada. A partir de ese punto, una vez que el usuario está satisfecho con la zona elegida, puede cambiar muy fácilmente cuatro elementos; la variable censal, el número de intervalos en los que se clasifica dicha variable, el esquema de color con el que se representan y la cartografía base.

Con este *mapping mashup*, cualquier persona puede crear sus propias geovisualizaciones del censo de población de manera dinámica y sin seguir recetas previas. Los contenidos de CensusProfiler pueden ser “envueltos” dentro de otros *mashups*, agregando todo tipo de información que el usuario considere relevante para su particular representación, temática o zona de interés. Finalmente, la tecnología de software abierto permite que este sitio web pueda ser reproducido, mejorado o utilizado como material base para desarrollar otras plataformas, sin estar restringidos por el API de Google como sus decisiones sobre el diseño cartográfico o estrategia publicitaria sobre sus mapas.

9. CONCLUSIÓN

Durante la última década, una serie de nuevas tendencias en la creación de la *geoweb* y el desarrollo de métodos innovadores de geovisualización han alterado profundamente las expectativas del público en general acerca de la divulgación de información sociodemográfica con un componente espacial. Estas tendencias están protagonizadas por: a) la disponibilidad masiva de datos con contenido geográfico, sobre los que el Estado y las instituciones formales ya no tienen competencia exclusiva, y b) el desarrollo de nuevas herramientas de geovisualización, que facilitan su combinación, consulta, manipulación y participación ciudadana. En este artículo hemos revisado cómo la *geoweb* y las nuevas técnicas de geovisualización, a través de la *información geográfica voluntaria* y los agregados cartográficos (*mapping mashups*) han facilitado la “alfabetización espacial” de la ciudadanía.

A través de servicios como *Google Maps* y *OpenStreetMap* se han creado plataformas con una detallada cartografía de todo el mundo, conformándose en un telón de fondo global sobre el que el ciudadano comparte y consume geo-información. Es más, dichas plataformas permiten a un usuario con un nivel de conocimiento de informática muy básico, la configuración de servicios de geovisualización de información sobre el territorio que eran impensables hace tan solo siete años. Los *mapping mashup*, permiten a usuarios con distintos niveles de habilidad, combinar capas de información y mapas provenientes de organizaciones muy diversas y con muy distintos protocolos técnicos, escalas y resoluciones espaciales de la información. El resultado son “collages” de mapas temáticos superpuestos, que aportan un importante valor agregado para el análisis exploratorio de fenómenos espaciales. Todo esto se puede realizar con un coste muy bajo y en poco tiempo. Este estado de la cuestión, presenta una gran diferencia con la era de los grandes y costosos servidores de información SIG de hasta hace apenas unos años, donde se ofrecían servicios mucho más restringidos de geovisualización a través de caros y lentos proyectos de distribución de información centralizada.

Se han presentado diversos ejemplos de este tipo de geovisualizaciones de datos sociodemográficos en el Reino Unido, desarrollados en *University College London*, (UCL) (Department of Geography y Centre for Advanced Spatial Analysis - CASA). Aquí hemos mencionado; Gmap creator, MapTube, LondonProfiler y Census Profiler, pero existen muchos otros ejemplos en el mundo de este tipo de tecnología creciente que supone la democratización del acceso a la información geográfica. En muchos casos, el propio usuario puede crear su propia versión de la realidad a través de nuevas interpretaciones alternativas sobre las estadísticas poblacionales para denunciar desigualdades socio-espaciales, dotándole de herramientas por ejemplo para enfrentarse a una intervención de obra pública en su zona, o cuestionar decisiones de recortes de servicios públicos en determinado barrio de acuerdo a su perfil sociodemográfico dentro de la ciudad. Algunos otros ejemplos aparecen en la Figura 6 y muchos otros están disponibles en la página web de

CASA (<http://www.bartlett.ucl.ac.uk/casa>). A través de este artículo, esperamos haber sembrado una serie de ideas que permitan a los geógrafos y demógrafos de habla española adoptar y adaptar estas tecnologías de geovisualización para democratizar y popularizar el acceso a la información sociodemográfica fuera del mundo académico y los profesionales SIG. El futuro claramente estará dominado por ciudadanos con una “alfabetización espacial” mucho mayor que la de generaciones anteriores y para los que el mapa es una ventana mediadora entre el mundo real y el virtual entre los que se mueven cómodamente. Es nuestra tarea “devolverles” la información que recolectamos sobre ellos de manera mucho más equitativa y participativa, facilitando su “empoderamiento” en el saber sobre el territorio, mediante el concurso de estas tecnologías geográficas.

Figura 6. Ejemplos de vistas alternativas de clasificaciones de población sobre OpenStreetMap (izquierda) y Google Earth (derecha), utilizando la tecnología desarrollada en CensusProfiler.



Fuente: Oliver O'Brien. Reproducidos con permiso del autor.

BIBLIOGRAFÍA

- BARR, R. (2008): *Google and GI science: Revolution, evolution or wild goose?* London: Centre for Advanced Spatial Analysis Seminar, University College London, 30th January 2008.
- BUCKLEY, A. (2004): Geographic Visualization. In McMaster, R. B. and Usery, E. L. *A Research Agenda for Geographic Information Science*. Boca Raton, FL: Crc Press: pp. 270-296.
- BUCKLEY, E., GAHEGAN, M. & CLARKE, K. C. (2000): *Geographic visualization as an emerging research theme in GIScience*. Santa Barbara, CA.
- BUDHATHOKI, N., BRUCE, B. y NEDOVIC-BUDIC, N. (2008): Reconceptualizing the role of the user of spatial data infrastructures. *GeoJournal*, 72, pp. 149-60.
- BUTLER, D. (2006): Virtual globes: The web-wide world. *Nature*, 439, pp. 776-778.
- BUZAI, G. D. (2001): “Paradigma Geotecnológico, Geografía Global y CiberGeografía, la gran explosión de un universo digital en expansión”, *GeoFocus (Artículos)*, 1, pp. 24-48.
- CIBER (2008): *Information behaviour of the researcher of the future*. A report commissioned by The British Library and JISC. University College London. Disponible en: http://www.jisc.ac.uk/media/documents/programmes/reppres/gg_final_keynote_11012008.pdf
- CORVER, M. (2005): *Young participation in Higher Education*. HEFCE 2005/03. Bristol: HEFCE.
- DODGE, M., MCDERBY, M. & TURNER, M. (2006): The power of geographical visualizations. In *Geographic Visualization: Concepts, Tools and Applications*. New York: Wiley.
- ELWOOD, S.:
- (2009): Geographic information science: new geovisualization technologies-emerging questions and linkages with Giscience research. *Progress in Human Geography*, 33(2), pp. 256-263.
 - (2010a): Geographic information science: visualization, visual methods, and the geoweb. *Progress in Human Geography*, 35(3), pp. 401-408.

- (2010b): Geographic information science: emerging research on the societal implications of the geospatial web. *Progress in Human Geography*, 34(3), pp. 349-357.
- FAIRHURST, R. (2005): Next-generation web mapping. *SoC (Society of Cartographers) Bulletin*, 39, pp. 57-61.
- GIBIN, M., SINGLETON, A., MILTON, R., MATEOS, P. y LONGLEY, P. (2008): *Collaborative Mapping of London Using Google Maps: The LondonProfiler*. CASA Working Papers Series 132. Disponible en: <http://www.bartlett.ucl.ac.uk/casa/pdf/paper132.pdf>
- GOODCHILD, M. F. (2007): Citizens as sensors: the world of volunteered geography. *GeoJournal*, 69(4), pp. 211-221.
- HUDSON-SMITH, A., BATTY, M., CROOKS, A. & MILTON, R. (2009): Mapping for the masses: accessing web 2.0 through crowdsourcing. *Social Science Computer Review*, 27(4), pp. 524-538.
- KRAAK, M. (2007): Geovisualization and visual analytics. *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, 42(2), pp. 115-116.
- LESZCZYNSKI, A. (2010): Neogeo as neolib? Towards a preliminary political economy of VGI. Paper presented at the *Annual Meeting of the Association of American Geographers*, Washington, DC, 15 April.
- LONGLEY, P.A. & SINGLETON, A.D. (2009): Classification through consultation: public views of the geography of the e-society. *International Journal of Geographical Information Science*, 23(6), pp. 737-763.
- MACEACHREN, A. y KRAAK, M. (2001): Research challenges in geovisualization. *Cartography and Geographic Information Systems* 28, pp. 3-12.
- MATEOS, P. and O'BRIEN, O. (2011): *CensusProfiler – Creating accessible Geovisualizations of the Census of Population*, CASA Working Paper 174. University College London. Disponible en <http://www.bartlett.ucl.ac.uk/casa/pdf/paper174.pdf>
- MATEOS, P., WEBBER, R. & LONGLEY, P.A. (2007): *The Cultural, Ethnic and Linguistic Classification of Populations and Neighbourhoods using Personal Names*. CASA Working Paper 116. Disponible en: <http://www.bartlett.ucl.ac.uk/casa/publications/working-paper-116>
- MONMONIER, M. (2007): Cartography: the multidisciplinary pluralism of cartographic art, geospatial technology, and empirical scholarship. *Progress in Human Geography*, 31(3), 371 p.
- MORENO, A. (2013): Entendimiento y naturaleza de la cientificidad geotecnológica: una perspectiva desde el pragmatismo epistemológico, *Investigaciones Geográficas*, [este número]
- OFFICE OF THE DEPUTY PRIME MINISTER (2004): *Index of Multiple Deprivation* (online). Disponible en: http://data.gov.uk/dataset/imd_2004. Accessed 18th December 2007. London: Department of Communities and Local Government.
- OJEDA, J. (2010): Geovisualización: espacio, tiempo y territorio. Ciudad y territorio: *Estudios territoriales*. 165-166; pp. 445-460.
- SCHULTZ, R. B., KERSKI, J. J. & PATTERSON, T. C. (2008): The use of virtual globes as a spatial teaching tool with suggestions for metadata standards. *Journal of Geography*, 107(1), pp. 27-34.
- TURNER, A. (2006): *Introduction to Neogeography*, O'Reilly. <http://www.oreilly.com/catalog/neogeography/>
- VICKERS, D. y REES, P. (2007): Creating the National Statistics 2001 Output Area Classification, *Journal of the Royal Statistical Society, Series A* 170(2).

APLICACIONES CARTOGRÁFICAS PARA LA VALORACIÓN DE SUPERFICIES DE ESCORRENTÍA. RIU GIRONA (ALICANTE)¹

Marcos Moll Barber²

Máster en Planificación y Gestión de Riesgos Naturales
por el Instituto Interuniversitario de Geografía
Universidad de Alicante

RESUMEN

En el presente artículo se plantea una metodología centrada en elaborar una cartografía que sirva para evaluar las diferentes superficies de escorrentía que se encuentran en una cuenca. El marco geográfico sobre el cual se aplica a modo de experimento es el río Girona, localizado en el norte de la provincia de Alacant. Para llevar a cabo la metodología ha sido imprescindible revisar investigaciones sobre coeficiente de escorrentía para llegar a confeccionar una fórmula matemática que ayudara a obtenerlo. Para ello se ha trabajado con distintas variables espaciales integradas en un Sistema de Información Geográfica, con tal de realizar combinaciones entre pendientes, litología y usos del suelo y cubierta vegetal. Dentro de la metodología seguida, el proceso de fotointerpretación ha jugado un papel importantísimo como método de adaptación a la escala de trabajo y como herramienta de evaluación de la superficie.

Palabras clave: fotointerpretación, coeficiente de escorrentía, sistemas de información geográfica, río Girona.

ABSTRACT

Cartographic tools to evaluate surface runoffs. Girona river (Alicante)

This article describes the methodology used in the cartography, which is used to evaluate the different surface runoffs in the basin. The geographic focus of this experiment is the *Girona* river, located in the north of Alacant Province. It was necessary to review research studies on runoff coefficients in order to identify the appropriate methodology for this study. The methodology selected helped us to choose a mathematical formula that was constructive in finding the coefficient. We have worked with different spatial variables integrated into a Geographical Information System, in order to combine slopes, lithology, land uses and vegetation. In the methodology followed, the process of photo-interpretation was crucial for adapting to the scale of the project and as an assessment tool of the surface.

Key words: photo-interpretation, runoff coefficient, geographic information system, Girona river.

1. CONSIDERACIONES PRELIMINARES SOBRE ESCORRENTÍA

El estudio que aquí se plantea, centrado en evaluar el estado de las superficies de escorrentía, se trata de una aportación metodológica que pretende ser genérica y, además, abierta a modificaciones, con el propósito de perfeccionar el método y aplicarlo a otras cuencas, he aquí la importancia del mismo. En todo momento las particularidades locales han ejercido, y de hecho ejercen, un papel fundamental a la hora de confeccionar el método cartográfico que se propone.

¹ El artículo deriva del Trabajo Final del Máster en Planificación y Gestión de Riesgos Naturales impartido en el Instituto Interuniversitario de Geografía de la Universitat d'Alacant y fue dirigido por el Dr. D. Pablo Giménez Font.

² korkus100@hotmail.com

Entendiendo la escorrentía como la parte del agua precipitada que no se evapora, no se evapotranspira ni se intercepta, ni se almacena ni se infiltra; el coeficiente de escorrentía (C_e) es la porción de agua que circula en superficie en relación al agua total precipitada, expresándose en tanto por uno. Éste es fundamental y muy útil para calcular el caudal de una cuenca y, de este modo, poder adaptar cualquier obra de ingeniería al caudal esperado, o bien, para tomar medidas en Ordenación y Planificación del Territorio que ayuden a mitigar el riesgo de inundación.

A lo largo del siglo XX en el ámbito científico han aparecido diferentes métodos para extraer el coeficiente de escorrentía. Muestra de ello son, Horton (1933), Musgrave (1955), Molchanov (1960), Marsh (1978), Benítez, *et al.*, (1980), Prevert (1998), etc. Todos ellos cuantifican el coeficiente de escorrentía en diferentes superficies teniendo en cuenta parámetros como el grado de pendiente, el uso del suelo y las litofacies y formaciones superficiales.

Marsh (1978) examina coeficientes de escorrentía de espacios rurales y urbanos, y hace constancia que los primeros presentan un C_e menor. Además de ello, cabe subrayar que en las áreas rurales Marsh establece tres tipos de suelo (franco-arenoso; franco-limoso y franco-arcilloso; y arcillosos) y tres grados de pendiente, uno *llano*, de 0 al 5%; otro *ondulado*, de 5 al 10%; y por último, *accidentado*, entre 10 y 30%. De los valores tomados cabe indicar que en los espacios urbanos no se consideran las variaciones de pendiente.

El equipo de Benítez *et al.*, (1980) amplía los rangos de pendiente en las muestras que se toman de C_e , pasando de tres a cinco grupos, entre 0 y 1%, entre 1 y 5%, entre 5 y 20%, entre 20 y 50% y superiores al 50%. Además en éste, directamente se clasifican los suelos atendiendo a la capacidad de infiltración en *permeables*, *semipermeables* e *impermeables*.

En cuanto al método de Prevert (1998), citado en Ibáñez *et al.*, (2007), clasifica el suelo según su textura en *gruesa* (arenoso-limoso y limoso-arenoso), *mediana* (limoso y limoso-arcilloso) y *fina* (arcillas). Por lo que se refiere a la pendiente, este método distingue cuatro grupos, entre 0 y 5% de pendiente, entre 5 y 10%, entre 10 y 30% y mayores del 30%.

Cabe indicar que el fenómeno de infiltración que se produce en las litofacies y formaciones superficiales también ha sido muy estudiado, ejemplo de ello son Kostiaikov (1932), Horton (1933), Philip (1957), Musgrave *et al.*, (1964) y el *Soil Conservation Service* (1972), entre otros. A grandes rasgos, el grado de infiltración viene determinado por la relación entre poros, estructura y estratificación, tamaño de las partículas, fisuras, temperatura del agua y por el aire estancado en su interior (Anglone, *et al.*, 2006) y, además, también está determinado por los desniveles topográficos de la cuenca (Gil, *et al.*, 1986) y por las condiciones de humedad en que se encuentra el suelo (Smith, 1972).

De todos los métodos comentados y en lo que aquí interesa, cabe destacar los siguientes aspectos: que a medida que aumenta la pendiente también lo hace la escorrentía; que cuanto mayor sea la densidad de vegetación, menor será la escorrentía; que las áreas urbanas generan más escorrentía que las rurales; y que a menor permeabilidad de las litofacies y formaciones superficiales más escorrentía se producirá.

2. OBJETIVOS, METODOLOGÍA Y TÉCNICAS PARA VALORAR SUPERFICIES DE ESCORRENTÍA

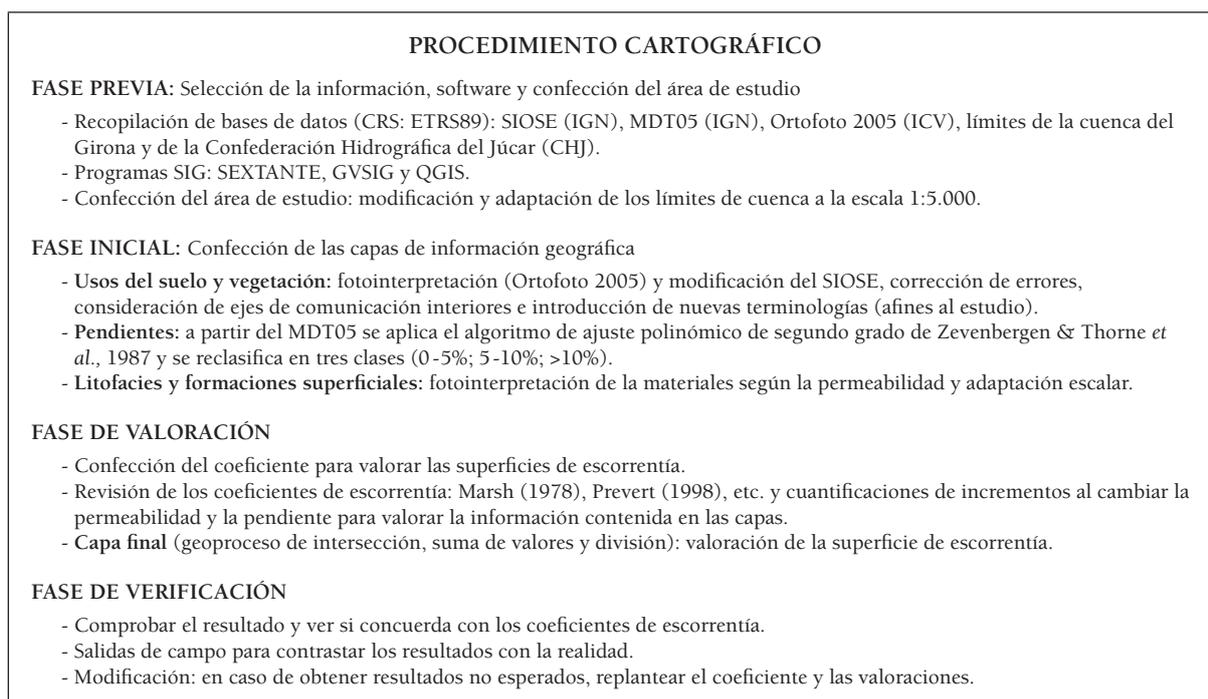
La cuenca del río Girona queda representada en las Hojas 796 (Gandia), 821 (Alcoi) y 822 (Benissa) del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000. Se trata de una pequeña cuenca hidrográfica del Mediterráneo occidental que presenta un régimen irregular, fuertes desniveles topográficos y relieves montañosos cercanos al mar.

Entre el 11 y el 12 de octubre del 2007 tuvo lugar un episodio de lluvias torrenciales con una elevada intensidad horaria que causó daños en infraestructuras y bienes. Muchas calles de los pueblos de Beniarbeig, El Verger y Els Poblets, situados en abanicos aluviales de las partes bajas de la cuenca, quedaron inundados. Este episodio ha sido estudiado por Francesca Segura (2009), quien, con la ayuda de los SIG, puso énfasis en aspectos geomorfológicos (abanicos aluviales, paleocauces, etc.) y en la alteración antrópica acontecida en el espacio inundable de la cuenca. Por esa razón, en la metodología

que aquí se plantea, se tendrán en cuenta que las superficies de escorrentía han mutado debido a cambios de uso del suelo, como por ejemplo abandonos de cultivos, aumento del espacio urbanizado, abandono del aprovechamiento forestal, incendios forestales pasados, etc.

Los objetivos que se persiguen en este artículo se centran en valorar la superficie de escorrentía de la cuenca del río Girona con el fin de plantear un procedimiento cartográfico que sirva de ayuda a futuras investigaciones que pretendan gestionar y planificar el riesgo de inundación en cualquier cuenca hidrográfica, ya sea perfilando este modelo o usándolo como tal. Para conseguir tales objetivos es necesario considerar en el SIG las diferentes variables espaciales que repercuten en la escorrentía. En la siguiente figura se jerarquiza el proceso cartográfico aplicado.

Figura 1. Esquema metodológico aplicado a la cuenca del Riu Girona.



El eje fundamental de trabajo gira entorno a una mejora de la cartografía disponible y al proceso de fotointerpretación de la superficie de la cuenca en el año 2005, dos años antes de la riada anteriormente comentada. La fotointerpretación ha sido de marcada utilidad en la tarea de examinar y evaluar los usos del suelo y la cubierta vegetal, así como las litofacies y formaciones superficiales de la cuenca.

2.1. Fase cartográfica previa: programas, escala, bases de datos, CRS y límites

Para poder realizar el estudio se han utilizado programas de libre distribución y de código abierto vinculados a los SIG, éstos han sido GVSIG, SEXTANTE y QGIS.

La escala de trabajo que se elige es de 1:5.000 porque la computadora que se utiliza tiene una RAM de 2Gb y en caso de usar una escala de mayor detalle dificultaría el proceso de elaboración cartográfica.

El Sistema de Coordenadas de Referencia (CRS) que se utiliza es el *European Terrestrial System 1989* (ETRS89) que trabaja en coordenadas UTM (*Universal Transverse Mercator*) y que fue aprobado en España mediante el Real Decreto 1071/2007, de 27 de julio, como adaptación a las normativas europeas, dejando atrás el *European Datum 1950* (ED50).

Las bases de datos geográficos que se necesitan en esta aportación son: los límites de la cuenca extraído de la Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ) a escala 1:1.000.000 – 1:500.000; el Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo en España (SIOSE) del año 2005 a escala 1:25.000; el Modelo

Digital del Terreno (MDT) con un píxel de 5 m del Instituto Geográfico Nacional (IGN); la Ortofoto del vuelo de 2005 del *Institut Cartogràfic Valencià* (ICV) con un píxel de medio metro; y, las zonas urbanas, las vías de comunicación y las curvas de nivel del ICV a escala 1:5.000.

Una vez descargada la información necesaria, se pasa a modificar a manualmente el límite de la cuenca para adaptarlo a la escala de trabajo usando como guía el MDT05 y las curvas de nivel del ICV a escala 1:5.000. Mediante este procedimiento se amplía la zona costera y se perfilan mejor las divisorias de aguas. Según la Confederación Hidrográfica del Júcar la cuenca ocupa una superficie de 111,37 km² y, una vez modificada, el área de la cuenca pasa a ocupar una superficie mayor, de 117,36 km².

2.2. Fase cartográfica inicial: confección de las capas de información geográfica

2.2.1. Los usos del suelo y cubierta vegetal

Para confeccionar la capa de usos del suelo y cubierta vegetal, se ha usado la base de datos del SIOSE. En primer lugar, utilizando como límite el área de estudio modificado se extrae la información de la cuenca mediante el geoproceto de cortar. Posteriormente se descifran los códigos empleados en la capa. Seguidamente se contrastan y modifican los polígonos del SIOSE usando como guía la Ortofoto del año 2005 del ICV para ir adaptando el contenido a la escala de trabajo. Para llevar a cabo este procedimiento de fotointerpretación, las salidas de campo han jugado un papel importante.

Figura 2. Ejemplo de masa forestal desarrollada sobre antiguas terrazas de cultivo, La Vall de Laguar (2010).



Elaboración propia.

Una vez fotointerpretados los usos del suelo y la cubierta vegetal en el año 2005, se comprueba la validez de las geometrías usando la versión 1.7.4. de QGIS, habiendo resultado más de 160 nodos conflictivos, que posteriormente se corrigen. Seguidamente se consideran las carreteras de interior utilizando la información vectorial del ICV a escala 1:5.000. A las carreteras en formato de líneas se les aplica un área de influencia de 2,5m a cada lado para posteriormente integrarlas en la capa de usos del suelo y vegetación, ya que en la capa del SIOSE no aparecían dichas carreteras interiores. Finalmente se opta por sustituir las denominaciones por otras afines a los propósitos de estudio (figura 3).

En la fotointerpretación se han tenido en cuenta las terrazas abandonadas porque dicha situación implica cambios en la infiltración y el discurrir de las aguas superficiales (Cerdà, 1994). También se consideran las situaciones post-incendio por el mismo hecho de mutar el escenario de escorrentía (Úbeda 2000; Cerdà *et al.*, 2006; Llovet *et al.*, 2011), que en la zona de estudio se corresponden con los afloramientos rocosos localizados en las zonas montañosas, aunque a grandes rasgos estos espacios se están regenerado favorablemente.

Figura 3. Introducción de nuevas terminologías en la capa de usos del suelo y coberturas vegetales y características.

Actividad agrícola:

- TERRAZAS EN CULTIVO: cultivos de secano (almendros, algarrobos, olivos, fundamentalmente).
- TERRAZAS PRIMEROS ABANDONOS: se trata de espacios abandonados los últimos 25 años anteriores al 2005, donde predominan las herbáceas –pastos- y los matorrales. Los abandonos más recientes se desarrolla una vegetación ruderal y arvense destacada. El suelo en estas terrazas aparece endurecido.
- TERRAZAS ABANDONO AVANZADO: se trata de zonas con un abandono entre 25 y 50 años anteriores al 2005, donde se ha desarrollado una cubierta vegetal densa, con predominio de estratos arbóreos y arbustivos.
- CULTIVOS REGADÍO TRABAJADOS: campos de naranjos y huertas.
- CULTIVOS REGADÍO ABANDONADOS: campos de naranjos abandonados pocos años antes del 2005, donde aparece vegetación ruderal y arvense.
- BALSAS: reservorios de agua para el regadío.

Actividad urbana:

- URBANO CONCENTRADO: núcleos urbanos con bastante espacio asfaltado.
- URBANIZACIONES EX-NOVO: baja densidad poblacional, espacios asfaltados, jardines, piscinas, y también se consideran camping y hoteles rurales.
- ZONAS SUBURBANAS: poco densas y menos consolidadas que las anteriores.
- ÁREAS DEPORTIVAS: campos de fútbol, piscinas y jardines de reducido tamaño
- ZONA INDUSTRIAL: asfalto, naves industriales, etc.
- JARDINES URBANOS: espacio ajardinado en zonas urbanas.
- NO EDIFICADO: solares con poca o nula vegetación.
- RED DE COMUNICACIONES: principales nexos de comunicación por carretera.
- VERTEDERO: zona con escombros, etc.
- RAMBLA (hormigonada): lecho hormigonado que se encuentra en el cauce principal del río a su paso por Els Poblets y El Verger.

Espacios naturales:

- COSTA ACUMULACIÓN: dunas, playa.
- ESPACIO FORESTAL: estratos arbóreos bien desarrollados (fundamentalmente pinos y carrascas).
- MAQUIA: espacios montanos con predominio arbustivo (romero, aliaga, lentisco, tomillo y coscoja, entre otros).
- AFLORAMIENTO ROCOSO: con una vegetación dispersa, un cubrimiento moderado y de poca altura (arbustos y herbáceas) y con algún estrato arbóreo aislado (carrasca, pino, coscoja, etc.). Donde habitan algunas especies endémicas de interés. Son espacios que se relaciona con incendios forestales pasados, aproximadamente entre los últimos 40 años anteriores al 2005.
- RAMBLA: cantos rodados, vegetación de ribera, etc.

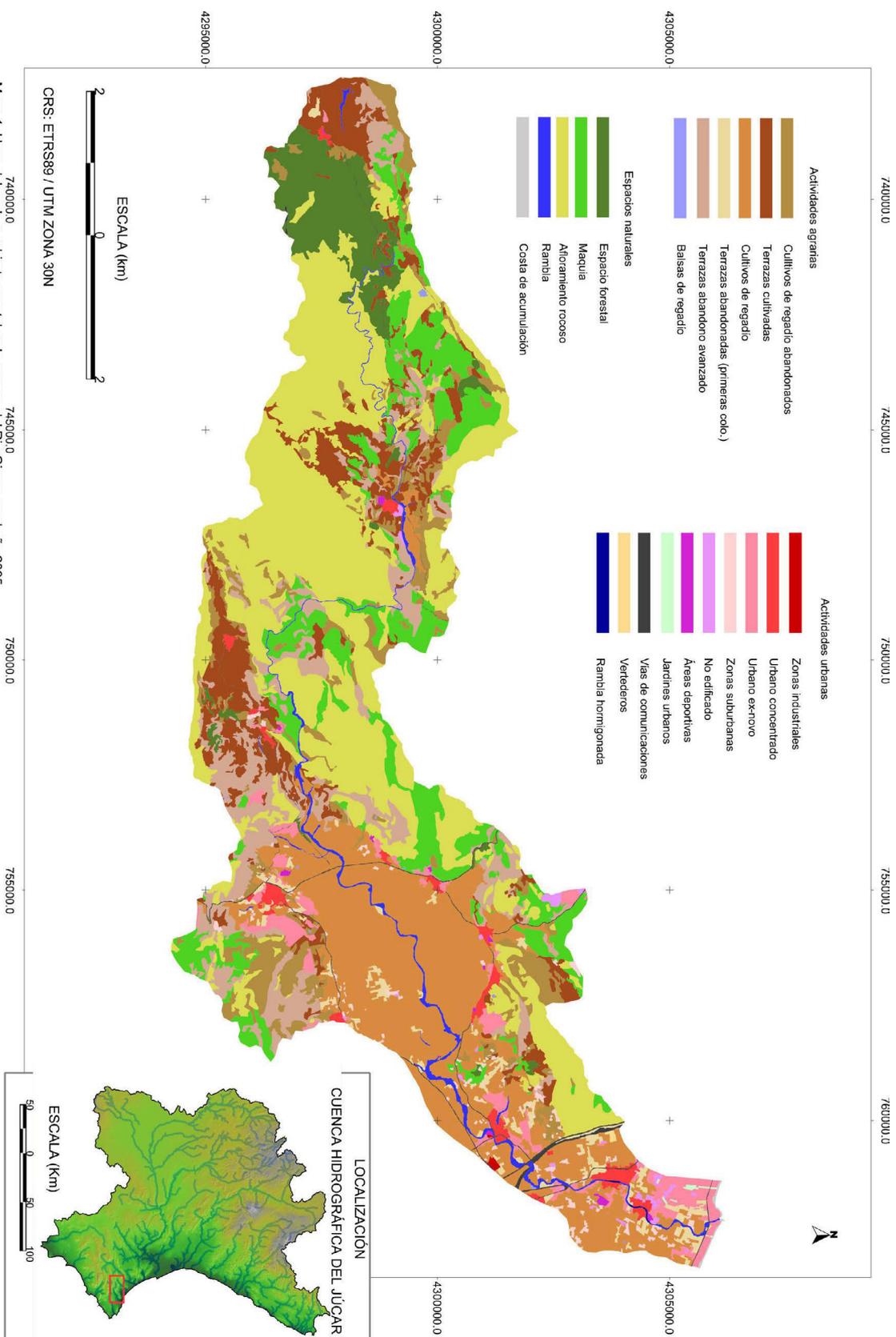
2.2.2. Las pendientes

Para obtener la capa de pendientes se utiliza el Modelo Digital del Terreno con un píxel de cinco metros (MDT5). En primer lugar se rellenan las celdas sin datos del MDT5, para no arrastrar errores en el proceso de confección de la capa de pendientes en caso de existencia de celdas sin datos. A partir del MDT05 resultante se le aplica el algoritmo de ajuste polinómico de segundo grado de Zevenbergen & Thorne *et al.*, 1987 y se reclasifica el resultado en tres grandes grupos de pendientes, entre 0 y 5%, entre 5 y 10% y superiores al 10%. Posteriormente se ajusta mediante la función cortar usando el área de la cuenca en formato *ascii*, el resultado del cual se vectoriza.

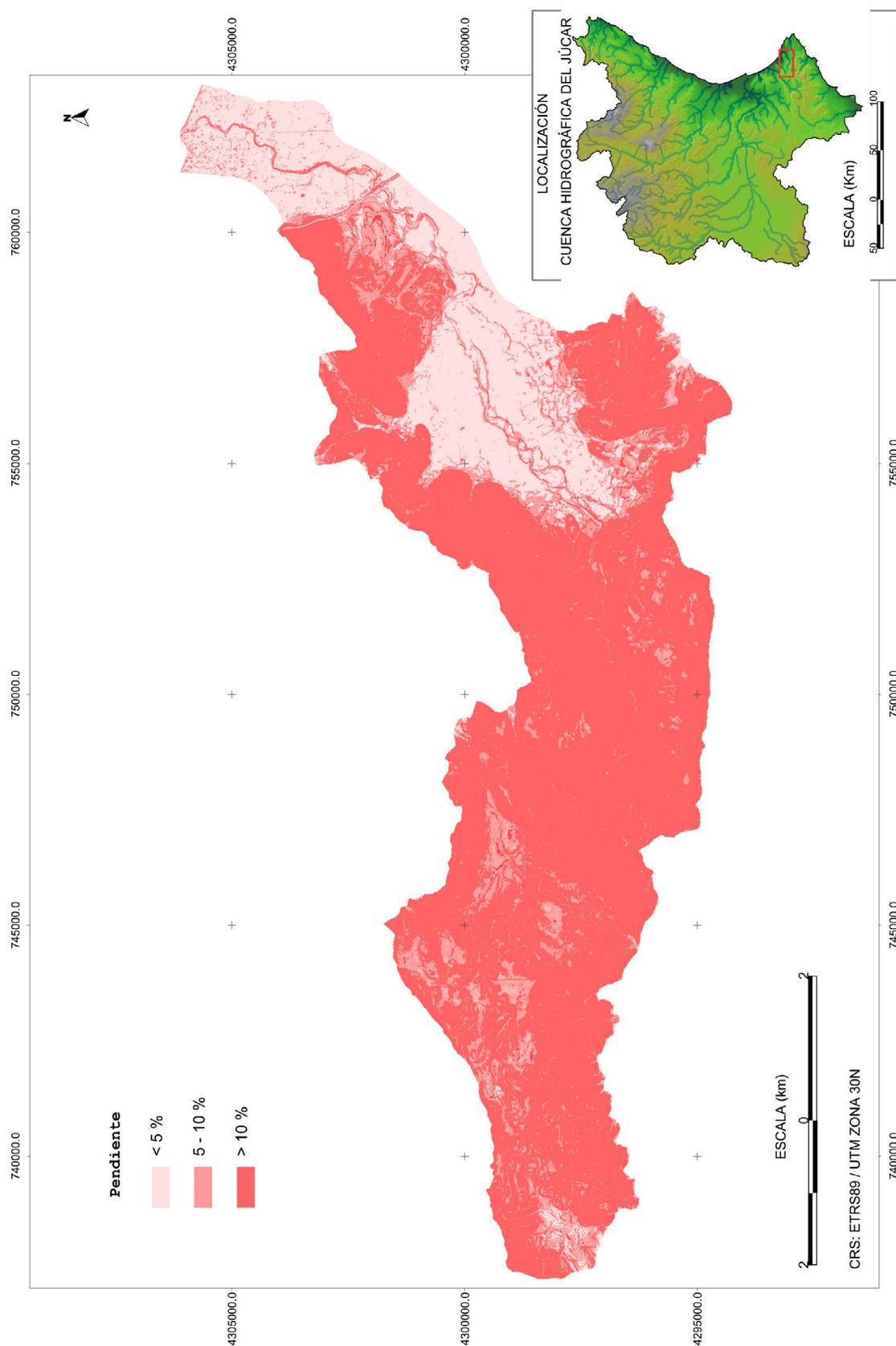
2.2.3. Las litofacies y formaciones superficiales

En cuanto a la elaboración de esta capa, se ha optado por digitalizar la información a partir de una fotointerpretación, porque no hay fuentes disponibles a escala 1:5.000 de litofacies y formaciones superficiales. Para ello se ha usado la Ortofoto del 2005 del ICV. Hay que advertir que en caso de emplear otras escalas se derivarían en errores geométricos en la combinación final de las variables consideradas en la valoración.

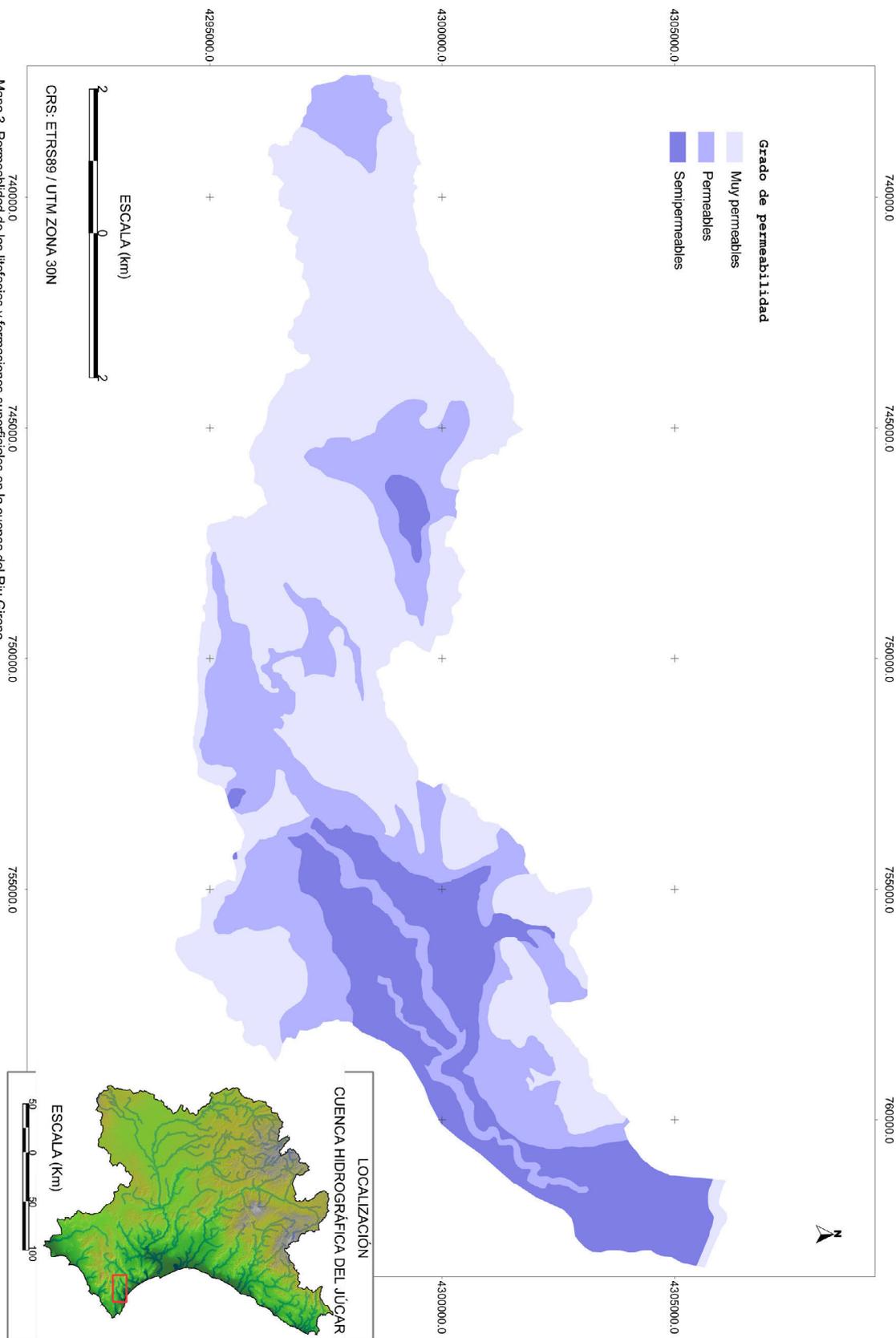
En este proceso de fotointerpretación, se ha pasado directamente a digitalizar las superficies según su grado de permeabilidad en: *muy permeables*, *permeables* y *semipermeables*. Se han considerado *muy permeables* las zonas con afloramientos calcáreos localizados en zonas montañosas por su elevado grado de carstificación (fisuras, cavernas, cañones, etc.), así como los suelos compuestos por gravas y arenas; *permeables* los suelos compuestos por arenas finas, limos y margas que se encuentran en taludes, glaciares y conos de deyección y, además, el lecho del río junto a sus márgenes; y *semipermeables* los suelos con presencia de arcillas, limos, margas y gravas, éstos, ubicados en los abanicos aluviales y en la llanura de inundación.



Mapa 1. Usos del suelo y cubierta vegetal en la cuenca del Riu Girona en el año 2005. Elaborado a partir de la modificación del SIOSE mediante la interpretación y digitalización con la ayuda de la Ortofoto de 2005 del ICV. El mapa de localización se ha elaborado a partir del MDT200 (IGN) y del límite y red hidrográfica de la CHJ. Programas usados: SEXTANTE, GVSIG y QGIS; Moll Barber, Marcos (2012)



Mapa 2. Pendientes de la cuenca del Riu Girona.
 Mapa elaborado a partir del MDT05. El mapa de localización se ha elaborado a partir del MDT200 (IGN) y del límite y red hidrográfica de la CHJ.
 Programas usados: SEXTANTE, GVSIG y QGIS; Moll Barber, Marcos (2012)



Mapa 3. Permeabilidad de las litofacies y formaciones superficiales en la cuenca del Riu Girona. Elaboración propia a partir de una fotointerpretación de la ortofoto del 2005 del ICV. El mapa de localización del área de estudio se ha confeccionado gracias a las bases de datos del IGN (MDT200) y del CHJ (límite y red hidrográfica). Programas usados: SEXTANTE y QGIS. Moll Barber, Marcos (2012)

Una vez hecha la fotointerpretación se buscan los posibles errores cometidos en las geometrías, de la misma manera que se ha hecho con la capa de usos del suelo y vegetación, destacando que en ésta no se ha detectado ningún error geométrico.

2.3. Fase de valoración e integración de las variables consideradas

Antes de valorar las capas de información geográfica elaboradas anteriormente, es necesario establecer un coeficiente para combinar las variables que determinan la superficie de escorrentía (V_{se}) y que éste se acerque al coeficiente de escorrentía (C_e) de cada superficie. Para ello se ha optado por sumar las variables que intervienen en la producción de escorrentía y dividir el resultado entre el valor máximo posible de la combinación de los parámetros que se consideran.

$$V_{se} = \frac{C_e + m + a}{Max}$$

Donde " V_{se} " es el coeficiente para valorar las superficies de escorrentía; " C_e " es el coeficiente de escorrentía según el uso del suelo y la cubierta vegetal; " m " el valor incremental asignado a las pendientes; " a " el valor asignado a las litofacies y las formaciones superficiales en relación al parámetro de infiltración; y " Max " es valor máximo resultante de la suma entre " C_e ", " m " y " a ".

2.3.1. Valoración de la capa de litofacies y formaciones superficiales

Una vez establecido el coeficiente para valorar las superficies de escorrentía de la cuenca, se examinan las tablas de Marsh (1978), Benítez *et al.*, (1980) y Prevert (1998) para cuantificar el incremento que experimenta el coeficiente de escorrentía en pasar de superficies permeables a semipermeables e impermeables. Considerando las superficies permeables como valor inicial, se comprueba que el coeficiente va incrementándose de manera constante; por tanto, ¿qué valor asignar al cambio de superficies permeables a impermeables o semipermeables? En la figura 4 se aclara el procedimiento llevado a cabo.

Figura 4. Ejemplos de los incrementos derivados del cambio de permeabilidad.

| Cultivos agrícolas (pend. 5-10%). Prevert (1998) | Bosque (pend. 5-10%). Benítez, <i>et al.</i> , (1980) |
|--|---|
| 0,40 = perme. → 0,00 | 0,25 = perme. → 0,00 |
| 0,66 = semip. → +0,16 | 0,45 = semip. → +0,20 |
| 0,70 = imper. → +0,30 | 0,55 = imper. → +0,30 |

Una vez contabilizados los incrementos que experimenta el C_e , según la permeabilidad, se calcula el valor medio de cada modelo y posteriormente la media de los tres (tabla 1). Cabe indicar que se cambian las denominaciones en muy permeables, permeables y semipermeables, reservando la denominación de superficies impermeables a aquellas compuestas por asfalto, hormigón, etc.

Tabla 1. Valor asignado al factor de permeabilidad (a) a partir de medias incrementales.

| Litofacies y formaciones superficiales | Marsh (1978) | Benítez, <i>et al.</i> , (1980) | Prevert (1998) | Media a usar |
|--|--------------|---------------------------------|----------------|--------------|
| Muy permeable | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Permeable | 0,19 | 0,20 | 0,14 | 0,18 |
| Semipermeable | 0,30 | 0,30 | 0,20 | 0,27 |

2.3.2. Valoración de la capa de pendientes

Para valorar la pendiente se ha creído oportuno examinar las variaciones que experimentaba el coeficiente de escorrentía del método de Marsh (1978) al modificar la inclinación del terreno. En este caso, a diferencia del anterior, sólo se consideran los espacios que se encuentran en superficies permeables.

De ese modo, considerando el valor de partida aquellos sectores con menor pendiente, se procede a cuantificar dicho cambio sin tener en cuenta valores acumulativos.

Figura 5. Incremento de la pendiente en usos del suelo desarrollados en superficies permeables.

| Bosque (sup. perm.) | Prado (sup. perm.) | Cultivos (sup. perm.) |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 0,10 = 0-5% → 0,00 | 0,10 = 0-5% → 0,00 | 0,30 = 0-5% → 0,00 |
| 0,15 = 5-10% → +0,05 | 0,16 = 5-10% → +0,06 | 0,40 = 5-10% → +0,10 |
| 0,30 = 10-30% → +0,15 | 0,22 = 10-30% → +0,06 | 0,52 = 10-30% → +0,12 |

Tabla 2. Valor asignado a la pendiente (m) a partir de la media incremental de Marsh (1978).

| Pendiente | Media a usar |
|-----------|--------------|
| 0-5% | 0,00 |
| 5-10% | 0,07 |
| >10% | 0,11 |

2.3.3. Valoración de los usos del suelo y cubierta vegetal

Este proceso es fundamental para llevar a cabo la valoración de las superficies de escorrentía y, además, cabe señalar que es más complejo que las valoraciones anteriores. Por ello se ha creído oportuno hacer una revisión bibliográfica y extraer información cualitativa y cuantitativa de la repercusión de los usos del suelo y la cubierta vegetal en la escorrentía.

En primer lugar se valoran las superficies relacionadas con la actividad urbana. Para ello, se emplean los C_e máximos que cuantifica Marsh (1978), siendo 0,75 en espacios urbanos concentrados y 0,80 en zona industrial ligera. A las urbanizaciones ex-novo se les otorga 0,60, a las áreas suburbanas 0,55 y 0,52 a las áreas deportivas, señalando que estos valores que se usan son mayores que los cuantificados por Marsh. En lo que se refiere a las superficies asfaltadas, con un C_e que oscila entre 0,75 y 0,95, según la *Guía para la Elaboración de Estudios del Medio Físico* (Ministerio de Medio Ambiente, 2006), se opta por escoger el valor medio, 0,85; en la misma *Guía* aparece el C_e de superficies de hormigón el cual fluctúa entre 0,80 y 0,95, es por ello se que opta por usar el valor máximo para el lecho del río que está hormigonado. A los espacios no edificados 0,50, a los vertederos 0,45 y a los jardines urbanos se les otorga un valor de 0,37.

En segundo lugar se plantea valorar las superficies relacionadas con la actividad agraria. Tomando como indicador el C_e de cultivos desarrollados en superficies muy permeables y con poca pendiente del método de Marsh (1978), Benítez *et al.*, (1980) y Prévert (1998), a los cultivos de regadío trabajados se les asigna un valor de 0,32. Como contrapunto, los cultivos de regadío abandonados por el hecho de no labrarse se les otorgan un valor superior, de 0,39. En lo que se refiere a las terrazas de cultivo, diferenciadas en trabajadas, primeros abandonos y abandono avanzado, a las primeras se les asigna 0,30, al igual que en los cultivos de regadío; en cuanto a los cultivos abandonados con primeras colonizaciones vegetales se les asigna un valor de 0,35, mayor que el anterior; y a los cultivos con un abandono avanzado, 0,15 porque en ésta la cubierta vegetal aparece bien desarrollada. Este último valor se asigna porque las terrazas con un abandono avanzado y con una cubierta vegetal densa, generan una escorrentía insignificante (Cerdà, 1994). Considerando las balsas de regadío como recipiente de almacenamiento, se les otorga un valor de 0,00.

En tercer lugar se valoran las superficies relacionadas con espacios semi-naturales. En este sentido, en su día Molchanov (1960) demostró que a medida que aumentaba la densidad vegetal, el C_e disminuía. Lo verificó experimentando con una superficie desprovista de vegetación y otra con un 60% de cubierta vegetal; en la primera el fenómeno de escorrentía osciló entre 0,65 y 0,75 y en la segunda fluctuó sobre 0,08 (TRAGSA *et al.*, 1998). Es por esta razón que las áreas consideradas como espacios forestales se les otorga un valor de 0,08 y a las áreas con maquia 0,10. En lo que se refiere a los afloramientos rocosos, usando como indicador el estudio de Xiao-Yan *et al.*, (2011), quienes en analizar el modelado cárstico de la Sierra de Gádor (SE de España) determinan que en zonas con afloramientos rocosos y calcáreos

el C_c fluctúa entre 0,59 y 0,80, valores que vienen determinados por el grado de fisuras; a las zonas con afloramiento rocosos que a su vez se relacionan con incendios forestales pasados y con morfologías cársticas, se les concede un valor de 0,51 porque gran parte de su superficie se encuentra en pendientes superiores al 10%, con un elevado grado de fisuras y con una cubierta vegetal regenerándose tras incendios y aprovechamientos forestales del pasado. En cuanto a la costa de acumulación se valora como superficie nula de escorrentía (0,00) porque se trata de espacios donde la arena de la playa presenta una elevada tasa de infiltración. Por último, al lecho de la rambla se le asigna un valor de 0,60 para que aparezca destacado en el mapa final.

Tabla 3. Valoración del coeficiente de escorrentía según los usos del suelo y la vegetación (C_c).

| | | | |
|------|---|------|-----------------------|
| 0,35 | Terrazas abandonadas (primeras colonizaciones) | 0,37 | Jardines urbanos |
| 0,15 | Terrazas en abono avanzado (cubierta vegetal densa) | 0,50 | No edificado |
| 0,30 | Terrazas en cultivo | 0,85 | Red de comunicaciones |
| 0,32 | Cultivos regadío (trabajados) | 0,45 | Vertedero |
| 0,36 | Cultivos regadío (abandonados) | 0,95 | Rambla (hormigonada) |
| 0,00 | Balsa | 0,00 | Costa acumulación |
| 0,75 | Urbano concentrado | 0,08 | Espacio forestal |
| 0,60 | Urbanizaciones ex-novo | 0,10 | Maquia |
| 0,55 | Zonas suburbanas | 0,51 | Afloramiento rocoso |
| 0,52 | Áreas deportivas | 0,60 | Rambla |
| 0,80 | Zona industrial | | |

2.3.4. Integración de las variables

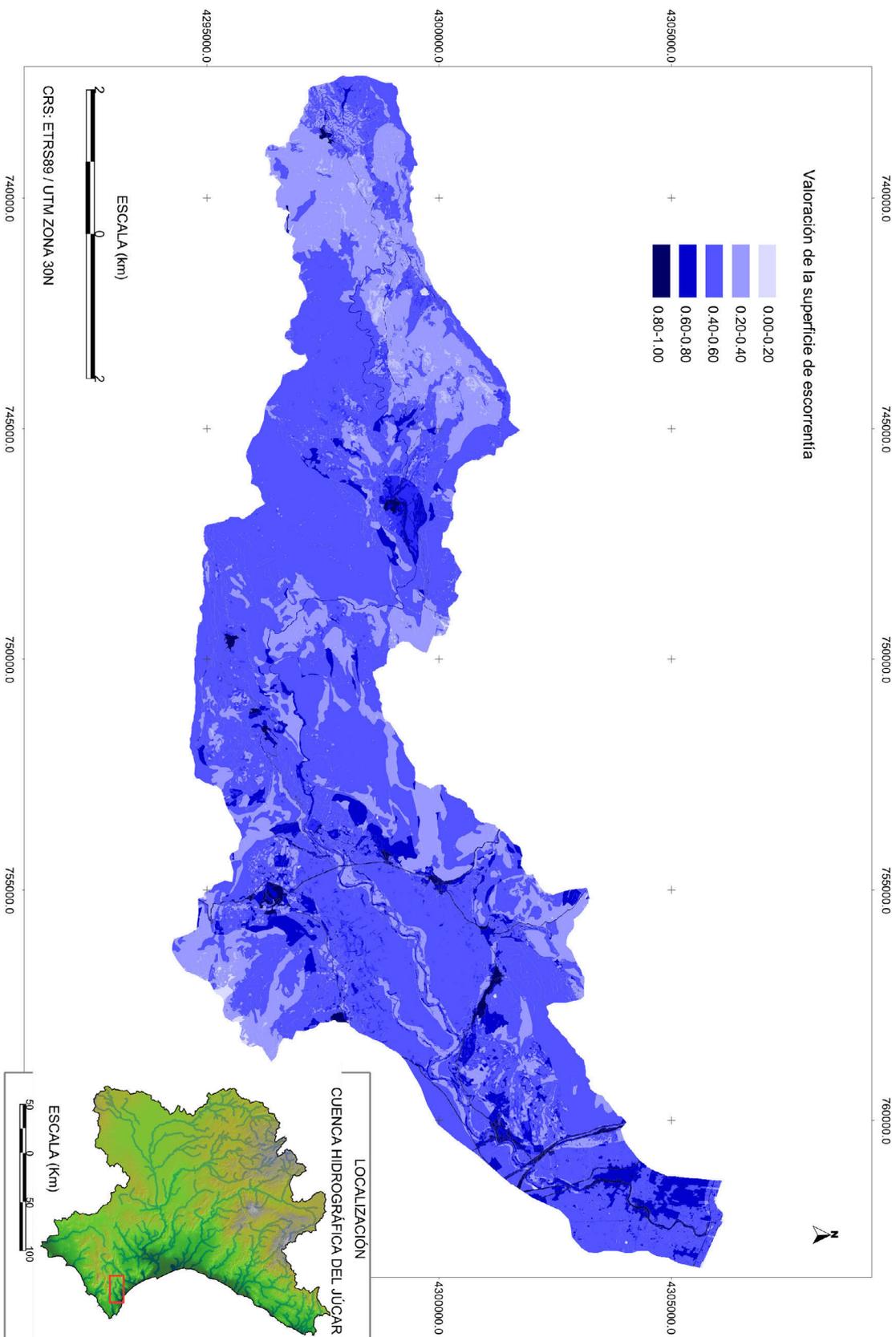
Finalmente se procede a realizar el geoproceto de intersección entre las tres capas consideradas. Una vez combinadas a la capa final se le modifica la tabla, creando una nueva columna en donde se introduce la ecuación anterior (figura 4) y de ese modo se obtiene una capa de información geográfica en la que consta la valoración de las superficies de escorrentía.

2.4. Fase cartográfica de verificación

Con el objetivo de verificar el resultado de lo expuesto en este estudio aplicado se han comprobado si los valores que resultan de la valoración de la escorrentía concuerdan con los coeficientes de escorrentía explicados en el segundo apartado. Además de ello se han realizado salidas de campo para contrastar los resultados obtenidos.

4. RESULTADOS, DISCUSIÓN Y APLICABILIDAD

El estudio revela que mediante las nuevas tecnologías ligadas a los SIG se puede cartografiar y llevar a cabo una valoración de las superficies de escorrentía de una cuenca. A grandes rasgos, el resultado que se obtiene de la valoración y combinación de las variables manejadas, pendiente, litofacies y formaciones superficiales y usos del suelo y cubierta vegetal, se aproxima bastante a la realidad de la cuenca de estudio. No obstante, el método usado debería perfeccionarse y, en la medida de lo posible, sería conveniente experimentar con coeficientes de escorrentía cuantificados en la propia cuenca de estudio para poder confeccionar mejor el método de valoración de las variables. Además de ello, sería interesante que en la valoración se tuviera en cuenta el factor de insolación en umbrías y solanas, ya que en las umbrías el coeficiente de escorrentía debería ser mayor por el hecho de que los suelos se mantienen más húmedos, aunque habría que considerar que en estos sectores suele hallarse un mayor recubrimiento vegetal.



Mapa 4. Resultado de la valoración de las superficies de escorrentía del Río Girona en el año 2005. El mapa de localización se ha elaborado a partir del MDT200 (IGN) y del límite y red hidrográfica de la CHJ. Programas usados: SEXTANTE, GVSIG y QGIS; Moll Barber, Marcos (2012)

Del resultado final cabe destacar que el 67,05% de la superficie de escorrentía obtiene valores entre 0,40 y 0,60, y éstos se corresponden fundamentalmente con afloramientos rocosos, cultivos de regadío y terrazas cultivadas, entre otros. Un porcentaje menor, de 23,33%, se corresponde con superficies de escorrentía con unos valores entre 0,20 y 0,40, éstos son espacios con maquia, masa arbórea densa, cultivos con abandonos avanzados, etc. El 7,71% de la superficie de escorrentía obtiene valores entre 0,60 y 0,80, correspondiéndose principalmente con espacios donde se asientan nuevas urbanizaciones, entre otros. El 1,76% de la superficie de escorrentía se engloba entre valores de 0,80 y 1,00, éstos se relacionan con espacios urbanos consolidados, vías de comunicaciones, rambla hormigonada, etc. El 0,23% de la superficie de escorrentía obtienen valores de entre 0,00 y 0,20, resultando ser aquéllos espacios con una cubierta vegetal densa y con poca pendiente.

A modo de ejemplo de la aplicabilidad del mapa final, y sin entrar en detalles (tiempos de concentración, etc.), se ha calculado el caudal de salida de la cuenca de estudio usando intensidades de lluvia homogéneas en toda la cuenca (figura 6). Las intensidades que se han manejado han sido de 60 mm/h y de 120 mm/h, este último valor se corresponde a las intensidades de lluvia registradas en el observatorio de Gallinera, cercano a la zona de estudio, entre las 10'45 y las 11'00 el 12 de octubre de 2007 (Segura, 2009).

Tabla 4. Cálculo del caudal (m³/s) de salida según la intensidad de la lluvia y por tramos*.

| Zona | Pueblos | Caudal por tramos según intensidades de lluvia | | Caudal acumulado según intensidad de la lluvia | |
|------|-------------------------------------|--|----------|--|-----------|
| | | 60 mm/h | 120 mm/h | 60 mm/h | 120 mm/h |
| 1 | Vall d'Alcalá y Vall d'Ebo | 448,5123 | 897,0246 | 448,5123 | 897,0246 |
| 2 | La Vall de Laguar | 349,6999 | 699,3998 | 798,2122 | 1596,4244 |
| 3 | Orba y La Rectoria | 459,2085 | 918,4170 | 1257,4207 | 2514,8414 |
| 4 | Beniarbeig, El Verger y Els Poblets | 206,6705 | 413,3411 | 1464,0912 | 2928,1825 |

* Fórmula aplicada a cada una de las superficies de escorrentía obtenidas en la valoración³

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{3.000.000}$$

Donde:

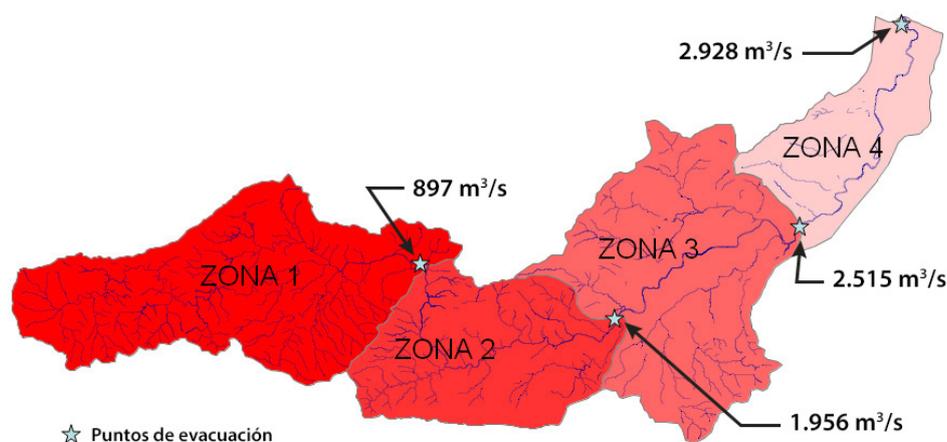
Q = Caudal punta correspondiente a un período de retorno dado en m³/s.

I = Intensidad de la lluvia en mm/h.

A = Superficie de escorrentía dada en m².

C = Coeficiente de escorrentía obtenido en la valoración.

Figura 6. Caudal de salida acumulado obtenido ante intensidades pluviométricas de 120 mm/h.



³ La fórmula se ha extraído de MOPU (1987) y se ha modificado puntualmente como adaptación a la información manejada.

BIBLIOGRAFÍA

- ALLARD, A., NILSSON, B., PRAMBORG, K., STAHL, G. and SUNDQUIST, S. (2003): *Manual for aerial photo interpretation in the national inventory of landscapes in Sweden*. NILS, Department of Forest Resource Management and Geomatics, Sweden, 80 p. URL: < <http://www.slu.se> >
- ANGELONE, S., GARIBAY, M.T. y CAUHAPÉ CASAUX, M. (2006): “Permeabilidad de suelos”. Universidad Nacional de Rosario. 39 p.
- ARCENEGUI, V. (2011): “El foc sobre el sòl, els canvis en la superfície després d’un incendi”, *Mètode “Quan es crema el bosc”*, núm 70, pp. 79-81. Universitat de València, València.
- BENÍTEZ, C., ARIAS y W., QUIROZ, J. (1980): *Manual de conservación de suelos y aguas*. Ministerio de Agricultura y Alimentación. Perú.
- CAROLL, D.M., EVANS, R. and BENDELOWS, V.C. (1977): *Air photo-interpretation for soil mapping*, England, 85 p.
- CERDÀ, A. y BODÍ, M.B. (2006): “Erosión hídrica en suelos afectados por incendios forestales”, en MATAIX SOLERA, J. (ed.) (2006): *Incendios forestales, suelos y erosión hídrica*, pp. 71-118
- CERDÀ I BOLICHES, A. (1994): “Arroyada superficial en terrazas de cultivo abandonadas: el caso del País Valencià” a *Quaderns de Geografia* n° 56, pp. 135-154. València.
- CONACHER, A. and SALA, M. (1998): *Land degradation in mediterranean environments of the world*. Ed. John Wiley & Sons.
- GARCÍA RODRÍGUEZ, J. L. and GIMÉNEZ SUÁREZ, C. (2010): “Comparison of mathematical algorithms for determining the slope angle in GIS environment”, *Aqua-LAC*, vol. 2, n° 2. pp. 78-82. URL: < www.unesco.org >
- GARCÍA-RUIZ, J.M., RUIZ-FLAÑO, P., LASANTA, T., MONTSERRAT, G., MARTÍNEZ-RICA, J.P. and PARDINI, G. (1991): “Erosion in abandoned field, what is the problem?”. In SALA, M., RUBIO, J.L. i GARCÍA-TRUI, J.M. (Eds.): *Soil Erosion Studies in Spain*, pp. 97-108
- GARCÍA RUIZ, J.M. (1996): “Marginación de tierra y erosión en áreas de montaña”. En LASANTA MARTÍNEZ, T. y GARCÍA RUIZ, J.M. (eds.) (1996): *Erosión y recuperación de tierras en áreas marginales*. Instituto de Estudios Riojanos. SEG. Logroño. pp. 33-50.
- GIL OLCINA, A. (Dir.) (1986): *Inundaciones en la ciudad y Término de Alicante*. Universitat d’Alacant – Ajuntament d’Alacant, 179 p.
- GIOVANNINI, G. and LUCCHESI, S. (1997): “Modifications induced in soil physico-chemical parameters by experimental fires at different intensities”. *Soil Science*, núm. 162-7, pp. 479-486.
- GONZÁLEZ, A. y MOÑINO, M. (2000): “Foto-interpretación geomorfológica aplicada al estudio de la evolución del relieve”, *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, pp. 23-31.
- HENRÍQUEZ, C. AZÓCAR, G. y AGUAYO, M. (2006): “Cambio de usos del suelo y escorrentía superficial: aplicación de un modelo de simulación espacial en Los Ángeles, VIII Región del Biobío, Chile”, *Revista de Geografía Norte Grande*, núm. 36, Santiago. pp. 61-74. URL: < <http://www.scielo.cl> >
- HERRERO TEJEDOR, T.R. y PÉREZ MARTÍN, E. (2002): “Actualización topográfica y cartográfica mediante técnicas GPS y SIG del Monte Público, aguas vertientes el Espinar (Segovia)”, XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica, Santander, España, 10 p.
- HORTON, R. E.:
- (1933): “The role of infiltration in the hydrologic cycle”, *Trans. 14th Ann. Meeting Am. Geophys. Union*, pp. 446-460.
 - (1939): “Analysis of runoff-pot experiments with varying infiltration capacity”, *Trans. Am. Geo. Union*, pp. 693-694.

- IBÁÑEZ ASENSIO, S., MORENO RAMÓN, H. y GISBERT BLANQUER, J. M. (2007): “Métodos para la determinación del coeficiente de escorrentía”. Universitat Politècnica de València. 7 p. URL: < <http://riunet.upv.es> >
- KOSTIAKOV, A. N. (1932): “On the dynamics of the coefficient of water percolation in soils and the necessity for studying it from a dynamic view for purposes of amelioration”, *Trans. 6th Com. Int. Soil Sc., Russian Part A*, pp. 17-21.
- LEMUS, M. y NAVARRO, G. (2003) *Manual para el desarrollo de obras de conservación del suelo*. Corporación Forestal Nacional. San Fernando (Chile)
- LLOVET LÓPEZ, J. i VALLEJO CALZADA, V. R. (2011): “Foc, pluges i resposta hidrològica del sòl a les muntanyes d’Alacant”, *Treballs de la Societat Catalana de Geografia*, núm. 71-72, pp. 35-47. URL: < <http://publicacions.iec.cat> >
- MARSH, W. M. (1978): *Environmental analysis for land use and site planning*. McGraw-Hill, New York.
- MARTÍN VIDE, J. (2006): “La importancia de los estudios históricos en el análisis de los riesgos climáticos”, en AYALA CARCEDO, F. J. *et al.*, (2006): *Riesgos naturales y desarrollo sostenible: impacto, predicción y mitigación*. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, pp. 159-166.
- MAS LLORENÇ, M. A. (1993): *Atlas de la Marina Alta*. Institut Geogràfic d’Alacant. Ed. CAM, Fundació Cultural.
- MATAIX SOLERA, J. y GUERRERO, C. (2006): “Efectos de los incendios forestales en las propiedades edáficas” en MATAIX SOLERA, J. (ed.) (2006): *Incendios forestales, suelos y erosión hídrica*, pp. 5-40.
- MATEU, J. F., PORTUGÉS i GÓMEZ G, GARCIA y F, FERRI, M. (2010): *La primera confederación hidrográfica del Júcar (1934-1942)*. Confederación Hidrográfica del Xúquer, València, 155 p.
- MINISTERIO DE MEDIOAMBIENTE (2006): *Guía para la elaboración de estudios del medio físico*. Madrid, 917 p.
- MIRAJKAR, M. A. and SRINIVASAN, T. R. (1975): “Landsat photo-interpretation for preparation of small scale soil maps through a multistage approach”, *Photonirvachak Journal of the Indian Society of remote sensig*, Vol. III, núm. 2, pp. 87-92.
- MOLINA, M. J. and SANROQUE, P. (1996): “Impact of forest fires on desertification processes: a review in relation to soil erodibility”. In: RUBIO, J. L., CALVO, A. (eds.): *Soil degradation and desertification in Mediterranean environments*. Logronyo: Geoforma Ediciones, pp. 145-163.
- MOPU (1987): “Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales”, *Tecnología*. Madrid, 49 p. URL: < <http://www.fomento.gob.es> >
- MUSGRAVE, G. W. and HOLTAN, H. N. (1964): *Infiltraron, Section 12*. Ven Te Chow (ed.): *Handbook of applied hydrology*, IV. Graw-Hill. New York.
- NEARY, D. G., KLOPATEK, C. C., DE BANO, L. F. and FFOLIOTT, P. F. (1999): “Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis”. *Forest Ecology and Management*, núm. 122, pp. 51-71.
- OLCINACANTOS, J., HERNÁNDEZHERNÁNDEZ, M., RICOAMORÓS, A. M. and MARTÍNEZIBARRA, E. (2010): “Increased risk of flooding on the coast of Alicante (Region of Valencia, Spain)” a *Natural Hazards and Earth System Sciences*, núm 10. 6 p. URL:< www.nat-hazards-earth-syst-sci.net >
- PADILLA BLANCO, A. (1998): *Colonización vegetal en campos de cultivo abandonados en la provincia de Alicante*. Universitat d’Alacant. 365 p.
- PHILIP, J. R. (1957): “The theory of infiltration: 4. Sorptivity and algebraic infiltration equations”, *Soil Sc.* 84, pp. 257-264.
- SHAKESBY, R. A. and DOERR, S. H. (2006): “Wildfire as a hydrological and geomorphological agent”. *Earth-Science Reviews*, núm. 74, 3-4, pp. 269-307.

- SMITH, R.E. (1972): "The infiltration envelope: results from a theoretical infiltrometer". *Journal of Hydrology*, 17, pp. 1-21.
- SOIL SURVEY STAFF (1951): *Soil survey manual*. USDA, Handbook 18, Washington.
- TÉMEZ, J.R. (1978): *Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales*. MOPU Dirección General de Carreteras, 113 p.
- TRAGSA, TRAGSATEC (1998): *Restauración hidrológica forestal de cuencas y control de la erosión*. Ministerio del Medio Ambiente. Ediciones mundi prensa Madrid.
- TRILLA I ARRUFAT, J., MAS I PLA, J. i PALLÍ I BUXÓ, Ll. (1985): "Imposicions estructurals en el drenatge de la conca del riu Onyar (Girona)", *Scientia gerundensis*, núm 11. pp 103-118. URL: < www.raco.cat >
- ÚBEDA, X.:
- (1999): "Canvis en la capacitat d'infiltració d'un sòl després d'un incendi forestal al massís de Cadiretes. Importància de la intensitat del foc en les taxes d'infiltració". *Scientia gerundensis*, núm 24, pp. 41-51.
 - (2000): "Els incendis forestals com a causants de l'increment d'erosió del sòl". *Butlletí Instituts Catalans de la Història Natural*. núm 68, pp. 5-14. URL: < www.revistes.iec.cat >
- VÉLEZ MUÑOZ, R. y MONTIEL MOLINA, C. (2003): "La problemática de monte mediterráneo". *Investigaciones Geográficas*, núm 31, pp. 121-137. Universitat d'Alacant, Alacant. URL: < <http://rua.ua.es> >
- XIAO-YAN, L., CONTRERAS, S., SOLÉ-BENET, A., CANTÓ, Y., DOMINGO, F., LÁZARO, R., LIN, H., VAN WESEMAEL, B. and PUIGDEFÁBREGAS, J. (2011): "Controls of infiltration-runoff processes in Mediterranean karst rangelands in SE Spain". *Catena*, Vol. 86, pp. 98-109. URL: < <http://www.sciencedirect.com> >

IMPORTANCIA DE LOS PROCESOS DE VALIDACIÓN TOPOLÓGICA EN LA GESTIÓN DE ALTERACIONES CATASTRALES¹

José Tomás Navarro Carrión² y Alfredo Ramón Morte³

Laboratorio de Geomática. Instituto Interuniversitario de Geografía²
Departamento de Análisis Geográfico Regional y Geografía Física³
Universidad de Alicante

RESUMEN

Las tecnologías de la información y la comunicación están consiguiendo que la información geográfica sea asequible a un mayor número de profesionales a través de las Tecnologías de la Información Geográfica. La intervención *multidisciplinar* en el territorio enriquece la investigación y las formas de aplicación de este tipo de recursos tecnológicos. Pero esta facilidad tecnológica puede suponer el riesgo de un uso inadecuado, por falta de conocimientos técnicos adecuados a la complejidad de la información geográfica o por el mal uso de las aplicaciones informáticas.

El trabajo catastral puede beneficiarse mucho del empleo de estas tecnologías de información geográfica, al facilitar el uso, la comunicación y su administración electrónica, pero el desconocimiento de las propiedades geométricas y topológicas de la información geográfica puede llevar a cometer errores de graves consecuencias a profesionales no especializados. En este artículo ofrecemos el resultado de la investigación del trabajo de diversos juristas y técnicos, con el objetivo de desarrollar métodos automatizados y aplicaciones informáticas que permitan a los especialistas no expertos en Cartografía usar este tipo de información con garantías de exactitud al más alto nivel, como una solución eficaz para que la información geográfica con calidad topológica enriquezca la seguridad jurídica en el tráfico inmobiliario.

Palabras clave: TIC, topología, SIG, TIG, alteraciones catastrales, notario, aplicaciones geográficas informatizadas.

ABSTRACT

The importance of topological validation processes when managing changes in land property

Information and Communications Technology (ICT) is making Geographic Information (GI) reachable to an increasing number of professionals through technology. A multidisciplinary approach to land resources assessment enriches research and encourages new implementations of this type of technological resources, but the affordability of Geographic Information Technology (GIT) may lead to misuse due to lack of knowledge about GI complexity or poor user skills when working with computer applications.

Cadastral tasks can greatly benefit from the use of GIT to empower transparent transactions and e-government, but failing to handle geometric and topological properties when dealing with GI may lead to mistakes with serious consequences for non-skilled professionals. In this article, we show results of

¹ Este trabajo se ha realizado como resultados del Proyecto de Investigación Aplicada "Ramón Llull", realizado en el Laboratorio de Geomática del Instituto Interuniversitario de Geografía y el Departamento de Derecho Civil de la Universidad de Alicante bajo el patrocinio del Consejo General del Notariado y Colegio Notarial de Valencia. Además, se inscribe en el marco del proyecto de investigación «El Registro de la Propiedad como instrumento vertebrador de la información territorial; datos espaciales, metadatos y Directiva INSPIRE (II)» (DER 2011-23321), financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad.

² jt.navarro@ua.es

³ alfredo.ramon@ua.es

a research work conducted by a team of both, legal and technical professionals, whose main goal is the development of automated methods and mapping software that allow non-experts to fully embrace GI while preserving the highest level of accuracy. We foresee this as an effective solution to encompass real estate data transactions with topologically accurate GI and, thus, as a means to enforce for legal certainty.

Keywords: ICT, topology, GIS, GIT, cadastral changes, notary, geographical computer applications

1. INTRODUCCIÓN

Las tecnologías de la información geográfica (TIG) están alcanzando un alto nivel de eficacia en facilitar el acceso al territorio a un variado elenco de profesionales. Esta incorporación diversa aporta enfoques de distinta naturaleza y métodos de trabajo que constituyen una fuente inagotable de innovación. Juristas o sociólogos pueden ser un gran ejemplo de este proceso, incorporando el territorio en los métodos de marketing, la gestión electrónica de procesos comerciales o administración de empresas

Sin embargo, la facilidad tecnológica puede llevar consigo el riesgo de intervención de profesionales que adolezcan de un adecuado nivel de conocimiento técnico para asumir con seguridad el uso y gestión de los datos territoriales. Para muchos de estos nuevos usuarios de las TIG es fácil confundir la sutil diferencia que existe entre datos gráficos, geográficos o topológicos; igualmente, tampoco son capaces de apreciar el contraste entre la precisión geométrica de una topología vectorial y la resolución espacial de una topología *raster*, con todo lo que ello implica sobre el rigor de la información territorial

Es necesario que estos nuevos perfiles profesionales que se incorporan a las TIG conozcan y tengan en cuenta aspectos geográficos y técnicos complejos, condignos a este tipo de información. El desconocimiento puede llevar a cometer serios errores de enfoque y valoración de importantes consecuencias, sobre todo en trabajos que implican la gestión de información geográfica sobre propiedades inmuebles, en los que estas cuestiones alcanzan gran relevancia, como los procesos de alteración catastral y su gestión electrónica.

La dimensión jurídica o económica de la gestión de bienes inmuebles ya es bastante complicada sin la necesidad de introducir un elemento técnico que incremente las dificultades. Por ello, en el Proyecto “Ramón Llull” los especialistas en Geografía y TIG estamos investigando, junto a juristas y técnicos, métodos de trabajo y diseño de aplicaciones informáticas que conviertan la información territorial en un elemento *solucionador* de problemas, automatizando al máximo los procesos técnicos con garantías de ausencia de riesgos por uso inadecuado de la información geográfica de carácter topológico.

En este artículo expondremos una solución eficaz para trabajar con información geográfica sobre propiedad partiendo de unas normas de calidad topológica indispensables. A muchos profesionales, la experiencia con Sistemas de Información Geográfica (SIG) y bases de datos geográficas (geodatabases) nos ha obligado a conocer este tipo de cuestiones en profundidad, pero el desafío conseguido ha sido la definición de un método automatizado, integrado en una aplicación informática sencilla y eficaz, diseñada para un trabajo de profesionales de distinta naturaleza, aportando a todo el proceso de tramitación electrónica de alteraciones catastrales de la seguridad técnica necesaria, como complemento de una seguridad jurídica mayor y una correcta gestión económica.

2. COORDINAR INFORMACIÓN JURÍDICA E INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Con esta finalidad principal surge el Proyecto “Ramón Llull”⁴ para dar solución técnica accesible a profesionales de distinta filiación en los problemas derivados de la duplicidad de información que impera en el sistema legal español en lo referente a transacciones de bienes inmuebles. En este sentido, históricamente vienen conviviendo dos tipos de registros: por un lado el Registro de la Propiedad, de carácter jurídico y enfocado al mantenimiento de los datos sobre titularidad y cargas; por otro el Catastro,

⁴ El Proyecto “Ramón Llull” se viene desarrollando en la Universidad de Alicante desde el año 2003 por parte del Laboratorio de Geomática del Instituto Interuniversitario de Geografía y el Departamento de Derecho Civil. Este proyecto de investigación, patrocinado por el Colegio Notarial de Valencia y el Consejo General del Notariado, nació con el fin de diseñar un modelo de coordinación de información planimétrica – geográfica e información jurídica en materia de bienes inmuebles, susceptible de ser implantado en la red de notarías de la Comunidad Valenciana a través de un sistema informático: www.arsmagna.es

de carácter fiscal, en el que se registran las características físicas de los inmuebles, es decir, localización geográfica, geometría, dimensiones y uso. Estos dos sistemas registrales han operado hasta nuestros días de forma independiente, dando lugar a lo que podemos denominar dos circuitos estancos de información territorial que conllevan la disociación entre el valor en uso y el valor en cambio de un bien inmueble (Jiménez, A. y Ramón, A., 2008).

En este escenario, en el que no existe un sistema de información territorial integral y el coste de adquisición de datos fiables se dispara, no sólo se generan distorsiones en el comportamiento económico de una finca en el mercado, sino que se producen situaciones artificiales de indeterminación jurídica y por tanto de incertidumbre a la hora de realizar transacciones mercantiles con la propiedad inmobiliaria, lo que menoscaba derechos tan fundamentales como el del acceso a una vivienda.

El Proyecto “Ramón Llull” propone unas líneas maestras básicas que están en consonancia con las reformas introducidas por la Ley 2/2011 de Economía Sostenible en materia de actividad catastral y que supone una vía de adaptación a la Norma ISO19150 LADM (*Land Administration Domain Model*) en lo referido a los componentes geométricos y/o espaciales:

La definición del Catastro como base de datos de carácter principal sobre la información geográfica de los bienes inmuebles (no la única, pero si la de referencia obligada).

La necesaria utilización de los datos catastrales para la constancia de la situación y modificaciones físicas de los inmuebles en los sistemas de información jurídica.

La gestión de la información geográfica en formato digital como herramienta básica para la identificación de los bienes inmuebles y de carácter preferente frente a la información basada en datos alfanuméricos, con rigor geométrico, geográfico y topológico.

2.1. La información sobre la propiedad y la investigación geográfica española

Desde el punto de vista académico, el Proyecto “Ramón Llull” entronca con una amplia tradición de la investigación geográfica sobre estructura de la propiedad inmobiliaria. Uno de los principales frutos del desarrollo científico de la Geografía en España ha sido la extraordinaria difusión durante la segunda mitad del siglo XX de una corriente historiográfica especializada en el estudio de la distribución y evolución de la propiedad de la tierra como factor determinante en la configuración del paisaje, la ordenación del territorio y los usos del suelo, principalmente en el ámbito rural. Con respecto a la temática catastral, dos son las principales aportaciones de los geógrafos adscritos a esta corriente: el manejo y crítica de fuentes documentales, y el estudio de los regímenes de tenencia y propiedad de la tierra (Gil, A., 1992).

En cuanto a la utilización de documentos geográficos de carácter histórico, es reseñable el recurso permanente al ‘Interrogatorio para el establecimiento de la Única Contribución’ o ‘Catastro de Ensenada’ como fuente indispensable para la reconstrucción del entorno rural y urbano del siglo XVIII a partir de la estructura de la propiedad (Arroyo, F y Camarero, C., 1992), aunque también se han estudiado otros documentos como el ‘Cadastré’ de Cataluña y Baleares, los ‘Libros de Padrones y Riqueza’ del reino de Valencia, el Registro de Propiedades Expropiables asociado a la Ley de Bases para la Reforma Agraria de 1932, y, como fuente diacrónica, los Registros de la Propiedad (Gil, A., 1992).

Las materias tratadas en los estudios publicados es muy variada, así como numerosos los autores: Floristán, Quirós o Gómez Mendoza se han ocupado de los procesos de desamortización entre los siglos XVI y XIX; Gil Olcina ha estudiado la propiedad señorial como factor condicionante de las estructuras de propiedad recientes; Romero González ha comparado el efecto de la desamortización en los casos valenciano y castellano sobre la base de la titularidad y los modos de explotación de la tierra; López Ontiveros y Mata Olmo se han centrado en los orígenes del latifundismo en Andalucía (Gil, A., 1992). En alguno de estos estudios, principalmente en aquellos que tienen como objetivo la reconstrucción parcelaria, seguramente se evidencian las dificultades que plantea la ausencia de una referencia espacial numérica clara a la hora de describir fincas o bienes inmuebles. De hecho, esta omisión del componente espacial de los datos de propiedad inmobiliaria conduce a deficiencias tan notorias como la discrepancia por exceso de la superficie que teóricamente ocuparían las parcelas registradas de titularidad pública o privada respecto de la superficie real que abarca el territorio peninsular español.

En la actualidad, en el contexto de divulgación y consumo masivo de información geográfica digital, un nutrido grupo de geógrafos trabaja actualmente en la definición de nuevos usos económicos y sociales de dicha información. Esto incluye el manejo de información relativa a bienes inmuebles y evidentemente, el análisis de la distribución parcelaria enfocado principalmente a la formulación de modelos digitales dinámicos que permitan comprender mejor la evolución reciente de la propiedad y los usos del suelo. Para ello se apoyan en lo que ha dado en denominarse Geotecnología o Tecnologías de la Información Geográfica. Este proceso de tecnificación de la Geografía, que al fin y al cabo no deja de ser un reflejo del contexto socio-tecnológico en el que nos hallamos inmersos, ha suscitado muchos debates de gran calado teórico y metodológico en el seno de nuestra disciplina. Quizá la conclusión más interesante que podemos sacar es que no nos encontramos ante una ruptura epistemológica tal y como podría esgrimirse siguiendo el modelo kuhniano de evolución científica, sino en el inicio de un nuevo ciclo marcado por el surgimiento de la Ciencia de la Información Geográfica cuya vocación no es reemplazar sino aportar innovaciones metodológicas al cuerpo teórico de la Geografía (García, M. D. y otros, 1992).

En esta nueva andadura, las Tecnologías de la Información Geográfica pueden considerarse no sólo un instrumento sino una parte integrante del núcleo de la Geografía, puesto que se asimilan metodológicamente a las cuatro tradiciones centrales de la investigación geográfica identificadas por Harvey (Chuvieco, E. y otros, 2005): el análisis morfométrico (a través de la Teledetección y los Sistemas de Posicionamiento Global), las relaciones de causalidad (mediante el análisis espacial y la geostatística), la explicación temporal (de nuevo mediante el uso de la Teledetección) y el análisis funcional y ecológico (a través del geoprocesamiento). El impacto tecnológico sobre la Geografía tiene un efecto positivo y necesariamente integrador: ahora contamos con herramientas y técnicas de análisis que nos permiten afrontar un abanico mayor de problemas territoriales, prácticamente a cualquier escala y con independencia de los presupuestos teóricos (Chuvieco, E. y otros, 2005). Pero también existe un efecto recíproco que revaloriza la Geografía (Buzai, G. D., 1999; Chuvieco, E. y otros, 2005) en cuanto que proveedora de fundamentos y conceptos teóricos que permiten el manejo adecuado de la tecnología.

Aunque más empleadas inicialmente en la investigación de fenómenos físico-bióticos, las Tecnologías de la Información Geográfica se aplican cada vez más a la resolución de problemas tradicionales de modelado y análisis multivariado de procesos histórico-geográficos, donde la explicación temporal es clave para su comprensión (Chuvieco, E. y otros, 2005).

En esta corriente del nuevo paradigma del pensamiento geográfico se imbrica el Proyecto “Ramón Llull”, conjugando instrumentos cada vez más comunes en investigación geográfica aplicada y que son cruciales a su vez para el correcto desarrollo y mantenimiento de la información catastral: la cartografía digital, las bases de datos relacionales, el análisis orientado a objetos, el análisis espacial, el geoprocesamiento, el conocimiento compartido a través de las bases de datos geográficas y el trabajo colaborativo interdisciplinar que propicia la comunicación por Internet. El Catastro al evolucionar tecnológicamente y convertirse en una base de datos geográfica, deja de ser así una mera fuente de información para el estudio geográfico del territorio, para convertirse en un fin/objetivo de la investigación geográfica y en una plataforma de comunicación de la información territorial.

2.2. La identificación topológica de la finca como clave para la gestión de la propiedad

El protocolo de actuación en el Proyecto “Ramón Llull” define una serie de claves que han determinado todos los desarrollos posteriores. La primera deriva del énfasis puesto en el valor jurídico de la geometría de los lindes y la planimetría, si partimos del hecho de que el Catastro es la principal fuente de información de base cartográfica de referencia obligada⁵. Esta integración se cumple tanto en el aspecto numérico como en el aspecto lógico, o lo que es lo mismo, la implantación de un sistema de información compatible

⁵ Esto no quiere decir que la identificación de una propiedad se tenga que iniciar siempre en la información catastral, pues ésta puede limitarse a un “marco de referencia obligado”; de hecho, la información puede y debe venir en muchos casos procedente del trabajo de campo y proceso topográfico avalado por técnicos y especialistas, pero sin olvidar que este marco catastral nos permite participar de unas normas de formatos de datos, criterios de calidad geométrica y geográfica (sistemas de coordenadas de referencia) que son necesarios para adaptarnos a una normalización que permita coordinar y compartir esfuerzos entre los distintos agentes que intervienen en el proceso.

y adaptado a los requerimientos de procedimiento y formatos de la Oficina Virtual de Catastro (OVC). De esta forma, la Dirección General de Catastro podrá disponer de un servicio periférico de descarga y retorno de información que, independientemente de los agentes que intervengan en el proceso de tráfico inmobiliario, garantiza la coherencia y la conformidad en el flujo de datos geográficos catastrales.

Por otro lado, se aboga por el concepto de continuo cartográfico frente al criterio de consideración aislada de los bienes inmuebles en tanto en cuanto, para establecer su identificación, no debería bastar una referencia catastral o un código registral asociado a una polilínea de CAD, por mucha precisión técnica que se pueda alcanzar en ello. De hecho, este necesario contexto geométrico – geográfico da respuesta al problema de la duplicidad e incoherencia de información ya que, por un lado, la actualización de la descripción física de un inmueble se produce siempre en relación con sus colindantes de forma que la cartografía catastral de un territorio mantenga una cohesión perfecta entre los inmuebles que la integran, sin vacíos, solapamientos o desplazamientos entre los mismos; y por otro, se da siempre preferencia a la información gráfica frente a la alfanumérica para la determinación espacial de los bienes inmuebles, de tal forma que no puedan producirse excesos o defectos de cabida, es decir, que pueda existir contradicción entre los linderos de un inmueble y su superficie real.

El hecho de que cualquier transacción de propiedad inmobiliaria implique por norma general la aportación de documentación fehaciente y su asentamiento en escritura pública, hace que el período de tramitación de dicha escritura constituya la situación temporal óptima para determinar la revisión del bien inmueble y su actualización geográfica en el Catastro, incluso por procedimiento de administración electrónica, a través del servicio de la O.V.C. La incorporación de la información planimétrica al documento jurídico es, por tanto, otra de las claves del proyecto. La principal ventaja de este procedimiento es la seguridad jurídica: al coincidir la modificación gráfica de la finca con el otorgamiento de la escritura pública se evitan situaciones posteriores de modificaciones de inmuebles efectuadas sin el consentimiento del titular. Por otra parte, se corrige y pone freno a las disconformidades entre la información gráfica y la alfanumérica, se hace coincidir en el tiempo el acto jurídico de la alteración catastral con la actualización de la base cartográfica de referencia y se produce un ahorro en los costes de obtención del dato geográfico.

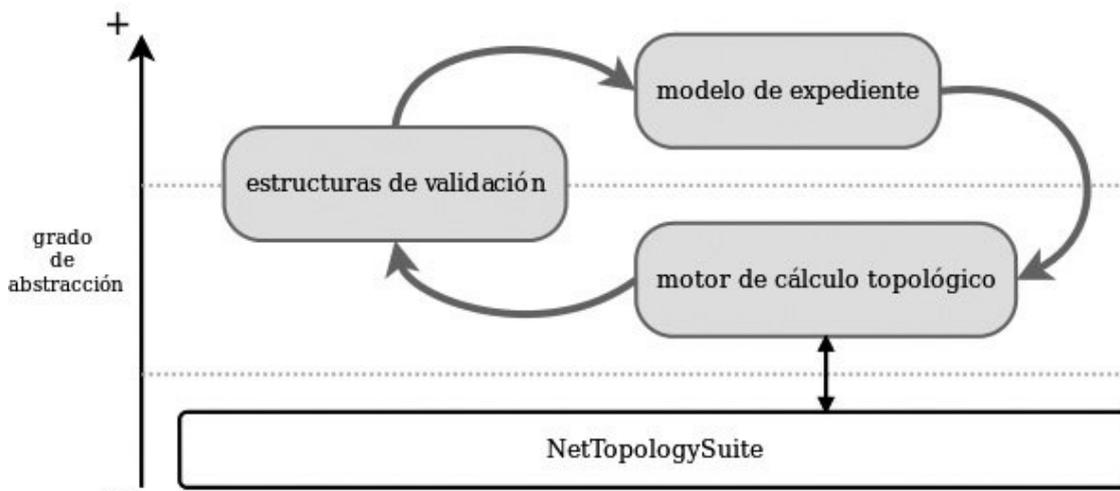
El concepto fundamental, en el que confluyen los anteriores requerimientos, no es más que la prevalencia de la realidad sobre cualquier otro tipo de datos. El requisito de autenticidad interesa a ambos componentes de la información territorial, el físico y el jurídico. En el nivel físico y según la complejidad del problema a resolver, se requiere que un técnico competente realice la medición sobre el terreno para posteriormente apoyarla sobre la base cartográfica catastral y en el nivel jurídico, se requiere que la alteración dictaminada en el nivel físico se adapte al ordenamiento jurídico en materia de ordenación patrimonial de bienes inmuebles, cuyo principio fundamental es que ningún derecho puede ser transmitido sin el consentimiento de su titular, evitando así situaciones jurídicas de indefensión (Jiménez, A. y Ramón, A., 2008).

3. ¿CÓMO GARANTIZAR LA AUTENTICIDAD FÍSICA DE UN BIEN INMUEBLE?

El resultado tangible del Proyecto “Ramón Llull” es un sistema de intercambio de información y un modelo de uso colaborativo necesariamente complejos, puesto que son muchas las implicaciones jurídicas derivadas del trabajo de los agentes públicos, técnicos y privados que intervienen en la cadena del negocio inmobiliario. Dicha complejidad ha determinado los esfuerzos de investigación conducentes al desarrollo de una de las partes elementales de dicho modelo: la que permite garantizar la autenticidad del bien inmueble desde el punto de vista físico. En este artículo se aborda en profundidad este componente del proyecto, elemental en cuanto que constituye la base sobre la que se construyen los mecanismos de transferencia de información con Catastro o las herramientas de medición y diagnóstico específicas para notarios y técnicos competentes. En todo caso, muchas veces es una base conceptual que queda relativamente oculta a los potenciales usuarios del sistema pero cuyo interés académico desde una perspectiva cartográfica es evidente, puesto que se plasma en un modelo de validación topológica que constituye el marco regulador y de cálculo que garantiza ese ajuste entre la realidad, el levantamiento o replanteo propuesto por el especialista en el trabajo y medición de campo y la cartografía que se debe usar como referencia.

El modelo de validación topológica del Proyecto “Ramón Llull” es un modelo orientado a objetos organizado en tres capas lógicas, tal y como ilustra la Figura 1. La información relevante para la elaboración del diagnóstico acerca de la coherencia de una operación de alteración catastral y, por tanto, los datos que determinan la autenticidad física de las fincas candidatas a formar parte de la base cartográfica de referencia, fluyen entre las distintas capas. Cada una de ellas corresponde a un grado de abstracción diferente y engloba un conjunto de clases propio.

Figura 1. Capas del modelo de validación topológica.



Las piezas que constituyen el modelo de validación son, por un lado, el modelo de expediente, y por otro, el motor de cálculo topológico y las estructuras de validación. El mayor grado de abstracción se encuentra en el modelo de expediente, que representa conceptos o entidades tangibles a nivel físico y administrativo tales como la parcela catastral o el propio trámite de alteración (agregación, segregación o deslinde). En este nivel lógico se inicia la ejecución de los planes de validación y en última instancia se recibe el diagnóstico. En un nivel intermedio de abstracción se encuentra el motor de cálculo topológico, que realiza operaciones básicas de poligonización, cómputo de superficies, análisis de grafos y análisis espacial mediante matrices DE-9IM⁶. El intercambio de datos entre estas dos capas está condicionado a un conjunto de estructuras de validación topológica, es decir, el *output* de un método del motor de cálculo será normalmente una determinada estructura de validación que el modelo de expediente podrá reutilizar como *input* a la hora de invocar algún otro método del motor de cálculo. Cada estructura de validación es una regla que contiene en sí misma tanto el resultado de la evaluación como un producto geométrico en caso de evaluación positiva. De esta forma, para cada operación de alteración catastral, se configura una secuencia lógica de reglas predefinidas que denominamos plan de validación. Cada plan de validación es un modelo de geoprocesamiento *per se*. Es preciso mencionar que en el nivel más bajo de abstracción se encuentra la librería de análisis espacial *NetTopologySuite*, de la que dependen la práctica totalidad de los métodos de cálculo del motor topológico.

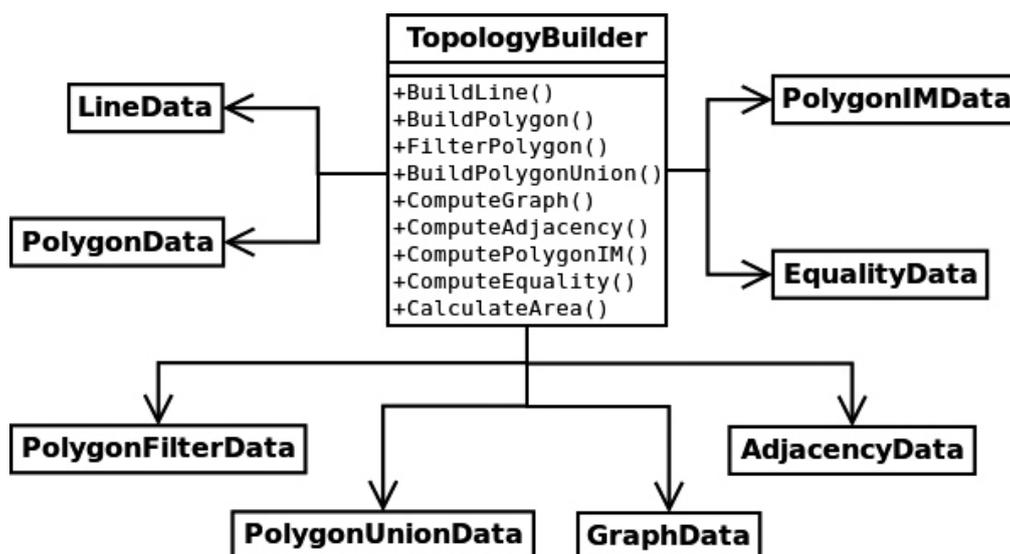
3.1. El motor topológico y las estructuras de validación de la geoinformación

El motor de cálculo topológico del Proyecto “Ramón Llull” se organiza en torno a la clase *TopologyBuilder*, que define e implementa los métodos de cálculo sobre geometrías vectoriales bidimensionales necesarios para verificar la coherencia de cualquiera de las operaciones de alteración catastral del modelo de expediente.

⁶ El modelo o matriz DE-9IM (*Dimensionally Extended nine-Intersection Model*) es un modelo topológico y un estándar utilizado para describir las relaciones espaciales de dos regiones poligonales distintas y superpuestas (dos geometrías en dos dimensiones, R2) desarrollada para su uso como base para las normas de las consultas y operaciones de geoproceso de los sistemas de información geográfica (GIS) y bases de datos espaciales (geodatabases).

El único método de la clase *TopologyBuilder* que podemos considerar independiente es *CalculateArea*, el cual es además polimórfico puesto que permite el cálculo de superficies tanto a partir de una simple lista de coordenadas como de un objeto de tipo *MultiLineString* de la especificación *Simple Features* del *Open Geospatial Consortium* (OGC)⁷. El resto de métodos presenta diversos grados de dependencia funcional entre sí. Esto significa que, en la mayoría de los casos, están específicamente diseñados para operar secuencialmente de forma que el *output* de un método determine o incluso actúe como el *input* de otro, emulando como ya se ha mencionado el comportamiento de los modelos de geoprocésamiento. Este patrón de diseño permite dotar a los planes de validación de una infraestructura funcional flexible.

Figura 2. Diagrama UML del motor de cálculo topológico.



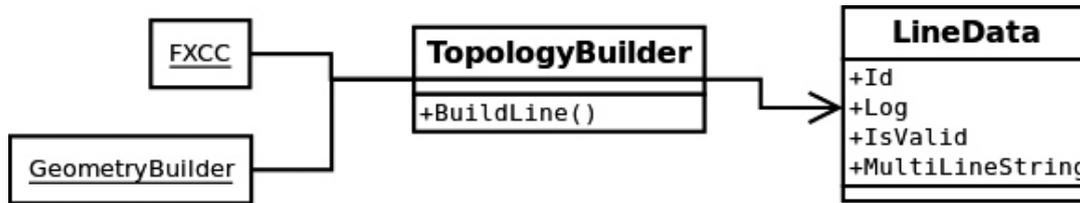
El *output* de un determinado cálculo topológico es muy variable en cuanto a su complejidad. En general, nos puede interesar no sólo el resultado geométrico (si es que se trata de operaciones de geoprocésamiento), sino también conservar información acerca de las geometrías que participan, evaluar la validez del cálculo, recuperar información geométrica adicional o generar mensajes inteligibles para el usuario. Por tanto, tal y como ilustra la Figura 2, cada uno de los métodos del motor topológico genera un *output* estructurado o estructura de validación, más o menos compleja según la naturaleza del cálculo. Los planes de validación topológica no son más que algoritmos construidos a partir de la secuenciación de dichas estructuras. A continuación se revisan de forma aislada y detallada cada una de estas estructuras de validación y los métodos que las originan.

3.2. Creación de geometrías lineales

La creación de objetos de tipo *MultiLineString* según el estándar *Simple Features* es la operación preliminar del motor de cálculo topológico. La Figura 3 detalla las clases que intervienen. El método *BuildLine* de la clase *TopologyBuilder* se encarga de generar dicha geometría lineal. Para ello precisa como *input* la lista de coordenadas del perímetro general de la parcela catastral, que se puede obtener del correspondiente fichero de intercambio FXCC. Este método necesita para su cometido del concurso de un objeto que implemente métodos concretos de transformación de listas de coordenadas a geometrías estandarizadas (*GeometryBuilder*).

⁷ El *Open Geospatial Consortium* (OGC) es un consorcio creado a finales del siglo XX por la integración de diversas empresas y fundaciones de ámbito internacional, con la finalidad de fijar estándares abiertos e interoperables dentro de los Sistemas de Información Geográfica y el WEB, buscando acuerdos entre empresas del sector para facilitar la interoperabilidad de los datos geográficos, su geoprocésamiento y el intercambio de los mismos entre la cada vez mayor cantidad de usuarios de geoinformación

Figura 3. Diagrama UML de la generación de geometrías lineales.



El *output* del método *BuildLine* es una estructura de validación de tipo *LineData*, que almacena el identificador de la parcela (propiedad *Id*), un texto con información acerca de posibles incidencias en la creación de la geometría lineal (propiedad *Log*), el resultado positivo o negativo de la transformación (propiedad *IsValid*) y la geometría de salida (propiedad *MultiLineString*). La transformación de las coordenadas del FXCC en un objeto *MultiLineString* no tiene implicaciones a nivel topológico (en ambos casos se trata de estructuras de tipo *spaghetti*). Se trata simplemente de un traspaso necesario de información geométrica hacia el ámbito operativo de la librería *NetTopologySuite*.

3.3. Creación de geometrías poligonales

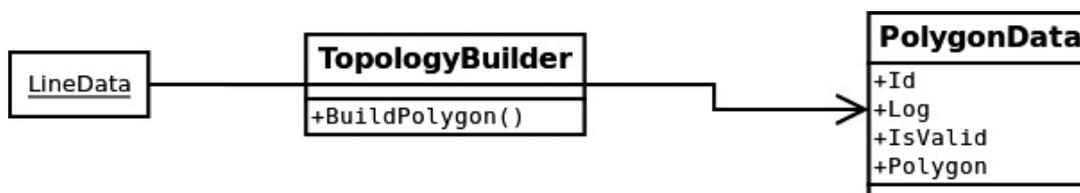
El proceso básico del motor de cálculo topológico es la poligonización. En el ámbito del Proyecto “Ramón Llull” este proceso está determinado por la especificación *Simple Features* del OGC y se define como la obtención de un objeto de tipo *Polygon* a partir del perímetro general de una parcela, previamente almacenado como objeto *MultiLineString*. Actualmente el modelo de validación contempla que un contorno de parcela delimita un único polígono simple, es decir, no se toman en consideración huecos interiores a la parcela ni geometrías discontiguas (*MultiPolygon*).

Utilizando internamente el gestor de poligonización de *NetTopologySuite*, el método *BuildPolygon* de la clase *TopologyBuilder* implementa este proceso a partir de una estructura *LineData*, y vuelca el resultado en una nueva estructura *PolygonData*, tal como se aprecia en la Figura 4. Los requisitos para que la poligonización pueda efectuarse son:

Que la geometría lineal se haya construido correctamente, lo cual se evalúa a partir de la propiedad *IsValid* de la estructura *LineData*.

Que no existan inconsistencias topológicas tales como líneas inacabadas, líneas sobrecabadas o contornos inválidos. El propio gestor de poligonización de *NetTopologySuite* proporciona dicha información.

Figura 4. Diagrama UML de la generación de geometrías poligonales.



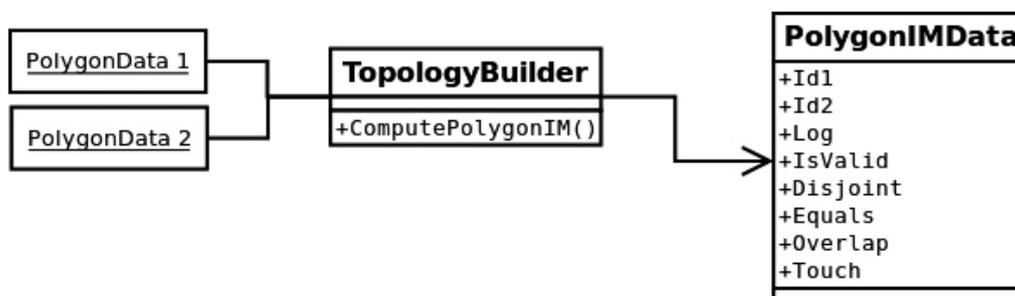
La estructura *PolygonData* resultante almacena el identificador de la parcela cuyo perímetro se poligoniza (propiedad *Id*), la validez de la poligonización (propiedad *IsValid*), información legible respecto a la no conformidad con alguno de los requisitos (propiedad *Log*) y la geometría poligonal de salida (propiedad *Polygon*).

3.4. Análisis espacial mediante matrices DE-9IM

El análisis comparativo de pares de geometrías poligonales mediante matrices DE-9IM es uno de los pilares del modelo de validación topológica del Proyecto “Ramón Llull”, tanto por la flexibilidad del predicado *Relate* como por la posibilidad de evaluar en cada comparación todos los predicados que sean susceptibles de participar en el contexto de cualquier plan de validación.

El encargado del proceso es el método *ComputePolygonIM* de la clase *TopologyBuilder*, y su estrategia se basa en el cálculo de las $\Sigma n-1$ posibles matrices DE-9IM de una lista de objetos *Polygon* de entrada, siendo *n* el tamaño de dicha lista. Como ilustra la Figura 5, el *input* es un conjunto de estructuras *PolygonData*, mientras que el *output* es un conjunto de estructuras *PolygonIMData*, una por cada matriz DE-9IM. En principio el único requisito para proceder al cálculo de una matriz DE-9IM es que el par de estructuras *PolygonData* participantes sean válidas, y por tanto hagan referencia a dos geometrías poligonales correctas.

Figura 5. Diagrama UML del análisis mediante matrices DE-9IM.



Cada estructura *PolygonIMData* de salida almacena los identificadores de las dos parcelas cuyos perímetros se han comparado (propiedades *Id1* e *Id2*). Normalmente la estructura es válida (propiedad *IsValid*) si el par de polígonos de entrada es válido. En caso contrario o ante cualquier otra contingencia, la estructura puede proporcionar un texto explicativo de la incidencia (propiedad *Log*). Con todo, la verdadera utilidad de la estructura *PolygonIMData* radica no obstante en el conjunto de las cuatro propiedades booleanas (*Disjoint*, *Equal*, *Overlap* y *Touch*) que cualifican la relación espacial entre los polígonos de entrada. La Tabla 1 detalla la metodología de evaluación de la matriz DE-9IM resultante que determina la asignación de cada una de estas propiedades a *true* o *false*.

Tabla 1. Tipos de evaluación de la matriz DE-9IM almacenados en la estructura de validación *PolygonIMData*.

| propiedad | predicado | patrón | ejemplo |
|--|---------------------------|-----------|---------|
| Disjoint (disjunción) | Disjoint (predefinido) | no aplica | |
| Equal (coincidencia) | Relate | FF2F11212 | |
| Overlap (desbordamiento parcial) | Relate | 212111212 | |
| Overlap (desbordamiento total) | Relate | 212101212 | |
| Touch (adyacencia) | Relate | 2FFF1FFF2 | |

3.5. Evaluación de la regla de adyacencia

Dado un conjunto de objetos de tipo *Polygon*, la regla de adyacencia es un método simplificado que permite discernir de forma agregada si dicho conjunto forma un continuo, es decir, un mosaico en el que no existen elementos totalmente disjuntos del resto ni elementos superpuestos a otros. La evaluación de esta regla para un conjunto de polígonos puede expresarse como:

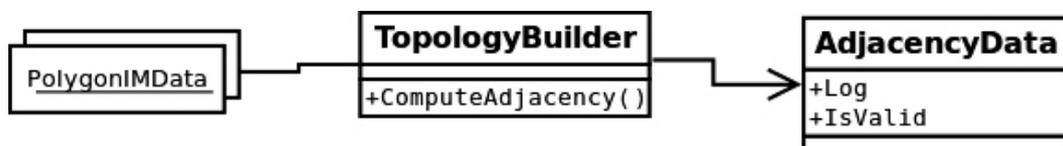
$$\exists (\sum(T) \geq \sum(P) - 1) \wedge \sum(O) = 0$$

Así pues, la regla se cumple sólo si se dan dos condiciones:

1. Que la suma de adyacencias entre polígonos $\sum(T)$ sea mayor o igual al total de polígonos en el conjunto $\sum(P)$ menos uno.
2. Que la suma de superposiciones entre polígonos $\sum(O)$ sea cero.

La evaluación de la regla de adyacencia es directa cuando partimos de una lista de estructuras *PolygonIMData*, ya que basta con calcular el total de adyacencias y el total de superposiciones mediante el análisis de las propiedades booleanas *Touch* y *Overlap* de cada estructura componente. Esta lista constituye el *input* del método *ComputeAdjacency* de la clase *TopologyBuilder*, que vuela a su vez el resultado en una nueva estructura de validación de tipo *AdjacencyData*, tal como se ilustra en la Figura 6. Dicha estructura sólo proporciona información acerca del cumplimiento de la regla de adyacencia (propiedad *IsValid*) y un mensaje justificativo en caso de no conformidad (propiedad *Log*). La estructura *AdjacencyData* causa la resolución de un plan de validación cuando la propiedad *IsValid* está asignada a *false*.

Figura 6. Diagrama UML de la evaluación de la regla de adyacencia.

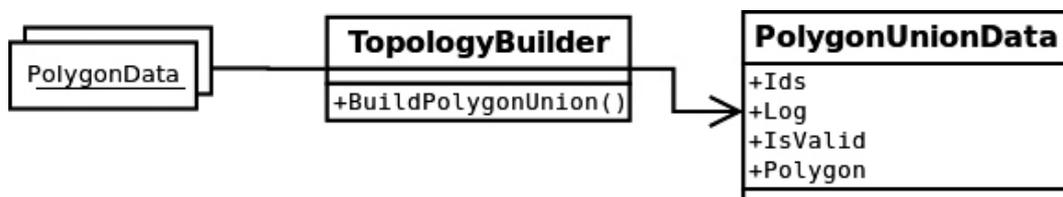


3.6. Unión de polígonos

La unión de polígonos es uno de los procesos topológicos y de geoprocésamiento más comunes. En el caso del Proyecto “Ramón Llull” es clave para evaluar la coherencia de cualquier alteración que implique conjuntos de parcelas de entrada (agregaciones) o de salida (segregaciones y divisiones).

Como se ve en la Figura 7, el método *BuildPolygonUnion* de la clase *TopologyBuilder* es el responsable del cálculo. Utiliza como *input* una lista de estructuras *PolygonData*, cada una de las cuales hace referencia mediante la propiedad *Polygon* al polígono formado por el perímetro general de una parcela. El resultado se vuela en una nueva estructura de tipo *PolygonUnionData* que hereda los identificadores de cada parcela componente (propiedad *Ids*), informa sobre la validez del cálculo (propiedad *IsValid*), proporciona una descripción de la incidencia que haya podido causar la suspensión del proceso (propiedad *Log*) y, en caso de éxito, almacena la geometría poligonal resultante (propiedad *Polygon*).

Figura 7. Diagrama UML de la unión de polígonos.



El objetivo del método *BuildPolygonUnion* es construir una única geometría de tipo *Polygon* con una única línea perimetral externa. Para conseguirlo, no parte del conocimiento previo acerca de la secuencia ordenada de adyacencias, sino que utiliza una estrategia de evaluación doble:

De forma previa al proceso se comprueba si cada estructura *PolygonData* entrante es válida. Una estructura no válida suspende el proceso e invalida a su vez la estructura *PolygonUnionData* de salida.

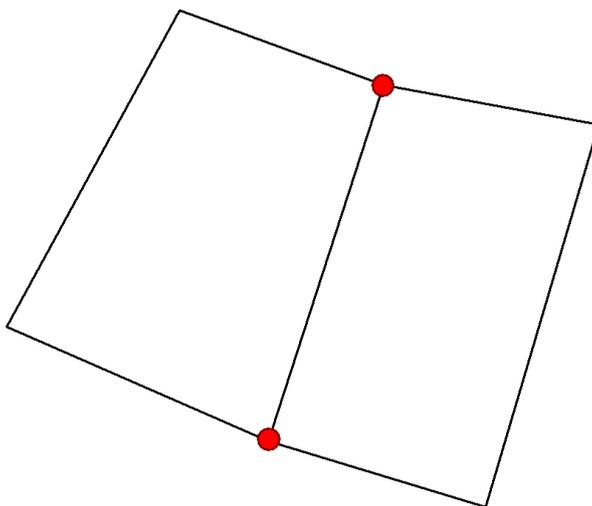
Con posterioridad al proceso se analiza si la geometría resultante es de tipo *Polygon*. En caso negativo también se invalida la estructura *PolygonUnionData* de salida. Un ejemplo claro lo tenemos en el caso de polígonos de entrada totalmente disjuntos del resto, con lo que el resultado de la unión sería un geometría de tipo *MultiPolygon*.

El proceso de unión propiamente dicha se apoya en la infraestructura lógica de *NetTopologySuite*, cuyo enfoque es incremental. Para ello creamos un objeto de tipo *Geometry* que hace las funciones de memoria intermedia y al que vamos agregando cada polígono del *input* en el mismo orden en el que aparece en la lista. Previamente a su incorporación a la memoria intermedia, cada polígono sufre el descarte de cualquier línea perimetral interior. Evidentemente esto implica realizar tantas llamadas al método *Union* del objeto *Geometry* como polígonos haya en la lista de entrada, lo que constituye una implementación conforme con la especificación *Simple Features*. En última instancia, es sobre este objeto *Geometry* (un tipo abstracto) sobre el que realizamos la evaluación de postproceso: la comprobación del tipo concreto de la geometría final y la invalidación de la estructura en caso de que no se trate de un objeto de tipo *Polygon*.

3.7. Construcción de grafos

Un grafo, desde el punto de vista de la topología vectorial, es aquella estructura de datos que permite almacenar un conjunto de geometrías así como las relaciones espaciales entre los distintos elementos que componen dichas geometrías. Esto implica registrar no sólo posiciones en el espacio sino también su orden o secuencia, así como las relaciones derivadas de conectividad y adyacencia. La estructura empleada en el Proyecto “Ramón Llull” es la de arco-nodo tal como la implementa *NetTopologySuite*.

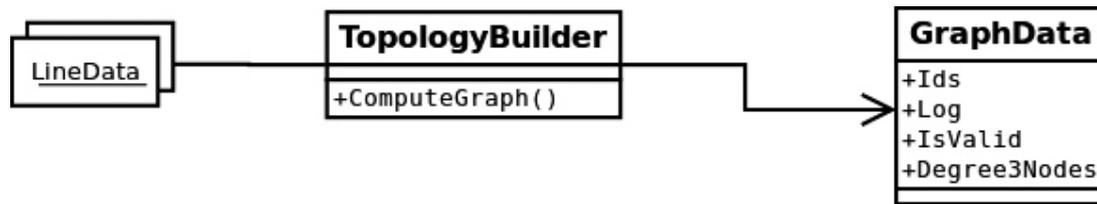
Figura 8. Ejemplo de grafo topológico con nodos de grado 3.



En esta versión del modelo de validación, el objetivo de la generación de grafos no es su almacenamiento para una utilización posterior, sino la identificación de los nodos de grado 3, es decir, aquellos en los que confluyen tres arcos, tal y como se muestra en la Figura 8. Estos nodos son importantes ya que hacen referencia a vértices en los que existe la posibilidad de que se haya producido un truncamiento y por tanto pueden indicar una distorsión perimetral no controlada, incidencia cuyo tratamiento se detalla más adelante.

Como puede apreciarse en la Figura 9, el método *ComputeGraph* de la clase *TopologyBuilder* es el responsable de construir un grafo a partir de un conjunto de estructuras *LineData*. Concretamente, el *input* que se le proporciona al motor de generación de grafos de *NetTopologySuite* es el conjunto de perímetros generales de parcela formado por cada uno de los objetos de tipo *MultiLineString* a los que se hace referencia en la propiedad *MultiLineString* de cada estructura *LineData* de entrada. El output es una estructura de tipo *GraphData* que almacena los identificadores de las parcelas cuyos perímetros generales han intervenido en el grafo (propiedad *Ids*), la validez del proceso y un mensaje explicativo en caso de incidencia (propiedades *IsValid* y *Log* respectivamente). En principio para que la estructura *GraphData* sea válida y el grafo se genere correctamente, el único requisito es que las estructuras *LineData* que intervienen también lo sean. Para terminar, la lista de nodos de grado 3 presentes en el grafo queda referenciada por la propiedad *Degree3Nodes*.

Figura 9. Diagrama UML de la construcción de grafos.



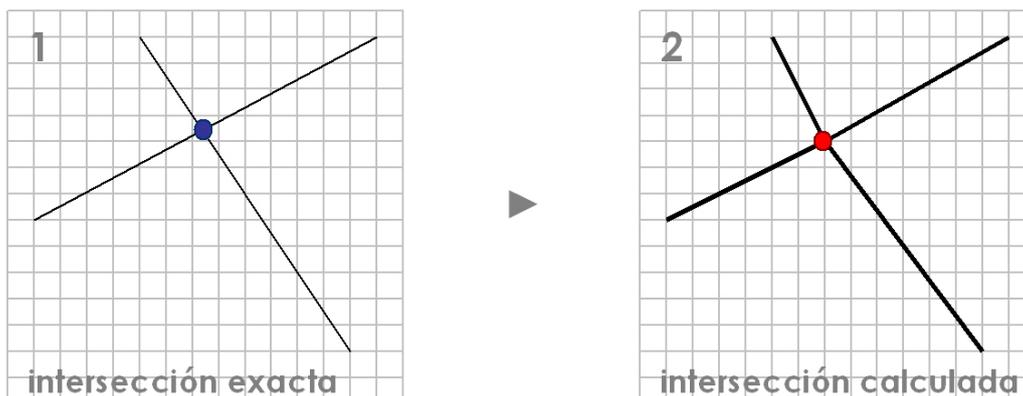
La estrategia de construcción de un grafo en NetTopologySuite es en parte similar a la de la unión de polígonos. Se necesita un objeto de tipo *MultiLineString* que actúe de memoria intermedia. Mediante sucesivas llamadas al método *Union* de dicho objeto, se van agregando los distintos *MultiLineString* de cada estructura *LineData* de entrada. Una vez completado el *MultiLineString* de unión debemos descomponerlo en sus elementos lineales básicos (*LineString*). Y por último, cada uno de estos elementos de tipo *LineString* se añade al grafo como un arco.

3.8. Detección de vértices truncados

El truncamiento es un efecto inevitable en cualquier proceso de intersección de geometrías lineales cuando las coordenadas están basadas en un modelo de precisión no exacto, como es el caso de la mayor parte de sistemas informáticos, que suelen emplear como máximo el modelo de doble precisión, que permite representaciones numéricas con 16 dígitos de precisión aproximadamente. La consecuencia es que, aunque no se produzca un redondeo explícito, el punto calculado para una intersección de dos líneas no ortogonales es normalmente una aproximación al punto exacto, tal y como se ilustra en la Figura 10.

En lo que concierne a las alteraciones catastrales, toda segregación o división parcelaria es susceptible de generar este tipo de distorsión geométrica. El modelo de validación del Proyecto “Ramón Llull” se ocupa únicamente de la detección y filtrado de los vértices truncados que hayan podido generarse en la proximidad del perímetro de la parcela original, de forma que no intervengan en el proceso de diagnóstico del plan de validación. La Figura 11 muestra cómo a partir de los nodos de grado 3 del grafo (véase la Figura 8), un perímetro general P y un perímetro derivado PI , pueden aislarse los candidatos a vértice truncado producto del cálculo de la intersección entre P y una línea divisoria D .

Figura 10. Truncamiento de puntos calculados de intersección en un modelo de precisión no exacto.



El método *FilterPolygon* de la clase *TopologyBuilder* (véase Figura 12) implementa el algoritmo de filtrado de vértices truncados a partir de tres *inputs*:

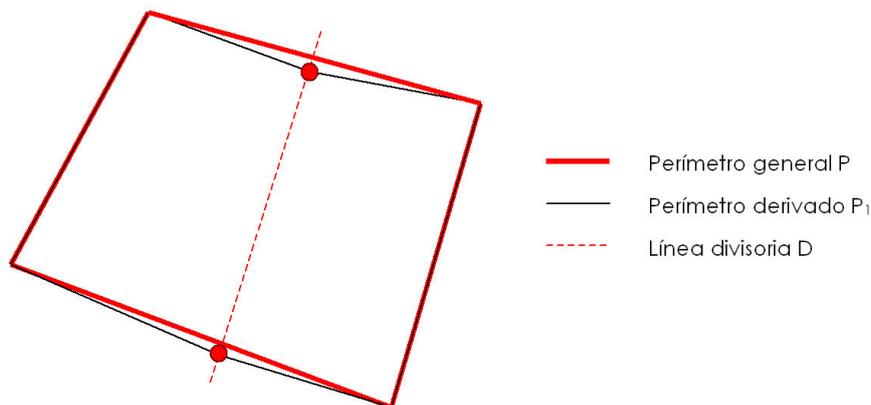
Una estructura de tipo *GraphData* que aporta las coordenadas de los candidatos a vértice truncado (propiedad *Degree3Nodes*).

Una estructura de tipo *PolygonUnionData* que proporciona el polígono a filtrar, es decir, aquel que se forma mediante la unión de las parcelas participantes en el grafo (propiedad *Polygon*) y es susceptible de

contener vértices truncados. Por tanto, la lista de identificadores de parcela (propiedad *Ids*) coincide en ambas estructuras, *GraphData* y *PolygonUnionData*.

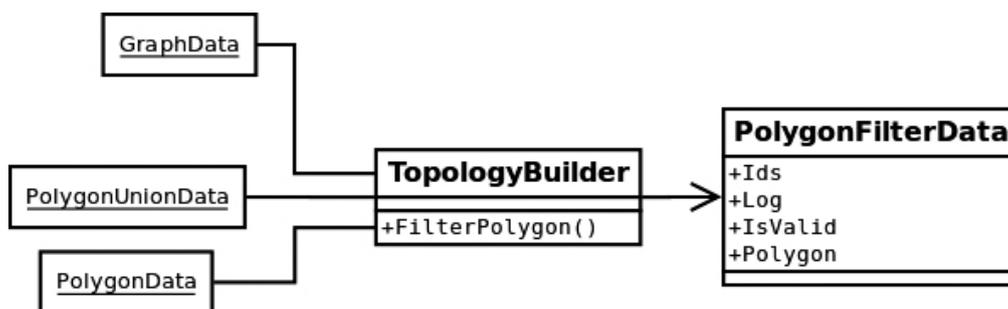
Una estructura de tipo *PolygonData* que proporciona el polígono de control, es decir, el que se corresponde con el perímetro general que no contiene vértices truncados.

Figura 11. Identificación de candidatos a vértice truncado.



El output del método *FilterPolygon* es una nueva estructura de tipo *PolygonFilterData* que hereda los identificadores de las parcelas participantes en el grafo y en la unión de polígonos (propiedad *Ids*). No existe ningún requisito adicional para la validez de esta estructura excepto que los *inputs* sean válidos a su vez. En cualquier caso, ante un incidente durante el proceso de cálculo la estructura queda invalidada (la propiedad *IsValid* se asigna a *false*) y el error se almacena (propiedad *Log*). En cuanto al resultado geométrico, la propiedad *Polygon* de la estructura *PolygonFilterData* mantiene una referencia al polígono filtrado que debe coincidir en todos sus vértices con el polígono aportado por la estructura *PolygonUnionData* excepto en aquellos que han sido eliminados por el algoritmo responsable de decidir si un candidato a vértice truncado lo es efectivamente.

Figura 12. Diagrama UML del filtrado de vértices truncados.



El algoritmo de filtrado para un candidato a vértice truncado se basa en la evaluación de la siguiente regla:

$$\exists DIST(c, P) \leq k$$

En una rejilla centimétrica, *k* es la distancia desde el centro de una celda cuadrada a cualquiera de sus esquinas, es decir, el valor de *k* equivale a la mitad de la longitud de la hipotenusa de un triángulo rectángulo con catetos de longitud igual a 1 cm (0,7 cm aproximadamente). Por tanto, un candidato en la coordenada *c* es efectivamente eliminado sólo si la distancia desde la coordenada al perímetro de control (*DIST(c, P)*) es menor o igual a *k*. Esta constante define una tolerancia perfectamente asumible en el ámbito catastral. En la imagen de la Figura 18 se puede apreciar un buen ejemplo de las consecuencias de errores de este tipo.

3.9. Evaluación de igualdad topológica

En el modelo de validación del Proyecto “Ramón Llull”, la evaluación de igualdad topológica entre pares de polígonos es el objetivo final de todos los planes de validación vinculados a las operaciones de alteración catastral. En este contexto dos objetos de tipo *Polygon* se consideran topológicamente iguales cuando el predicado *Relate* da como resultado una matriz conforme al patrón FF2F11212 (véase la Tabla 1).

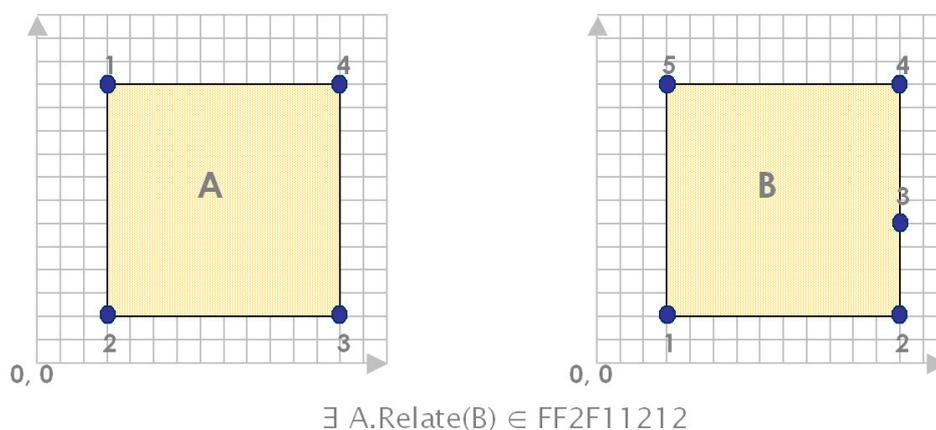
La diferencia entre la igualdad geométrica y la igualdad topológica queda ilustrada en la Figura 13, donde se observan dos geometrías que coinciden dimensional y posicionalmente, pero que difieren en cuanto al número total de vértices y su orden.

El método *ComputeEquality* de la clase *TopologyBuilder* es el responsable de evaluar la igualdad topológica a partir de un *input* que siempre estará constituido por un par de geometrías poligonales aportadas por sendas estructuras de validación. La evaluación de igualdad depende de la naturaleza de la operación que estemos validando, por lo que el método *ComputeEquality* es polimórfico. Así pues, las combinaciones de pares de estructuras aceptadas como *input* son:

PolygonUnionData + *PolygonData* en el caso de agregaciones. La primera aporta el polígono resultante de la unión de las parcelas originales en la base cartográfica. La segunda aporta el polígono propuesto como parcela agregada.

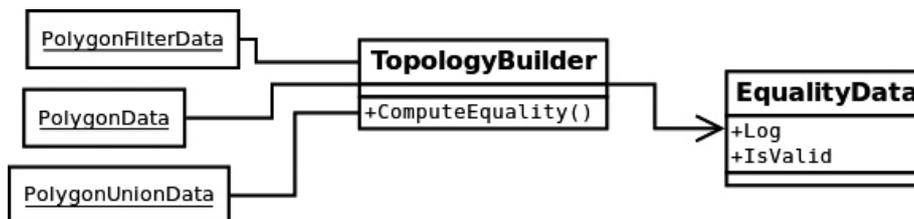
PolygonFilterData + *PolygonData* en el caso de segregaciones y divisiones parcelarias. La primera aporta el polígono resultante de la unión de las parcelas segregadas propuestas una vez desechados los vértices truncados. La segunda aporta el polígono de la parcela matriz en la base cartográfica.

Figura 13. Ejemplo de polígonos que coinciden topológicamente pero cuya geometría difiere.



Para una segregación, una división parcelaria o un test de coincidencia el método de cálculo se basa en el predicado *Relate* y en la matriz patrón ya mencionada. Sin embargo, en el caso de la agregación, se utiliza el predicado predefinido *EqualsExact* de *NetTopologySuite*, es decir, se busca una coincidencia geométrica exacta ya que se considera que una agregación de parcelas no ha de introducir, si no es por causa justificada, vértices nuevos en la base cartográfica de referencia. Como se aprecia en el diagrama UML de la Figura 14, el output del método *ComputeEquality* es una nueva estructura de tipo *EqualityData*. El resultado booleano de la evaluación de igualdad topológica se registra en la propiedad *IsValid*, mientras que las posibles incidencias pueden recuperarse mediante la propiedad *Log*.

Figura 14. Diagrama UML de la evaluación de igualdad topológica.

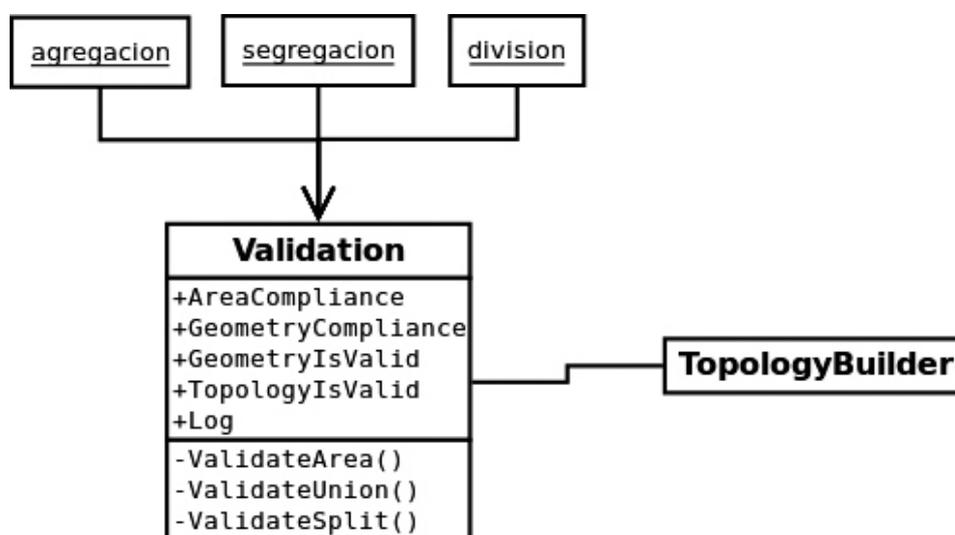


4. PLANES DE VALIDACIÓN TOPOLÓGICA

En el ámbito del Proyecto “Ramón Llull” el concepto de plan de validación topológica se define como una secuencia lógica de reglas de cálculo sobre el par de operandos de una alteración catastral, entendiendo por operando el perímetro general de la parcela o parcelas procedentes bien de la base cartográfica de referencia, bien del proyecto propuesto. El resultado de un plan de validación es siempre un diagnóstico favorable o desfavorable, y los escenarios que impiden o interrumpen la ejecución de la secuencia son, respectivamente, la ausencia de alguno de los operandos y la no conformidad con alguna de las reglas de cálculo.

Desde cada tipo de alteración catastral del modelo de expediente (agregación, segregación o división parcelaria) se puede ejecutar el plan de validación correspondiente y generar una instancia de la clase *Validation*, tal como ilustra el diagrama UML de la Figura 15.

Figura 15. Diagrama UML de los planes de validación topológica.



Así pues, la clase *Validation* encapsula la implementación de todas las secuencias posibles de validación topológica. Para certificar con el mayor grado posible de confianza la coherencia de la alteración catastral, una secuencia siempre cubre dos aspectos: el análisis comparativo de superficies (común a todas las secuencias) y el análisis de las relaciones espaciales entre los operandos (específico para cada tipo de operación).

El método *ValidateArea* realiza el análisis comparativo de superficies con el objetivo de almacenar en la propiedad *AreaCompliance* uno de cinco posibles estados: coincidencia, déficit tolerable, déficit no tolerable, exceso tolerable y exceso no tolerable. La condición general que define un diagnóstico de superficie favorable puede expresarse como:

$$\exists |AREA(B) - AREA(A)| < AREA(A) * t$$

Donde *A* es el operando procedente de la base cartográfica de referencia, *B* es el operando aportado por el proyectista y *t* es la tolerancia de desfase determinada por la constante 0,05 (porcentaje de superficie del operando *A* por debajo del cual ambas superficies pueden considerarse equivalentes a efectos catastrales).

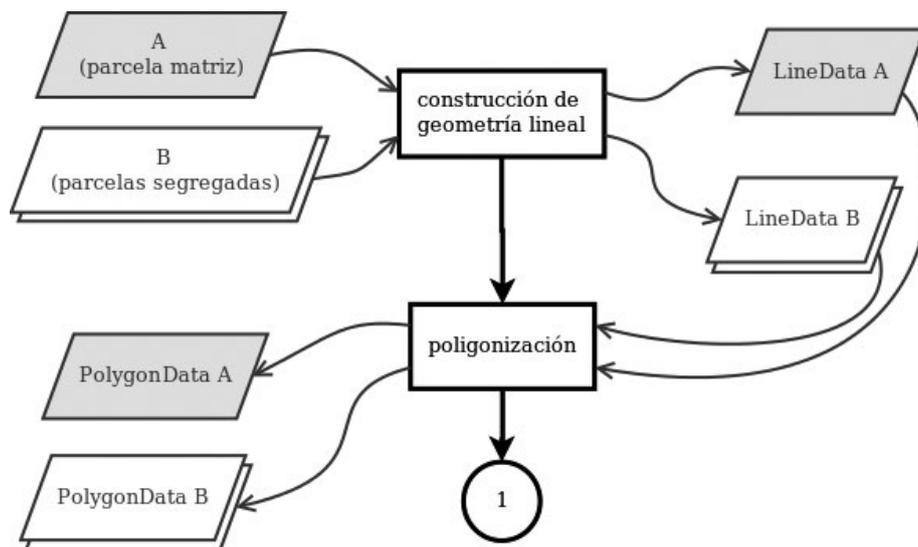
El método *ValidateSplit* implementa el análisis de relaciones espaciales para segregaciones y divisiones parcelarias, mientras que el método *ValidateUnion* lo hace para agregaciones. Durante su ejecución, todos ellos asignan el valor correspondiente a las propiedades de diagnóstico topológico (*GeometryIsValid*, *TopologyIsValid* y *GeometryCompliance*), que, aunque hacen referencia a enumeraciones, en última instancia pueden considerarse como booleanas. Dichos métodos generan a su vez una descripción detallada de los resultados de cada paso del plan de validación, la cual se almacena en la propiedad *Log*.

4.1. Plan de validación de segregaciones a modo de ejemplo

Una explicación pormenorizada del análisis de relaciones espaciales en el plan de validación de segregaciones ofrece un buen ejemplo del grado de complejidad que puede alcanzar la secuenciación de reglas de cálculo. Se ha escogido el enfoque de los diagramas de flujo como medio de representación puesto que permiten hacer referencia directa al modelo de objetos del motor de cálculo topológico, es decir, a las estructuras de validación de entrada y salida de cada paso de la secuencia.

La secuencia de validación de segregaciones aplica tanto a segregaciones por pares (i.e. parcela segregada y resto de finca matriz) como a divisiones parcelarias y tiene, por este orden, una fase geométrica o preproceso, y otra topológica.

Figura 16. Fase geométrica de la secuencia de validación de segregaciones.



Como ilustra el diagrama de flujo de la Figura 16, los datos de partida u operandos al inicio de la fase geométrica son:

1. El operando A o perímetro general de la parcela matriz procedente de la base cartográfica de referencia.
2. El operando B o conjunto de perímetros generales de las parcelas segregadas en proyecto.

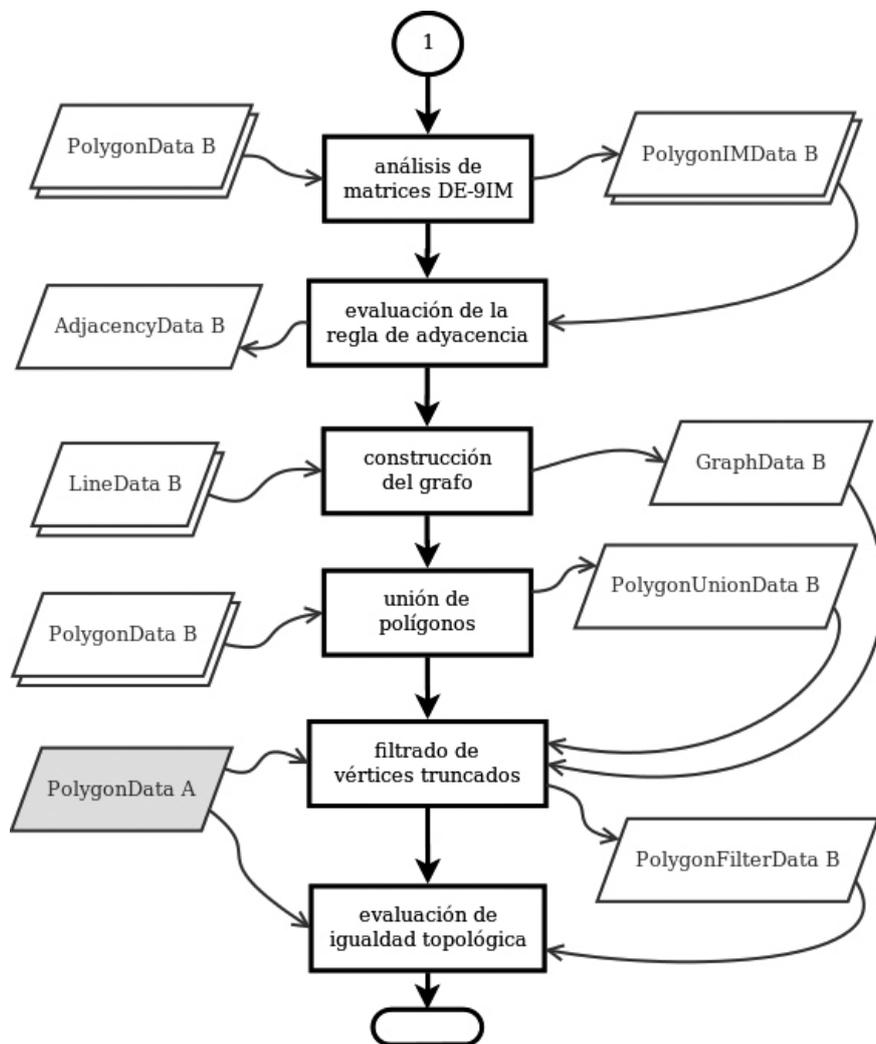
Dejando al margen el caso menos probable de inconsistencia en el contorno de la parcela matriz preexistente, el fracaso del proceso de poligonización suele estar causado por intersecciones no materializadas (líneas inacabadas o sobrecabadas que impiden el cierre del contorno) en las parcelas segregadas propuestas, fruto de una captura defectuosa de los nuevos lindes. En cualquier caso, esto implica un diagnóstico desfavorable y la devolución de los perímetros al técnico proyectista para su corrección.

La fase topológica de la secuencia de validación de segregaciones es compleja dado que cualquier fragmentación parcelaria conlleva necesariamente la construcción de nuevos vértices, tanto en el interior de la parcela matriz como, sobre todo, en su contorno exterior. El diagrama de flujo de la Figura 17 muestra todos los procesos implicados en la secuencia, los cuales revisaremos a continuación precisamente para analizar las causas que más probablemente pueden invalidar determinadas estructuras de datos de salida.

Según diversas pruebas sobre datos reales, el punto de ruptura más frecuente de esta secuencia lo encontramos en la estructura *AdjacencyData*, cuya evaluación fallida provoca un diagnóstico desfavorable por topología inválida. La orientación acerca de las causas la encontramos en la estructura *PolygonIMData*, generada en el paso anterior, que suele indicar superposiciones entre los polígonos del operando B (las parcelas segregadas en proyecto). Por tanto, aunque el proceso de poligonización culmine con éxito, existe la posibilidad de superposición entre los polígonos construidos. Curiosamente, esta incoherencia se produce con mayor probabilidad si las líneas divisorias han sido tratadas mediante aplicaciones

informáticas que están diseñadas para automatizar o asistir a los técnicos en los procesos de reparcelación, dado que en ocasiones dichas aplicaciones pueden no generar un duplicado exacto de un tramo de linde compartido por dos fincas, lo que en última instancia conduce a la formación de *slave polygons*. El modelo de validación topológica del Proyecto “Ramón Llull” ayuda a detectar estas situaciones y a remitir de nuevo al técnico los perímetros de las parcelas segregadas para su rectificación.

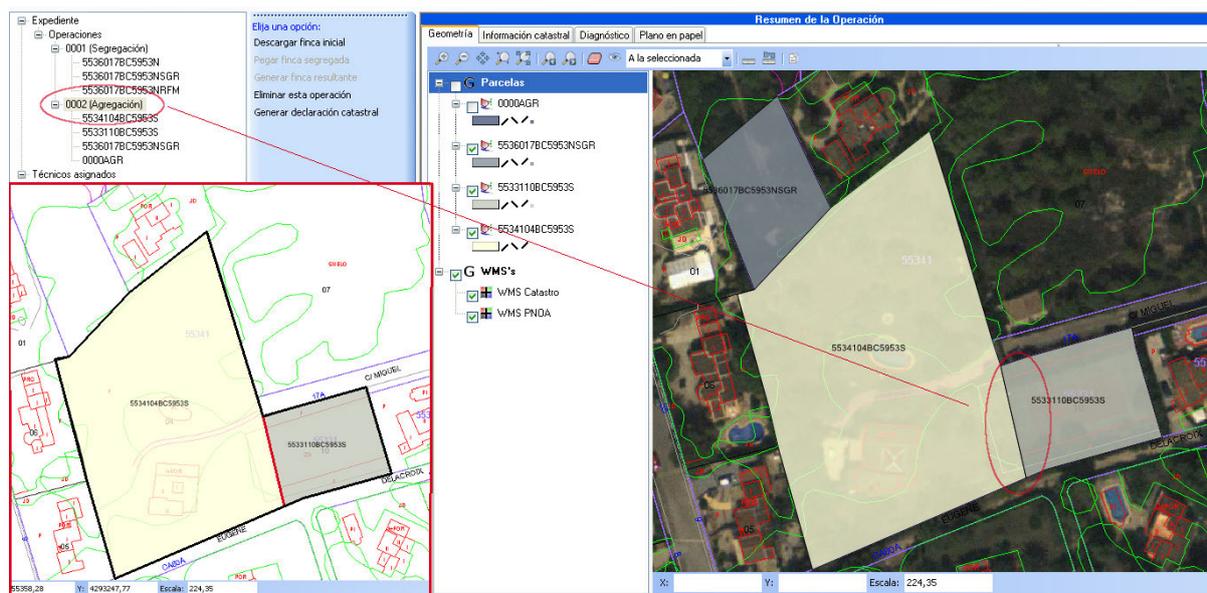
Figura 17. Fase topológica de la secuencia de validación de segregaciones.



Si partimos de una estructura *AdjacencyData* válida, el siguiente paso de la secuencia es la construcción del grafo topológico a partir de los objetos *MultiLineString* que conforman los perímetros generales de las parcelas segregadas, y a los que se accede mediante la lista de estructuras *LineData* del operando *B* generadas en el primer paso. A continuación se procede con la unión de polígonos de parcelas segregadas. La estructura *PolygonUnionData* resultante junto con la estructura *GraphData* del paso anterior y el polígono de la parcela matriz generado en la fase geométrica (*PolygonData* del operando *A*) constituyen el *input* del proceso de filtrado de vértices truncados, cuya lógica ya se ha explicado anteriormente. De esta forma obtenemos una estructura *PolygonFilterData* con la que culmina el tratamiento de los nuevos vértices introducidos durante el trazado de las líneas divisorias y con la que se puede afrontar el último paso de la secuencia: la evaluación de igualdad topológica entre el perímetro general de la parcela matriz (*PolygonData* del operando *A*) y el perímetro circundante de las parcelas segregadas (*PolygonFilterData*). Los factores que suelen determinar la falta de coincidencia entre estos dos perímetros son la traslación de vértices, un conjunto incompleto o mal trazado de parcelas segregadas o la consabida discrepancia

entre la base cartográfica de referencia y el hipotético levantamiento de lindes que haya podido realizar el proyectista en el campo. En ausencia de estas circunstancias y ante una estructura *EqualityData* válida, el diagnóstico de la segregación será favorable.

Figura 18. Podemos ver un ejemplo de falsa colindancia entre los lados adyacentes de la parcela ...5534104BC... y la parcela ...5533110BC... (marcados en rojo), dando como resultado un hueco inapreciable a vista incluso de detalle de zoom. Este espacio entre polígonos se produce cuando se crean polígonos nuevos sin tener en cuenta la topología y podría dar problemas a la hora de validar una agregación entre ambas en Catastro. El análisis topológico que realiza la aplicación “Ramón Llull” detectó que las dos parcelas que el cliente proponía para la agregación no eran coincidentes y por lo tanto no debían generar un único polígono resultante.



5. CONCLUSIONES

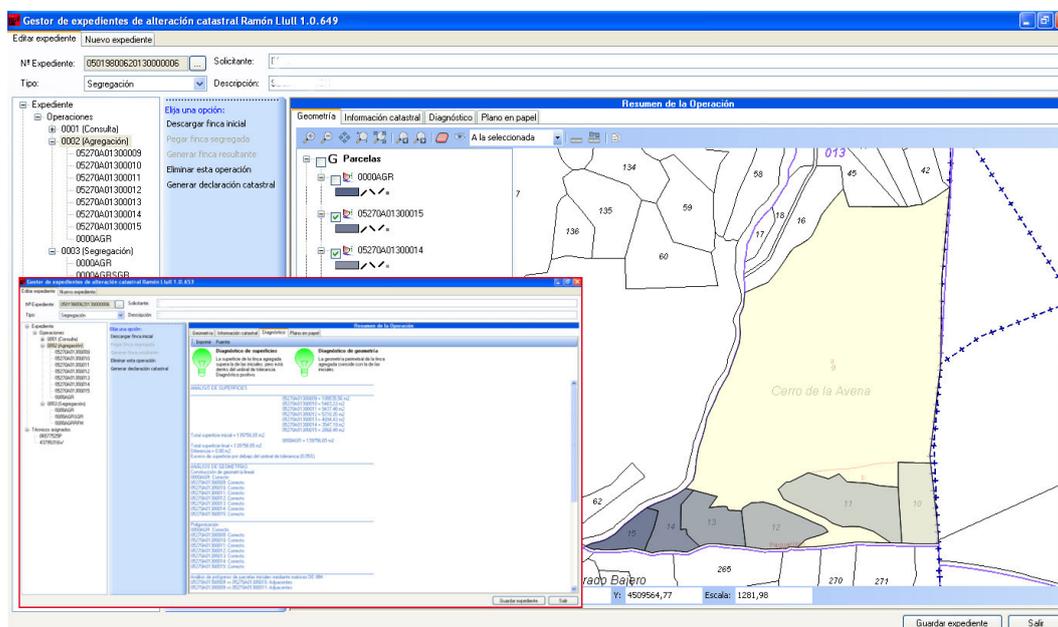
En el marco de la gestión y el tratamiento de las bases de datos catastrales, el Proyecto “Ramón Llull” supone un enfoque nuevo y complementario. Hasta el momento, el valor de la información espacial relativa a inmuebles se sustentaba en su utilidad de cara a la dinamización de los procedimientos tributarios. Esto ha propiciado que la base cartográfica de referencia se actualice de forma masiva y periódica en función del trabajo realizado por aquellos organismos públicos o privados con competencias tributarias que han conveniado con la Dirección General de Catastro. El fruto de este proceso es una cartografía catastral cada vez más veraz y actualizada, pero con el sesgo de gestión tributaria y no de información geográfica de “amplio espectro”.

El Proyecto “Ramón Llull” aprovecha la ventaja que supone disponer al menos, de esta cartografía de calidad, para poder ir un poco más lejos y dar carta de naturaleza al valor jurídico inherente al dato geográfico que describe un bien inmueble. De esta forma, haciendo coincidir el acto jurídico que acompaña a cualquier alteración catastral con la actualización de la base cartográfica de referencia, la base de datos del Catastro ya no sólo depende de la cadencia temporal de las transacciones masivas, sino que puede reflejar los cambios en la distribución espacial de la propiedad casi en tiempo real, mediante transacciones individuales correctamente tramitadas, incluso vía electrónica. El modelo de validación topológica descrito busca precisamente otorgar el mayor grado posible de fiabilidad a este tipo de transacciones, de forma que la Dirección General de Catastro promueva esta política de actualización articulada en torno a servicios remotos.

Sin duda, el gran reto de este proyecto es su aplicabilidad, teniendo en cuenta que no es nada sencillo aunar la complejidad del proceso de este tipo de información con la facilidad de manejo por parte del usuario, tenga el perfil que tenga. En este sentido, el problema estriba en implantar soluciones basadas en Tecnologías de la Información Geográfica en entornos profesionales habituados a la gestión ofimática

de documentación jurídica pero ajenos al tratamiento de cartografía digital y a los conceptos de bases de datos geográficas y análisis espacial. Precisamente por ello, este modelo de validación topológica proporciona al desarrollador un marco lógico suficientemente flexible como para acercar el dato geográfico al usuario sin renunciar a la posibilidad de poder representar mediante estructuras espacio-temporales casos verdaderamente complejos de alteraciones catastrales. La aplicación de escritorio desarrollada en el Laboratorio de Geomática de la Universidad de Alicante para la gestión de expedientes de alteración catastral en notarías (véanse Figuras 18 y 19), actualmente en fase experimental de explotación, emplea el modelo de validación topológica aquí presentado desde la triple perspectiva de facilidad, flexibilidad y transparencia, procurando ofrecer al usuario la información necesaria para verificar la coherencia de una alteración de una forma rápida y sencilla. Esta aplicación permite la generación sistemática de expedientes complejos, con múltiples alteraciones, facilitando el acceso aleatorio a la información cartográfica tanto a nivel de operación como de finca, así como la evaluación a demanda del diagnóstico de cada una de las operaciones, la generación de los correspondientes informes técnicos de detalle y la salida impresa de planos georreferenciados.

Figura 19. Aplicación de escritorio del Proyecto “Ramón Llull”: visualización cartográfica de una operación de alteración catastral y de la ventana de diagnóstico que informa a los usuarios de la pertinencia y corrección de la operación, incluida la validación topológica.



En síntesis, el modelo de validación topológica constituye el núcleo de la propuesta del Proyecto “Ramón Llull” para verificar la autenticidad física de las fincas que intervienen en una alteración catastral y otorgar mayor seguridad a los actos jurídicos que regulan las transacciones de bienes inmuebles. Su diseño está basado en una metodología rigurosa en la que han prevalecido los principios de estandarización (la normalización es una cuestión decisiva de cara a la Norma ISO19152), interoperabilidad, robustez y flexibilidad en lo relativo al esquema lógico, todo ello con vistas a la implantación de una plataforma distribuida de servicios de base de datos geográfica y capaz de tratar estructuras espacio-temporales con agilidad. Constituye una respuesta desde la investigación geográfica aplicada a las limitaciones que históricamente se vienen produciendo en el tratamiento o gestión de la información catastral por parte del usuario público, con la sinergia derivada de la doble perspectiva tecnológica (Tecnologías de la Información Geográfica) y jurídico-social (tanto humanística, como jurídica) para buscar soluciones que promuevan la coherencia, difusión y uso equitativo de este tipo de información geográfica, en la línea que en su momento marcaron iniciativas del calado e importancia del Proyecto Ensenada, SIGCA o SIGCA2.

Destacamos en este artículo la necesidad de la información cartográfica o geográfica en la gestión de bienes inmuebles y en el proceso de alteración de datos catastrales, proponemos una metodología que

pueda superar la visión del dato geográfico como un simple dibujo de CAD, buscando su dimensión de bases de datos SIG, señalamos la importancia de trabajar con criterios topológicos que permitan obtener geometrías de calidad y cotejar la información de campo con las bases de datos geográficas oficiales, con garantías de seguridad técnica. Finalmente, resolvemos la intervención de especialistas con perfil jurídico, mediante el desarrollo de aplicaciones informáticas que hagan fácil y transparente el empleo de esta información por parte de usuarios no expertos en Cartografía, lo que permite ofrecer también todas las garantías jurídicas necesarias, en el momento más adecuado, al otorgamiento de la escritura pública que recoge esta alteración y a instancias de los ciudadanos y propietarios interesados.

BIBLIOGRAFÍA

- ARROYO ILERA, F. y CAMARERO BULLÓN, C. (1992): “La Geografía histórica en España”, en REAL SOCIEDAD GEOGRÁFICA; ASOCIACIÓN DE GEÓGRAFOS ESPAÑOLES: La Geografía en España (1970-1990). Aportación española al XXVII Congreso de la Unión Geográfica Internacional, Fundación BBV, Madrid.
- BENENSON, I., ARONOVICH, S. y NOAM, S. (2005): “Let’s talk objects: generic methodology for urban high-resolution simulation”, *Computers, Environment and Urban Systems*, num. 29, pp. 425-453, Elsevier.
- BOOCH, G., RUMBAUGH, J. y JACOBSON, I. (1999): *El Lenguaje Unificado de Modelado*, Addison Wesley, Reading, Massachusetts.
- BOSQUE SENDRA, J. (1992): *Sistemas de Información Geográfica*, Rialp, Madrid.
- BURROUGH, P. (1989): *Principles of Geographical Information Systems for land resources assessment*, Oxford University Press, Oxford.
- BUZAI, G. D. (1999): “Geografía Global. El paradigma geotecnológico y el espacio interdisciplinario en la interpretación del mundo del siglo XXI.”, *Anais GIS Brasil 99. V Congresso e Feira para usuarios de geoprocessamento da America Latina*, Sagres Editora Ltda., San Salvador de Bahía.
- CHUVIECO, E., BOSQUE, J., PONS, X., CONESA, C., SANTOS, J.M., GUTIÉRREZ-PUEBLA, J., SALADO, M.J., MARTÍN, M.P., RIVA, J., OJEDA, J. y PRADOS, M.J. (2005): “¿Son las Tecnologías de la Información Geográfica (TIG) parte del núcleo de la Geografía?”, *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, num. 40, pp. 35-55, Madrid.
- COMAS, D. y RUIZ, E. (1993): *Fundamentos de los Sistemas de Información Geográfica*, Ariel, Barcelona.
- DEVIS BOTELLA, R. (1993): *Programación Orientada a Objetos en C++*, Paraninfo, Madrid.
- DÍAZ DÍAZ, E.:
 – (2013): “Alteración catastral telemática e inscripción registral”, *Revista El Notario del Siglo XXI. Revista del Ilustre Colegio Notarial de Madrid. nº51*. <http://www.elnotario.es/index.php/practica-juridica/3551-alteracion-catastral-telematica-e-inscripcion-registral>
 – (2012): “Claves de la interoperabilidad jurídica de la información geográfica” Blog de la Infraestructura de Datos Espacial de España. Instituto Geográfico Nacional. Madrid: <http://blog-idee.blogspot.com.es/2012/06/claves-de-la-interoperabilidad-juridica.html>
 – (2012): “Interoperabilidad jurídica de la geoinformación” en las *Jornadas de la Infraestructura de Datos Espacial de España 2012*. Instituto Geográfico Nacional. Madrid: <http://www.idee.es/web/guest/jornadas>
- ESPIAGO, J. (2007): *Prólogo a Requejo Liberal, Descripción geográfica de las fincas en el Registro de la Propiedad (Geo-Base)*, Lex Nova. Valladolid.
- GARCÍA RAMÓN, M.D., NOGUÉ I FONT, J. y ALBET I MAS, A. (1992): *La práctica de la Geografía en España*, Oikos-Tau, Barcelona.
- GIL OLCINA, A. (1992): “El mundo rural”, en REAL SOCIEDAD GEOGRÁFICA; ASOCIACIÓN DE GEÓGRAFOS ESPAÑOLES: La Geografía en España (1970-1990). Aportación española al XXVII Congreso de la Unión Geográfica Internacional, Fundación BBV, Madrid.

- HERNÁNDEZ ORALLO, E. (2002): “El lenguaje Unificado de Modelado”, Manual Formativo ACTA, num. 26, pp. 69-74, Autores Científico-Técnicos y Académicos, Madrid.
- HOWE, D. R. (1989): *Data Analsys for Data Base Design*, 2nd edition, Edward Arnold, Londres.
- HUXHOLD, W.E. (1991): *An Introduction to Urban Geographic Information Systems*, Oxford University Press, Oxford.
- JIMÉNEZ CLAR, A. J.:
- (2010): “La coordinación catastro-registro desde una perspectiva internacional”, *Revista El Notario del Siglo XXI. Revista del Ilustre Colegio Notarial de Madrid. n°39*. <http://www.elnotario.es/index.php/100-hemeroteca/revistas/revista-39/667-la-coordinacion-catastro-registro-desde-una-perspectiva-internacional-0-48886309050849>
 - (2010): “La información territorial: ¿es posible la unificación del Catastro y del Registro?”, *Revista El Notario del Siglo XXI. Revista del Ilustre Colegio Notarial de Madrid. n°32*. <http://www.elnotario.es/index.php/107-hemeroteca/revistas/revista-32/1119-la-informacion-territorial-es-posible-la-unificacion-del-catastro-y-del-registro-0-3271639722652398>
- JIMENEZ CLAR, A.J. y RAMÓN MORTE, A. (2008): Hoja de Ruta del Proyecto Ramón Llull, Dpto. de Derecho Civil y Laboratorio de Geomática del Instituto Universitario de Geografía, Universidad de Alicante (inédito).
- KEMP, Z. y KOWALCZYK, A. (1994): “Incorporating the temporal dimension in a GIS”, en WORBOYS, M. F. (ed.): *Innovations in GIS: Selected Papers from the First National Conference on GIS Research UK*, pp. 89-104, Taylor & Francis, Londres.
- LLORENS COBOS, F., MIRA MARTINEZ, J.M., NAVARRO CARRIÓN, J.T. y RAMÓN MORTE, A. (2007): “Proyecto Ramón Llull: sistema de alteraciones catastrales para las notarías de la Comunidad Valenciana”, *Comunicaciones de las I Jornadas de SIG Libre, SIGTE*, Universitat de Girona.
- SÁNCHEZ JORDÁN, M.E. (2012): “Nuevas técnicas de identificación de las fincas: su aplicación al deslinde”. *Anuario de Derecho Civil. Núm. LXV-III, Julio 2012*. pp. 1075-1106. Universidad de La Laguna. http://vlex.com/source/anuario-derecho-civil-1714/issue_nbr/%23LXV-III
- MAGUIRE, D.J., GOODCHILD, M.F. y RHIND, D.W. (coords.) (1991): *Geographical Information Systems: Principles and Applications*, Longman, Londres.
- MEYER, B. (1988): *Object-Oriented Software Construction*, Prentice Hall, Nueva Jersey.
- OGC (2006): *OpenGIS Implementation Specification for Geographic information – Simple Feature Access – Part 1: Common architecture*, ref. OGC 06-103r3, Open Geospatial Consortium Inc.
- TORRENS, P.M. y BENENSON, I.:
- (2005a): “Geographic Automata Systems”, *International journal of Geographical Information Systems*, vol. 19, num. 4, pp. 385-412, Taylor & Francis, Londres.
 - (2005b): “A Minimal Prototype for Integrating GIS and Geographic Simulation through Geographic Automata Systems”, en ATKINSON, P. M. y otros (eds.): *GeoDynamics*, pp. 347-367, CRC Press, Londres.
- UNWIN, D. (1981): *Introductory Spatial Analysis*, Methuen, London.
- UREÑA CÁMARA, M. A., GARCÍA BALBOA, J.L. y ARIZA LÓPEZ, J. (2010): “Análisis de la propuesta ISO 19152 (Land Administration Domain Model)” en *Actas del I Congreso Internacional de Catastro Unificado y Multipropósito*. Cádiz. 2010.
- VIVID SOLUTIONS (2003): *JTS Topology Suite Technical Specifications*, Vivid Solutions.
- VÁZQUEZ ASENJO, Ó.:
- (2009): *La información territorial asociada a las bases gráficas registrales*, Tirant lo blanch, Valencia.
 - (2013): *Coordinacion entre el catastro y el registro de la propiedad*. Tirant lo blanch, Valencia.

- W3C (2006): Extensible Markup Language (XML) 1.1 (Second Edition), World Wide Web Consortium.
- WACHOWICZ, M. y HEALEY, R. G. (1994): "Towards temporality in GIS", en WORBOYS, M. F. (ed.): *Innovations in GIS: Selected Papers from the First National Conference on GIS Research UK*, pp. 105-118, Taylor & Francis, Londres.
- WACHOWICZ, M. (1999): *Objet-Oriented Design for Temporal GIS*, Taylor & Francis, Londres.
- WIRTH, N. (1980): *Algoritmos + estructuras de datos = programas*, Ediciones del Castillo, Madrid.
- WORBOYS, M. F., HEARNSHOW, H. M. y MAGUIRE, D. J. (1990): "Object-oriented modelling for spatial databases", *International journal of Geographical Information Systems*, vol. 4, num. 4, pp. 369-383, Taylor & Francis, Londres.
- YEARSLEY, C. y otros (1994): "Computational support for spatial information systems: models and algorithms", en WORBOYS, M. F. (ed.): *Innovations in GIS: Selected Papers from the First National Conference on GIS Research UK*, pp. 75-88, Taylor & Francis, Londres.
- ZHU, X. y HEALEY, R. G. (1992): "Towards intelligent spatial decision support: integrating geographical information systems and experts systems", *Proceedings of GIS/LIS '92*, vol. 2, pp. 877-886, ACSM/ASPRS/AAG/URISA/AM-FM, San José (California).
- ZHU, X., ASPINALL, R. J. y HEALEY, R. G. (1996): "ILUDDS: A knowledge-based spatial decision support system for strategic land use planning", *Computer and Electronics in Agriculture*, num. 15, pp. 279-301, Elsevier.
- ZOIDO NARANJO, F. (2001): "Relaciones entre formación y dedicación profesional en la geografía española", *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, num. 39, pp. 37-56, Barcelona.

EL TERREMOTO CHILENO DEL 27 DE FEBRERO DE 2010: ANÁLISIS PRELIMINAR DE LAS CONSECUENCIAS EN LA CIUDAD DE VALDIVIA

Carlos Rojas Hoppe¹ y Silvia Díez Lorente²

Instituto de Ciencias Ambientales y Evolutivas. Universidad Austral de Chile¹
Instituto de Manejo de Bosques, Producción y Medio Ambiente. Universidad Austral de Chile²

RESUMEN

El mayor sismo que haya afectado a la ciudad de Valdivia con posterioridad al famoso terremoto de 1960 fue el generado por el evento (Mw 8,8) del 27 de febrero de 2010 en la zona central de Chile. La intensidad asignada para la ciudad de Valdivia alcanzó el valor VI en la escala de Mercalli. Con el objeto de comprender la distribución espacial de los daños a la infraestructura urbana, se relacionó ésta con las condiciones locales de suelo. Los antecedentes de la historia sísmica y del desarrollo urbano de Valdivia proporcionan información valiosa que se agregó al análisis. La diferente severidad con la que el sismo repercutió en los diversos barrios de Valdivia, guarda una estrecha relación con las unidades geomorfológicas y los tipos de suelos de fundación existentes en la ciudad. Se pudo establecer una buena coincidencia con la respuesta sísmica de los suelos prevista para la ciudad en estudios previos.

Palabras clave: terremoto, Valdivia, suelos, respuesta sísmica.

ABSTRACT

The Chilean earthquake of February 27, 2010: Preliminary analysis of its consequences in the city of Valdivia

The main seism affecting the city of Valdivia after the famous earthquake of 1960 was the event (Mw=8.8) which occurred on February 27, 2010 in central Chile. It has been assigned an intensity of Mercalli VI for the city of Valdivia. In order to understand the spatial distribution of the damage caused to urban infrastructure, the latter was related to the local soil conditions. Backgrounds of both the seismic history and the city development provide valuable information which was added to the analysis.

The dissimilar severity the seism had on the different quarters of Valdivia is closely associated with the geomorphological units and the foundation soil types which are present in the city.

A good coincidence with the seismic response of the soils foreseen for the city in previous studies could be established.

Key words: earthquake, Valdivia, soils, seismic response.

1. INTRODUCCIÓN

Escenario principal del sismo de mayor magnitud en el planeta, casi exactamente medio siglo después la ciudad de Valdivia (39°48'30" S, 73°14'30" W, Figura 1) fue alcanzada por las ondas del gran terremoto del 27 de febrero de 2010. En vísperas de la culminación de las actividades estivales que se organizan anualmente en torno a la fecha del aniversario de su fundación, el paso de la perturbación sísmica por la ciudad causó enorme inquietud y alarma.

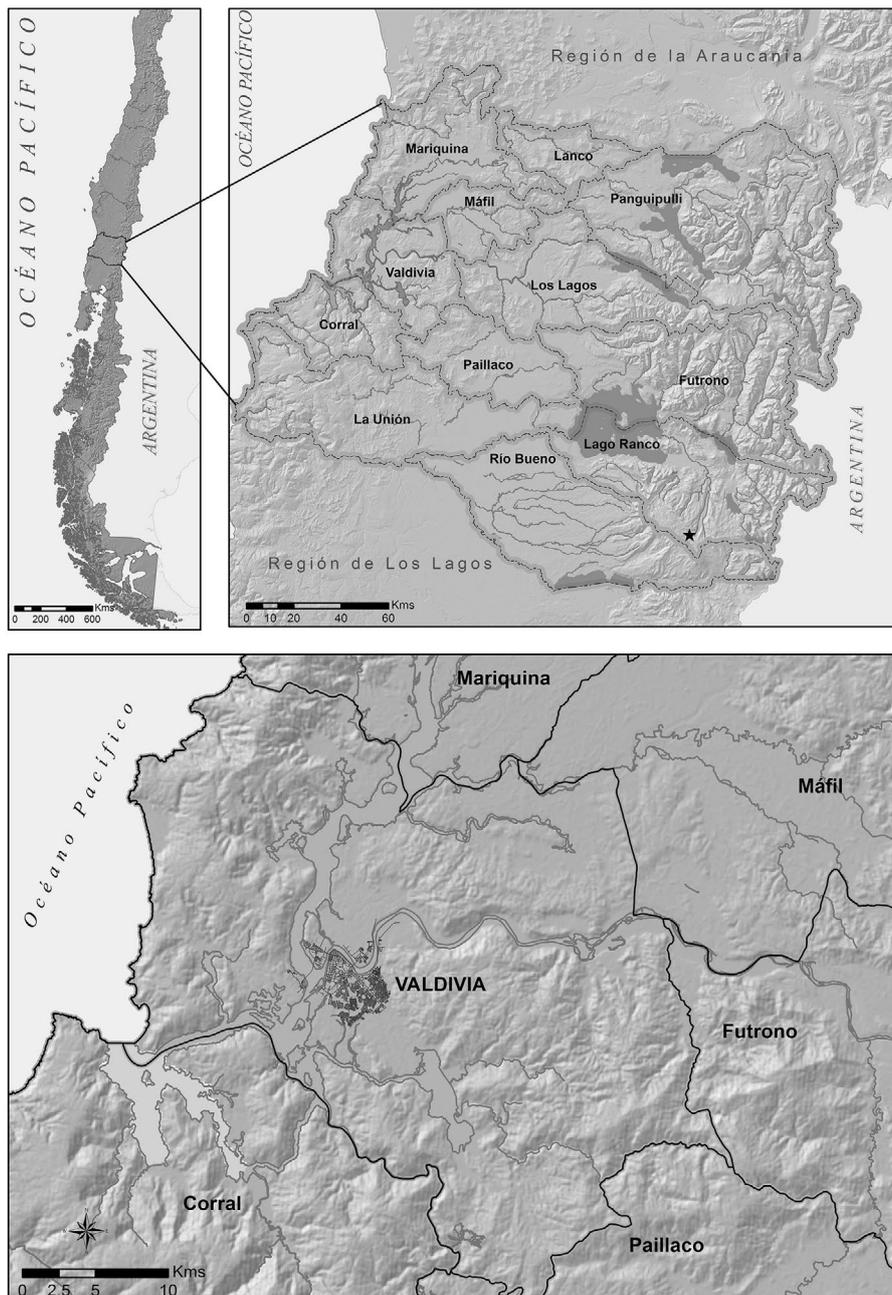
¹ crojas@uach.cl - Teléfono: +56 632 293192.

² sdiez@geotalos.es - Teléfono: +56 632 221638.

Aún cuando los daños fueron considerablemente menores en comparación con los ocurridos en las regiones de la zona central de Chile, los efectos en la ciudad fueron significativos. En Valdivia la duración perceptible alcanzó aproximadamente a 2 minutos, durante los cuales miles de sobrevivientes del gran terremoto del 22 de mayo de 1960 no pudieron evitar recordar tan infausto acontecimiento. Protagonistas de los largos y sacrificados años de reconstrucción requeridos para levantar a la ciudad más devastada por aquel evento, hito en la historia de la ciudad e ícono en la sismología mundial, ellos comprendieron como pocos la magnitud de la tragedia que comenzaba a develarse en el territorio afectado.

Con el objetivo de comprender la distribución espacial del daño a la infraestructura urbana, se relacionó ésta con las condiciones locales de suelo. Los antecedentes de la historia sísmica y del desarrollo urbano de Valdivia proporcionan información valiosa, que se agregó al análisis.

Figura 1. Ubicación de la ciudad de Valdivia.



Elaboración propia.

1.1. Historia sísmica de la ciudad de Valdivia

Al igual que muchas otras ciudades chilenas y latinoamericanas, Valdivia ha sido afectada por varios sismos de diversas magnitudes y diferentes efectos a lo largo de su historia de más de 460 años. Los que provocaron mayor destrucción fueron los de 1575, 1737, 1837, 1907 y 1960 (Rojas, 2010; Urrutia y Lanza, 1993). No obstante, los catálogos de sismos nacionales y publicaciones relacionadas con la historia de la ciudad de Valdivia reportan la ocurrencia de numerosos eventos adicionales que, habiendo afectado mayormente a otras zonas del país, también fueron sentidos en el sur de Chile y particularmente en la ciudad de Valdivia (Almonacid, 1998; Goll, 1904; Greve, 1964; Lomnitz, 1970, 2004; Taulis, 1938). Una recopilación detallada de ellos fue realizada recientemente por Rojas (2010), quien advierte que el incremento en el número de sismos reportados a partir de la segunda mitad del siglo XIX se explica por el minucioso registro que de los fenómenos atmosféricos y telúricos diarios comenzaron a hacer los colonos alemanes, en particular Karl Anwandter. Probablemente de haberse llevado un registro similarmente riguroso en los siglos previos el catálogo de sismos se hubiera enriquecido notablemente. De destacar es el hecho que de los numerosos terremotos que han afectado a la ciudad en sus más de cuatro siglos y medio de existencia hay dos que según los antecedentes disponibles tuvieron efectos muy similares (Rojas, 2000; Saint Amand, 1961), según puede observarse en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Grandes terremotos en la ciudad de Valdivia.

| FECHA | TSUNAMI | INTENSIDAD (MM) | MAGNITUD RICHTER | MAGNITUD DE MOMENTO |
|--|---------|-----------------|------------------|---------------------|
| 1575 (DIC.16) | + | X-XI | 8,5 * | |
| 1737 (DIC.24) | - | IX-X | 7,5-8,0 * | |
| 1837 (NOV.07) | + | X | 8,0 * | |
| 1907 (JUN. 13) | - | VII-VIII | 6,8 * | |
| 1960 (MAY.22) | + | X | 8,5 | 9,5 |
| * Magnitud estimada + Presente - Ausente | | | | |

Fuente: Modificado de Rojas (2010).

1.2. El sismo del 22 de mayo de 1960 en Valdivia

Sin duda alguna, el terremoto del 22 de mayo de 1960 ocurrido en el sur de Chile se asocia indefectiblemente a la ciudad de Valdivia. Este sismo, el de mayor magnitud habido en el planeta desde que se tienen registros instrumentales (Magnitud del Momento Sísmico Mw 9,5), liberó el 35% de la energía de todos los terremotos del siglo XX. La Magnitud del Momento Sísmico (Hanks & Kanamori, 1979) está basada en el cálculo del *momento sísmico* (Mo) que es una medida del tamaño de un sismo en función del área de la ruptura de la falla, el promedio del desplazamiento de la misma y la fuerza necesaria para generar este movimiento. De esta forma representa, de manera más directa y precisa que otro tipo de magnitudes, la energía liberada en la fuente sísmica y es comúnmente utilizada para sismos grandes, puesto que no tiene los inconvenientes, para este tipo de sismos, que otras escalas de magnitud.

En sentido estricto, se trató de un complejo de procesos naturales encadenados e interrelacionados, incluyendo no sólo diversos sismos, sino también un tsunami, movimientos de remoción en masa, la obturación del desagüe final de un sistema de lagos andinos interconectados y una erupción volcánica en la cordillera de los Andes. Una de las consecuencias geomorfológicas más destacadas del sismo fue la subsidencia cosísmica del terreno en aproximadamente 1,8 m, que determinados lugares se incrementó en al menos un metro debido a la compactación de materiales no consolidados, sobre todo sedimentos arenosos y arcillosos y rellenos artificiales (Rojas, 2000; 2010).

El sismo tuvo especial relevancia por la diversidad de fenómenos acompañantes, la distribución espacial de los efectos y la cuantía de los daños. La zona afectada abarcó una superficie de 150.000 km², comprendida entre Concepción y el extremo meridional de la isla de Chiloé, alcanzando una intensidad máxima de X en Valdivia y Puerto Montt. La sacudida tuvo una duración de tres minutos y medio (Rojas, 2010).

Considerando los efectos directos de aquel terremoto, del tsunami que lo siguió minutos después y de la inundación extrema causada 2 meses más tarde por la descarga de las aguas represadas en el lago Riñihue, la mayor diversidad y cuantía de los daños se produjo en la ciudad de Valdivia y su entorno. Este complejo evento sísmico es un ícono para la sismología mundial, pero sobre todo constituye un hito en la historia de Valdivia.

La destrucción de la ciudad fue estimada en un 80%, con grandes daños en viviendas, edificios, calles e infraestructura urbana (90% de las industrias y 80% de los locales comerciales afectados en mayor o menor grado, 55% de las viviendas averiadas), apreciándose una interesante distribución espacial de los efectos en relación a los suelos de fundación (Rojas, 2010).

2. EL SISMO DEL 27 DE FEBRERO DE 2010 EN VALDIVIA

El último gran terremoto ocurrido en Chile (27 de febrero de 2010, 3:34 AM; Mw=8,8) cuyas características sismológicas y sismotectónicas fueron descritas por Barrientos (2010) se hizo sentir en la ciudad con una intensidad VI en la escala modificada de Mercalli (Rojas, 2010). En la Región de Los Ríos no se produjeron víctimas fatales ni heridos de consideración, y la capital regional fue la ciudad más afectada. Después del desconcierto inicial en esa madrugada, a medida que transcurrían las horas y de alguna forma se hacía posible la comunicación entre los diferentes sectores urbanos, fue haciéndose patente que los efectos en los diversos sectores de la ciudad fueron muy disímiles. El corte del suministro eléctrico en gran parte de la ciudad contribuyó considerablemente a generar desorientación y preocupación; en numerosos barrios la falta de energía eléctrica se mantuvo durante más de 24 horas. La mañana del 27 de febrero muchas personas se volcaron a las calles a conocer los efectos del sismo. Para gran parte de ellas constituyó una sorpresa el descubrir que los mayores daños estaban circunscritos a sectores bien definidos.

2.1. Caracterización geomorfológica de Valdivia

Para comprender la localización y las características de los daños habidos en Valdivia con ocasión del sismo del 27 de febrero de 2010 hay que analizar la constitución geológica y geomorfológica de esta parte de la ciudad, así como los antecedentes existentes sobre los efectos de sismos previos. Parte importante del sitio de la ciudad de Valdivia se desarrolla sobre una terraza de origen fluvial a una altura promedio de 9 metros sobre el nivel del río. La terraza otorga una fisonomía característica al paisaje valdiviano, levantándose abruptamente desde los ríos o desde las llanuras de inundación en la mayor parte de los casos, configurando un paisaje de superficies más bien planas con alturas extremas variables entre 6 y algo más de 20 metros sobre los ríos. En el sector céntrico de la ciudad (núcleo tradicional urbano) la terraza fue rebajada en alrededor de 1 metro hacia principios del siglo XX, atenuándose las pendientes hacia el río (Guarda, 2001). Todas ellas están constituidas por una arenisca con abundantes componentes de origen volcánico, conocida localmente como *cancagua* (Rojas, 2003). Las terrazas se presentan delimitadas por escarpes con otras unidades geomorfológicas situadas a menor altura. Aparece más desmembrada en la parte occidental de la ciudad, ofreciendo un aspecto más continuo en la oriental. Sobre esta terraza se encuentra emplazada la mayor parte de la ciudad de Valdivia (Rojas, 2000; 2003). En la parte sur de la ciudad se presenta profundamente disectada por algunos cursos de agua que generan pequeños valles locales.

Así, la configuración del relieve de la parte occidental, sur y suroccidental de la ciudad se presenta con aspecto de mesetas separadas unas de otras sin ordenamiento regular por sectores bajos sinuosos, constituidos por paleocauces tallados en las terrazas y ocupados por humedales interiores (Rojas, 2003), algunos parcialmente rellenados por acción antropogénica. También presenta importante expresión la planicie aluvial del río Calle Calle - Valdivia, con amplios sectores ribereños originalmente ocupados por vegas y pantanos que, al igual que los paleocauces, desde la fundación de la ciudad han sido objeto de un relleno artificial, pero especialmente desde mediados del siglo XIX (Rojas, 2000, 2003). Un caso emblemático es el del antiguo humedal interior localizado en el núcleo tradicional urbano de Valdivia, que fue objeto de relleno artificial desde hace varios siglos (Watanabe y Karzulovic, 1960; Weischet, 1960; Rojas, 2000), cubriéndose la depresión natural o *hualve* con una mezcla heterogénea de limo, arena

y ripio con escombros, maderas, basura orgánica y desechos, con un espesor en general menor a 3 metros y excepcionalmente hasta 9 metros (Barozzi y Lemke, 1966). Pese a los movimientos de tierra, los rellenos y las edificaciones realizadas en las últimas décadas, la depresión natural de ese paleocauce es perfectamente apreciable a lo largo de varias manzanas en el centro de la ciudad, algunas de las cuales permanecen con importantes superficies sin construcciones. Estos terrenos bajos también han sido parcialmente urbanizados (Rojas, 2010); la mayoría acusa afloramiento de aguas subterráneas y anegamientos pluviales en invierno. Donde no ha habido intervención antrópica, la terraza fluvial baja con pendientes casi verticales al nivel topográfico ocupado por las vegas y los paleocauces, que en el caso de aquellos de tipo ripariano quedan dentro del alcance de las crecidas del río (Rojas, 2002).

Con ocasión del terremoto de 1960, el área en cuestión fue precisamente aquella que concentró la más severa y más numerosa destrucción en el centro de la ciudad, excepción hecha de los sectores a orillas del río (Rojas, 2010; Weischet, 1960). Estudios realizados con posterioridad a ese sismo (Barozzi y Lemke, 1966) revelaron la ubicación, características y magnitud de los rellenos artificiales en el área urbana de Valdivia. La comparación de la carta geomorfológica (Rojas, 2003; 2005b) con un plano de la ciudad de Valdivia de 1794 es muy clarificadora para apreciar la importancia de los humedales originales en el sitio de emplazamiento de Valdivia y el origen de la terraza de relleno antrópico, apreciándose especialmente el mencionado paleocauce con un trazado sinuoso de orientación general SE-NW y con un desarrollo de más de un kilómetro (Figura 2).

Figura 2. Plano iconográfico de la ciudad de Valdivia (1794).



Fuente: Museo histórico y antropológico Maurice Van de Maele. Universidad Austral de Chile.

Los efectos del sismo de 1960 fueron muy severos en las riberas del río. La antigua costanera de Valdivia, de la cual aún es posible observar parte de la estructura metálica en el tramo que va desde la calle Moctezuma a la calle José Martí, fue severamente destruida por el terremoto del 22 de mayo de 1960. La subsidencia cosísmica del orden de los 2 metros contribuyó también a hacerla desaparecer, quedando ella, en el tramo mencionado, alternadamente sumergida y a la vista durante las fluctuaciones diarias de la marea.

Las características de la destrucción causada por ese sismo en ambas riberas del río Calle-Calle se explican por el comportamiento que presentaron los sedimentos naturales y el relleno artificial que se había empleado allí como suelo de fundación para algunas construcciones, para rectificar el cauce y para establecer la antigua avenida Costanera. En aquellos lugares donde los materiales rocosos más antiguos y sólidos afloraban en las márgenes escarpadas del río no se presentaron problemas. Así, después del

sismo, a orillas del río y durante las mareas altas, la Avenida Prat se cubría totalmente de agua como consecuencia del considerable hundimiento del terreno. La estructura de la antigua costanera estaba destruida y sumergida, y en varios tramos la calzada presentaba la losa de hormigón fracturada, desplazada e inclinada. En el sector del malecón, donde la calle era de adoquines, se produjeron grietas y resaltes en la superficie debido a la compactación diferencial y al deslizamiento del material de relleno (Rojas, 2010). Las destrucciones fueron tan considerables que sólo se podía realizar un mínimo tráfico de personas y mercancías.

La actual costanera, a lo largo de todo su desarrollo, es el resultado de obras de gran envergadura que se emprendieron como parte de la reconstrucción de la ciudad, trabajos que se terminaron en el año 1966 para el tramo aguas abajo del sector del terminal de buses. Una de las medidas más relevantes para la reconstrucción de Valdivia fue restablecer la infraestructura de defensas fluviales.

Esto implicó la construcción de tablestacados y rellenos para la recuperación de los terrenos sumergidos, cambios de trazado de la línea de ribera (en algunos casos con ganancia o pérdida de terreno), levantamiento de enrocados a modo de diques, relleno y levantamiento de calles, etc. (Rojas 2000, 2002, 2003, 2010). Todo esto tuvo importantes repercusiones en la respuesta de estos sectores frente a las crecidas del río, ya que durante los años que demoraron los trabajos, diversos barrios estuvieron expuestos a inundaciones con una alta frecuencia (Rojas, 2002; Rojas y Mardones, 2003). Las obras de reconstrucción de la Costanera de Valdivia fueron realizadas por Obras Portuarias, el tramo correspondiente al río Valdivia, y por Defensas Fluviales el sector del río Calle-Calle (Rojas, 2010). En el primer caso (aguas abajo del puente Pedro de Valdivia) la estructura posee un armado de pilotes de fierro y concreto (Figura 3a), en tanto que en el tramo entre los dos puentes existe solamente un enrocado de esquistos micáceos que sostiene el relleno efectuado detrás de este dique artificial (Figura 3b). Este relleno se efectuó extrayendo arena del lecho del río mediante dragado y vertiéndola detrás de la línea en que se estableció el enrocado (Figura 3c), además de esquistos micáceos muy alterados y escombros de los edificios destruidos por el sismo, descargados mediante camiones en el mismo sector (Barozzi y Lemke, 1966; Rojas, 2010). Para el sector del puerto fluvial se empleó como relleno principalmente arena del lecho del río.

Figura 3. Reconstrucción de la Avenida Costanera tras el terremoto de 1960.



Fuente: Archivo fotográfico personal de los autores.

En el borde de uno de los numerosos y húmedos pantanos interiores que aún caracterizaban las áreas cercanas al casco histórico de Valdivia, surgió en las últimas décadas del siglo XIX un caserío que gradualmente fue extendiéndose y constituyendo uno de los varios barrios marginales (*conventillos*) de la ciudad. El barrio conocido como “Beneficencia” se estableció bajo condiciones sanitarias deplorables en lo que fuera parte de un extenso humedal que se extendía al sur de la calle Beauchef, al pie de la muy disectada terraza fluvial sobre la que se desarrolla el centro comercial de la ciudad. Con el transcurso de las décadas una parte de ese humedal comenzó a ser rellenada artificialmente. En la parte más deprimida de ese pantano siempre permaneció a la vista el cauce del principal curso de agua (*catrico*) que drena ese humedal con un trazado este – oeste y que desagua en el río Valdivia pasando al costado del antiguo torreón español de calle General Lagos. Aún cuando a comienzos del siglo XX parte importante de ese curso de agua fue entubado y comenzó a correr subterráneamente, en el sector de Beneficencia permaneció libre, constituyéndose en un foco de insalubridad y muy susceptible a experimentar desbordes en los lluviosos inviernos del sur de Chile. De hecho, uno de los lugares donde los anegamientos en la ciudad fueron más severos y frecuentes durante todo el siglo XX fue precisamente este barrio (Rojas, 2002). Con el transcurso del tiempo los rellenos artificiales progresaron, no sólo en Beneficencia, sino que en todos los llamados *barrios bajos* de Valdivia, pero la localización junto al *catrico* le otorgó a ese sector una especial impronta de vulnerabilidad física a los anegamientos, e incluso a las inundaciones (Rojas, 2002).

El terremoto de mayo de 1960 vino a revelar que esa vulnerabilidad no estaba dada exclusivamente frente a las amenazas hidrometeorológicas, sino que además se constituyó en uno de los sectores donde los efectos del sismo adquirieron dimensiones catastróficas. Los estudios llevados a cabo por Weischet (1960) y Barozzi y Lemke (1965), Duke y Leeds (1963) y Doyel *et al.*, (1963) concluyeron que la causa principal de los cuantiosos daños habidos en barrios como Beneficencia y otros sectores urbanos, respondían fundamentalmente a la amplificación del movimiento del suelo a causa de las malas condiciones de los suelos de fundación. Como suelos de fundación, los rellenos artificiales se encuentran no solamente en las riberas del río, en el antiguo paleocauce que recorre el centro de la ciudad y en el sector de Beneficencia, sino que tienen una importante representación en toda la ciudad de Valdivia. De acuerdo con los resultados de algunas investigaciones (Rojas, 2005a, 2010; Rubilar *et al.*, 2007), la superficie ocupada por rellenos artificiales de diferente tipo supera largamente el 5 % del área urbana. Muchos de ellos tienen un carácter furtivo, otros no parecen ser tan clandestinos e incluso abundan los que claramente son autorizados. En la mayor parte de los casos el depósito se hace sobre los bordes de los humedales, estimándose que en los últimos años la superficie de rellenos artificiales se incrementa anualmente en 5 hectáreas como mínimo.

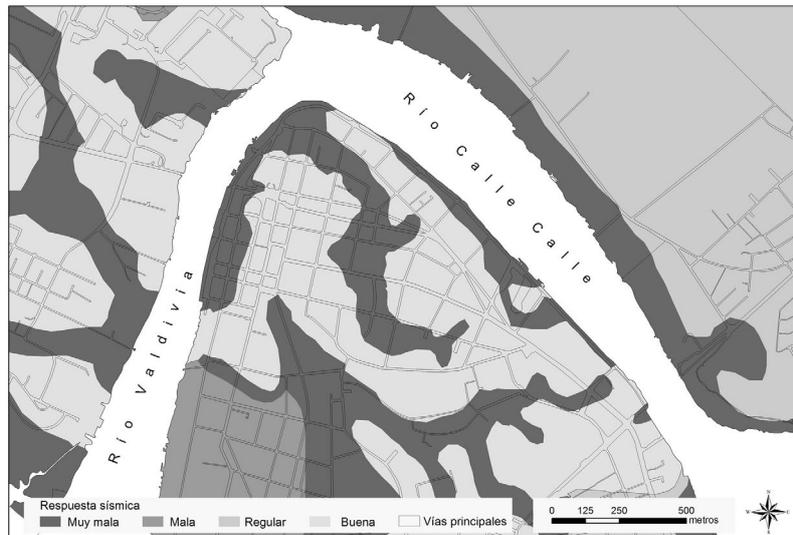
Estos rellenos presentan una estabilidad muy baja ante eventos sísmicos, como fuera dramáticamente demostrado con los efectos del terremoto de 1960 (Weischet, 1960; Rojas, 2000, 2010) y más recientemente por los del 27 de febrero de 2010. En los más diversos sectores de la ciudad se han establecido rellenos de variada extensión y diversos espesores, especialmente en desmedro de las superficies de humedales y planicies fluviales locales. Se generan así terrazas y llanuras de relleno antropogénico (Rojas, 2003).

2.2. Respuesta sísmica del suelo y daños provocados por el terremoto

Al igual como había ocurrido cincuenta años atrás, los efectos fueron de severos a moderados en los sectores en que las riberas fluviales, los antiguos humedales y los paleocauces habían sido rellenados artificialmente. Escaso daño se presentó en las áreas en que la ciudad se desarrolla sobre la terraza fluvial de arenisca, cuyos suelos manifiestan una amplificación mucho menor del movimiento que aquellos constituidos por pantanos o rellenos artificiales. En estos últimos, fue posible observar casos de desplazamiento lateral y probablemente licuación de suelos. Se pudo establecer una buena coincidencia con la respuesta sísmica de los suelos prevista para la ciudad en estudios anteriores (Figura 4).

Este sismo, de tanta y tan grave repercusión en la zona centro-sur del país, provocó algunos daños desde menores a moderados en edificios del área céntrica de la ciudad, colapso de muros cortafuegos, asentamiento, desplome y deformación de casas por debilitamiento de sus bases, desprendimiento de revestimientos exteriores en edificios céntricos, agrietamiento de muros, rotura de vidrios en ventanales, rotura de aceras, soleras y calzadas, daños en matrices de agua potable, y hundimiento, agrietamiento y desplazamiento de pavimentos en el sector del puerto fluvial y a lo largo de toda la Avenida Prat.

Figura 4. Mapa de respuesta sísmica del sector noroccidental de la ciudad de Valdivia.

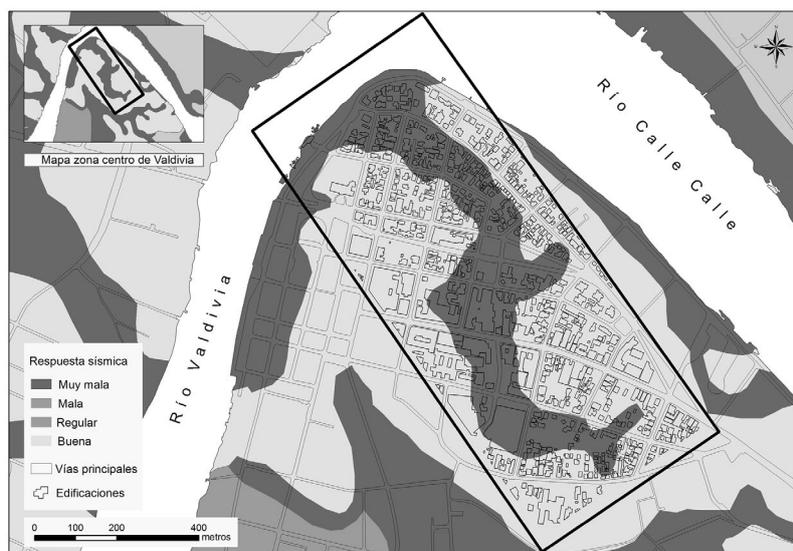


Fuente: Arenas, *et al.*, (2004). Elaboración propia.

Según un informe inicial del Servicio de Vivienda y Urbanismo y la Seremi de Vivienda y Urbanismo, en la provincia de Valdivia 35 viviendas sufrieron daños mayores y quedaron inhabitables y 44 viviendas experimentaron daños menores, reparables (GORE, 2010). No obstante, un mes después del sismo, 91 viviendas ubicadas en diversos puntos de la ciudad habían sido catalogadas por la Dirección de Obras de la Municipalidad de Valdivia como inseguras, por poseer daños estructurales en diferentes grados (Diario Austral, 2010 b), afectando a un total de 434 personas. Las vías urbanas que registraron roturas de pavimentos se presentaron en los sectores de Yáñez Zavala, Guacamayo, San Luis, Huachocopihue, Regional, Beneficencia, Corvi, Independencia, sector centro, Isla Teja, Las Animas y San Pedro, estimándose en primera instancia que las roturas urgentes de reparar alcanzaban a 1.370 metros lineales.

Los daños ocurridos en el sector céntrico de la ciudad se concentraron principalmente en el área entre las calles Arauco y Carampangue, por el sur y norte, y Walter Schmidt y Caupolicán por el Este y Oeste, respectivamente. Algunos efectos menores también se observaron en calle Camilo Henríquez entre Arauco y Cochrane, en calle Yerbas Buenas (muy cerca al sector Beneficencia) y calle Beauchef (Figura 5).

Figura 5. Mapa de respuesta sísmica del sector central de la ciudad de Valdivia.

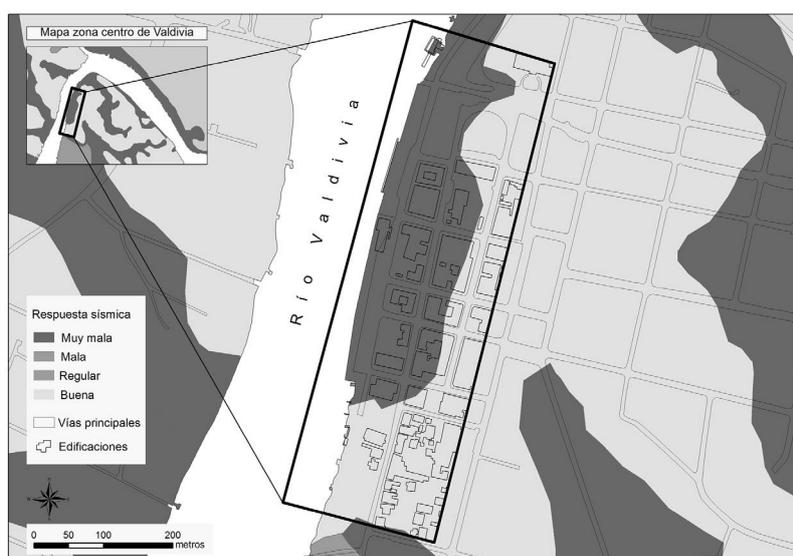


Fuente: Arenas, *et al.*, (2004). Elaboración propia.

Los daños principales ocurrieron en la tercera cuadra de la calle Ramón Picarte, donde se vio muy afectado el edificio donde funcionaban dependencias de la Gobernación de la provincia de Valdivia. Este quedó tan dañado que fue declarado inhabitable. También el edificio de Bienes Nacionales, ubicado a una cuadra de la Avenida Costanera, sufrió daños. Siguiendo una dirección aproximadamente norte - sur, puede trazarse una franja que abarca la zona mayormente afectada en el centro de la ciudad, la cual tiene como eje aproximado las calles Ismael Valdés y Walter Schmidt. En este sector, además del daño al edificio Ferso ya mencionado, hubo considerable destrucción en las aceras, rotura de cañerías de agua potable, caída de algunos muros cortafuegos, desprendimiento de revestimientos de muros, rotura de ventanales y otros daños. Las tiendas comerciales ubicadas en ese sector del centro experimentaron notables efectos producto de las sacudidas sísmicas. Entre las edificaciones que presentaron daños importantes destacó principalmente el edificio donde funcionaban muchas dependencias de la Gobernación Provincial de Valdivia, el cual quedó inhabitable. Así, los daños ocurridos concuerdan totalmente con las características de los suelos y de las geoformas.

Con ocasión del terremoto del 27 de febrero de 2010 en la zona centro-sur de Chile, el área que concentró los mayores daños en las riberas fluviales de la ciudad correspondió a casi toda la extensión de la Avenida Prat, entre las calles Carlos Condell y San Carlos, pero con los efectos más llamativos aguas abajo del puente Pedro de Valdivia (Figura 6). Sin duda alguna, los daños en la infraestructura urbana que más llamaron la atención fueron los que experimentó el sector ribereño al río Calle Calle/ Valdivia, particularmente en el llamado muelle Schuster, aledaño a la Gobernación Marítima. Desde el puente Pedro de Valdivia y hasta el término de la Avenida Prat, aguas abajo de la tradicional Feria fluvial, el daño fue considerable y se constituyó en el foco de la atención ciudadana que veía como el emblemático y siempre muy concurrido sector mostraba los efectos del mayor sismo que afectara a la ciudad en el medio siglo transcurrido desde aquel que la destruyera en 1960.

Figura 6. Mapa de respuesta sísmica del sector del puerto fluvial en la Avenida Costanera.



Fuente: Arenas, et al., (2004). Elaboración propia.

El sector aguas abajo del puente Pedro de Valdivia hasta el término de la Avenida Prat, que incluye la infraestructura de la tradicional feria a orillas del río y el muelle del puerto fluvial, experimentó efectos variados y localmente severos. En el sector del malecón el colapso de la loza de concreto exhibió de manera muy gráfica la movilidad de los suelos con el paso del tiempo, ya que sin duda las placas estaban “colgadas” sobre materiales que habían disminuido su volumen por compactación y erosión previas (Figura 7). El asentamiento del terreno de aproximadamente 1,20 m de profundidad con roturas de veredas y socavones, generó cámaras de aire de su interior que hicieron peligrar la estabilidad del terreno. Debido a ello, el muelle fue inhabilitado por la Secretaría Regional Ministerial de Obras Públicas de la Región de los Ríos.

Figura 7. Imágenes comparativas de los daños en la Avenida Costanera (sismos de 1960 y 2010).

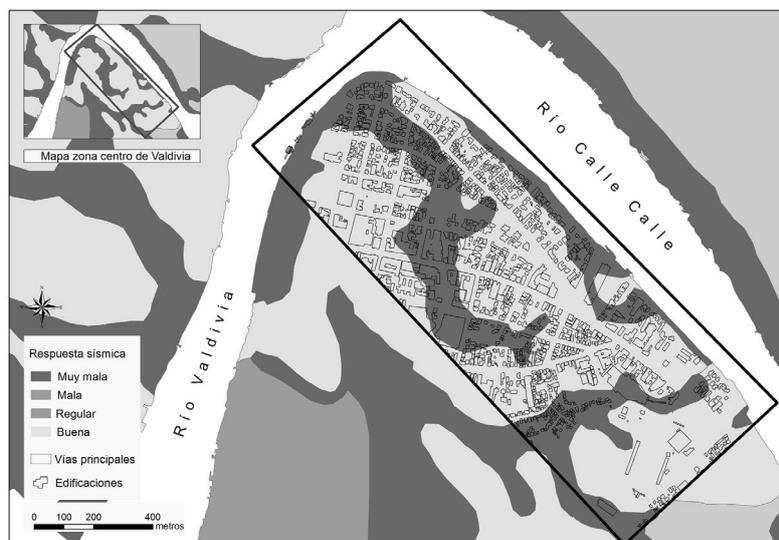


Fuente: Archivo fotográfico personal de los autores.

Ubicadas en las proximidades del río en ese sector, las dependencias del Servicio Nacional de Turismo y de la Corporación Cultural Municipal, sufrieron graves daños en su estructura. Mediante una inversión conjunta del Ministerio de Obras Públicas y el Gobierno regional de Los Ríos, posteriormente se repararon las estructuras dañadas por el terremoto. Los trabajos contemplaron la demolición de la infraestructura dañada, la pavimentación de la explanada en un tramo de 400 metros, la instalación de baldosas, la habilitación de áreas verdes y la construcción de rampas de acceso, y tuvo un costo de 950.000 US\$ (DOP, 2011).

El sector ubicado aguas arriba del puente Pedro de Valdivia experimentó fundamentalmente daños en el paseo peatonal a orillas del río. Se trató sobre todo de agrietamientos de la acera que en algunos casos superaron los 5 cm de ancho y varios metros de longitud, en parte también un notorio ensanchamiento y prolongación de grietas antiguas y desnivelación de los paños de pavimento en algunos tramos. Asimismo, los movimientos de las placas de cemento y la compactación del material de relleno detrás del enrocado causaron un agrietamiento del terreno junto a las aceras, que en algunos casos superaron los 30 cm de ancho, los 40 cm de profundidad y 10 metros de longitud (Figura 8).

Figura 8. Mapa de respuesta sísmica del sector nororiental de la Avenida Costanera.



Fuente: Arenas, *et al.*, (2004). Elaboración propia.

En sectores muy puntuales se pudo apreciar una caída de bloques de esquistos micáceos que constituyen el enrocado. Cabe consignar que en numerosos tramos de este paseo peatonal se habían advertido desde hace más de 20 años ciertos deterioros, como por ejemplo algunas fisuras longitudinales en la acera, paralelas a la ribera, y cierto desnivel en algunos paños del pavimento. Asimismo, y principalmente por acción antrópica, grandes bloques de esquistos apilados para construir el muro de contención habían sido desplazados e incluso retirados, debilitando su capacidad de soporte.

En el sector de Beneficencia se concentró la mayor parte de las viviendas que resultaron con daños graves, desplomándose algunas y hundiéndose otras hasta 50 centímetros. Según el Director de Obras Municipales y Jefe de Emergencias de la Municipalidad de Valdivia, en este sector las casas edificadas no cuentan con permisos municipales autorizados dado que el terreno no es apto para la construcción (Diario Austral, 2010). Varias calles resultaron con roturas en aceras y calzadas, y también daños en algunas matrices de agua (Figura 9). Fueron relativamente escasos los daños en otras áreas de Valdivia, como por ejemplo el caso del Hospital Regional, ubicado en un sector alejado del centro comercial de la ciudad, experimentó fisuras en uno de sus edificios.

Figura 9. Mapa de respuesta sísmica del sector beneficencia.



Fuente: Arenas, *et al.*, (2004). Elaboración propia.

3. CONCLUSIONES

A la luz de los efectos del sismo del 27 de febrero de 2010 en Valdivia se puede concluir que con toda claridad se presentó visualmente la respuesta de los rellenos artificiales al paso del tiempo y a la sollicitación sísmica. Por ejemplo, durante las cuatro décadas y media transcurridas desde la reconstrucción de la avenida Costanera el material de relleno que soportan tanto el muro de concreto como el enrocado experimentaron una compactación diferencial y un efecto de socavamiento subterráneo hacia el río que dejó en ciertas partes las losas de concreto colgadas por la formación de cámaras subterráneas. Durante el sismo de febrero 2010, al paso de las ondas sísmicas, el terreno experimentó una amplificación del movimiento a causa del tipo de material, lo que unido a lo anterior permitió el colapso del pavimento cuando el suelo dejó de tener la resistencia para sostener las losas encima.

Las estructuras dañadas por el sismo mostraron una marcada concentración en su distribución espacial sobre la superficie urbana de la ciudad de Valdivia. Con base en la información oficial, la intensidad con la que se percibió el sismo en Valdivia alcanzó un valor sólo moderado en la escala de Mercalli (Servicio Sismológico, 2010). No obstante, de acuerdo con los antecedentes de sismos anteriores (Rojas, 2000, 2010), es habitual que se manifiesten diferencias en la percepción y en los efectos en diversos sectores de la

ciudad. Subiabre *et al.*, (1986) concluyeron que, de acuerdo a los antecedentes de los suelos de fundación, en aquellos sectores que experimentaron los mayores daños para el sismo de 1960 las características de los materiales geológicos estratificados generaron muy importantes efectos de amplificación dinámica de los suelos. Esta conclusión está refrendada por el mapa de respuesta sísmica para la ciudad de Valdivia, elaborado por el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN) (Arenas, Behlau y Hanisch, 2004), el cual zonifica la ciudad con base en la amplificación sísmica que experimentan los diferentes tipos de suelos. En concreto, esta amplificación se expresa en unidades en la escala Modificada de Mercalli en que se incrementa la intensidad sísmica local producto de las características geotécnicas básicas del suelo de fundación que hay en cada lugar.

Numerosos sectores de la ciudad poseen suelos de tales características que durante los sismos se generan allí incrementos de la intensidad en al menos 2,5 grados e incluso superiores a 3 grados Mercalli. En 1960, con ocasión del gran terremoto del sur de Chile, esos terrenos experimentaron intensidades de al menos VII e incluso mayores a IX en la escala de Mercalli (Arenas, Behlau y Hanisch, 2004). Estas zonas de altos incrementos de intensidad sísmica se localizan parcialmente sobre la llanura de inundación fluvial (Rojas, 2003), terrenos con cotas muy bajas (menores a 5 metros e incluso por debajo de 3 metros sobre el nivel del río) que en las márgenes del río Calle Calle – Valdivia constituyen la superficie donde se desarrollan los llamados “Barrios Bajos” de la ciudad, pero también ciertos sectores de los barrios Collico, Las Ánimas, Miraflores y Alto Guacamayo (Rojas, 2000, 2003, 2010) y por cierto el sector de Beneficencia. Los humedales riparianos y los interiores, junto con las vegas y sobre todo las áreas constituidas por rellenos artificiales, presentan una muy alta amplificación sísmica potencial, la que puede superar los 3 grados Mercalli. Durante el sismo de mayo de 1960 las intensidades sísmicas superaron en esos sectores el valor IX en la Escala Modificada de Mercalli, generándose en ellos la mayor destrucción a la infraestructura urbana.

A la luz de estos antecedentes, se puede concluir que también durante el sismo del 27 de febrero de 2010 pudo apreciarse en Valdivia una distribución de los efectos condicionada por la distribución espacial de los tipos de suelos de fundación. Consecuentemente con lo anterior, localmente la intensidad Mercalli debe haberse incrementado en al menos 2 grados en los sectores de relleno artificial ubicados en las riberas fluviales, en el barrio Beneficencia y en la zona del antiguo pantano que cruzaba el casco histórico de la ciudad en sentido SE-NW. Problemas potenciales asociados a estos suelos de mala calidad son la subsidencia por sobrecarga; también es común en ellos la licuefacción de sedimentos debido al exceso de presión de agua, y el desplazamiento lateral (González de Vallejo *et al.*, 2004). Debido a la falta de confinamiento y al alto grado de saturación, Arenas, Behlau y Hanisch (2004) señalan que en las riberas fluviales se pueden producir deslizamientos de estos materiales, lo cual se condice plenamente con lo observado durante el sismo del año 2010 en la costanera de Valdivia.

De acuerdo con los antecedentes de la sismicidad histórica y con lo acontecido en la ciudad el 27 de febrero de 2010, la respuesta sísmica marcadamente diferencial de los diferentes barrios de Valdivia demuestra la importancia de los estudios geomorfológicos detallados para contribuir a reconocer y delimitar las áreas más vulnerables ante los eventos sísmicos extremos. Por ejemplo, los paleocauces y los humedales de diverso tipo pueden constituirse en unidades geomorfológicas potencialmente vulnerables a la amenaza sísmica en razón de las características físico-mecánicas de los suelos propios de esas geoformas, o de aquellas de los suelos de fundación resultantes del relleno artificial. Además, pueden ser vulnerables a fenómenos hidrometeorológicos (anegamientos, inundaciones) en función de variables como por ejemplo la cota del terreno, ya sea la natural o aquella alcanzada según la magnitud del relleno artificial, la cercanía a las riberas fluviales, los obstáculos artificiales al drenaje y el grado de impermeabilización de la superficie por los diferentes usos del suelo en la ciudad.

A la luz de esta realidad, los efectos del sismo del 27 de febrero de 2010, así como los del gran terremoto de mayo de 1960 en Valdivia, constituyen excelentes ejemplos para destacar la importancia de las propiedades de los suelos en el comportamiento de las estructuras para resistir la sollicitación sísmica. Indiscutiblemente, muchos daños se originaron por falla del terreno, pero en muchos casos también se trató de errores en el diseño y/o en la calidad de la construcción. Al analizar la actual ocupación del suelo en Valdivia resalta el hecho que en zonas que experimentaron la mayor destrucción para el sismo

de 1960 y en algunas de las actuales áreas de expansión de la ciudad con tipos de suelo similares a los de las anteriores, se ha levantado un gran número de infraestructura residencial, industrial, comercial y de servicios.

Actualmente puede apreciarse en la ciudad de Valdivia una diversidad de situaciones de ocupación de los antiguos lechos de los ríos (paleocauces) y depresiones que formaban pantanos, lagunas y vegas, ahora parcialmente rellenados e incluso directamente ocupados por edificaciones que han asentado sus cimientos en estos espacios deprimidos, receptores de aguas lluvias y de aguas subsuperficiales.

Por todo lo anterior resulta fundamental que en la planificación de su uso potencial se tenga en consideración la alta vulnerabilidad de ese tipo de terrenos frente a las amenazas naturales, en especial las de tipo sísmico e hidrometeorológico. Esto implica, además, un adecuado diseño arquitectónico e ingenieril de la infraestructura que allí se levante y un irrestricto respeto a éste en todas las etapas de la construcción.

Al respecto, para su utilización como suelos de fundación, Arenas *et al.*, (2004) recomiendan que en aquellos de relleno artificial con muy mala aptitud para la construcción, los edificios sean de máximo dos pisos con fundación somera (losa rígida de hormigón). En aquellos suelos de aptitud mala a regular y para edificios ligeros, la fundación puede ser somera con losa de hormigón rígida, mientras que para los edificios pesados se requiere imprescindiblemente de una fundación profunda (pilotes) hasta encontrar capas potentes de arenas. En caso de tener que rellenar grandes superficies, según estos mismos autores se deben elaborar terraplenes contruidos en varias capas de máximo 1 metro de espesor aplicando algún método de sobrecarga temporal para aumentar la compactación. En el caso de rellenar áreas reducidas, debiera realizarse una excavación y un reemplazo de los suelos compresibles por grava. La colocación de una lámina de geotextiles con una capa de ripio es importante para permitir el drenaje lateral y la excavación de pozos rellenos con grava cada 20 metros para el drenaje vertical.

BIBLIOGRAFÍA

- ALMONACID, F. (1998): *Valdivia, 1870-1935, imágenes e historias*. Ed. Facultad de Filosofía y Humanidades, Universidad Austral de Chile. 2ª edición. Valdivia, 111 p.
- ARENAS, M., BEHLAU, J. y HANISCH, J. (2004): "Características geotécnicas básicas y respuesta sísmica". En: *Geología para planificación territorial del área de Valdivia*. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Ambiental, 6 mapas escala 1:100.000 y un mapa escala 1:25.000. Santiago.
- BARRIENTOS, S. (2010): "Terremoto (M=8.8) del 27 de febrero de 2010 en Chile", en *Rev. Asoc. Geol. Argent.*, vol.67 (3), pp. 412-420.
- BAROZZI, R. y LEMKE, R. (1966): "El suelo de fundación de la ciudad de Valdivia". En: Estudios Geotécnicos N° 1. Instituto de Investigaciones Geológicas. Santiago. Chile. 1 mapa. 1 p.
- DIARIO EL AUSTRAL:
- (2010 a): "Municipio realizó balance de daños en la capital regional a días de la tragedia" en *Diario El Austral, región de Los Ríos*. Edición 5 de marzo de 2010. http://www.australvaldivia.cl/prontus4_not/site/artic/20100305/pags/20100305153130.html. Con acceso el 12 de abril de 2013.
 - (2010 b): "Daños por más de 80 millones de pesos dejó el terremoto en Valdivia" en *Diario El Austral, región de Los Ríos*. Edición del 22 de marzo de 2010. http://www.australvaldivia.cl/prontus4_not/site/artic/20100322/pags/20100322000609.html. Con acceso el 12 de abril de 2013.
- DOP, (2011): "Ministra Von Baer encabezó inauguración de nuevo tramo de la Costanera" en *Noticias Dirección de Obras Portuarias (DOP)*. 23 de febrero 2011. <http://www.dop.cl/noticias/Paginas/DetalledeNoticias.aspx?item=96>. Con acceso el 12 de abril de 2013.
- DUKE, C. M y LEEDS, D.J. (1963): "Response of soils, foundations, and earth structures to the chilean earthquakes of 1960", en *Bulletin of the Seismological Society of America*, 53 (2), pp. 309-357.

- DOYEL, W., MORAGA, A. y FALCÓN, E. (1963): "Relation between the geology of Valdivia, Chile and the damage produced by the earthquake of 22 May 1960", en *Bulletin of the Seismological Society of America*, 53 (6), pp. 1313-1345.
- GONZÁLEZ DE VALLEJO, L.; FERRER, M.; ORTUÑO, L. y OTEO, C. (2004): *Ingeniería Geológica*. Pearson/Prentice Hall, Madrid. 715 p.
- GOLL, F. (1904): "Die Erdbeben Chiles. Die Erdbeben und Vulkanausbrüche in Chile bis zum Ende des Jahres 1879 nebst einigen allgemeinen Bemerkungen zu diesen Erdbeben", en *Münchener Geographische Studien*, N° 14, 137 p.
- GORE (2012): "Realizan balance de los efectos del sismo en la región de Los Ríos". <http://www.goredelosrios.cl/noticias/realizan-balance-de-los-efectos-del-sismo-en-la-region-de-los-rios.html>. Con acceso el 12 de abril de 2013.
- GREVE, F. (1964): *Historia de la sismología en Chile*. Universidad de Chile. Instituto de Geofísica y Sismología. Publicación N° 40. Santiago. 94 p.
- GUARDA, G. (2001): *Nueva Historia de Valdivia*. Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago. 862 p.
- HANKS T. C. & KANAMORI, H. (1979): "A moment magnitude scale". *Journal of Geophysical Research* 84 (B5), pp. 2348-2350.
- LOMNITZ, C.:
- (1970): "Major earthquakes and tsunamis in Chile during the period 1535 to 1955", en *Geologische Rundschau*, Vol. 70, N° 59, pp. 938-960.
 - (2004): "Major earthquakes of Chile: A historical survey 1535-1960", en: *Seismological Research Letters*, 75 (3), pp. 68-378.
- ROJAS, C.:
- (2000): "Los Riesgos Naturales en la ciudad de Valdivia, Chile. Importancia de los factores físicos en la evaluación de la Vulnerabilidad". En *Seminario Taller Internacional La ciudad Intermedia sustentable*. 20-22 septiembre 2000. Universidad Nacional de Piura. Piura, Perú, 23 p.
 - (2002): "Zonificación y evaluación de áreas de amenaza de inundación en la ciudad de Valdivia". *Tesis para optar al grado de Magister en Ciencias mención en Recursos Hídricos. Escuela de Graduados. Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile*. 246 p.
 - (2003): "Geomorfología del sitio de la ciudad de Valdivia", en *XXIV Congreso Nacional y IX Internacional de Geografía*. 10-14 de noviembre de 2003. Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso.
 - (2005a): "El rol de los paleocauces y humedales en la evaluación de las amenazas naturales en la ciudad de Valdivia", en: *Revista Geográfica de Valparaíso*, N° 35, pp. 243-251.
 - (2005b): "Geomorfología aplicada a amenazas naturales en la ciudad de Valdivia, Chile". En: María Celia García (compiladora). *Ciudades Intermedias. Problemas de su estructura y funciones. Conflictos ambientales y sociales en los años 2000*. Centro de Investigaciones Geográficas UNICEN. Tandil Argentina.
 - (2010): *Valdivia 1960. Entre aguas y escombros*. Ediciones Universidad Austral de Chile. Valdivia. 165 p.
- ROJAS, C. y MARDONES, M. (2003): "Las inundaciones en la ciudad de Valdivia: eventos históricos 1899-2002", en *Revista Geográfica de Valparaíso*, N° 34, pp. 227-242.
- RUBILAR, H., JESSEL, B., ROJAS, C. y RAMÍREZ, C. (2007): "Reconstruction of paleoenvironment to understand involved processes on landscape development; an important tool for long term research and management at the Valdivian urban wetlands (Chile)". *International Association for Landscape Ecology (IALE) World Congress*, 8-12 July 2007. Wageningen, The Netherlands. Book of Abstracts Part I, p. 531.2007

- SAINT-AMAND, P. (1961): *Los Terremotos de Mayo, Chile 1960. An eyewitness account of the greatest natural catastrophe in recent history*. Michelson Laboratories Technical Article 14 U.S. Naval Ordnance Test Station, China Lake, California. 39 p.
- SERNAGEOMIN (2010): *Efectos geológicos del sismo del 27 de Febrero 2010: evaluación preliminar y Propuesta de actividades futuras*. (INF-NAC-01). 16 p. Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN). http://www.sismo24.cl/500sismos/00imgsisomos/600pdf/300infoSernag_2010.pdf. Con acceso el 18 de abril de 2013.
- SUBIABRE, A., VARELA, C., ROJAS, C. y KUNZE, T. (1986): "Sectoros de riesgo por movimientos sísmicos en la ciudad de Valdivia". *Resúmenes de Ponencias. VIII Congreso Nacional de Geografía*. Valdivia. pp. 205-211.
- TAULIS, E. (1938): "Terremotos y grandes temblores habidos en Chile" en *Revista Chilena de Historia Natural*, pp. 302-312.
- URRUTIA, R. y LANZA, C. (1993): *Catástrofes en Chile, 1541-1992*. Editorial La Noria, Santiago. 440 p.
- WATANABE, T. y KARZULOVIC, J. (1960): "Los movimientos sísmicos del mes de mayo de 1960 en Chile", en *Anales de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile*, N° 17, pp. 23-64.
- WEISCHET, W. (1960): Contribución al estudio de las transformaciones geográficas de la parte septentrional del sur de Chile por efecto del sismo del 22 de mayo de 1960", en *Anales de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile*, N° 17, pp. 95-128.

LA CARACTERIZACIÓN DEL PAISAJE DE MENORCA A TRAVÉS DE LA TOPONIMIA

Antoni Ordinas Garau y Jaume Binimelis Sebastián

Departamento de Ciencias de la Tierra
Universitat de les Illes Balears

“De tal modo las palabras llevan la esencia humana de las cosas, que las que son nombres propios, los geográficos, los toponímicos, llevan un paisaje, y a las veces basta sólo con oír la palabra para adivinar lo que pueda ser la tierra que recibió aquel nombre”.

Miguel de Unamuno y Lugo
(*El poder de la palabra*, 1931)

RESUMEN

La toponimia constituye un excelente indicador del paisaje y el espacio geográfico. A través del análisis tanto cualitativo como cuantitativo de los topónimos que identifican y frecuentemente describen el territorio, se puede obtener un profundo conocimiento de su geografía, a menudo ampliada con numerosas referencias a su evolución histórica. Los nombres geográficos de Menorca nos han permitido detectar los elementos geográficos más representativos del paisaje de la isla confirmando los principios de transparencia y de significación territorial formulados por algunos geógrafos pioneros en abordar el vasto y fructífero campo que comparten la toponimia y la ciencia geográfica.

Palabras clave: Toponimia, geografía, paisaje, significación territorial, Menorca.

ABSTRACT

Minorca island landscape characterization through toponymy

Toponymy is an excellent indicator of the landscape and geographical space. A deep understanding of its geography can be achieved through the qualitative and quantitative analysis of toponyms which identify and frequently describe the territory, often increased with large references to its historical evolution. The geographical names of Minorca have allowed us to detect the most representative geographic components of the landscape of the island, proving the principles of transparency and territorial significance formulated by some geographers who were pioneers to deal with the huge and productive field shared by toponymy and geographical science.

Key words: Toponymy, geography, landscape, territorial significance, Minorca.

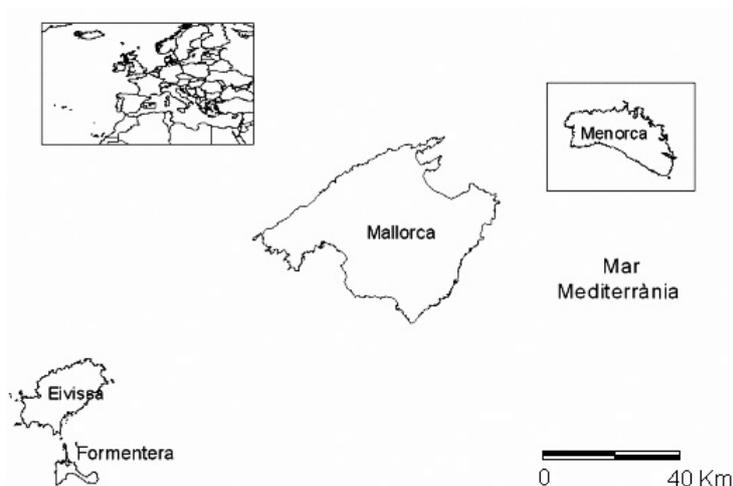
1. MENORCA, TERRITORIO INSULAR MEDITERRÁNEO

En la isla de Menorca, segunda en extensión (701,8 km²) de las Baleares, con el 14% de la superficie total, el impacto humano sobre el medio natural ha sido menor que en el resto del archipiélago y de muchos otros territorios insulares del Mediterráneo. Su configuración geológica ha determinado la división de la isla en dos regiones naturales: la Tramuntana y el Migjorn. En la primera, que se extiende sobre la mitad septentrional, predomina un relieve ondulado sobre afloramientos de materiales silíceos del paleozoico, impermeables, y otros calcáreos del secundario, donde predomina una vegetación de encinares y matorrales de brezo. La segunda, que ocupa la restante mitad meridional, se caracteriza por la presencia

Contacto: Antoni Ordinas Garau: antoni.ordinas@uib.es; Jaume Binimelis Sebastián: jaume.binimelis@uib.es

de pinares, acebuchales y vegetación arbustiva que se extienden sobre un sustrato calcarenítico arrecifal del mioceno superior extremadamente permeable. Sin embargo, la actividad agraria y, especialmente la ganadera, se halla presente, indistintamente, en ambas regiones en las que se ha alterado la vegetación y el medio natural dando lugar a un paisaje donde los cercados, delimitados por muros levantados mediante la técnica de la piedra en seco y dedicados a herbáceos (pastos, forrajes y cereales), constituyen el principal elemento del paisaje rural menorquín. No en balde, Menorca es el territorio balear donde el sector primario conserva mayor protagonismo, aunque tampoco haya quedado al margen del proceso de terciarización y especialización turística desarrollado durante las últimas décadas y que se ha traducido en una progresiva urbanización de algunos sectores del litoral, aunque el grado de intensidad de este proceso haya resultado menor que el del resto de las islas mayores del archipiélago. Tales rasgos han favorecido la pervivencia de la toponimia tradicional y una menor presencia de la neotonimia surgida de la expansión turística (Picornell, 1982) como reflejo, una vez más, de la realidad geográfica descrita a través de sus correspondientes nombres geográficos.

Figura 1. Situación geográfica de Menorca.



2. LA TOPONIMIA, FUENTE PARA EL ANÁLISIS DEL PAISAJE Y DEL ESPACIO GEOGRÁFICO

A pesar de la innegable interdisciplinariedad que atañe al estudio de la toponimia, la propia etimología del vocablo (del griego τόπος 'topos', lugar, y ὄνομα 'onoma', nombre) ya denota la importancia de la localización geográfica como uno de los componentes básicos que intrínsecamente conforman los topónimos. De manera que abordando sólo el estudio del nombre y descontextualizándolo del lugar que designa, frecuentemente resulta problemático obtener información de forma completa y mínimamente garantizada. Prueba de ello son los errores cometidos en muchas etimologías propuestas y que pudieran haberse evitado con una simple visita al lugar referido, por lo que se puede afirmar, desde la perspectiva geográfica y en un ejercicio lúdico de las palabras, que la toponimia sin "topo" es "nimia".

A la evidente función identificadora de los topónimos cabe añadir una función descriptiva y, por tanto, de carácter muy geográfico al entroncar con la etimología misma de la geografía, descripción de la Tierra. De hecho, la descripción, método imprescindible para la formación del conocimiento geográfico, aparece en la mayoría de los topónimos, aunque no todos ellos presenten el mismo grado descriptivo, lo que ha permitido distinguir entre topónimos plenamente descriptivos y otros que sólo lo son indirecta o parcialmente, obviando los que carecen de dicha cualidad (Tort, 2000). La extracción e interpretación de la información que transmiten los dos primeros grupos es la que permite al geógrafo obtener abundante y valioso material sobre la configuración de un determinado territorio y de la caracterización del paisaje.

Aunque el interés y estudio de los topónimos (también conocidos como nombres de lugar o, más significativamente aún, nombres propios geográficos) pueda remontarse a épocas más o menos lejanas, su

estudio desde el ámbito científico de la geografía se ha ido desarrollando en tiempos mucho más recientes y especialmente si se circunscribe en el entorno de la geografía española. No obstante, el carácter plural e interdisciplinario de la toponimia en el que la geografía juega un importante papel ya fue descrito más de medio siglo atrás por el inglés Darby (1957) y el canadiense Poirier (1965). Antes y después han sido muchos los autores que han defendido explícitamente el valor geográfico de la toponimia, como Paul Vidal de la Blache, Carl Sauer o Pau Vila, y que han reiterado, desde diversas disciplinas, la privilegiada relación entre toponimia y geografía, destacando especialmente la obra del geógrafo canadiense Henri Dorion, de referencia ineludible a nivel internacional por sus trabajos de toponimia aplicada a la geografía y en donde se fundamentan algunos de los principios teóricos (Dorion, Poirier; 1975). Tampoco resultan ajenas las apreciaciones de algunos geógrafos, entre los que destaca Carl O. Sauer, padre de la geografía cultural, para quien el vocabulario geográfico local y la toponimia constituyen un sustrato de saber que, entre otras, evidencia la estrecha relación entre la terminología geográfica y la toponimia (Sauer, 1956). El propio Vidal de la Blache (1888-1889) ya se refería a los topónimos como “fuentes vivas de la geografía” y señalaba la profunda imbricación entre el país y los nombres del país, una imbricación que, como señala Tort (2012), es equivalente, a distinta escala, a la que se da entre los lugares y sus nombres o topónimos.

En nuestro país, a pesar de un interés más tardío de los geógrafos por la toponimia, éste ha ido creciendo a lo largo de los últimos años con la incorporación de nuevos geógrafos y la multiplicación de trabajos realizados, destacando las aportaciones metodológicas y epistemológicas del geógrafo J. Tort (2003), relativas a la toponimia como fuente descriptiva y explicativa del territorio y de sus paisajes; así como la abundante y variada producción del profesor Rosselló (2004). A pesar de nuestra ya larga trayectoria de recolección y estudio toponímicos que se remonta a la década de los 80 y que cuenta con una primera aproximación a la terminología relativa a la toponimia y el paisaje de Menorca publicada una década más tarde (Ordinas, 1993), los principios teóricos de transparencia, excepcionalidad y significatividad territorial enunciados por Tort (2001) y que suponen una de las principales aportaciones para la interpretación y análisis del paisaje a través de la toponimia, se convierten en el presente trabajo en guía y referencia para su aplicación al binomio paisaje-toponimia de la isla de Menorca.

Para llevar a cabo nuestro objetivo y a pesar de existir alguna recolección toponímica relevante, como la realizada por el pionero Mascaró (1946-1951) en el que se convertiría en el primer mapa toponímico de la isla, así como algunos trabajos destacados en dicha temática además de los del propio Mascaró, hemos trabajado a partir del mayor corpus toponímico hasta ahora obtenido de la isla de Menorca y en cuya recolección participamos personalmente. Se trata de la toponimia obtenida para vestir el *Mapa Topográfico Balear* a escala 1:5.000 cuyo trabajo de campo se desarrolló a lo largo de una campaña en 1990 y con el que se consiguieron reunir 6.715 topónimos, cifra de la que se deriva una densidad de 9,5 topónimos/km² como fruto de las doscientas entrevistas efectuadas sobre el terreno a otros tantos informadores, seleccionados por su especial conocimiento de una determinada área del territorio sobre la que fueron interpelados.

3. PRECEDENTES EN EL ESTUDIO GEOGRÁFICO DE LA TOPONIMIA DE MENORCA

Al margen de un importante número de publicaciones relativas a la toponimia de Menorca (Ordinas, 1994) bajo diversos enfoques (cartográfico, lingüístico, histórico...), nos interesa particularmente centrarnos en aquellas que han tratado la toponimia menorquina desde un interés más específicamente geográfico. En este sentido, después de una primera aproximación de carácter general (Ordinas, 1991), abordamos la estrecha relación entre la toponimia y la terminología geográfica, especialmente la referida al medio físico (Ordinas, 1992) y más concretamente la orográfica (Ordinas, 2004), del mismo modo que otros autores como Rosselló (2001) y Grimalt, *et al.*, (2009) hicieron lo propio centrándose en la vegetación. De hecho, el aprovechamiento de la toponimia como instrumento de análisis geográfico ha experimentado un notable desarrollo a lo largo de las últimas décadas en Baleares, focalizado en buena parte por la actividad de algunos miembros del departamento de Geografía de la Universidad y destacando específicamente en la interpretación del paisaje vegetal a través de la fitotoponimia que lo ha convertido en un campo de estudio prolífico tanto a nivel global (Caldentey, *et al.*, 2006b), (Grimalt, *et al.*, 2006), como por el análisis de la distribución vitícola (Caldentey, *et al.*, 2006a), o de maquias (Ordinas, *et al.*, 2007).

4. CLASIFICACIÓN Y DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LA TOPONIMIA DE MENORCA

La rotulación cartográfica de la toponimia exige su codificación y para ello cada uno de los topónimos debe ser clasificado atendiendo a diversos parámetros entre los que destacan el de su magnitud (extensión, longitud, altura...) y el de su identificación o realidad geográfica que no siempre se corresponde con la que su nombre (el topónimo) indica y prestándose, en tales casos, a una claro equívoco. Así pues, la propuesta de codificación del *Institut Cartogràfic de Catalunya* (ICC), organismo encargado del levantamiento del mapa, es la utilizada para nuestro estudio y a través de la que podemos conocer, mediante un análisis cuantitativo de la distribución temática de los topónimos que nos ofrece su clasificación, las principales características geográficas del conjunto de la toponimia menorquina.

Una primera aproximación a la configuración de la realidad geográfica a través de los nombres que la identifican y siguiendo una dicotomía de gran tradición en nuestra ciencia, nos permite distinguir dos grandes bloques: el poblamiento y el medio físico. Una simple ojeada sobre las cifras que expresan su contabilidad ya permite extraer, como rasgo fundamental, el predominio de la toponimia relativa al medio físico (67,5%) frente a la del poblamiento (32,4%). Este dato resulta ser bastante significativo y más aún si lo comparamos con la media del archipiélago balear donde la diferencia entre ambos porcentajes se reduce con un 56% y un 43%, respectivamente. No obstante, en la tabla 1 se puede observar con mayor detalle el balance general de la contabilidad toponímica de Menorca.

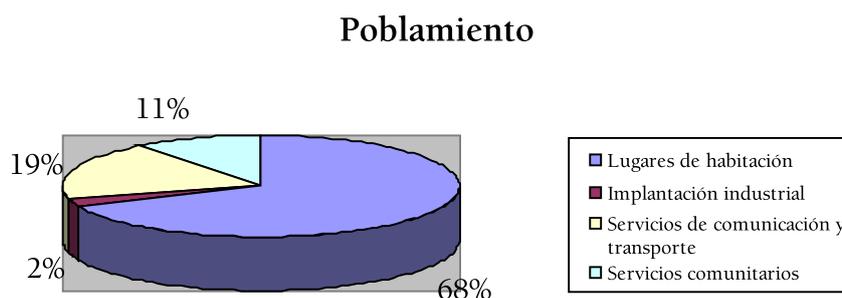
Tabla 1. Recuento de la toponimia de Menorca.

| Topónimos relativos a: | Nº |
|---|--------------|
| POBLAMIENTO: LUGARES DE HABITACIÓN PERMANENTE | 1.442 |
| POBLAMIENTO: IMPLANTACIÓN INDUSTRIAL | 42 |
| POBLAMIENTO: SERVICIOS DE COMUNICACIÓN Y TRANSPORTE | 392 |
| POBLAMIENTO: SERVICIOS COMUNITARIOS | 223 |
| TOTAL POBLAMIENTO | 2.099 |
| MEDIO FÍSICO: OROGRAFIA TERRESTRE Y MARÍTIMA | 3.857 |
| MEDIO FÍSICO: HIDROGRAFIA | 521 |
| TOTAL MEDIO FÍSICO | 4.378 |
| SIN CODIFICAR | 238 |
| TOTAL | 6.715 |

4.1. La toponimia relativa al poblamiento

La toponimia relativa al poblamiento se halla subdividida en cuatro grandes grupos relativos a lugares de habitación, implantación industrial, servicios de comunicación y transporte, y servicios comunitarios. Entre ellos, destaca el grupo referido a los lugares de habitación permanente al reunir más del 68% de la toponimia humanizada, lo que contrasta con el grupo de los topónimos indicadores de la implantación industrial, situados en el extremo opuesto por su escasa presencia.

Figura 2. Toponimia relativa al poblamiento.



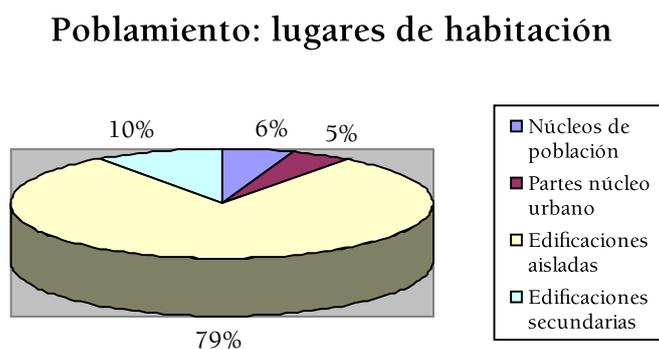
4.1.1. Lugares de habitación permanente

Constituyen el grupo mayoritario entre los topónimos indicadores del poblamiento y se dividen en tres subgrupos: topónimos relativos a núcleos de población, partes de un núcleo urbano y edificaciones aisladas. Forman parte del primero ciudades, pueblos, villas, aldeas y urbanizaciones que, en conjunto, sólo suponen el 5,6% de los lugares de habitación permanente, porcentaje que refleja fielmente el menor impacto urbanizador y depredador del territorio del que goza la isla de Menorca en comparación al resto del archipiélago.

En el subgrupo relativo a las partes de un núcleo urbano se incluyen los barrios, avenidas, paseos y plazas más importantes. Con sólo un 4,5% se convierten en el menor de los subgrupos definidos, aunque su escasa significación se debe en buena parte a que la recolección toponímica de carácter urbano ha sido muy selectiva y reducida.

En cambio, las edificaciones aisladas, es decir, aquellas situadas fuera de núcleo urbano, constituyen el grupo mayoritario con un 89,8% de los topónimos correspondientes a los lugares de habitación, a la vez que suponen el 61,7% del total de los topónimos relativos al poblamiento en general. Se subdividen, a su vez, en dos grupos: edificaciones aisladas propiamente dichas (casa de *lloc*, *estància*, casa aislada, molino...), abrumadoramente mayoritarias con un 89,2% de su subgrupo, y edificaciones aisladas habitadas o no temporalmente (barraca, cabaña, cobertizo...) que tan sólo suponen el 10,7% restante, con lo que queda patente su desigual presencia. No obstante, la escasa representación toponímica de las edificaciones de segundo orden no refleja en justa medida su presencia real, pues su ínfima categoría junto al estado ruinoso en que se encuentran muchas de ellas es la causa de que cierto número no hayan sido recogidas y registradas toponímicamente. Aún así, debemos señalar que la toponimia relativa a la población en diseminado de Menorca es menor que la registrada en Mallorca e Ibiza. Ello se debe a que en el caso de Menorca la población en diseminado queda limitada prácticamente a los *llocs*¹ que, aún siendo relativamente numerosos, presentan todavía una baja densidad relativa. Contrasta, por tanto, la media y gran propiedad menorquina, poco fragmentada, con el caso de la mayor de las Pitiusas, donde se produce el extremo opuesto: pequeñas propiedades, producto de una tradicional y repetida fragmentación como consecuencia del legado de generaciones, donde se levanta una vivienda unifamiliar permanente dando lugar a su característico poblamiento intensamente diseminado.

Figura 3. Toponimia relativa a lugares de habitación.



4.1.2. Implantación industrial

También como fiel reflejo de la realidad menorquina, la representación toponímica relativa a la implantación industrial resulta muy escasa, con apenas un 2% de los topónimos correspondientes al poblamiento. Aunque la clasificación toponímica contempla la posibilidad de un amplio abanico de especialización industrial (centros productores de energía, industrias agroalimentarias, de la construcción, de la electricidad y la electrónica, de la madera y el corcho, del metal, del papel, de reciclaje, extractivas,

¹ *Lloc* es el nombre genérico que en Menorca identifica la masía, alquería o finca rústica extensa (unidad de explotación agraria) que alberga una casa aislada donde residen los payeses que la cultivan en régimen de aparcería.

mecánicas, químicas, textiles, locales industriales abandonados, polígonos industriales, almacenes o depósitos, etc.) que demuestra su utilidad en otras regiones, resulta superfluo en el territorio isleño. A pesar de ello, también debemos señalar que gran parte de la toponimia relativa a la industria moderna resulta ser una neotoponimia de carácter comercial, alusiva a las marcas y frecuentemente sometida a unas condiciones de eventualidad que impiden su arraigo toponímico, características que la convierten en poco idónea para su implantación en la cartografía oficial que pretende ser objetiva y duradera y que no puede ni debe arriesgarse a reflejar este tipo de neotopónimos publicitarios o pseudopublicitarios. En definitiva, lo más relevante resulta ser el escaso peso de la toponimia relativa a la actividad industrial, una tendencia también extendida en el resto del archipiélago.

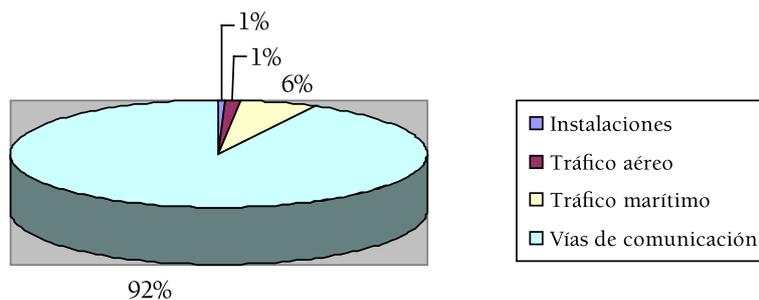
4.1.3. Servicios de comunicación y transporte

El 18,6% de los topónimos relativos al poblamiento pertenecen a este grupo, aunque el 92% de ellos corresponde a vías de comunicación (carreteras -comarcales y locales-, caminos -públicos y privados-, puentes, túneles...), en las que caminos y carreteras resultan mayoritarios. Aunque teóricamente también se incluyen aquellos topónimos relativos a las instalaciones para los medios de transporte en general (aparcamientos, aduanas, estaciones, terminales, apeaderos...) así como los servicios para el tráfico aéreo (aeropuertos, aeródromos, helipuertos, pistas, torres de control, faros aéreos...), su representación toponímica resulta irrelevante, con un 1,5% en su conjunto. Algo más notoria, con un 6,3%, resulta la representación formada por los topónimos relacionados con el tráfico marítimo (dársenas, faros, muelles, puertos...), mientras que son inexistentes tanto los relativos al transporte por ferrocarril, de los que Menorca carece y ha carecido históricamente, como los referidos a sistemas de transporte (gaseoductos, acueductos, líneas de alta tensión, torres de comunicaciones...).

Respecto a las vías de comunicación, puede llamarnos la atención la mayor representación toponímica de los caminos frente a las carreteras. La explicación reside -en además de la lógica mayor extensión de la red viaria secundaria que constituyen los primeros-, en que las carreteras han sido recogidas a través de su nomenclatura oficial, parcialmente numérica y frecuentemente desconocida por la población a la vez que totalmente alejada del concepto de toponimia popular, con el agravante, además, de aparecer multiplicada al repetirse en cada una de las hojas del mapa en las que aparece un tramo de la carretera en cuestión, por lo que dichas denominaciones oficiales no fueron introducidas en el corpus toponímico sobre el que trabajamos, limitándonos a la escasa toponimia popular que las identificaba. En cambio y paralelamente, la ausencia de una nomenclatura oficial, y de carácter numérico, relativa a los caminos, es la causa de la desigual representación toponímica de ambas tipologías viarias. Tampoco está de más recordar aquí las considerables dificultades que conlleva la toponimia viaria y que asimismo nos recuerdan las que experimenta la red hidrográfica, en el sentido que un mismo camino puede llegar a tener, por una parte, un topónimo distinto para identificar cada uno de sus tramos, cuyo nombre, a pesar de ser indeterminado, es frecuentemente proporcional a la longitud y/o a las características de su trazado. Por otra parte, un mismo camino, o tramo, puede ser identificado por más de un nombre, cualidad que generalmente guarda relación con la procedencia de los usuarios. Ante esta caótica casuística, resulta difícil objetar a la fría, aunque también precisa, nomenclatura oficial de las carreteras.

Figura 4. Toponimia relativa a servicios de comunicación y transporte.

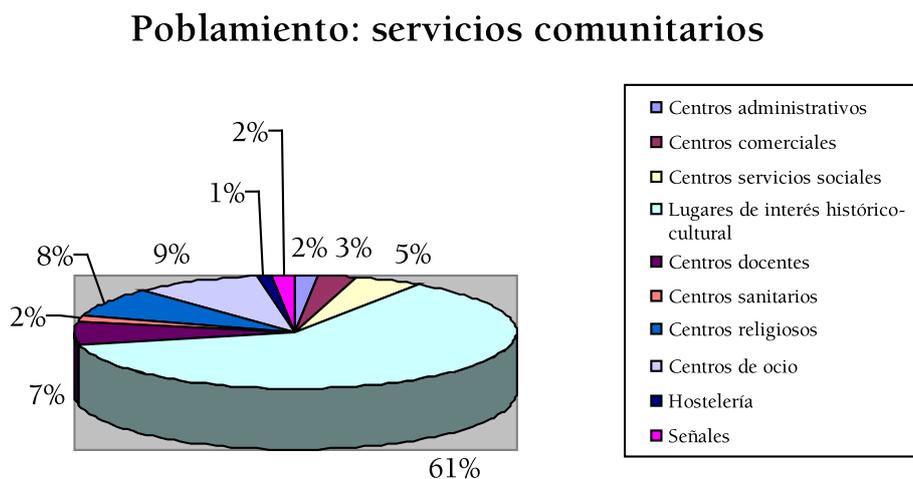
Poblamiento: servicios de comunicación y transporte



4.1.4. Servicios comunitarios

El último grupo de topónimos que hacen referencia al poblamiento supone el 10,6% del total de la toponimia poblacional o humana. Está subdividido en diez apartados de desigual peso: centros administrativos (ayuntamientos, parlamentos, gobiernos civiles, juzgados, consulados...); centros comerciales (áreas de servicios, grandes almacenes, mercados, supermercados, gasolineras, cooperativas...); centros de servicios sociales (asilos, centros cívicos, cementerios, parques de bomberos, cárceles, bibliotecas...); lugares de interés histórico-cultural (castillos, ciudadelas, murallas, museos, necrópolis, poblados prehistóricos, atalayas, torres de defensa, torres de vigilancia, monumentos, acueductos, taulas, navetas, talayots...); centros docentes (academias, escuelas, colegios, escuelas técnicas, guarderías, institutos, parvularios, seminarios, universidades...); centros sanitarios (hospitales, clínicas, dispensarios, maternidades, sanatorios...); centros religiosos (monasterios, ermitas, capillas, oratorios, conventos, santuarios, iglesias, catedrales, basílicas...); centros de ocio (polideportivos, estadios, campos de deportes, piscinas públicas, plazas de toros, clubes náuticos...); hostelería (campings); y centros de investigación y señales (observatorios astronómicos o meteorológicos, y vértices geodésicos, respectivamente). Lo más destacado de la toponimia relativa a los servicios comunitarios de poblamiento es que el 61,9% corresponde a lugares de interés histórico-cultural (y especialmente a talayots, torres de defensa, taulas y navetas). De hecho, Menorca es la isla de mayor presencia y conservación de monumentos prehistóricos, convirtiéndose en uno de sus principales rasgos paisajísticos y territoriales.

Figura 5. Toponimia relativa a servicios comunitarios.



4.2. La toponimia relativa al medio físico

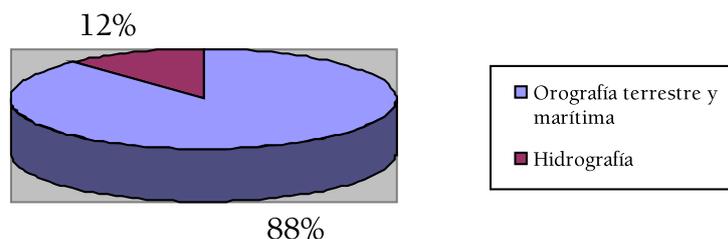
El medio físico, al que van referidos poco más del 67% de los topónimos, se encuentra dividido en dos grandes bloques de desigual representación. Se trata de la orografía terrestre y marítima (88%) y la hidrografía (11,9%). Sin embargo, paradójicamente, de la comparación con el resto de las islas, se constata la relativa pobreza oronímica de Menorca, ya que innumerables colinas, laderas, collados, vaguadas, etc, mayoritariamente no aparecen en la toponimia identificados como tales, sino que con demasiada frecuencia, al formar parte de los terrenos vallados o cercados (*tanques*) omnipresentes y que invaden la práctica totalidad del territorio, los accidentes orográficos pierden el protagonismo, desde el punto de vista toponímico, a favor de la parcela vallada que los encierra. Esta es básicamente la explicación de porqué tanto las prominencias como las depresiones del terreno son raramente registradas en la toponimia, especialmente interior, de Menorca.

Figura 6. Típico paisaje menorquín en el término municipal de Ciutadella, donde la abundancia de piedra ha propiciado el levantamiento de cercados (*tanques*) y barracas (*ponts de bestiar*) para el refugio del ganado, todos ellos levantados con la tradicional técnica de la piedra en seco.



Figura 7. Toponimia relativa al medio físico.

Medio físico



4.2.1. Orografía terrestre y marítima

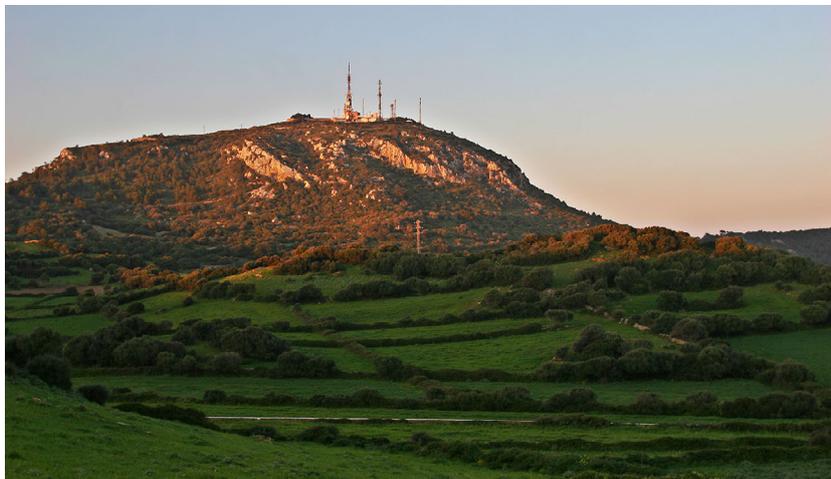
Los orónimos, topónimos referidos a la orografía, se han subclasificado en diez apartados: elevaciones del terreno en general, montañas y/o puntos elevados de una montaña, depresiones de la superficie terrestre, pasos a través de una cresta, acantilados, terrenos llanos, terrenos en pendiente, cavidades naturales, áreas, y relieves litorales marinos. En su conjunto se distinguen, como datos más relevantes, el destacado papel de los topónimos que identifican las áreas (58,7%), seguidos de la toponimia litoral (24,3%).

En cuanto a los topónimos que designan las elevaciones del terreno, es decir, aquellos que identifican macizos, montañas, sierras, cordilleras, colinas, cerros, etc., sólo contabilizan el 2,6% de los oronímicos. Paradójicamente, la isla de Menorca presenta una importante merma en este tipo de topónimos debido frecuentemente, como ya se ha señalado, a su sustitución por el nombre de los cercados en los que se hallan. Las prominencias que culminan en los puntos más elevados de una montaña u otra elevación en general, identificadas mediante genéricos como *agulla*, *cresta*, *bony*, *cap*, *penya*, *puig*, *punta*, *roca*... suman el 2,3%, aunque los más presentes son *punta*, *cap*, *penya* y, sobre todo, *puig*, pues en las islas éste se convierte en el genérico oronímico por antonomasia al designar cualquier elevación de cierta magnitud (Vid. Figura 8).

Por su parte, los genéricos *coll*, *coma*, *comellar*, *clot*, *vall*, *estret*... son los más habituales a la hora de identificar las depresiones del terreno, un escaso 0,7% de la oronimia menorquina. También los nombres relativos a los pasos a través de una cresta (*pas*) obtienen aquí una anecdótica representación, con apenas el 0,1%. Las menores dificultades de acceso que presenta la orografía menorquina muy probablemente expliquen tan escasa representación que contrasta con la que ofrece la isla de Mallorca, en concordancia con la magnitud y extensión de sus áreas montañosas y, especialmente, de la Serra de Tramuntana. La

escasez es también un rasgo característico de la toponimia relativa a la verticalidad del terreno (0,75%) que, en el caso de Menorca, muchas veces localizamos en el litoral en forma de acantilados.

Figura 8. El Toro, en el municipio de es Mercadal. Sus 350 m marcan la máxima cota de la isla de Menorca. En sus estribaciones, el característico paisaje menorquín (*bocage*) utilizado para pastos de la ganadería vacuna.

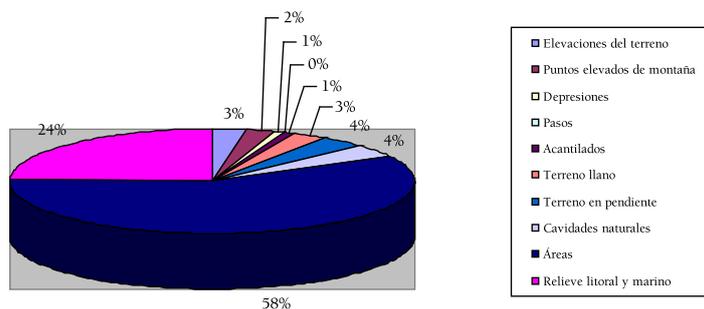


Los nombres geográficos que designan terrenos llanos (*pla, plana...*) y que destacan la horizontalidad de ciertos fragmentos del territorio menorquín apenas llegan al 3% de su grupo y aún así su presencia es superior que en la isla de Ibiza. Por su parte, los topónimos que indican la inclinación del terreno, casi exclusivamente mediante los genéricos *costa* y *coster*, y sobre todo la fuerte presencia de éste último ya detectada en otros trabajos sobre la terminología geográfica de Menorca (Ordinas, 1992), representan el 3,5%, lo que la convierte en la isla donde se obtiene el mayor porcentaje de orónimos que aluden a la pendiente del terreno.

El 3,7% de la toponimia orográfica hace referencia a cavidades naturales: simas (*avenc*), cuevas (*cova*), grutas (*balma*), abrigos (*abric*), agujeros (*forat*), etc. La escasa representación de la mayoría de estas microformas debe ser atribuida a la deficiencia de la recolección toponímica que, por sus características, no prioriza este tipo de microtopónimos, no tan esenciales en la cartografía a la vez que sus reducidas dimensiones facilitan a que pasen más desapercibidos.

Figura 9. Toponimia relativa a la orografía terrestre y marítima.

Medio físico: orografía terrestre y marítima



En el extremo opuesto en cuanto a representación, con un 58,7%, destaca el grupo que identifica a una diversidad de áreas, de connotaciones un tanto imprecisas y con algunos genéricos que no pertenecen propiamente al ámbito de la geografía física. En este caso, el criterio de homogeneidad en la rotulación cartográfica, origen de la clasificación, no se adecua al geográfico como prueba la agrupación de conceptos tan diversos como *partida, peça, sort, camp, tros, bosc, obac, obaga, solà, solana, tanca, pleta, devesa, era, hort, horta, paratge* y *mirador*. La gran abundancia de los terrenos cercados o vallados, denominados *tanca* (plural, *tanques*) en Menorca, es en gran medida culpable de lo elevado del porcentaje.

Por último, bajo la denominación de relieve y litoral marino se agrupan pequeños archipiélagos, islas e islotes, cabos, puntas, istmos, arrecifes, farallones, playas, arenas, dunas, calas, puertos naturales y cualquier otro accidente costero o litoral que, en conjunto, suman el 24,3% de los topónimos orográficos. A pesar de ello, gran parte de la toponimia corresponde a la denominación, indefinida e imprecisa, de costa litoral. El hecho de la insularidad así como sus 285,7 km de costa articulada pueden explicar la importancia porcentual de este grupo toponímico.

4.2.2. Hidrografía

La toponimia relativa a la hidrografía supone el 13,5% del total de los topónimos del medio físico. Se ha dividido en cinco grupos: masas naturales de agua, masas artificiales de agua, cursos naturales de agua, cursos artificiales de agua y obras hidráulicas. Los nombres relativos a las masas de agua suman más de la mitad de los hidrónimos, destacando los correspondientes a las de origen natural (con un 43,5%, porcentaje que casi dobla el homónimo para el conjunto del archipiélago, que es de un 23%) que designan albuferas, humedales, marismas, bahías, calas, lagunas, estanques, estrechos y mares. Con sólo un 9,9% se sitúan las masas artificiales de agua formadas por balsas, cisternas, pozos y depósitos. Su porcentaje es algo inferior al del conjunto de las islas, con un 11,9%.

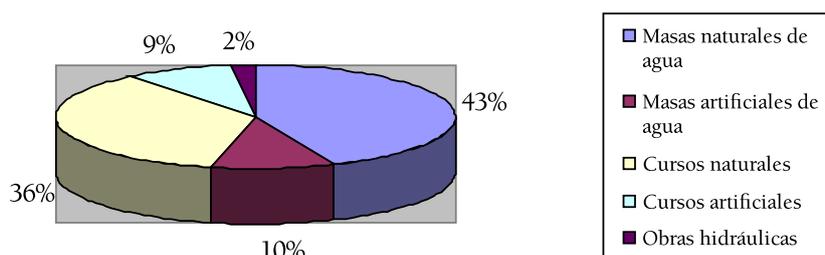
Figura 10. Cala Galdana, una de las más representativas del litoral meridional, en la desembocadura del barranc d'Algendar.



Los topónimos que identifican los cursos de agua naturales conforman el segundo grupo en tamaño (35,5%), aunque alejado de la media de las islas que llega al 57,8%, e incluyen las denominaciones de torrentes, barrancos, rieras, ramblas, saltos y fuentes. Los cursos artificiales están representados por canales y acequias, con un 9% de representación, algo superior a la media insular del 5,8%. Finalmente, la toponimia relativa a obras hidráulicas que en el caso de Menorca se reduce casi íntegramente a norias, supone un 1,9%.

Figura 11. Toponimia relativa a la hidrografía.

Medio físico: hidrografía



5. JERARQUIZACIÓN TOPONÍMICA Y DESCRIPCIÓN DEL PAISAJE MENORQUÍN

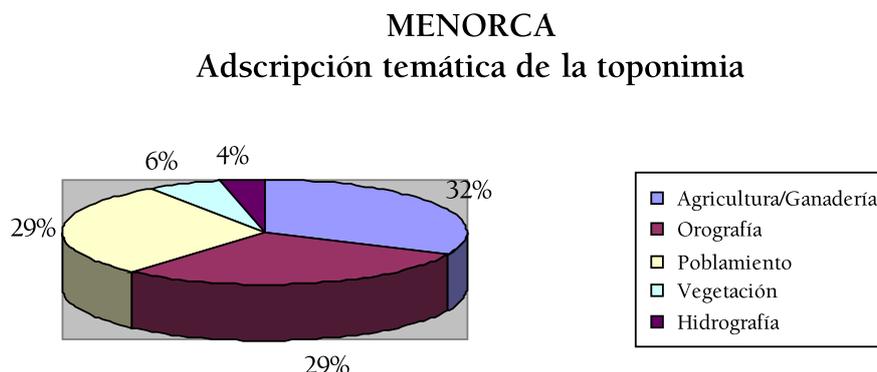
La jerarquización toponímica mediante el número de frecuencias y su porcentaje correspondiente, permite alcanzar un nivel de análisis más detallado. Para ello, hemos seleccionado las categorías toponímicas que presentaban las frecuencias más elevadas de las entradas de la codificación del ICC. En la tabla siguiente quedan reflejadas, ordenadas de mayor a menor, junto con el porcentaje que suponen sobre el conjunto de la toponimia isleña.

Tabla 2. Menorca. Topónimos con mayor número de frecuencias.

| Topónimos | Número de frecuencias | % sobre el total | Adscripción temática |
|--------------------------|-----------------------|------------------|---------------------------|
| Tanca, pleta | 1.647 | 24,5 | Agricultura/Ganadería |
| Casa (aislada) | 1.156 | 17,2 | Poblamiento |
| Punta, costa | 755 | 11,2 | Orografía litoral |
| Bosc, marina, garriga | 309 | 4,6 | Vegetación |
| Camí | 255 | 3,8 | Poblamiento |
| Cala | 209 | 3,1 | Orografía (litoral) |
| Camp, sort | 169 | 2,5 | Agricultura/Ganadería |
| Cova, forat | 145 | 2,1 | Orografía |
| Torrent, barranc | 139 | 2,0 | Hidrografía natural |
| Costa, coster (falda) | 137 | 2,0 | Orografía (interior) |
| Barraca, cabana | 137 | 2,0 | Poblamiento |
| Pla, plana | 115 | 1,7 | Orografía (interior) |
| Puig, penya, roca, bony | 88 | 1,3 | Orografía (interior) |
| Mola, pujol, turó | 82 | 1,2 | Orografía (interior) |
| Hort, horta | 75 | 1,1 | Agricultura/Ganadería |
| Talaiot | 63 | 0,9 | Poblamiento (prehistoria) |
| Urbanització | 55 | 0,8 | Poblamiento |
| Platja | 50 | 0,7 | Orografía (litoral) |
| Illa, illot | 47 | 0,7 | Orografía (litoral) |
| Font | 46 | 0,7 | Hidrografía (natural) |
| Paratge | 43 | 0,6 | Vegetación |
| Escull, faralló | 43 | 0,6 | Orografía (litoral) |
| Canal (comellar) | 40 | 0,6 | Orografía (interior) |
| Pou | 35 | 0,5 | Hidrografía (humana) |
| Poblat, necrópolis | 31 | 0,5 | Poblamiento (prehistoria) |
| Cap | 31 | 0,5 | Orografía (litoral) |
| Era | 23 | 0,3 | Agricultura/Ganadería |
| Talaia, torre de defensa | 20 | 0,3 | Poblamiento |

Asimismo hemos adscrito cada una de las entradas toponímicas de mayor frecuencia a una temática definidora de su realidad geográfica, permitiendo distinguir entre topónimos relacionados con la orografía (precisando incluso si es interior o litoral), la hidrografía (natural o humana), la vegetación, el poblamiento (precisando si es prehistórico) y las actividades agrícolas y/o ganaderas. A partir de una dicotomía básica, se observa cómo las tipologías correspondientes a la toponimia humanizada acumulan un total del 54,4%, frente a las que corresponden a toponimia relativa al medio natural, cuyo porcentaje global es del 33,6%. No obstante, el siguiente gráfico permite jerarquizar cada una de las temáticas antes descritas y que de alguna manera caracterizan el paisaje menorquín. La encabezan los topónimos relacionados con la práctica de la agricultura y/o ganadería que suponen el 32% del conjunto de esta especie de *top ten* -en realidad *top 28*-, de los topónimos con mayores frecuencias; seguidos de cerca por los grupos correspondientes a la orografía y el poblamiento, ambos con un 29%. Algo más lejos quedan los grupos toponímicos relativos a la vegetación (6%) y la hidrografía (4%).

Figura 12. Adscripción temática de la toponimia.



Si pormenorizamos en el detalle del análisis, en el conjunto de topónimos agrarios, la presencia de eras, en correspondencia casi unívoca a la de los *llocs*, nos recuerda la Menorca tradicional y agraria, donde la era constituía una parte fundamental de la infraestructura de las explotaciones.

Respecto a la orografía, se constata un mayor peso de los orónimos litorales (16,8%) frente a los correspondientes al interior insular (6,8%), aunque un 2,1% (*cova*, *forat*) podrían adjudicarse a cualquiera de los anteriores. La importante extensión y articulación del litoral menorquín explican por sí mismas esta distribución, aunque también resulta representativa de la orografía menorquina, la numerosa presencia de laderas y faldas (*costa* y *coster*), que conforman un paisaje en el que predominan los cerros y donde la fuerte presencia de tales términos ya fue señalada en un estudio monográfico sobre la terminología geográfica del paisaje natural menorquín (Ordinas, 1992). Tampoco puede negarse la significatividad territorial que en Menorca tienen los barrancos que surcan la comarca del Migjorn a pesar de su relativo escaso número. En este caso, quizá debería explicarse, no por el principio de la transparencia sino, tal vez, por el de la excepcionalidad, un tipo particular de comportamiento toponímico en el que los nombres de lugar, en contextos determinados, tienden a reflejar primero las características excepcionales del entorno donde se insertan antes que las “típicas” (Tort, 2003).

En el campo del poblamiento destaca la importante presencia de topónimos relativos a talayots, poblados y necrópolis como reflejo del abundante patrimonio arqueológico de la isla. *Talaiot*, *naveta* y *taula* son algunos de los principales genéricos arqueotoponímicos que se detectan en la isla. Entre los fitotopónimos, los casos de *bosc*, *garriga*, pero sobre todo *marina*, tampoco resultan extraños dentro del contexto paisajístico menorquín en cuanto a la vegetación natural. Asimismo, los hidrónimos naturales (2,7%) se imponen claramente sobre los artificiales o humanizados (0,5%).

Figura 13. La Naveta des Tudons, uno de los más emblemáticos monumentos arqueológicos que tanto abundan y caracterizan el paisaje menorquín.



6. LA PERCEPCIÓN DEL PAISAJE A TRAVÉS DE LA TOPONIMIA Y LOS PRINCIPIOS DE TRANSPARENCIA Y SIGNIFICATIVIDAD TERRITORIAL

A través de la toponimia podemos percibir el paisaje al quedar descritos y definidos en ella sus elementos más característicos, tanto pretéritos como actuales, de manera que en el conjunto de los topónimos queda sintetizado el paisaje, actual e histórico. Si, parafraseando a Darby (1957), “el conocimiento del territorio nos da las claves del significado de los nombres”, podemos inferir que, al revés, también a través de los nombres obtendremos el conocimiento del territorio. La abundante información que proporcionan los nombres geográficos, a veces oculta por el paso del tiempo y las transformaciones y deformaciones que acarrea, puede ser analizada y resulta de gran utilidad para la aprehensión del territorio. La toponimia, además, no se limita a reflejar solamente lo habitual, por abundante y repetitivo, característica que refleja el llamado principio de transparencia, sino también lo excepcional, por su rareza y el valor intrínseco que siempre conlleva y que constituye el principio de excepcionalidad.

Así pues, el análisis geográfico del corpus toponímico de Menorca y de los resultados obtenidos a partir de su clasificación y contabilización, evidencian el cumplimiento del principio de transparencia, por el que sus principales y más característicos rasgos del paisaje y del territorio quedan reflejados en la toponimia de forma sistemática, de modo que hay una clara sintonía y correspondencia entre ambos. Por otro lado, también se detectan casos que se acercan a una mayor singularidad, pero que no pierden la significatividad territorial, constituyendo el llamado principio de significatividad territorial, de forma que incluyen aspectos de la geografía de una determinada región que se muestran de alguna manera destacados o relevantes con respecto al resto de aspectos de esta región, aunque, a menudo, esta relevancia no es explícita o tan explícita, ya que no cuenta con un importante apoyo numérico de topónimos, sino que exige un conocimiento y una interpretación por parte del observador del medio geográfico al que se hace referencia (Tort, 2003). El análisis de la toponimia menorquina permite constatar el cumplimiento de los principios de transparencia y de significatividad territorial que los geógrafos que trabajan e investigan la toponimia, ya desde la escuela de Quebec, han formulado y aplicado a diversos territorios del planeta.

Del análisis de los genéricos presentes en los topónimos menorquines y de la su intensidad o frecuencia, podemos descubrir asimismo una clara correspondencia entre ellos y los rasgos fundamentales del espacio en que se sitúan además de la terminología geográfica propia de cada territorio en cuestión (Ordinas, 2001). El bajo nivel de urbanización y rururbanización, -al menos en comparación con el resto de las Baleares-, que presenta el paisaje menorquín queda también patente en la toponimia, donde buena parte de los genéricos más frecuentes corresponden semánticamente a los aspectos físicos del paisaje.

Figura 14. El Barranc d'Algendar es uno de los barrancos que configuran el paisaje del Migjorn de Menorca, marcando la divisoria entre los municipios de Ciutadella y Ferreries.



La presencia dominante de genéricos toponímicos referidos al campo de la geomorfología ya deja entrever el mayor impacto del relieve y de sus accidentes dentro de este contexto insular. Dos factores son los de mayor peso a la hora de explicar esta abrumadora mayoría de los orónimos: la insularidad, origen de un importante número de topónimos, articuladores de los 285,7 kilómetros del litoral, y la intensa accidentalidad del territorio, consecuencia de la acción erosiva sobre dos sistemas bastante diferenciados: la fuerte y alterna presencia de *plans* y *costers* en la mitad norte de la isla coincidiendo con la zona de afloramiento del Devónico, de manera que sólo estos dos genéricos conjuntamente suponen el 84% de los topónimos incluidos en el apartado que excluye las formas positivas y negativas. Y, por otra parte, la significativa presencia de los grandes barrancos que surcan la mitad sur formada por mioceno. Es destacable junto con *barranc*, el apelativo *canal* que aparece fuertemente extendido por toda la isla constituyéndose en el máximo representante de las depresiones alargadas cuando no llegan a la magnitud del barranco.

Otro rasgo diferenciador del paisaje físico que queda igualmente reflejado en la toponimia es la escasa presencia del relieve positivo interior, especialmente a nivel de mesotoponimia, sin genéricos destacados y con sólo una muy discreta representación de *puig*, *pujol* y *serra*. Tal penuria contrasta con la diversidad de las formas litorales. Bastaría con enumerar las condiciones climáticas, la escasez de agua y la presión humana del territorio menorquín para esbozar las razones de la débil representación obtenida por los hidrónimos y fitotopónimos. Al respecto de éstos últimos, una de las peculiaridades de la designación en Menorca de las masas vegetales es la práctica ausencia del genérico *bosc*, que contrasta con la masiva presencia del término *marina* y su forma diminutiva *marineta*, más acorde con los factores edafoclimáticos de la isla y de la siempre cercana influencia marina.

En definitiva, resulta evidente que en la toponimia de Menorca se encuentra una terminología geográfica con suficiente personalidad que si bien presenta, evidentemente, afinidades con las del resto de las islas, no deja por ello de conjugar y de aportar componentes definidores y suficientemente diferenciados del resto del archipiélago. A ello se añade la innegable significatividad territorial del conjunto de su toponimia que al identificar y resaltar exhaustivamente los elementos del territorio, permite asimismo describir su particular paisaje a través de todos y cada uno de los principales rasgos que lo constituyen.

BIBLIOGRAFÍA

CALDENTEY, J. *et al.*:

- (2006a): “El paisatge vitícola actual i històric de Mallorca a través de la toponímia”, en *XVIII Jornada d’Antroponímia i Toponímia (2005)*; pp. 63-70. Universitat de les Illes Balears, Palma.
- (2006b): “La fitotoponímia com a element definidor del paisatge. El cas de Selva”, en *XVIII Jornada d’Antroponímia i Toponímia (2005)*, pp. 109-121. Universitat de les Illes Balears, Palma.

CASASNOVAS MARQUES, L.:

- (1951): “Alrededor de nuestra toponimia”, en *El Iris*. Menorca.
- (1955): “Nomenclatura agrícola en la toponimia menorquina”, en *Miscel·lània Filològica dedicada a Mn. Griera*, nº 1, pp. 159-174.

DARBY, H.C. (1957): “Place names and geography”, en *The Geographical Journal*, nº 123, pp. 387-392.

GRIMALT, M. *et al.*:

- (2006) “El paisatge vegetal de Santa Maria del Camí a través de la fitotoponímia”, en *V Jornades d’estudis locals (2006)*, pp. 319-327. Ajuntament de Santa Maria del Camí, Santa Maria del Camí.
- (2009): “El paisatge vegetal de Menorca a través de la fitotoponímia”, en *Documents d’Anàlisi Geogràfica*, nº 55, pp. 93-115.

MASCARÓ PASARIUS, J.:

- (1946-51): *Mapa General de Menorca*. Imp. M. Sintes Rotger. Maó.
- (1953): *Nomenclator de Menorca. Catálogo de accidentes de la costa. Catálogo de fincas rústicas y breves notas arqueológicas*. Impr. Gabriel Camps. Ciutadella.

- (1973): *Nomenclátor de Menorca II. Catálogo de fincas rústicas*. Imp. Allés. Ciutadella.
- (1976): *Mapa de Menorca*. Gràfiques Miramar. Palma de Mallorca.
- (2005): *Corpus de toponímia de Menorca*. Ed. Hora Nova. Palma.

ORDINAS GARAU, A.:

- (1991): “Menorca a través de la seva toponímia”, en *El Mirall*, nº 47, pp. 19-21.
- (1992): “Oronímia, hidronímia i fitonímia. Una aproximació a la terminologia geogràfica del paisatge natural menorquí”, en *Treballs de Geografia*, nº 44, pp. 145-152.
- (1994): *Actualització del recull bibliogràfic de toponímia i antroponímia de les Illes Balears*. Quaderns de toponímia, onomàstica i cultura popular, nº 2. Ed. Universitat de les Illes Balears. Palma, 119 p.
- (2001): *Geografia i Toponímia a les Illes Balears. La terminologia geogràfica en els noms de lloc*. Ed. Moll. Mallorca.
- (2004): “Els ensenyaments fisiogràfics de la toponímia. Genèrics orogràfics del Migjorn”. En Joan J. Fornós, Antoni Obrador, Vicenç M. Rosselló (eds.) *Història natural del Migjorn de Menorca: el medi físic i l'influx humà*, Monografies de la Societat d'Història Natural de les Balears, nº 11, pp. 315-326.

ORDINAS GARAU, A. et al.:

- (2012): “La toponímia del Mapa topogràfic de Menorca a escala 1:5.000. Una anàlisi geogràfica”, en *Territoris*, nº 8, pp.177-192.
- (2007): “Marines i garrigues a Mallorca, geografia de dos genèrics toponímics”, en *XIX Jornada d'Antroponímia i Toponímia (2006)*, pp. 223-229. Universitat de les Illes Balears, Palma.

ORDINAS, A. y BINIMELIS, J. (2002): “Vindicación de la toponimia como instrumento para el estudio del cambio rural. Rururbanización y neotoponimia en los municipios de Selva e Inca (Mallorca)”, en *Los espacios rurales entre el hoy y el mañana*, pp. 285-293. Universidad de Cantabria, Santander.

PICORNELL, C. (1982): “La nova toponímia de les Illes Balears. Una aportació als topònims sorgits arrel del turisme”, en *Societat d'Onomàstica. Butlletí Interior*, nº X, pp. 86-100.

POIRIER, J. (1965): “Toponymie. Méthode d'enquête”, en *Les Presses de l'Université Labal*. Quebec.

ROSSELLÓ VERGER, V.M.:

- (2001): “Fitotopònims de Menorca”, en *Cuadernos de Geografía*, nº 69-70, pp. 187-194.
- (2004): *Toponímia, geografia i cartografia*. Ed. Universitat de València. València.

SAUER, C.O. (1956): “The Education of a Geographer”, en *Annals of the Association of American Geographers*, nº46, pp. 287-299.

TORT, J.:

- (2000): “La geografia, els noms de lloc i la descripció del territori”; En Mateu, J.F; Casanova, E. (eds.) *Estudis de Toponímia Valenciana*. Ed. Denes. València, pp. 491-497.
- (2000): “Els noms de lloc i la geografia. La toponímia com a eina per a la conceptualització de l'espai”, en *Societat d'Onomàstica. Butlletí Interior*, nº. 83, pp. 86-98.
- (2001): “La toponímia com a camp de coneixement interdisciplinari. Algunes bases teòriques i epistemològiques per a l'estudi dels noms de lloc”, en *Scripta Nova*, nº 86.
- (2002): *La toponímia del Baix Camp. Una interpretació geogràfica*. Ed. Associació d'Estudis Reusencs. Reus.
- (2003): “A propòsit de la relació entre toponímia i geografia: el principi de 'significativitat territorial'”. En Casanova, E.; Valero, L. R. (eds.) *XXIX Col·loqui de la Societat d'Onomàstica*; Ed. Denes. Teulada, pp. 675-688.
- (2012): “Toponímia, paisatge i diferenciació del territori”. En Tort, J. (ed.) *De noms i de llocs. Miscel·lània d'homenatge a Albert Manent i Segimon*; Ed. Societat d'Onomàstica. Sant Adrià de Besòs, pp. 463-472.

VIDAL DE LA BLACHE, P. (1888-1889): “Des divisions fondamentales du sol français”, en *Butlletí Litteraire*, II, pp. 1-7/49-57.

RESEÑAS BIBLIOGRÁFICAS

GÓMEZ ESPÍN, J. M^a. y HERVÁS AVILÉS, R. M^a. (coords.) (2012): *Patrimonio hidráulico y cultura del agua en el Mediterráneo*. Murcia. Fundación Séneca. Regional Campus of Excellence “Campus Mare Nostrum”. Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo, 287 p.

El patrimonio hidráulico y la cultura del agua son unos de los temas de estudio que más se ha investigado en la región mediterránea y en concreto, en el sureste peninsular, dadas las condiciones geográficas como, escasez de precipitaciones, ausencia de aguas superficiales permanentes durante todo el año, etc., que han condicionado que los pueblos que han habitado esta área a lo largo de la historia hayan configurado una sociedad y unos paisajes influenciados por este bien escaso. Para estas sociedades el agua es un elemento de vida que ha caracterizado tanto la ribera mediterránea española como la norteafricana, siendo el mar Mediterráneo un puente de culturas e influencias que han ayudado a propagar diferentes sistemas hidráulicos para poder aprovechar el agua para abastecimiento y regadío. Los estudios sobre estas temáticas se han centrado principalmente en actuaciones con objeto de hacer frente a dos de los problemas asociados a las condiciones climáticas del sureste peninsular como, las sequías e inundaciones. En la actualidad, aunque gran parte del patrimonio hidráulico ha perdido su funcionalidad, tiene un enorme interés desde el punto de vista técnico y patrimonial, pues presenta sistemas de gran relevancia como, por ejemplo, las infraestructuras utilizadas para trasvases de caudales entre diferentes cuencas, donde cobra el agua un protagonismo especial ya que es necesaria para el abastecimiento y desarrollo territorial de dos sectores económicos vitales en el sureste peninsular como son, la actividad turística y la agricultura intensiva.

La monografía titulada *Patrimonio hidráulico y cultura del agua en el Mediterráneo* tiene como objetivo conocer como las diferentes sociedades que han vivido tanto en la ribera española mediterránea como en la del norteafricana han sabido planificar y gestionar el agua a lo largo de la historia. Este libro es resultado del Seminario Internacional celebrado en Murcia la semana del 16 a 18 mayo de 2012 en el marco del “Campus Mare Nostrum” entre expertos de patrimonio hidráulico de varias

universidades de Marruecos y España. Además, también está vinculado a dos proyectos: “La memoria compartida, la gestión del patrimonio común y el turismo cultural entre España y Marruecos. Creación de un laboratorio hispano marroquí para el desarrollo sostenible de recursos patrimoniales” y “El interés geográfico de la Ordenación del Territorio en el Sureste de España, auspiciado por el Trasvase Tajo-Segura”.

El origen, la estructura, los objetivos y los contenidos de esta obra, determinan que en su elaboración participe una gran variedad de profesionales de reconocido prestigio en áreas relacionadas con el patrimonio hidráulico y la cultura del agua como, por ejemplo, en Educación (Hervás Avilés), Pedagogía (Tudela Romero), Ciencias Jurídicas, Económicas y Sociales (El Faiz), Geografía (Gómez Espín, Pérez Morales, Hermosilla Pla, Iranzo García, Boujrouf, Canales Martínez, entre otros), Historia (Ramallo Asensio, Ros-Sala, Jiménez Castillo, Navarro Palazón y Rabitadine) o Didáctica de las Ciencias Sociales (Martínez Medina). La labor de coordinación tan necesaria en una obra de esta estructura, refleja, también el carácter multidisciplinar de los estudios relacionados con el recurso agua ya que ha sido realizada por un geógrafo (Gómez Espín) y por una profesora en Métodos de Investigación y Diagnóstico en Educación (Hervás Avilés).

Su estructura responde a una obra de divulgación. El libro de articula en 15 capítulos (tanto en castellano como en francés) donde los investigadores explican los métodos, técnicas, sistemas y elementos más característicos del patrimonio hidráulico que han sido utilizados tanto en el sureste peninsular español como en el norte de África. El primer capítulo titulado “El agua como patrimonio: educación y museos del agua”, trata sobre la defensa y reivindicación del recurso agua como patrimonio mundial y derecho humano fundamental, donde se parte de la base, de que la educación

es un potente instrumento de sensibilización y los museos como recurso para su difusión. En el segundo, “Factores de localización del patrimonio asociado al agua en el territorio de la Región de Murcia”, se analiza el agua como un recurso único y valioso por su escasez y dependencia en esta región. También se ponen de manifiesto los diferentes factores de localización del patrimonio ligado al agua, su tipología y particular estado de conservación, al igual que sus valores culturales, ambientales, paisajísticos y socioeconómicos. El tercero denominado “Cultura de la acequia y de los artilugios elevadores de agua. Tramo del Segura desde el Azud de Ojós a la Contraparada”, trata sobre la extracción del recurso agua del río Segura a partir de diversos sistemas hidráulicos históricos (azudes, acequias, artilugios elevadores, etc.), para su posterior utilización para el riego. Además hace mención a que este patrimonio ha formado un paisaje del agua en el Valle del Segura donde destaca la intensa relación entre el hombre-medio (huertas, costumbres, ordenanzas de riego, etc.) y se aboga por una concienciación cívica sobre la conservación del patrimonio hidráulico como bien de interés comunitario gracias a la Ley de Patrimonio Cultural 4/2007 de la Región de Murcia, al igual que diferentes convenios internacionales como el Convenio Europeo del Paisaje de Florencia (2000).

En el cuarto capítulo, “La gestión del agua en la ciudad romana de la Hispania semiárida: Carthago Nova como ejemplo de adaptación al medio”, se analiza como fue el abastecimiento tradicional de agua de Cartagena durante la época romana, ante la escasez de aportes hídricos externos ya que éste, era uno de las principales preocupaciones de las ciudades romanas. El abastecimiento se llevó a cabo mediante la construcción de aljibes, al igual que diferentes canalizaciones y acueductos que transportaban el agua desde las fuentes y manantiales de los alrededores. En el quinto titulado “La gestión del agua en la ciudad andalusí: el caso de Murcia”, se estudia como fue el abastecimiento de esta ciudad durante la ocupación musulmana; describiéndose los usos, beneficiarios, los promotores de las iniciativas hidráulicas, al igual que los diferentes sistemas de abastecimiento y evacuación de las aguas sobrantes. En el sexto capítulo denominado “Note sur la fondation de Marrakech et la question de l'eau”, se analiza el desarrollo de la cultura del agua en el territorio de Marrakech durante los siglos V-XI coincidiendo con la ocupación almorávide, fecha en la que empezó un cam-

bio en la sociedad con el crecimiento económico (de la ganadería a la agricultura de regadío) con la mejora de técnicas hidráulicas como método para resolver los problemas de abastecimiento agrícola y doméstico. El séptimo, “El patrimonio hidráulico de las infraestructuras del Postrasvase Tajo-Segura (Sureste de España)”, hace especial atención a la red de infraestructuras del Postrasvase Tajo-Segura (canales, sifones, acueductos, partidores, balsas y embalses reguladores) como una de las obras para su regulación del caudal, conducción y distribución de aguas del Tajo y de otras regiones que estructuran el modelo territorial del sureste peninsular. El octavo capítulo, “Enjeux de l'eau et développement durable à Marrakech”, analiza la gestión del agua en esta región norteafricana a partir de dos sistemas de irrigación tradicionales (la *Séquia* y la *Khattara*) y el abastecimiento de agua potable para la población. Estudia asimismo, la superficie agrícola regada y la longitud de la red de distribución. En el noveno capítulo, “Los regadíos históricos valencianos, un patrimonio paisajístico propio del contexto mediterráneo”, reivindica los regadíos tradicionales valencianos como patrimonio rural, cultura del agua y como factor que ha condicionado la organización social y territorial de esta región a lo largo de la historia.

El décimo capítulo denominado “La investigación en España sobre los sistemas de captación y conducción de pozo horizontal (galería)”, analiza el estado de la cuestión de estos sistemas hidráulicos mediante pozos horizontales (galería, mina, cimbra, tajea, socarrón, etc.) asociado o no a presa subálvea, a través de los grupos de investigación que más han trabajado esta temática donde mencionan a ESTEPA (Universidad de Valencia) que uno de sus precedentes fue Josep María Bernabé Mestre y el grupo de Trabajo de la Universidad de Murcia. Aunque no están citados, también hay investigadores de otras universidades que han trabajado esta temática en la región del sureste peninsular como, por ejemplo, Alfredo Morales Gil (Universidad de Alicante). El undécimo, “Le patrimoine hydraulique almohade au Haouz de Marrakech”, trata sobre las técnicas de irrigación introducidas por el pueblo almorávide (siglo XI) en la llanura del Haouz de Marrakech como, por ejemplo, las *Khattaras*, y las mejoras llevadas a cabo por los almohades (siglo XII) a partir de las *Séquias*.

El duodécimo se titula “Identificación, análisis, evaluación y puesta en valor de un patrimonio hidráulico singular: las galerías de agua de

Túnez”. En éste, se analizan las galerías drenantes o *foggaras* de Túnez, como un ejemplo de sistema hidráulico de abastecimiento para la población y el regadío; prestando una especial atención a sus orígenes, sus características y la puesta en valor de las más representativas. En el decimotercero, “Un modelo de captación y conducción de aguas en medios semiáridos: El Canal del Sifón en Fuente Álamo de Murcia”, se estudia el complejo hidráulico basado en la utilización de pozos horizontales (“galerías drenantes” o “qanat”) de esta canalización del Campo de Cartagena, sus características y red de distribución, el origen de sus aguas, propiedad, gestión y uso del caudal.

El decimocuarto capítulo se titula “Patrimoine hydraulique et valorisation touristique”. En él se identifica a la región de Marrakech como un área rica en diversidad del patrimonio hidráulico (*bas-sins, séquias, barrages, khattaras*, molinos, etc.)

para el abastecimiento doméstico y para el regadío. Se describe asimismo su estado actual de conservación, debido a la presión de la urbanización en los últimos años relacionado con la actividad turística y el crecimiento de las ciudades. El último capítulo denominado “La Huerta del Bajo Segura, paradigma de la cultura del agua”, evidencia la importancia de la huerta de regadío intensivo como exponente de la cultura y paisaje del agua que ha organizado el espacio social del Bajo Segura. En él, además se estudia la génesis y evolución de la huerta y las relaciones entre el territorio y la sociedad que lo habita.

Patrimonio hidráulico y cultura del agua en el Mediterráneo, es, en suma, una obra de referencia para los estudios e investigaciones relacionadas con el patrimonio hidráulico, la cultura y paisaje del agua en el ámbito mediterráneo.

Álvaro Francisco Morote Seguido

Instituto Interuniversitario de Geografía
Universidad de Alicante

REQUES VELASCO, P. (2012): *Un mundo asimétrico. Cambio demográfico, globalización y territorio (Microensayos)*. Santander: PUBliCan, Ediciones de la Universidad de Cantabria, 205 p.

La velocidad con la que se suceden los procesos de cambio político, económico, tecnológico, social, cultural o incluso ambiental en un contexto de globalización sin precedentes, es uno de los rasgos que mejor define lo que Immanuel Wallerstein vino a denominar Sistema-Mundo y que, a diferentes escalas geográficas, se manifiesta con una serie de desafíos, desafíos globales, pero con repercusiones locales. En efecto, si el siglo XIX fue el siglo de la política, el siglo XX el de la economía, el siglo XXI será sin duda el de la demografía puesto que las transformaciones demográficas muestran cuáles son los múltiples retos a los que se enfrenta y se deberá enfrentar la humanidad en los próximos años. Bajo este planteamiento y con un manifiesto compromiso social, el geógrafo Pedro Reques agrupa treinta y dos artículos de opinión que fueron publicados originalmente entre 2001 y 2012 en el diario económico *Cinco Días* y, como ya hiciera en su libro *El factor D. Los nueve retos demográficos de la España actual* (2011), la idea de analizar éticamente y dar respuesta justa a los problemas sociales, demográficos y territoriales subyace en el corolario de su argumentación. Sin renunciar al rigor científico, el autor emplea un lenguaje claro, directo, ameno y accesible incluso para el lector no especializado que recuerda a la mejor tradición francesa en la elaboración de atlas temáticos mundiales como los de Yves Lacoste (2006), Durand, Copinschi, Martin, Placidi (2008) o los *dossiers* que regularmente edita *Le Monde Diplomatique*. No en vano, el libro viene acompañado por abundante material gráfico, estadístico y cartográfico elaborado con la colaboración de María Marañón y a partir de fuentes de información estadística procedentes de organismos internacionales como las Naciones Unidas, el Banco Mundial o la OCDE, entre otros. La monografía se compone de tres grandes bloques temáticos, un anexo cartográfico y un repertorio bibliográfico.

El primer bloque se titula: *El estudio de la población*, en esta parte se aborda, a través de cuatro artículos, los precedentes académicos de la ciencia

demográfica y la importancia del estudio geodemográfico de las poblaciones por su carácter transversal con otras disciplinas tales como la Sociología, la Economía, la Historia o la Epidemiología; ya que las complementa con técnicas propias de análisis como son los Sistemas de Información Geográfica y porque pone en valor el carácter integrador de la Geografía por cuanto que tiene la capacidad de sintetizar las aportaciones de las otras disciplinas.

El segundo bloque del libro: *Perspectivas y prospectivas demográficas en el mundo: de la escala global a la escala nacional*, es el más extenso ya que cuenta con diecinueve artículos. En esta parte del libro, el autor aporta las razones que explican los principales retos que deben afrontar el conjunto de los 7.000 millones de personas que actualmente habitan el planeta en un contexto de lacerante desigualdad en el acceso a los recursos, de crisis ambiental, de dificultades en la consecución de los Objetivos del Milenio o de intensificación de los *factores materiales y existenciales* que inciden en un aumento de las brechas demográficas. Teniendo en cuenta el planteamiento inicial de este bloque, el profesor Pedro Reques reflexiona sobre el concepto *dividendo demográfico* como resultado que explica el mayor o menor grado de dependencia demográfica de las poblaciones inactivas respecto de las poblaciones activas; y cuyas enormes implicaciones económicas se producen en un panorama regional caracterizado por la coexistencia de diversas sociedades transicionales y postransicionales.

El autor describe y explica las estructuras y las dinámicas demográficas de las principales regiones (o países) del mundo ofreciendo un sucinto panorama de su situación actual y lo que puede depararles el futuro de continuar con la misma "inercia" demográfica. Para el caso de Europa, la caída sostenida de la fecundidad y el envejecimiento son los fenómenos que mejor definen el nuevo orden demográfico del viejo continente y contrastan con lo que Pierre-Jean Thumerelle definió como la *simetría imperfecta* con los Estados Unidos, ya que pese

a las similitudes que ambas regiones comparten, para el caso americano su estructura demográfica más rejuvenecida, las mayores tasas de fecundidad y los beneficios demográficos que aporta su inmigración contribuyen a un dividendo demográfico positivo. En otros ámbitos geográficos, las perspectivas demográficas tanto de Japón como de Rusia muestran una situación de declive. En ambos casos se traducen en una importante pérdida de población relacionada, en el país nipón, con el estancamiento económico y con una profundización en su segunda transición demográfica, mientras que en el país eslavo, con una crisis interna en clave epidemiológica y de desigualdad social que ha contribuido en las dos últimas décadas a la pérdida de 700.000 habitantes anuales. A grandes rasgos, la diversidad y complejidad de las características sociales y demográficas de África subsahariana han estado tradicionalmente dominadas por un círculo de *pobreza-explósión demográfica-pobreza* y de dependencia, en un contexto de preocupación por el cambio climático, carencia de infraestructuras que permitan poner en valor sus recursos y necesidad de buen gobierno e instituciones políticas. Hoy los retos demográficos pasan por afrontar un futuro caracterizado por la hiperurbanización, las migraciones, el éxodo rural y las consecuencias del VIH/SIDA, entre otros. En una línea similar, y en un significativo proceso de reducción de la mortalidad y de la fecundidad, los retos sociodemográficos de los países musulmanes se vinculan con lograr una mejor gestión del agua, la generalización de la educación, la resolución de los problemas asociados a los procesos de urbanización y, sobre todo, dar respuesta a las importantes tensiones sociales en un proceso de secularización. La situación demográfica de China e India también centran la atención del autor, no en vano ambos países son los más poblados del mundo y, pese a sus marcados contrastes internos, ya muestran signos de ser epicentro geopolítico y geoeconómico mundial. Mención aparte merecen los componentes de la "bomba demográfica china", puesto que las políticas antinatalistas, el importante descenso de la fecundidad y una cultura patriarcal que explica la anómala ratio de 118 niños por 100 niñas al nacer, comprometen su equilibrio demográfico y agravan su futuro político, económico y demográfico. Finalmente América Latina es la última gran región tratada en el libro. Con una serie de problemas por resolver como la macrocefalia urbana, la litoralización de su población, los vacíos demográficos, un modelo de sociedad dual, la segregación residen-

cial o la existencia de asentamientos informales, entre otros. Apoyada por su dividendo demográfico positivo, Latinoamérica tiene ante sí décadas de grandes oportunidades toda vez que se resuelvan las grandes diferencias internas y problemas (la economía informal, problemas ambientales, insuficientes infraestructuras o corrupción). Argentina, pero sobre todo Brasil son un claro paradigma de la realidad latinoamericana: países ricos en recursos (por ejemplo agricultura o hidroelectricidad), pero todavía injustos en la distribución social de riqueza y en el reparto espacial de su población sobre sus extensos territorios.

El tercer bloque del libro: *Migraciones internacionales, globalización y medio ambiente* se compone de nueve artículos en los que el autor explica cómo el fenómeno de la globalización abarca todos los ámbitos de nuestra sociedad y en el que, al igual que en otras épocas, las migraciones han sido clave en la configuración de los modos de vida, las culturas y el desarrollo. La diferencia con otros periodos históricos es que ahora la globalización se produce en un momento de crisis ambiental cuyas consecuencias ponen en peligro la propia sostenibilidad del sistema. En efecto, y pese a la existencia de partidarios y detractores de la globalización, un hecho fundamental es la interdependencia entre los distintos espacios y sociedades del mundo, interdependencia que se hace más evidente cuando se reflexiona sobre la sostenibilidad económica y ambiental de un modelo de desarrollo-crecimiento que a todas luces genera grandes desequilibrios y desigualdades. Tras ofrecer una síntesis sobre los hitos recientes que alertan sobre el deterioro ambiental y sus implicaciones económicas, sociales y territoriales (El Informe Brundtland, la Conferencia de la Tierra de Río de Janeiro, el Protocolo de Kioto o la Conferencia sobre el Cambio Climático de Copenhague), Pedro Reques analiza algunas de las cuestiones clave que, sin una correcta gobernanza mundial, hacen presagiar serias tensiones políticas y sociales como son la gestión del agua, la especulación con los alimentos o el neocolonialismo agrario a diferentes escalas geográficas. Así, frente a un panorama cargado de retos individuales y colectivos que garantice la viabilidad de un desarrollo distinto al actual, la justicia social y el bienestar de las poblaciones, se concluye con la siguiente frase: *la crisis, cualquier crisis, sólo puede superarse sustituyendo la economía de los bienes que tenemos por la economía de los bienes que hacen que seamos. La sociedad debe saber reencontrar el sentido*

del límite y descubrir que, casi siempre, lo que más vale es lo que menos cuesta.

Sin duda, este libro por su planteamiento y estructura formal tiene un gran valor informativo y didáctico que puede resultar de gran interés al público en general, y a los docentes en ciencias so-

ciales y humanas en particular. Además, y por la variedad de temas que trata permitirá aproximarse desde la Geografía y la geodemografía a los principales retos que marcarán a los espacios y a las sociedades en los próximos años.

Ernesto Cutillas Orgilés
Universidad de Alicante

Contacto: ernesto.cutillas@ua.es

RELACIÓN DE EVALUADORES QUE HAN EMITIDO INFORMES SOBRE LOS TRABAJOS PRESENTADOS A LOS NÚMEROS DE 2013 DE *INVESTIGACIONES GEOGRÁFICAS*

INVESTIGACIONES GEOGRÁFICAS 59 (ENERO-JUNIO 2013)

INVESTIGACIONES GEOGRÁFICAS 60 (JULIO-DICIEMBRE 2013)

| | |
|---|-----------------------------------|
| Dr. D. Carlos Javier Baños Castiñeira | <i>Universidad de Alicante</i> |
| Dr. D. Antonio J. Campesino Fernández | <i>Universidad de Extremadura</i> |
| Dr. D. Pablo Giménez Font | <i>Universidad de Alicante</i> |
| D. Jonathan Gómez Cantero | <i>Colegio de Geógrafos</i> |
| Dr. D. José María Gómez Espín | <i>Universidad de Murcia</i> |
| Dra. D ^a María Hernández Hernández | <i>Universidad de Alicante</i> |
| D. José Manuel Mira Martínez | <i>Laboratorio de Geomática</i> |
| D. José Tomás Navarro Carrión | <i>Laboratorio de Geomática</i> |
| Dr. D. Jorge Olcina Cantos | <i>Universidad de Alicante</i> |
| Dr. D. Alfredo Ramón Morte | <i>Laboratorio de Geomática</i> |
| Dr. D. Antonio Manuel Rico Amorós | <i>Universidad de Alicante</i> |
| D. Ángel Sánchez Pardo | <i>Universidad de Alicante</i> |
| Dr. D. Francisco J. Torres Alfosea | <i>Universidad de Alicante</i> |
| Dr. D. José Fernando Vera Rebollo | <i>Universidad de Alicante</i> |
| Dr. D. Benito Zaragozaí Zaragozaí | <i>Laboratorio de Geomática</i> |

Las personas que figuran en esta lista han emitido informes de evaluación de los artículos que se publican en los números 59 y 60 de [Investigaciones Geográficas](#), correspondientes al año 2013. Cada artículo es sometido a dos evaluaciones anónimas, con las que el Consejo de Redacción decide la publicación, modificación o rechazo de los trabajos presentados. En caso de abierta discrepancia en las dos evaluaciones, el trabajo se somete a una tercera.

Instituto Interuniversitario de Geografía

Universidad de Alicante

Campus de San Vicente del Raspeig. Apdo. 99 E-03080 – Alicante (España)

Tel: (34) 965 90 34 26 - Fax: (34) 965 90 94 85

Correo electrónico: investigacionesgeograficas@ua.es

Sitio web: <http://www.investigacionesgeograficas.com>

