LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA: UNA HERRAMIENTA DE ANÁLISIS EN LOS ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA)

Mª José Rodríguez

PRESENTACIÓN

En estas líneas se presenta una herramienta de trabajo que si bien hoy ya no puede ser tachada de novedosa sí que está viviendo en España su momento de máxima aceptación. Los Sistemas de Información Geográfica (SIGs) entroncan directamente con la filosofía y aspiraciones anheladas con la práctica del *desarrollo sostenible* o *ecodesarrollo* en general, y en particular, con los Estudios de Impacto Ambiental (EIA).

Los SIGs palian algunas de las deficiencias y limitaciones de los EIA al uso. En concreto, este capítulo pone el énfasis en la necesaria participación en dichos estudios de las ciencias sociales, particularmente de la sociología y en cómo los SIGs, por definición herramientas interdisplinarias, ponen a nuestro servicio dicha posibilidad.

LA SOCIEDAD DE LA INFORMACIÓN Y LA REVOLUCIÓN TECNOLÓGICA: ¿QUÉ SON LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO (SIG)?

El nuevo contexto económico, social y cultural que desde principios de la década de los setenta caracteriza a las modernas sociedades de finales de siglo, está siendo analizado desde un nuevo paradigma. El ***paradigma tecnológico*** fija su análisis e interpretación en torno a las características, efectos y consecuencias de la *revolución*

tecnológica, centrada ésta en torno a las tecnologías de la información En síntesis, la ***sociedad informacional*** o ***postindustrial*** sucede en el tiempo a la industrial y se diferencia de ésta en que es la búsqueda de conocimientos e información el motor de la producción tecnológica y el impulso del cambio. De este modo, la información deja de estar asociada a la noción europea de cultura para pasar a ocupar un papel central en el sistema productivo, esto es, como bien económico (DE MIGUEL y PIATTINI, M., 1997: 4-5).

Las "ilimitadas" posibilidades abiertas por el mundo digital no quedan exentas de paradojas, pues en escasas ocasiones se consigue la efectiva y real adquisición de la tan mencionada ***información***. Así pues, mientras la *sociedad-red* facilita el acceso a ***datos*** (hechos, cifras, detalles,…), éstos no siempre son sinónimo de información, o lo que es lo mismo, de ***conocimiento***. Si bien los datos son los elementos constitutivos de la información, sólo se convierten en ésta cuando trasmiten conocimiento, ideas o conclusiones. La excesiva oferta de datos y la cada vez mayor demanda de información, pueden llevarnos a lo que se ha denominado ***polución informativa***, fenómeno en virtud del cual la información pierde sus cualidades[1] al no cumplir sus funciones llegando, incluso, a perjudicar a sus potenciales usuarios (CORDERO, 1998).

En este contexto de plena eclosión informática, surgen los que genéricamente se han denominado ***Sistemas de Información*** y, como subproducto de éstos, los ***Sistemas de Información Geográfica*** (a partir de ahora SIG, aunque antes se divulgaron con sus siglas en inglés GIS –G*eographic Information System*-). Si bien presentar a los *sistemas de información* a partir de una escueta definición sobre los mismos no reviste dificultad[2], hacer lo propio con los específicamente *sistemas de información geográfica* no es posible, dado que se han enunciado tantas definiciones como autores e instituciones lo han intentado. Éstas varían según sea el ámbito en el que se aplique, el objetivo que se pretenda alcanzar o el elemento que de él se quiera potenciar. Por ello, y con la finalidad de ofrecer una visión aséptica de los mismos, aplicable en cualquier

[1] Para que la información no pierda su carácter comunicativo ésta debe contar con las siguientes cualidades: precisión, oportunidad, compleción, significado e integridad (DE MIGUEL, y PIATTINI, 199: 6-8).

[2] Definimos a los ***Sistemas de Información*** como " (…) el conjunto de personas, datos y procedimientos que funcionan en conjunto. (…), el énfasis en sistema significa que las variables componentes buscan un objetivo común para apoyar las actividades de la organización. Estos incluyen las operaciones diarias de

circunstancia y momento, reproducimos los términos con los que el **Centro Nacional de Información y Análisis** de EE. UU. (NCGIA) presenta a los SIGs:

> Sistemas compuestos por *hadware*, *software* y procedimientos para capturar, manejar, manipular, analizar, modelizar y representar datos georreferenciados, con el objetivo de resolver problemas de gestión y planificación (GOODCHILD,. y KEMP, 1990: I, 1-3[3]).

Esta definición puede ser completada por la apuntada por Moldes quien afirma que, además de ser un conjunto de programas informáticos que permiten la gestión de datos referenciados espacialmente y organizados en bases de datos, pueden ser visualizados mediante mapas (MOLDES, 1995).

Lo que caracteriza y diferencia a esta nueva herramienta de trabajo es su innovadora capacidad en generar *información* a partir de la colección de una serie de *datos*. La aplicación y utilización de los sistemas de información ha incrementado el conocimiento en aquellos ámbitos o áreas de investigación en los que se vienen aplicando, en virtud a su habilidad para *recibir*, *almacenar* y, sobre todo, *relacionar* y *operar* sobre distintas bases de datos informatizadas (internas o externas, cuantitativas o cualitativas, monotemáticas o multitemáticas) generando información imposible de obtener por otros cauces que no deriven de la aplicación de estos programas y aplicaciones informáticas. Esta es, también, la característica intrínseca a los sistemas de información geográfica y así lo manifiesta Chuvieco al afirmar que de las siglas SIG la más importante es la de Información, que "(…) el término Geográfica no es más que un calificativo de ésta, y el de Sistema puede aplicarse a otras muchas aplicaciones informáticas" (CHUVIECO, 1996: 504).

Los SIGs, pese a que hoy ya han perdido su carácter novedoso, continúan siendo una herramienta joven en pleno desarrollo a la que todos se quieren acercar[4]. Sin

---

las empresas, la comunicación de los datos e informes, la administración de las actividades y la toma de decisiones (SENN, 1990: 2).

[3] GOODCHILD,. y KEMP (coords.) (1990): *NCGIA Core Curriculum*. Santa Bárbara, National Center for Geographic Information and Analysis, 3 vols, citado por COMAS, D. y RUIZ, E.: *Fundamentos de los Sistemas de Información Geográfica*. Ariel Geográfica. Barcelona, 1993. P. 82.

[4] Los SIGs a medida que han simplificado sus procedimientos y funciones, a la par que se ha generalizado los contenidos informáticos entre la población, ha diversificado sus ámbitos de aplicación. Actualmente los numerosos ejemplos y aplicaciones SIG que se han desarrollado en territorio español se clasifican en torno a seis ámbitos temáticos, a saber: (1) ***aplicaciones bióticas*** (agricultura y usos del suelo, planificación hidrológica, planificación de espacios naturales y planificación medioambiental); (2)

embargo, de la experiencia acumulada en torno a la aplicación y difusión de los SIGs, se desprende que ésta ha estado, y está, fundamentalmente ligada a aquellas disciplinas clasificadas tradicionalmente como ciencias positivas y/o técnicas. En este sentido, la participación de las ciencias sociales ha sido prácticamente insignificante, excepción hecha del uso desarrollado por geógrafos, quienes han corporativizado el calificativo de "geográfica"[5], desvirtuando el sentido multidisciplinar e integrador del que hacen gala, implícitamente, los SIGs.

Con los SIGs se reproduce, en cierto modo, la situación ya apuntada respecto a los Estudios de Impacto Ambiental (EIA), esto es, dada su vinculación inicial con especialidades ligadas a las ciencias naturales y/o técnicas, su divulgación entre los sociólogos es prácticamente inexistente. En consecuencia, su participación en trabajos multidiciplinares, como es el caso de los estudios de impacto ambiental, es nulo. Las causas de que los SIGs hayan tenido escasa resonancia en disciplinas para las que el núcleo central de estudio no se circunscribe a la componente espacial o territorial (lo que no implica que no pueda ser utilizada por aquellas otras áreas de conocimiento interesadas en la relación espacio-sociedad) son varias y de distinta naturaleza:

1. La Sociología en su intento por desligarse de disciplinas que hacían que la calificaran más de pseudociencia y por situarse en el contexto de las ciencias positivas, ha limitado su relación con la tecnología informática a una serie de paquetes estadísticos, manteniéndose al margen de otros sistemas informáticos y de su posible aplicación en la resolución de problemas con componente espacial.

2. La nueva tecnología se presenta con unos inconvenientes añadidos. A diferencia del lenguaje universal de los números que los paquetes estadísticos utilizan, los Sistemas de Información Geográfica estructuran su cuerpo teórico en torno a un conjunto de conceptos informáticos y terminología SIG.

---

aplicaciones en la administración y gestión (catastro, ordenación del territorio, planificación urbana, en el transporte, producción cartográfica y defensa y seguridad); (3) ***aplicaciones socioeconómicas*** (censos y estadísticas de población, análisis de mercados o *geomarketing*); (4) ***aplicaciones de carácter global*** (fundamentalmente gestión global de recursos naturales); (5) ***aplicaciones en investigación histórica*** (arqueología); y (6) ***aplicaciones en investigación científica*** (médica o biológica y microscópica) (Estas aplicaciones aparecen recogidas de forma gráfica en la figura "Información geográfica y SIGs al uso" que aparece en el presente texto).

Además, éstos son importados en lengua inglesa, lo cual no extraña si consideramos que son los países anglosajones los productores de estos sistemas.

Si bien, a priori, el contexto no era demasiado alentador y, pese a estos inconveniente, el respeto hacia la tecnología informática en general, y en concreto hacia los SIG, es injustificado puesto que: en primer lugar, es cierto que la mayoría de bibliografía se encuentra en inglés, pero en España ya encontramos un número considerable de obras y aplicaciones que nos acercan al entramado conceptual, teórico y metodológico con relativa facilidad[6]; en segundo lugar, y en lo referente al vértigo que produce acceder a un paquete informático, hay que considerar que cada vez son más sencillas y flexibles las relaciones máquina-hombre, aproximándose el lenguaje informático al humano.

LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) AL SERVICIO DE UN NUEVO PARADIGMA: EL *ECODESARROLLO* O *DESARROLLO SOSTENIBLE*.

Las primeras aplicaciones que en España se llevaron a cabo con tecnología SIG las encontramos en la gestión y planificación de recursos naturales renovables. Estas primeras aplicaciones responden a las duras críticas que durante los años sesenta y setenta recayeron sobre el modelo clásico de desarrollo económico (basado en la ilimitada disponibilidad de las materias) y en el modelo de urbanización sin límites.

Esta crítica propició una concienciación, primero de la ciudadanía y después de las Administraciones, en torno a la necesidad de preservar todo tipo de bien natural. En la esfera política se tradujo en la racionalización de la gestión de recursos naturales, que en un principio se haría de forma aislada (proyectos individuales para cada uno de los recursos), para concluir en una visión más global sobre los mismos (***enfoque sistémico***).

[5] El adjetivo "geográfica", insiste Chuvieco, se añade para diferenciarlos del resto de "sistemas de información", especificando el uso que hace de la componente espacial o geográfica (CHUVIECO, 1996: 504).

El nuevo paradigma, ***ecodesarrollo*** o ***desarrollo sostenible***, imponía la necesidad de abordar la planificación desde un enfoque integral y multidisciplinario y no, tal y como venía haciéndose, aislado y segmentado.

El objetivo que vincula a las distintas aplicaciones bióticas desarrolladas con tecnología SIG no es otro que el de resolver situaciones complejas en cuanto a la toma de decisiones, convirtiendo a la planificación en un proceso racional que busca ante todo optimizar los respectivos recursos. Este objetivo pasa, necesariamente, por la consideración conjunta de toda la información que, de una u otra forma, participa en la descripción de los recursos específicos. Si bien la gestión de una rica base de datos es una constante que se repite en todas las aplicaciones SIGs, en la gestión de recursos naturales cobra un especial protagonismo dada la extremada complejidad y elevado volumen de datos que involucra dicha gestión[7]. El hecho de que la tecnología SIG analice y gestione una vasta información, convenció a técnicos e instituciones de que ésta era la herramienta que más se acercaba a sus intereses integradores.

En concreto la implicación de los SIGs en la planificación y ordenación territorial será tardía y lenta, aunque transcurrirá paralela al resto de países europeos. En esta línea de trabajo, los proyectos de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) y los Planes Especiales de Protección (ambos con énfasis en la variable medioambiental) han sido pioneros en la aplicación de la nueva tecnología. Así, la *Agencia de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía*, desde su constitución, trabaja en la formación y desarrollo de un sistema de información geográfica que responda a las necesidades actuales de planificación para el desarrollo y gestión de recursos naturales de la región.

---

[6] Con la finalidad de que el lector interesado pueda seguir con mayor precisión algunos de los términos propios de la tecnología SIG que aquí, por motivos obvios, solo se enuncian, la exposición concluye con un pequeño glosario.

[7] Un buen ejemplo de lo expuesto se aprecia en los sistemas de información geográficos aplicados en la planificación hídrica. Para una óptima gestión hídrica es necesario el análisis conjunto de: decenas de niveles de información fisiográfica (topografía, red de drenaje, litografía, suelos,…); información en torno a las infraestructuras (embalses, canales,…); y decenas de millones de datos climatológicos e hidrológicos (a escala diaria, decenal o mensual) (MENDIZÁBAL y RODRÍGUEZ: "Aplicación de un Sistema de Información Geográfico a la Planificación Hidrológica", en *Mapping. Revista de Cartografía, Sistemas de Información Geográfica y Teledetección*, nº 12, 1993, pp. 52-57. Los SIGs no solo han demostrado su potencial cuando son aplicados en ámbitos más o menos reducidos, sino también cuando se han dirigido a la gestión de problemas medioambientales de carácter global. Este es el caso de: el *Programa de Información Coordinada sobre el Medio Ambiente Europeo* (CORINE); el *Programa Medioambiental de las Naciones Unidades* (UNEP), el *Programa Internacional Geosfera-Biosfera* (IGBP) del Consejo Internacional de Asociaciones científicas; y/o el *Programa Científico sobre el Sistema Terrestre* de la NASA (COMAS y RUIZ, 1993: 20-23) .

De la mano, pues, del ***Sistema de Información Ambiental de Andalucía*** (***SinambA***) exponemos las mejoras que la nueva tecnología introduce, en concreto, en los EIA (BARRAGÁN y MOREIRA, 1992). En este sentido se apreciará como con su participación se subsanan no solo algunas de las limitaciones actuales implícitas en los EIA, ya comentadas en otros capítulos del presente libro; sino que también canaliza, en cierto modo, la participación activa de disciplinas que, como la sociología, han estado excluidas de estos procesos o, en su defecto, relegadas a un plano exclusivamente teórico.

Multidisciplinariedad: integración de perspectivas

Dada la incapacidad manifiesta de las distintas disciplinas que de un modo aislado no han sido capaces de dar ni explicación ni solución a todos los problemas medioambientales, es intención del proyecto SinambA recabar todo tipo de información susceptible de participar en la gestión medioambiental. Los modelos de análisis de las distintas disciplinas científicas se han mostrado insuficientes para explicar la complejidad de los fenómenos, por ello, se aboga al intercambio de experiencias y a la conexión de esfuerzos en la solución de los mismos.

El uso de esta metodología aplicada hay que situarla, pues, en un resurgir del *enfoque sistémico*. Los SIGs, por definición, se presentan como modelos **interdisciplinarios** capaces de resolver cuestiones tanto explicativas de la realidad como orientaciones de futuras actuaciones de agentes públicos y privados. En la temática del medio ambiente, un Sistema de Información Geográfica es lo más próximo a ese ideal de la interrelación multidisciplinaria que los procesos ecológicos y el análisis de los fenómenos medioambientales requiere.

La información: Bases de datos de distinta naturaleza

El proyecto SinambA parte de la premisa de que la planificación necesita basarse en un profundo conocimiento del medio natural y socioeconómico. Para ello, el sistema integra diversas bases de datos georreferenciadas (tabla adjunta) con

información gráfica o visual (cartografía, imágenes fotográficas,…) e información obtenida por medio de la teledetección.

Información del medio físico y natural	***Información socioeconómica***	***Información teledetectada***	***Información cartográfica básica***
- Geología; - Suelos; - Vegetación y usos; - Clima; - Aguas; …	- Población; - Actividades productivas; - Emisiones contaminantes; - Renta; - Desempleo; …	- Vegetación y usos; - Infraestructuras; - Contaminación; - Procesos; - Inventarios; …	- Topográfica; - Red hidrográfica - Infraestructuras - Procesos - Inventarios; …

En SinambA, pues, se produce una integración global entre todos sus soportes, elementos informáticos y el equipo pluridisciplinar que los ha diseñado (constituido por informáticos, geógrafos, físicos, economistas,…). Y es, precisamente, en este contexto *multidisciplinal de las ciencias* en donde situamos el papel del sociólogo y el uso que debe hacer éste de la tecnología SIG si queremos que se produzca su efectiva participación. Desde esta perspectiva, y en principio, su participación queda garantizada, siempre y cuando sepa canalizar sus conocimientos hacia: (1) la confección, actualización, depuración y ampliación de bases de datos alfanuméricas y georreferenciadas sobre la estructura socioeconómica del ámbito sometido a estudio[8] y (2) hacia la gestión, explotación y vinculación de la base de datos socioeconómica en la planificación medioambiental. A este respecto, cabe añadir, que la gestión de datos socioeconómicos se pone al servicio de la planificación ambiental acompañando a las variables estrictamente ambientales y, por ello, variando según el objeto de la aplicación ambiental.

Toda la información (socioeconómica o no) se organiza en *capas espaciales* de información homogénea, lo que garantiza tanto el acceso parcial a los distintos componentes del medio ambiente, como el acceso integral. A su vez, la información contenida en las capas queda georreferenciada o referida a unas coordenadas en el espacio. Esta vinculación digital entre datos y espacio, entre fenómenos diversos interrelacionados, confiere a los SIGs su máxima potencia de análisis y explicación de

los fenómenos estudiados y es, en consecuencia, lo que les diferencia y separa de los métodos tradicionales de análisis.

Las capas de información son introducidas en el SIG de distinta manera: *puntos* a los que se asocian tablas de datos (estaciones meteorológicas, inmisión de contaminantes,…); *líneas* a los que se asocian atributos (red hidrográfica, carreteras,…); o, *zonas* susceptibles de ser caracterizadas por distintos atributos (secciones censales, edificios, usos del suelo,…).

Planificación del ecodesarrollo: tratamiento de la información.

Los sistemas de información geográfica, gracias a su capacidad de reflejar sobre el espacio informaciones diversas procedentes de los múltiples aspectos implicados en los procesos ecológicos y fenómenos medioambientales, junto con la posibilidad de simular modelos capaces de reproducir el comportamiento de los fenómenos, se convierten en una herramienta al servicio de la comprensión de la dinámica de los fenómenos, en un instrumento para la simulación de las consecuencias de las acciones sobre el medio y en utensilio perfecto para aconsejar o corregir las acciones propuestas casi a tiempo real.

La informatización de la información gráfica y alfanumérica permite al *software* del SIG definir a tiempo real modelos descriptivos, predictivos y prescriptivos:

1. La definición de un *modelo descriptivo* se aproxima más a la realidad en la medida que utiliza, para ello, datos estadísticos de síntesis. A partir del modelo descriptivo resulta sencillo establecer un diagnóstico integral. La identificación y evaluación de deficiencias y problemas, en cada uno de los subsistemas, nos permite diseñar una serie de actuaciones que, integradas dentro de un proceso global de planificación, nos conducirá a la consecución del modelo territorial deseado en función de nuestros objetivos.

[8] Los elementos a considerar en las bases de datos socio-económicas se desarrollan en el siguiente apartado de este texto.

2. Muchos de los SIGs que hoy encontramos en el mercado cuentan con funciones estadísticas muy desarrolladas o, en su defecto, con facilidades de comunicación con paquetes estadísticos, lo que facilita la generación de modelos matemáticos a partir de los cuales es posible realizar predicciones de los procesos. Los modelos predictivos se incorporan en los procesos de planificación (en donde podemos incluir a los EIA) para cubrir tres propósitos hasta la fecha ignorados: predicción y generación de escenarios, análisis de impacto de políticas y actuaciones y generación y/o diseño de políticas de actuación.
3. Por último, con los SIGs podemos concretar *modelos prescriptivos*; esto es, modelos de localización y ubicación en los que deben participar múltiples criterios, así como, objetivos en conflicto.

En síntesis, las mejoras que introduce la aplicación de los SIG en los Estudio de Impacto Ambiental las podemos concretar en los siguientes puntos:

- El hecho de contar en soporte digital tanto los datos gráficos como temáticos nos permite concebir a los EIA, no como un proyecto acabado y rígido, sino como un proyecto lo suficientemente abierto como para enriquecerse a lo largo de todo el proceso, adaptándose y dando respuesta a nuevas circunstancias, capaz de coordinar y organizar actuaciones estructurales.
- La nueva tecnología se convierte en la herramienta principal en el proceso de toma de decisiones, por lo que relega a un segundo plano la idea que vinculaba planificación con imagen, proyecto o diseño final. Los EIA, complejos por definición, ponen en tela de juicio el papel predominante de la forma, para subrayar que la elección de alternativas, acordes con los objetivos, presupuesto y sujetas a un tiempo de ejecución prudencial, es, cada vez más, importante para asegurar un proceso racional y objetivo.
- La toma de decisiones se consolida. Esta, tal y como venía haciéndose, no se anticipa a la realización del proyecto. Ahora es posible primero contextualizar el proyecto (simulaciones informáticas) para someterlo a evaluación y posterior elección. Para la realización de estos proyectos, conocidos como *estudios de impacto morfológico,* se precisa contar con el mayor número de parámetros que participan en el proyecto y prever su evolución. Las simulaciones en tres dimensiones nos permiten apreciar y evaluar diferentes alternativas de ordenación a escalas distintas (FORGIA y VIARD, 1990; PENEAU, 1990).

ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

De las definiciones apuntadas podemos, pues, considerar a los SIGs como un tipo especial de *base de datos*, y lo calificamos de "especial" por dos hechos fundamentalmente: en primer lugar, por disponer en soporte digital (informatizado) aquellos inventarios y estadísticas tradicionalmente disponibles en soporte papel. Esta digitalización de las bases de datos nos permite, no solo convertir en rutinas sencillas y rápidas operaciones de gestión y análisis extremadamente complejas y tediosa (dado el volumen de datos que manipulamos en el análisis y gestión de sistemas complejos), sino que, también, facilita el acceso y relación con otras bases de datos externos. En segundo lugar, los SIGs incluyen, además, la componente espacial o geográfica implícita e ignorada en la casi totalidad de bases de datos con las que habitualmente trabajamos (se estima que aproximadamente el 70% de los datos cuenta con dicha componente). Este hecho incrementa nuestras posibilidades de análisis, pues, al agregar a las ya clásicas perspectivas descriptivas, exploratorias y/o prospectivas, los indicadores exclusivos del análisis espacial, nos permite visualizar sobre el espacio los fenómenos y procesos analizados, identificando tendencias, patrones y particularidades inapreciables a partir de la simple relación de un sistema de indicadores estadísticos. La versatilidad de los SIGs radica, a nuestro juicio, en dos características intrínsecas a los mismos:

1. Los SIGs son susceptibles de ser usados en cualquier aplicación cuyo objetivo principal sea gestionar algún tipo de información geográfica, referida a los elementos o fenómenos que tiene lugar en la superficie de nuestro planeta. En concreto, para la investigación social, las posibilidades de estos sistemas no se limita a la gestión de bases de datos vinculadas (o relacionadas) y al estudio de los fenómenos sociales con incidencia en el espacio (la siempre dialéctica relación procesos sociales-ámbito espacial). Los SIGs son, además, potentes herramientas de trabajo especialmente diseñadas para simular futuras situaciones, facilitando, de este modo, la toma de decisiones.
2. Los SIGs pueden trabajar con cualquier tipo de datos (urbanos, demográficos, ambientales, catastrales,…), únicamente se les exige que tengan un componente

espacial o geográfico; es más los SIGs están especialmente concebidos para el tratamiento, gestión y toma de decisiones en torno a ellos.

A tenor de lo expuesto, un Sistemas de Información Geográfica no es más que un *Sistema de Gestión de Datos Gráficos y Alfanuméricos vinculados entre sí susceptibles de ser gestionados de forma automatizada así como representados de forma gráfica o visual a modo de mapas*. Los elementos que dan contenido a un SIG, son:

Base de Datos Gráfica (BDG): datos geo-referenciados

La información gráfica con la que trabaja un SIG queda constituida por el conjunto de datos u *objetos geográficos* que participan en la delimitación de la porción de la realidad que deseamos estudiar; esto es, de las *unidades de observación*. Las unidades de observación (y en terminología SIGs *entidades geográficas*) se dividen en dos grupos, a saber: *naturales* en los que es el propio fenómeno analizado el que delimita la referencia espacial (tipos de cultivos) y *artificiales* en los que la variable sometida a examen se produce al margen de la referencia espacial (divisiones administrativas realizadas por el hombre) (BOSQUE, 1997: 30-31).

Llamamos ***datos geo-referenciados*** a aquellos que "(…) poseen una posición geográfica definida e inalterable y tiene una forma determinada" (CALVO, 1993: 30). El proceso de georreferenciación de los datos geográficos nos permite ubicar una entidad geográfica en la superficie terrestre, definiendo su sistema de coordenadas (coordenadas cartesianas *x* e *y* a las que se le añade la *z*). Un elemento geográfico, además de tener una posición precisa en la superficie, tiene una forma determinada. La geometría o forma que pueden adoptar en la base de datos gráfica va desde las más sencillas, como son las puntuales, hasta las más complejas, como son las zonales, pasando por las lineales. Los elementos gráficos básicos con los que contamos para delimitar los objetos geográficos son tres: el punto, la línea y las zonas.

Junto a la posición y geometría única, una tercera característica define y diferencia a los SIGs de los programas de cartografía asistida o automática[9]. La ***topología*** indica la relación cualitativa de "vecindad" que se produce entre los objetos geográficos a partir de su posición espacial. Su finalidad es facilitar el recorrido por el territorio; esto es, incluir la continuidad que efectivamente se produce en el espacio representado. Así pues, mientras que un conjunto de líneas nos indican una serie de carreteras individuales de una provincia (grafiadas a partir de las estructuras básicas lineales), éstas se convierten en una red de carreteras al introducir la componente topológica o, lo que es lo mismo, al establecer la conexión o continuidad entre el conjunto de líneas. Sólo, en este momento, responder a cuestiones concernientes al tipo de tráfico soportable por una carretera o tramo en concreto, elección de recorrido óptimo,… no reviste ninguna dificultad.

En síntesis, el conjunto de elementos geo-referenciados da lugar a las **Bases de Datos Gráficas (BDG)** y, en esencia, a los mapas o documentos gráficos (CALVO, 1993: 37).

Base de Datos Alfanumérica (BDA): datos geo-referenciables

Los datos geo-referenciables son "(…) aquellos que normalmente aparecen sobre los mapas (no son dibujables), no poseen geometría, pero tienen un nexo de unión o vínculo con algunas de las entidades geo-referenciadas" (CALVO, 1993: 36). Por ejemplo, podemos asociar en un mapa de población mundial (datos con componente espacial) índices de renta per cápita y establecer qué relación se produce ente ambas variables.

Por su parte, el conjunto de ficheros que contienen los elementos georeferenciables, datos referidos a las entidades gráficas se les conoce como ***Bases de***

[9] Con demasiada frecuencia se confunden los SIGs con los programas de cartografía automática, o viceversa. Craso error, pues las aplicaciones que podemos obtener varían considerablemente de contar con uno u otro paquete informático. Así pues, mientras que los programas de cartografía automática surgen para dar respuesta a las nuevas necesidades en la producción cartográfica (la automatización del proceso cartográfico); los SIGs cuentan con la posibilidad añadida de facilitar el análisis y gestión geográfica. Actualmente, y dadas las exigencias del mercado cada vez más competitivo, dentro de los programas de cartografía asistida se vienen desarrollando los sistemas "híbridos"; esto es, programas de producción cartográfica que incluyen algunas de las funciones de gestión de la información propias de los SIGs, si bien es cierto que éstas siempre a un nivel muy elemental y básico.

Datos Alfanuméricas pues, indistintamente, puede relacionar datos temáticos y numéricos de la entidad geográfica.

Sistema Gestor de Bases de Datos (SGBD): vinculación de las Bases de datos gráfica y alfanumérica

Para poder considerar a una base de datos espacial como un genuino SIGs, la gestión susceptible de ser aplicada sobre sus datos, ya sean gráficos o temáticos, debe poder realizarse de forma conjunta. La finalidad del ***sistema gestor de datos (SGBD)*** no es otra que la de preservar la integridad de los datos que contienen las respectivas bases de datos y los programas que las utilizan.

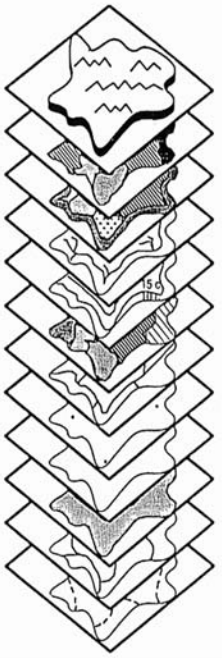
El sistema de gestión de bases de datos más utilizado es aquel que organiza sus datos de forma relacional. En las bases de datos relacionales, éstos se organizan en tablas con dos dimensiones: los campos (o atributos) y los registros (o casos). Cada registro es un objeto geográfico identificado por una palabra clave o identificador (id). Dicho identificador se repetirá tantas veces como tablas temáticas homogéneas describen a dicho objeto[10]. La coincidencia de atributos o identificadores unívocos establece la relación entre las tablas.

Una vez que ya contamos con la base de datos gráfica y con la temática necesitamos, no solo que ésta última pueda relacionarse entre sí (situación que describiría a los genéricamente *sistemas de información*) sino, también, que se produzca la relación entre el elemento geográfico y las tablas alfanuméricas que dan contenido temático a los mismos. Este proceso se conoce como ***geocodificación*** y con él se consigue asignar a los datos temáticos las coordenadas geográficas x/y del elemento que describen. Una vez concluida esta fase ya podemos representar espacialmente cualquier información temática.

[10] En los SIGs la información de las entidades u objetos geográfic0s aparece clasificada en tablas o capas temáticas homogéneas. Cada una de ellas contiene un solo tipo de información: demográficos, climatológicos, ubicación de plantas de reciclaje,… De este modo se preserva la integridad de los datos recabados y almacenados a la par que facilitará aquellos análisis para los que la combinación de distintas capas es imprescindible.

Podemos, pues, concluir que la información geográfica queda definida por: su *geometría* (posición en la superficie terrestre); por la organización y estructuración *topológica* (relaciones espaciales de vecindad, continuidad,… que se producen entre los elementos); y, por la información alfanumérica asociada al dato espacial (atributos o características descriptivas). En la figura que se adjunta, se esquematiza en torno a cinco ámbitos las principales aplicaciones que con SIGs se vienen desarrollando en España. La clasificación viene dada por el estrato de información geográfica con el que estemos trabajando (cada profesional trabajará con uno de ellos o combinación de varios según la finalidad perseguida) que es, en última instancia, el que determinará la aplicación específica a desarrollar por el Sistema de Información Geográfica.

Información geográfica y SIG al uso

Estratos de Información Geográfica	*Ambitos de Aplicación*	*SIG al uso*
	*Aplicaciones bióticas*	*Agricultura y Usos del Suelo* *Gestión de recursos naturales*
	Aplicaciones de Administración y Catastro	*Catastro* *Planificación y Gestión de Servicios Públicos* *Aplicaciones Cartográficas* *Defensa y Seguridad*
	Aplicaciones Socioeconómicas	*Censos y Estadísticas de Población* *Análisis de Mercados*
	Aplicaciones de carácter global	*CORINE* *Bases de Datos Mundiales*
	Aplicaciones de investigación científica	*Proyecto Pompeya*

Fuente: Elaboración propia. Adaptación de: COMAS, D., y RUIZ, E.,: *Fundamentos de los Sistemas de Información Geográfica*. Ariel Geografía. Barcelona, 1993., p. 5; y, BOSQUE, et al.,: *Aplicaciones informáticas a la geografía y CCSS*. Síntesis. Madrid, 1988, p. 127.

Cada uno de estos estratos recoge información temática y gráfica de la misma porción de la realidad, de tal manera que, si superpusiéramos el conjunto de las capas

temáticas, obtendríamos una “fotografía”, modelo o simplificación del ámbito representado siempre desde una perspectiva multidimensional o, lo que es lo mismo, con los SIGs podemos acercarnos a la naturaleza compleja que, por definición, se nos presentan los hechos y procesos sociales. Del mismo modo, y dado que cada una de las capas de información temática mantiene su autonomía e independencia, los análisis e interpretaciones, que cada profesional efectúe en sus respectivas bases de datos, se ven enriquecidos por dos razones: en primer lugar, el soporte digital en el que se organiza el conjunto de bases de datos nos permite gestionar importantes bases de datos; y, en segundo lugar, y considerando que la información temática, o cada una de las capas o estratos de información, contempla la componente espacial, es susceptible de ser representado espacialmente; es decir, de los análisis estadísticos al uso podemos añadirle los propios de la estadística espacial.

Gestión y análisis de las Bases de datos gráfica y alfanumérica: los mapas.

Las principales funciones que caracterizan e identifican los *softwares* de los SIGs, las distintas operaciones propias de cada uno de ellas y el nivel de gestión que se consigue según se apliquen unas o otras funciones, se sintetizan en la tabla adjunta. Las operaciones que exponemos se insertan en las funciones de análisis espacial propias de la tecnología SIG. Dado el carácter divulgativo y expositivo que se pretende con estas líneas, nos limitamos a esbozar el sistema de funciones y operaciones que permiten desarrollar la capacidad de análisis espacial como previo paso a la toma de decisiones. Para aquellos que deseen ampliar o conocer con mayor amplitud lo que aquí sólo apuntamos, les sugerimos revisar la cada vez mayor bibliografía disponible al respecto.

Sistema operativo de los Sistemas de Información Geográfica

Funciones	***Operaciones***	***Niveles de gestión***
Entrada de información	- Entrada de datos; - Capacidad de edición; - Representación interactiva;	

Gestión de la información (SGBD) Mantenimiento, Recuperación y análisis de la información temática Mantenimiento, recuperación y análisis de la información espacial	- Edición de atributos; - Interrogación de atributos: - Recuperación por especificación simbólica; - Recuperación por condición numérica o lógica; - Análisis estadísticos de atributos; - Filtrado de datos - Recuperación por especificación de dominio espacial; - Recuperación por condición geométrica; - Búsqueda espacial entre varios estratos temáticos; - Transformaciones geométricas; - Transformaciones de proyecciones cartográficas; - Emparejamiento de bordes; - Análisis espacial en: Mapas de puntos, Mapas de líneas, Mapas de zonas o polígonos	I.- Análisis descriptivos de los datos y formulación de patrones
Análisis integrados de datos temáticos y espaciales	-Recuperación/clasificación; - Superposición; - Vecindad; - Conectividad	II.- Generación de nuevas estructuras e información y formulación de patrones
Modelado espacial y cartográfico		III.- Simulación y modelización.
Salidas gráficas	- Mapas; - Gráficos; - Salidas alfanuméricas	

Fuente: Elaboración propia.

Por las razones expuestas y con la finalidad de ejemplificar el proceso que se sigue, *grosso modo*, partimos del supuesto hipotético que un equipo multidisciplinar, en el participamos como sociólogos, está evaluando el impacto ambiental que ocasionaría la instalación de un complejo químico en el suelo que un municipio tiene destinado a tales actividades.

Funciones de entrada de datos

La primera función con la que cuentan los SIGs, ajena a cualquier nivel de gestión, es la de entrada de información. Con ella se estructura y organizan en sus correspondientes bases de datos, los datos geográficos espaciales y/o alfanuméricos. Esta primera función es imprescindible y de suma importancia pues la exactitud y precisión con la que introducimos los datos condicionará las ulteriores explotaciones o gestiones en niveles superiores para los que la nueva tecnología está especialmente dotada.

Las posibilidades con las que actualmente contamos, a la hora de introducir en los SIGs los datos gráficos objeto de estudio, son muchas y muy diversas dependiendo, en última instancia, del tipo de información a informatizar. De todos ellos, es la digitalización el proceso más usual y económico, aunque el menos rápido. La captura de datos por ***digitalización*** supone pasar un mapa en soporte papel a formato digital.

Por su parte, y por lo que respecta a la entrada de la información alfanumérica o temática, ésta se introduce cuando el SIG ya ha concluido la fase de digitalización y, en consecuencia, de creación de topologías. El propio sistema crea una base de datos en donde ya se encuentran los campos con el identificador de cada elemento geográfico y alguna información referente a las magnitudes geométricas de dichos elementos (superficie, longitud,…). La inclusión de información temática ajena al sistema puede abordarse de dos maneras: o bien se introduce toda la información a través del teclado o, bien, se importa información temática en soporte digital.

> Considerando el supuesto enunciado, lo más frecuente es que la empresa promotora de la instalación haya desarrollado su propuesta en formato digital. Para llevar a cabo el EIA se precisa disponer, también en soporte digital, el término municipal en su totalidad[11] y no solo aquella porción de suelo sobre la que se va a emplazar. La Base de datos Gráfica estará constituida por un conjunto de capas en las que las primitivas gráficas son sus elementos constitutivos, a saber: una capa de zonas (polígonos cerrados) puede delimitar las secciones censales en las que, administrativamente, se organizan todos los municipios; el sistema de carreteras municipal y/o comarcal (según proceda) suele representarse a través de una capa de líneas; y una capa de puntos puede indicarnos la localización de cada una de las instalaciones industriales con las

[11] El ámbito representado puede exceder al propio término municipal implicado. Puesto que los impactos ambientales no conocen de límites administrativos, habrá que ampliar el estudio hasta allí donde se considere que la nueva instalación puede afectar de alguna u otra forma.

que cuenta el municipio (en ésta figurará la localización de la nueva instalación).
Como sociólogos, el contenido de la ***base de datos sociodemográfica*** variará en función de las particularidades del ámbito sometido a evaluación, de la información que dispongamos, de las características del proyecto que se pretende desarrollar y, en última instancia, del conocimiento que se tenga, en general, de la planificación medioambiental. Indudablemente un profesional, sea cual fuere su formación y dedicación, en la medida que conozca el ámbito en el que va a desarrollar sus conocimientos, participará de una forma más activa y sensible incluyendo elementos, perspectivas y criterios que escapan a los menos conocedores en la materia, por muy buen profesional que sea en su disciplina. No obstante, y siempre considerando lo expuesto, la base de dato socioeconómica debe, ante todo, reflejar la estructura sociodemográfica y productiva del área sometida a estudio. Para conseguir dicho nivel de información ésta debe contemplar las siguientes variables: características geográficas de la entidad geográfica; población; estructura de los sectores productivos; parámetros y macromagnitudes socioeconómicas (población activa, niveles de renta, empleo,…); e indicadores de niveles de bienestar y calidad de vida. Actualmente, y gracias a las posibilidades abiertas con la red, es posible encontrar estos datos ya en soporte digital.
Para organizar el conjunto de variables mencionadas, podemos utilizar cualquiera de los *software* que, disponibles en el mercado, tienen por finalidad crear y gestionar, directa o indirectamente, bases de datos (*Excel*, *Acces*,…). Cada una de las variables da lugar a una ***tabla temática***; por ello, tendremos tantas tablas temáticas como variables o indicadores sociodemográficos queramos introducir en el análisis. A su vez, el conjunto de tablas sociodemográficas da contenido a la base datos sociodemográfica del sistema de información geográfica. Para poder visualizar cada una de las tablas sociodemográficas, necesitamos relacionarlas con los elementos gráficos que dan forma a las entidades espaciales. Llamamos ***geocodificación*** al proceso en virtud del cual otorgamos coordenadas gráficas a las tablas temáticas. Lo más habitual es relacionar los datos sociodemográficos a capas cuya primitivas gráficas son zonas o polígonos (que como ya hemos mencionado serán las secciones censales). Una vez concluido este proceso, podremos representar gráficamente cada una de las tablas obteniendo, lo que, en terminología SIG, se conoce, como ***capas o estratos temáticas***.

Gestión de la información

Los SIGs cuentan con un amplio abanico de operaciones y funciones tendentes a la gestión de la información introducida. Por ***gestión de la información*** entendemos al conjunto de operaciones que tienen como finalidad “manipular” y explorar tanto la información temática como la gráfica.

Las funciones básicas de gestión de tablas temáticas son: localización de información temática mediante técnicas SQL; creación y modificación de la estructura

de las tablas; y, recuperación de información a través de operaciones estadísticas. La recuperación de la información espacial también se lleva a cabo de distintas maneras, a saber: análisis de las magnitudes de los objetos representados; recuperación de la información mediante especificación de un dominio espacial; y, recuperación de la información por condición geométrica. Por último, y en su conjunto, las operaciones y análisis varían según trabajemos con mapas de puntos, líneas o zonas.

Todos los SIGs, incluso muchos de los programas de cartografía automática, cuentan con un amplio sistema de funciones y operadores tendentes a gestionar y manipular sus bases de datos. Sin embargo, los SIGs adolecen de una reducida capacidad en ejecutar análisis estadísticos, fundamentalmente cuando éstos implican a más de una variables (en general una de las más importantes limitaciones de los SIG es su reducida capacidad en la gestión de información temática). Estas limitaciones se vienen subsanando gracias a la óptima relación que mantienen con paquetes estadísticos (quizás uno de los más generalizados sea SPSS).

> Una vez que disponemos de la base de datos sociodemográfica podemos seleccionar y representar gráficamente aquella información que precisemos. La selección de información con el lenguaje SQL se ha convertido en un estándar en los SIGs al uso. El tipo de información que seleccionemos dependerá, en última instancia, de los criterios de búsqueda. Así, nos pueda interesar, a través de condiciones aritméticas y una vez establecido los valores del índice “calidad de vida”, seleccionar únicamente aquellas zonas con peores niveles (secciones censales con un índice < a 3); o en situación de emergencia, e introduciendo una especificación nominal, el interés puede centrarse en saber en dónde reside la población médica más cercana a la catástrofe (población “médico”); o bien, e introduciendo una especificación por dominio espacial (radio de afección ante una fuga de residuos tóxicos) es posible ubicar a la población afectada, cuantificar el alcance de la fuga y planificar los primeros auxilios. Sea cual fuere la selección efectuada (el lenguaje SQL permite combinaciones complejas) obtenemos un doble resultado: una tabla, independiente a la/s tabla/s fuente/s, en la que se relaciona la extracción de la información; y un mapa en el que se representa espacialmente la información seleccionada.

Análisis integrado de los datos temáticos y espaciales

En este tercer grupo de funciones, la gestión conjunta sobre datos gráficos y temáticos tienen por finalidad generar nueva información y, por lo tanto, nuevas estructuras geográficas, a partir de la combinación de las dos componentes. Este nivel

de gestión, exclusivo de los genuinos SIGs, asume todas las funciones expuestas, de tal manera, que la nueva información generada queda expuesta a ser sometida a cualquiera de las operaciones descritas.

Las funciones de análisis espacial más representativas de este nivel son: ***superposición*** (permite análisis multivariables al integrar distintas capas temáticas y/o gráficas); ***vecindad*** (engloba un conjunto de operaciones SIGs tendentes a evaluar las características del área que envuelve una localización determinada); y, ***conectividad*** (operaciones SIGs relacionadas con la conexión entre las entidades geográficas representadas).

> Gracias a la definición de las condiciones topológicas de las entidades geográficas es posible realizar análisis más complejos. En concreto, a partir de la conectividad, y siguiendo el supuesto hipotético de estado de emergencia, será posible: elegir en tiempo real el trazado urbano (red) más rápido de tal manera que el auxilio se preste en el menor tiempo posible; determinar *buffers* o áreas de afección de la zona afectada o definir el *Modelo Digital del Terreno* (MDT) para efectuar un análisis de visibilidad.

De las tres operaciones mencionadas son, sin lugar a dudas, las de superposición (o en terminología SIG ***overlay***) las más aplicadas. Sólo a partir de éstas, se produce la efectiva y real integración de la información, proceso a partir del cual obtenemos nueva información. En concreto, la superposición del conjunto de capas temáticas susceptibles de participar en EIA genera tres tipos de información plasmada de forma gráfica, a saber: (1) *Mapa de aptitud territorial* (expresa el uso más óptimo, en función de las características ambientales, de cada uno de lo ámbitos en los que se ha dividido la entidad espacial sometida a estudio); (2) *Mapa de conflictos territoriales actuales* (identifica incompatibilidades derivadas de contrastar la aptitud preferente en cada unidad de análisis con la ocupación de suelo actual); y (3), *Mapa de conflictos derivados* (incompatibilidades, en este caso, extraídas después de comparar –superponer- el mapa de aptitudes con el de las actuaciones sometidas a evaluación). A su vez, la información contenida en estos mapas sienta las bases objetivas para: determinar las *medidas correctoras* a aplicar así como el *sistema de vigilancia*.

Modelado espacial y cartográfico

Pese a que el primer SIG, en sentido estricto, esté fechado en 1966[12] no será hasta principios de la década de los noventa cuando se explote el potencial de esta tecnología, momento en que se empieza a constatar su eclosión. Efectivamente, en España el uso de esta nueva tecnología apenas cuenta con una década de experiencia. Sin embargo, y pese a ello, cada vez son más las disciplinas que no dejan pasar la oportunidad de incorporar las posibilidades de análisis y gestión que con la tecnología SIG se introducen. En concreto, su aportación en los *procesos generales de formación de modelos* (entendiendo a éstos como una simplificación y abstracción de la realidad) ha sido, y continua siendo, una de sus características más identificativas.

La versatilidad del ordenador ha hecho posible que la definición de modelos funcione bajo esquemas simples y reiterados, con un coste en tiempo e inversión reducidos. En este sentido, con los SIGs, en la medida que son capaces de gestionar gran cantidad y variedad de datos, se mejoran sustancialmente los ***modelos descriptivos*** al uso; esto es, aquellos cuya finalidad no es otra que la de "describir" la situación, hecho o proceso sometido a estudio. La tecnología SIG facilita la integración de la información representado los fenómenos de un modo más cercano a la realidad, lo que nos lleva, en última instancia, a una mayor comprensión del tema objeto de estudio.

Para la gran mayoría de las más recientes aplicaciones, lo importante es llegar a definir modelos situacionales o descriptivos para a partir de éstos predecir comportamientos. Los ***modelos predictivos*** se basan en la aplicación de funciones de geo-estadística inferencial para simular aspectos físicos, una vez conocido el comportamiento de las variables que participan en el hecho, fenómeno o situación. Con los modelos predictivos contestar cuestiones del tipo de: ¿cuál será la distribución espacial de la población de continuar la actual tendencia?, se convierte en una cuestión sencilla. Para estos casos, la tecnología SIG pone a nuestro servicio la posibilidad de tomar nuestras decisiones en función y controlando, las distintas variables que, de hecho, intervienen. La simulación de futuribles situaciones con SIGs nos acerca cada vez más a los procesos reales pues no se ciñe a criterios únicos, tal y como tradicionalmente venían desarrollándose, sino que, también, en este caso, se repite la

[12] En 1966 se diseña el *Canadian Geoghaphic Information System* (CGIS). Su finalidad fue integrar el conjunto de fuentes forestales que se disponían con el objetivo de obtener un inventario del territorio forestal de Canadá.

situación ya apuntada: las predicciones y proyecciones se acercan cada vez más a la realidad por el hecho de introducir un mayor número de variables que participan en el fenómeno, hecho o situación modelada. Con ello la toma de decisiones, y la planificación en términos generales, alcanzará un amplio grado de protagonismo, pues si somos capaces de "modelizar" tantas circunstancias como variables susceptibles de modificar el fenómeno, podremos escoger aquella opción más cercana a nuestros intereses de partida.

El hecho de tomar una decisión considerando y "controlando" el amplio espectro de variables que afectan a cualquier hecho social ha sido un gran paso, desarrollado conceptual y metodológicamente por la **teoría de decisión multicriterio**. Los procesos de toma de decisiones se han analizado, tradicionalmente, bajo el *paradigma de optimización*. El "centro decisor" establece un orden de prioridades o soluciones factibles. Una vez establecida el sistema de prioridades elegirá como solución, elección óptima, aquella que dentro de su escala ocupa el mayor grado de deseabilidad, grado que, a su vez, viene definido por un único criterio de preferencia *múltiples*.

El desarrollo de la teoría de decisión multicriterio pone precisamente en tela de juicio el hecho de que, en la vida real, las decisiones no se toman en torno a una única condición, sino por la combinación de varias: en los fenómenos sociales y en los naturales cada vez más se consideran la pluralidad de elementos que intervienen. El paradigma monocriterio queda obsoleto y se reemplaza por la noción de *decisión multicriterio* u *objetivos*. Bajo esta nueva perspectiva la elección en relación con un único criterio constituye un caso particular del enfoque multicriterio.

La tecnología SIG pone a nuestro servicio la posibilidad de tomar nuestras decisiones en función y controlando las distintas variables que, de hecho, intervienen en la vida misma. Esta es otra de las ventajas que nos ofrece el mundo de los SIG, puesto que, con anterioridad, la elección partía de la posibilidad de combinar poca información tanto en cantidad como en diversidad. Ahora podremos elegir y trazar el trayecto más óptimo, que no corto, en caso de emergencia. Información del tipo de: densidad de tráfico, número de semáforos, sentido de la circulación, tránsito peatonal, existencia de obras, hora del día,... pueden hacer que la condición a priori más determinante como es que la distancia pase a ocupar un segundo puesto.

Por último, con los SIG podemos llegar a establecer ***modelos prescriptivos***; esto es, aquellos ligados a los modelos de localización de centros y ubicación de recursos y a los modelos de *alocate-locate* en los que participan criterios y objetivos en conflicto. A éstos últimos, en terminología SIG, se les conoce como los ***modelos de impacto y acogida***. Estos modelos aplican una evaluación multicriterio basada fundamentalmente en la integración (superposición) cartográfica en relación con criterios de ponderación. Esto es, a partir de *pesos* y *valores* se especifica la importancia, limitación y afinidad de cada variable en el modelo a desarrollar. Los modelos prescriptivos se asocian con el ***modelado cartográfico*** propio de los SIGs y, respecto a los anteriores modelos, suponen un salto cualitativo en el tratamiento de la información, pues éstos se obtienen cuando "(…) se integran en una secuencia lógica una serie de capas de información, operaciones del SIG topológicas y temáticas, información exterior al SIG (opcionalmente) y juicios de valor, con el fin de buscar soluciones a determinados problemas de carácter espacial" (BARREDO, 1996: 34).

> En los EIA, y con la finalidad de garantizar que el emplazamiento de las actividades genera el menor impacto social y ambiental, se suele recurrir a los modelos de impacto-acogida. Éstos modelos resultan de la ***superposición*** (ésta es una de las funciones más representativa de los SIGs) del conjunto de capas de información susceptibles de participar en la determinación de aquél emplazamiento que minimice impactos y, en consecuencia, el más idóneo para su acogida. Del resultado de la superposición de información sobre tipo de suelo, drenaje, accesos, infraestructuras, etc., se obtiene, desde un punto de vista racional, el lugar óptimo de tal manera que es éste el que minimiza los impactos y degradaciones al medio.

Con la finalidad de dotar al proceso de asignación de pesos y valores de la mayor objetividad posible, la participación de un equipo multidisciplinar se impone, nuevamente, como imprescindible. Solo a partir de éste se consigue equilibrar la importancia otorgada a los distintos aspectos. En este contexto, la participación del sociólogo aparece clara, pues, tradicionalmente, sólo se han computado o contabilizado los efectos al medio y no los provocados a la población que sobre el territorio desarrolla sus actividades.

> De este modo, puede resultar interesante determinar el incremento poblacional (y parámetros asociados al mismo) que se produciría en el/los término/s municipal/es en el que se implanta la actividad citada.

> Considerando el ***impacto demográfico*** (inmigración,…) que una nueva actividad económica ocasiona, así como su posible distribución en el territorio, cabe plantear la necesidad de viviendas, equipamientos e infraestructuras varias. En última instancia, la evaluación obtenida sobre el medio demográfico-social, cabe utilizarla e integrarla como criterio de ponderación en el modelo de acogida que se intenta definir.

En síntesis, ocho son los aspectos en los que los SIGs mejoran los modelos espaciales al uso, a saber:

1. Son modelos menos complejos.
2. Son más pragmáticos dada su mayor capacidad en la visualización de resultados. Los SIGs destacan los aspectos cualitativos en detrimento de las precisiones matemáticas y/o teóricas.
3. Con los SIGs es posible elaborar modelos a corto plazo, sustituyendo los modelos clásicos con proyecciones ilimitadas (propios de la etapa desarrollista de los sesenta).
4. Paralelamente se reduce el ámbito de aplicación de la zona modelada. Ya no interesa la simulación de vastas zonas, sino la modelización de espacios reducidos en donde es posible identificar con mayor precisión sus variables representativas.
5. Los modelos obtenidos a partir de la aplicación de SIG ofrecen una mayor desagregación de las unidades espaciales, obteniendo mayor precisión geográfica y social.
6. Dada la desagregación que ofrecen, es posible mejorar la capacidad de análisis socio-espacial.
7. Los SIGs admiten una mayor flexibilidad en el tratamiento de la información. Con ellos no es solo posible integrar información de naturaleza distinta, sino también procedente de ámbitos espaciales diversos, cuestión que hasta la fecha había sido inabordable.
8. Por último, los modelos con tecnología SIG incorporan, además, la escala temporal y la variable medioambiental en sus definiciones (SERRA, 1996: 792-795).

Presentación de resultados

Por último, los SIGs cuentan con una amplia oferta de posibilidades a la hora de presentar sus resultados. Todo tipo de análisis realizado con tecnología SIG o, simplemente, la información contenida en sus bases de datos, desemboca en un resultado expresado por el ordenador a través de alguno de sus periféricos. Por salidas gráficas debemos entender a todos aquellos documentos constituidos por dibujos (CALVO, 1993: 111). Los dibujos pueden ser gráficos y mapas propiamente: los gráficos son métodos expresivos para representar los valores numéricos de las bases de datos y la cartografía es la forma de presentación más vinculada e identificativa de los SIGs. A modo de síntesis, la presentación de los datos contenidos o analizados puede efectuarse de distintas formas quedando recogidas en la tabla adjunta.

Clasificación de las salidas gráficas y alfanuméricas en un SIG.

Salidas gráficas		**Salidas alfanuméricas**
Mapas	**Gráficos**	
Mapas temáticos	Diagramas	Listados
Mapas de coropletas	Histogramas	Informes
Mapas de puntos	Diagrama de Tartas	Bases de datos
Mapas de líneas		Indicadores estadísticos
Mapas de zonas		Resúmenes

Fuente: *Elaboración propia*.

CONCLUSIÓN

Confiamos en que este breve exposición en torno a los Sistemas de Información Geográfica como herramienta al servicio del desarrollo sostenible o ecodesarrollo sirva tanto a los estudiantes de sociología y/o sociólogos de facto, vinculados e interesados en el análisis y estudio medioambiental, como a los profesionales de las ciencias físicas y naturales, tradicionalmente ligados en exclusividad a dicha temática. A los primeros, les hemos presentado una nueva herramienta que hace posible canalizar su participación en proyectos medioambientales y, en consecuencia, abre las puertas a la integración de la temática sociodemográfica en los mismos. Su actuación, en este sentido, y bajo nuestro punto de vista, se resumiría en:

1. Diseño, ampliación, depuración y actualización de la **base de datos socioeconómica** del ámbito sometido a estudio. Cuando el proyecto en el que se

participa tiene por finalidad la planificación física del territorio y/o ordenación territorial, ésta debe incluir las siguientes capas temáticas: características geográficas de la entidad geográfica; población (distribución, ocupación,..); estructura productiva; parámetros y macromagnitudes socioeconómicas (población activa, niveles de renta, empleo,…), indicadores de nivel de bienestar y calidad de vida; identificación de la industria extensiva como intensiva,... Esta base de datos se amplía teniendo en cuenta nuestra posible participación en proyectos más específicos. Así, en estudios de impacto ambiental, es frecuente incluir: tipo de ocupación del suelo; red viaria; planeamiento urbanístico vigente,…

2. **Gestión** y **explotación** de la base de datos socioeconómica en proyectos medioambientales. Dada la independencia que mantiene la base de datos sociodemográfica en un SIG es posible no solo realizar análisis descriptivos y temáticos de cada una de las capas de información, sino también establecer **modelos predictivos**. En este sentido, resulta interesante determinar a tiempo real y de forma fácil el impacto demográfico y social que produciría la implantación de determinada actividad. Cuantificar el crecimiento potencial de la población (y en general de cualquiera de las variables recogidas en nuestra base de datos), y lo más interesante, apreciar su posible distribución en el territorio, excede del interés estrictamente sociológico. Los modelos predictivos se convierten en una pieza a considerar en la definición de **modelos ambientales prescriptivos**. El sociólogo, a partir del conocimiento que le aporta su modelo predictivo, está en óptimas condiciones de participar en la asignación objetiva de pesos y valores, equilibrando y sopesando la importancia de los distintos aspectos que participan en la definición del modelos.

Por último, a los profesionales de las ciencias naturales y físicas, los genuinos vertebradores de los proyectos ambientales (no podemos olvidar que son ellos los que dominan y conocen las variables ambientales abióticas y bióticas, así como la metodología asociada a su análisis y estudio), les hemos mostrado que la nueva tecnología pone a su servicio la posibilidad de integrar no solo un número cada vez mayor de variables ambientales sino, también, las de corte social, lo que en último instancia redunda en una mayor y mejor comprensión medioambiental (no podemos

olvidar que son los sociólogos los que más y mejor conocen las variables ambientales antrópicas y la metodología asociadas a su estudio y análisis).

ANEXO 1:

GLOSARIO

Alfanumérico (datos y/o información):

Información cuyo código de escritura son números, letras y signos de puntuación. En oposición a *gráfica* (dato y/o información).

Análisis de redes:

Conjunto de operaciones y funciones posibles de realizar cuando analizamos estructuras tipo red o grafo. Las más recientes son las tendentes a determinar el camino mínimo óptimo y las de cálculo o determinación de áreas de influencia en torno a la red o tramo de ella.

Análisis espacial:

Conjunto de conceptos, metodologías y técnicas cuantitativas (metodología estadística) en el estudio de los datos espaciales. El análisis se puede centrar, exclusivamente, en el estudio de las características geométricas que presentan los datos; o bien, combinarlo con la información temática asociada al dato geométrico.

Base de datos:

Conjunto organizado e interrelacionado de datos almacenados en soporte digital. Una base de datos está formada por una o varias tablas. Cada una de las tablas está organizada en registros (filas) y campos (columnas).

Base de datos alfanumérico (BDA):

Conjunto de ficheros con datos referidos a entidades gráficas o geo-referenciadas.

Base de datos gráficos o cartográficos (BDG):

Almacenan en soporte magnético datos o información territorial a la que se hace referencia. Su estructura encierra un conjunto de ficheros que contiene: códigos, posiciones geográficas, descripciones geométricas, género, topónimo y aspecto. A partir de éstos se creará la documentación gráfica o "mapa".

Búsqueda espacial:

Determinar los valores temáticos que aparecen en una localización para los objetos geográficos señalados.

Búsqueda temática:

Determinar las localizaciones de los objetos geográficos según cumplan, o no, los valores temáticos especificados por el usuario.

Capas temáticas o niveles/estratos o mapas de información:

En SIGs es frecuente organizar las bases de datos en capas temáticas asociadas, cada una de ellas, a u tipo concreto de objeto espacial. Así encontramos capas "puntuales", capas "lineales" y capas "zonales". La combinación de éstas dan lugar a los "mapas temáticos".

Centroide:

Punto interior a un polígono o zona. A partir de éste se puede identificar el polígono o zona; a éste se asocian sus coordenadas geográficas; y a él se vinculan los datos alfanuméricos o temáticos que lo describen.

Dato geográfico:

Describen las entidades de la realidad. Cuentan con un doble componente: un dato geográfico ocupa una posición en el espacio (geometría y topología); y contiene una serie de atributos asociados.

Dato geo-referenciable:

Son los que normalmente no aparecen dibujados sobre los mapas pero mantienen algún tipo de unión con algunas de las entidades geo-regerenciadas. Los datos geo-referencables dan lugar a las Bases de Datos Alfanuméricas.

Datos geo-referenciados:

Son aquellos que poseen una posición geográfica definida e inalterable determinada por sus coordenadas. Su característica principal es la ser objetos dibujables y, por lo tanto, representables sobre un mapa. En cartografía se les denomina *entidades geográficas*. Los datos geo-referenciados dan lugar a las Bases de Datos Gráficas.

Digitalización:

Es el proceso a partir del cual la imagen cartografía en soporte papel o analógico se transforma en datos numéricos (geometría de los elementos geográficos), dando paso a un soporte digital.

Entidad geográfica (objeto cartográfico):

Es la imagen digital de una unidad geográfica individualizada. Se representa por las primitivas gráficas: puntos, líneas o superficies.

Geometría:

En SIG la geometría es el sistema de referencia, de localización, absoluto o cuantitativo. La geometría de un dato se establece en relación a algún sistema de referencia. La descripción espacial de una dato geográfico se complementa con la definición de su *topología*.

Información geográfica:

Aquella información que puede ser relacionada con localizaciones en la superficie de la tierra. Describe elementos en función de: su posición en la superficie terrestre; de sus atributos o características descriptivas; de sus relaciones espaciales; y en función de un tiempo.

Modelo:

Representación simplificada y operativa de la realidad. Según el nivel de abstracción aplicado en su definición podemos diferenciar entre: modelos icónicos, analógicos, conceptuales y matemáticos.

Modelado espacial o cartográfico:

El modelado espacial supone la generación de modelos espaciales a partir de la aplicación de tecnología SIG. Para su obtención el SIG integra: modelos espaciales clásicos, funciones u operaciones propias de esta tecnología y, operaciones aritméticas o estadísticas. La simulación informática es la técnica aplicada.

Operador:

Nexos de unión, de relación o de condición entre dos capas de información de una base de datos en entorno SIG. Los operadores más frecuentes son los aritméticos y los lógicos.

Operadores aritméticos:

Se establece una condición aritmética del tipo de: mayor que, menor que, igual que, etc., que afecta a uno o varios atributos o estratos temáticos, de tal manera que todos los objetos espaciales que cumplan dicha condición quedan representados o en una tabla o en un mapa.

Operadores lógicos:

Se establece una condición lógica del tipo de: Y (and) inclusión; O (or) alternativas; NO (not) exclusión; NI (nor);… que afecta a uno o varios atributos temáticos, de tal manera que todos los objetos espaciales que cumplan dicha condición quedan representados o en una tabla o en un mapa.

Simulaciones informáticas:

Es una técnica cada vez más generalizada en la construcción de modelos. Los elementos de la situación a modelar son representados por procesos aritméticos y lógicos. El ordenador ejecuta dichos procesos para: predecir y generar escenarios; diseñar políticas y/o evaluar el impacto de dichas políticas.

Sistema de Información Geográfico:

Son auténticas bases de datos geo-referenciados que incorporan la gestión de los datos gráficos y alfanuméricos de un modo conjunto. Esta forma de gestión es la que le permite realizar análisis sobre cuestiones que implican el manejo de gran cantidad de

información. Es más, de no darse esta gestión conjunta, los Sistemas no podrían considerarse auténticos SIG.

Sistemas expertos o *spatial decision support systems*:

Son sistemas de información que incorporan funciones de simulación de escenarios, convirtiéndose en sistemas de apoyo para la toma de decisiones.

Topología:

La topología de un dato geográfico describe las relaciones que mantiene con otros objetos espaciales. Este tipo de información facilita las operaciones en los SIGs del tal manera que para ser considerado un verdadero SIG se requiere este tipo de información. De lo contrario, solo con la información de la geometría de las entidades estaríamos ante un programa de producción cartográfica.

BIBLIOGRAFÍA

BARBA-ROMERO, S. y PÉREZ, J.: "La metodología multicriterio en el análisis y la planificación territorial", en *Ciudad y Territorio*, nº 112, 1997, pp. 323-333.

BARRAGÁN, J., y MOREIRA, J.: "Sistemas de Información ambiental de andalucía. SinambA", en *Mapping. Revista de Cartografía, Sistemas de Información Geográfica y Teledetección*, nº extraordinario septiembre, 1992.

BARREDO, J. I. y BOSQUE, J.: "Modelado espacial integrando SIG y Evaluación Multicriterio en dos tipos de datos espaciales: vector y raster", en *Estudios Geográficos*, nº 220, 1995, pp. 637-663.

BARREDO, J. I. (): *Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio*. Ra-Ma. Madrid, 1996.

BOSQUE, et al.,: *Aplicaciones informáticas a la geografía y CCSS*. Síntesis. Madrid, 1988.

CALVO, M. (): *Sistemas de Información geográfica digitales*. Instituto Vasco de Administraciones Públicas (IVAP). Bilbao, 1993.

CHUVIECO, E.: *Fundamentos de teledetección espacial*. Rialp. Madrid, 1996.

COMAS, D. y RUIZ, E. (): *Fundamentos de los Sistemas de Información Geográfica*. Ariel Geográfica. Barcelona, 1993.

CORDERO, M.: *Bancos de datos*. Centro de Investigaciones Sociológicas (CIS), Cuadernos metodológicos nº 24. Madrid, 1998.

FORGIA, A. y VIARD, R.: "El diseño urbano asistido por ordenador", *Ciudad y Territorio*, nº 12, 1990, pp. 111-122.

GALACHO, F.; MÉRIDA, M. y PERLES, M. J.: "Sistemas de Información Geográfica y cartografía automática. Nuevas técnicas de investigación geográficas aplicadas al planeamiento urbanístico dentro de la ordenación territorial", en *Mapping. Revista de Cartografía, Sistemas de Información Geográfica y Teledetección*, nº 12, 1993, pp. 22-31.

GUTIÉRREZ, J. y GOULD, M. (): *Sistemas de Información Geográficos*. Síntesis. Madrid, 1994.

MENDIZÁBAL, A., y RODRÍGUEZ, E.: "Aplicación de un Sistema de Información Geográfico a la Planificación Hidrológica", en *Mapping. Revista de Cartografía, Sistemas de Información Geográfica y Teledetección*, nº 12, 1993, pp. 52-57.

MIGUEL, A. y PIATTINI, M.: *Fundamentos y modelos de Bases de datos*. Ra-ma. Madrid, 1997.

MOLDES, F. J.: *Tecnología de los Sistemas de Información Geográfica*. Ra-ma. Madrid, 1995.

PENEAU, J. P.: "Nuevos instrumentos de gestión y de concepción del espacio urbano", en *Ciudad y Territorio*, nº 12, 1990, pp. 123-137.

SENN, J. A.: *Sistemas de Información para la administración*. Grupo Editorial Iberoámerica. México DF, 1990.

SERRA, P.: "Análisis espacial y modelos urbanos en el entorno SIG", en *Ciudad y Territorio: Estudios Territoriales*, XXVIII (110), 1996, pp. 785-799.