

# LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN SALUD AMBIENTAL

## THE GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS IN ENVIRONMENTAL HEALTH

José A. Malpica Velasco \*

\* Departamento de Matemáticas, de la Universidad de Alcalá de Henares

### RESUMEN

En esta ponencia se presenta una breve introducción a los Sistemas de Información Geográfica (GIS, Geographic Information System) y sus aplicaciones en el área de Salud Ambiental (SA). Se inicia con una exposición conceptual para mostrar el potencial de los GIS como analizadores espacio-temporales, y como ayudas a la toma de decisiones. Se analizan algunos casos concretos, que han resultado un éxito, en la aplicación de las nuevas tecnologías en SA. También se hace una breve revisión del software más popular para un GIS, comercial y libre, y su conexión con otro software estadístico y especializado para construir herramientas informáticas apropiadas con las que trabajar en SA. Finalmente, se ofrecen algunas estrategias para lograr una mayor utilización de los GIS en SA.

**PALABRAS CLAVE:** Sistemas de Información Geográfica. Software en Salud Ambiental.

### INTRODUCCIÓN

Hoy día las herramientas informáticas permiten el análisis, seguimiento y evaluación de situaciones complejas, además del apoyo a la toma de decisiones en la búsqueda de soluciones eficaces a una gran variedad de problemas.

Un GIS es una aplicación informática diseñada para guardar, analizar y visualizar datos geográficos y alfanumérico. En realidad es una base de datos, con la particularidad de que tiene datos georeferenciados y permite realizar análisis espaciales. El distintivo de un GIS es esa componente espacial o geográfica, pero no se queda en la mera visualización de los datos geográficos, es algo más que cartografía digital, por importante que ésta sea. En resumen, un GIS se debería ver como una herramienta para procesar y analizar información espacial georeferenciada.

La captura de información para llenar la base de datos es lo que más esfuerzo exige en todo proyecto GIS, generalmente supone el 80% del coste económico del proyecto completo. Se distinguen dos tipos de datos de entrada al GIS, los datos de tipo primario, que son los ob-

### ABSTRACT

This paper gives a brief introduction to the Geographic Information Systems (GIS) and its applications to the field of Environmental Health (EH). It starts with a conceptual exposition in order to show the potential of GIS's as an space temporal analysers, and as an aids to take decisions. Some specific cases are analysed, these cases represent success applications of new technology to EH. A brief survey of the more popular software for GIS, free and commercial, is presented. It is also shown the connexion of this software with statistical software and other kind of specialize software in order to build computer tools for working in EH. Finally, some strategies are given for a deepen involvement of GIS in EH.

**KEY WORDS:** Geographic Information Systems. Software for Environmental Health.

tenidos directamente del mundo exterior, por ejemplo, los obtenidos por teledetección, o por observación directa de la fuente que los produce, o los obtenidos por sensores que registran la temperatura en varios puntos, o las mediciones del nivel de pesticida en distintos lugares de un área agrícola, o cualquier otro dato obtenido directamente de la fuente. Los datos de tipo secundario son los obtenidos indirectamente, se extraen de soportes o dispositivos que ya tenían almacenada la información de fuentes primarias, un ejemplo de soporte de este tipo es un mapa en papel, la información que del mapa se obtenga será de tipo secundario. Esta variedad de información dará lugar necesariamente a unos datos imprecisos, vagos o borrosos, por lo que no valdrá la teoría matemática clásica en la construcción de modelos y simulaciones, salvo en los casos muy sencillos, generalmente se utilizan modelos computacionales y matemáticos que tienen en cuenta esta característica de incertidumbre; así se utiliza matemática borrosa (*fuzzy*) y algoritmos heurísticos. Es el nuevo paradigma que se está imponiendo en cierto tipo de ciencias y tecnologías. Puede verse más sobre lo que se acaba de decir y la tendencias en los SIG en el libro de Burrough y McDonnell<sup>1</sup>.

## INFORMACIÓN ESPACIAL

Aparte de los dos tipos de datos consecuencia de qué método de captura se utilice: primario o secundario; la información espacial por ese mismo carácter espacial, puede también ser de dos tipos: ráster y vectorial, que corresponden a dos concepciones ontológicas de espacio distintas, como vamos a ver a continuación.

La noción de espacio en GIS se puede definir de dos formas: como un recinto donde se sitúan los objetos, o como una relación, la que se establece entre el conjunto de objetos. Todo ser humano tiene una idea intuitiva de lo que es el espacio en el que se mueve. Es este concepto el que se quiere aprehender y entender. En el espacio físico todos somos capaces de percibir propiedades tales como tamaño, dirección, color y textura. Quizás el concepto más aceptado es el primero, el de un recipiente que contiene todas las cosas existen, o espacio absoluto. Kant, el filósofo, lo considera un concepto a priori que todos tenemos debido a nuestra estructura cerebral, es una categoría. Para un GIS el concepto del espacio absoluto equivaldría a considerar el espacio como un array (matriz de datos en un ordenador) donde se marcan un conjunto de posiciones con ciertas propiedades, o en otras palabras, donde se marcan los objetos sobre la referencia, que es el array que sirve de recinto. Un array con los objetos marcados se conoce con el nombre de capa ráster del GIS, en realidad el espacio va a venir dado por un conjunto de estas capas. El segundo concepto resulta de definir un conjunto de objetos y sus propiedades de dependencia con los otros objetos, de estas dependencias surge el concepto de espacio.

Los objetos se reducen en un GIS a puntos líneas y polígonos, cuando un conjunto de estos objetos representan una entidad cartográfica, por ejemplo las vías de comunicación, se conoce en GIS como capa vectorial. Esta dicotomía ráster - vector tiene implicaciones importantes para la modelización espacial, el espacio absoluto de la filosofía se modeliza como un conjunto de capas ráster y el espacio relativo como una colección de objetos espacialmente referenciados, capas vectoriales. Couclelis<sup>2</sup> ha llevado esta dicotomía en la visualización del espacio aún más lejos, estableciendo otras relaciones ontológicas con los conceptos de onda y partícula de la física.

Veamos algunos ejemplos de datos de tipo primario y secundario, ráster y vector que quedan almacenados en la base de datos del GIS.

Datos de tipo primario:

- Teledetección: Consiste en la captura de información espacial a partir de sensores colocados en satélites o aviones. Los datos obtenidos por teledetección son generalmente de tipo ráster.
- Sistemas de Posicionamiento Global (GPS, Global Positioning System) Utilizando una red de satélites permite la captura de posiciones y navegación de vehículos. Los datos son capturados como conjunto de posiciones, generalmente asociados a otros atributos. Los datos están estructurados como una secuencia de puntos y vienen por tanto en formato vectorial.

Datos de tipo secundario:

- Escáneres: Son dispositivos que convierten datos analógicos, por ejemplo un mapa, en un conjunto de datos digitales. Los datos aparecen con estructura ráster.
- Digitalizadores: Permiten convertir una base de datos espacial analógica a una base de datos digital, con estructura vectorial. La digitalización es un proceso manual, aunque últimamente están apareciendo algoritmos que permiten realizarla de manera semiautomática.

Para ver más detalle y explicado con mucha claridad sobre lo dicho en este apartado una buena referencia es Longley et al.<sup>3</sup>. Si se desea realizar un estudio más de tipo algorítmico y computacional es recomendable acudir a Worboys<sup>4</sup>.

## SOFTWARE

En los años 80 sólo se podía utilizar un GIS en una estación de trabajo y con un software muy sofisticado que exigía un aprendizaje y una experiencia que pocos poseían en aquel tiempo, con el paso de los años el abaratamiento del hardware, y con un software que cada vez es más amigable, los GIS están a disposición de cualquiera con un ordenador personal.

Desde hace tiempo se intenta utilizar estándares abiertos que permitan a sistemas desarrollados por distintas compañías trabajar junto, sin necesidad de volver a formatear los datos. Open GIS Consortium ([www.open-gis.org](http://www.open-gis.org)) ha realizado varias de las más importantes especificaciones. Por ejemplo, es posible operar un GIS dentro de una hoja de cálculo, como Excel de Microsoft, y abrir un paquete de análisis estadístico, sin salir de ArcView (el GIS de ESRI). Los sistemas abiertos afortunadamente conducen a centrarse más en los principios y menos en los detalles de las implementaciones específicas. Se puede aprender por cursos *online*, [www.unigis.org](http://www.unigis.org) [www.esri.com](http://www.esri.com) [www.ncgia.org/education/ed.html](http://www.ncgia.org/education/ed.html) Cada vez es más fácil aprender a manejar un GIS.

Un GIS es una herramienta útil a cualquier profesional que tenga que trabajar con datos espaciales georeferenciados, biólogos, geólogos, ingenieros agrónomos, ingenieros forestales, profesionales del medio ambiente, etc. Ya no es necesario que uno de estos profesionales busque a un especialista en GIS para que le resuelva el problema del procesamiento de los datos espaciales, cualquiera de esos profesionales se puede con una preparación mínima realizar con un GIS los análisis que precisa para su trabajo.

Un GIS junto con un compilador son las aplicaciones más complejas de implementar en un ordenador. El procedimiento para llevarlo a cabo es la modularización. El producto final que ofrecen muchas compañías viene dado de esta manera en módulos de forma que se compra sólo los que va a necesitar. Ésta es una de las razones de la utilización en SA de software GIS de propósito general.

El caso más simple de utilización de un GIS se puede considerar constituido por una persona con un PC y un

software GIS de alguna casa comercial, el operador puede introducir los datos manualmente y producir la salida en el monitor de su ordenador. En el otro extremo, se tiene un conjunto de PCs o estaciones de trabajo cartográficas en línea con una gran base de datos espacial, o una serie de bases de datos en red, a las que se puede acceder utilizando internet.

El software GIS de propósito general más importante es el que se señala a continuación:

**IDRISI:** se diseñó con la idea de facilitar la utilización de los GIS ráster. Desde un punto de vista educativo tiene bastantes ventajas por su claridad. La última versión de 32 bits es bastante completa.

**GRASS:** Fue desarrollado por el ejército americano y posteriormente puesto en internet para su distribución gratuita. Las universidades y otros centros de investigación lo han ampliado con nuevos módulos, que generalmente los han ido dejando también libres en internet. Inicialmente estaba para el sistema operativo Unix pero ahora se encuentra también para Windows.

**ARC/INFO:** es una caja de herramientas comercial de ESRI para la automatización, tratamiento, análisis y visualización de información geográfica. Fue de los primeros GIS y todavía mantiene una gran cuota de mercado. ESRI ha sacado un producto llamado Arcview que es de fácil manejo y con el que se pueden presentar resultados espectaculares.

**MGE (Modular Gis Enviroment):** Entorno modular de un sistema de información gráfico. La misma empresa que diseñó MGE comercializa ahora mismo el software Geomedia Profesional, que opera obteniendo datos de distintas bases de datos distribuidas en la web.

**RAISON (Regional Analysis by Intelligent Systems ON microcomputers)** es un paquete software dirigido al apoyo en la toma de decisiones con posibilidades de sistema experto. Ofrece un marco que permite la integración de información de diversos tipos: texto, mapas, "conocimiento", etc.

RAISON aumenta las posibilidades de un GIS ordinario, la primera versión apareció en 1986. Se utiliza hoy día por muchas agencias de medio ambiente. RAISON dispone de un sistema experto que permite introducir conocimiento a través de reglas, que utilizan lógica borrosa y un motor de inferencia. El sistema experto permite el enlace entre los datos numéricos y el conocimiento descriptivo, ambos son necesarios en información medioambiental y en la toma de decisiones. En la actualidad no dispone de funcionalidad para análisis estadísticos avanzados, aunque parece que esto va a cambiar en el corto plazo, según noticias de la casa que comercializa el software, sería deseable que se pudiera hacer clustering, análisis discriminante, componentes principales; o técnicas avanzadas de conocimiento: redes neuronales artificiales, algoritmos genéticos, enlace de distintas técnicas para la modelización de los problemas, aire, agua, cubiertas de suelo y modelos ecológico, con optimizaciones lineales y no-lineales y procedimiento de propagación con incertidumbre.

Otro software de propósito general es MapInfo, Smallword, LaserScan, etc. En el apartado siguiente se verá software especializado que se está desarrollando como consecuencia de investigaciones puntuales de universidades y centros de investigación.

## GIS APLICADOS A SALUD AMBIENTAL (SA)

La salud viene determinada en gran parte por factores ambientales, incluyendo el entorno sociocultural y físico. Los GIS y la teledetección son herramientas muy útiles para la vigilancia y el control de enfermedades infecciosas. Son útiles también por las posibilidades que ofrecen de realizar una rápida comunicación de factores espaciales relacionados con las enfermedades, y la elaboración rápida de mapas que muestren la evolución de la enfermedad a lo largo del tiempo. En general la utilización de un GIS en SA se realiza según las siguientes líneas:

- Distribución geográfica de enfermedades.
- Análisis de tendencias espaciales y temporales.
- Cartografía de riesgos de poblaciones.
- Localización de recursos.
- Planificación de acciones.

Generalmente se cita el trabajo del Dr. Snow para mostrar la importancia de la componente espacial en el estudio de las enfermedades infecciosas. El Dr. Snow en la epidemia de cólera que afligió la zona del Soho londinense en 1854 sostenía la hipótesis de que el cólera se extendía debido a la distribución de agua contaminada; mediante mapas demostró la correlación entre los casos de cólera y los puntos de suministro del agua contaminada en el área del Soho. Más recientemente, el accidente de Chernobyl, en 1986, centró la atención de los científicos trabajando en SA en la importancia de la componente espacial. Con la popularidad de los GIS, algunos autores, como Kabel<sup>5</sup> y Scholten y Lepper<sup>6</sup>, han demostrado la importancia de los GIS para analizar la componente espacial en el estudio de enfermedades infecciosas,

El virus del Nilo (West Nile) apareció por primera vez en los Estados Unidos en 1999 en Long Island en Nueva York, de allí se extendió a Nueva York, Vermont, Massachusetts, Connecticut, New Jersey, Maryland, Virginia, Carolina del Norte y Pennsylvania. Este virus se transmite por mosquitos que pican a las aves y a algunos mamíferos, las aves se desplazan a otros lugares y mueren a causa del virus. La aparición en una zona de pájaros muertos por la enfermedad es el indicador de que esa zona está infectada por el virus.

En Pennsylvania la colaboración de tres consejerías o departamentos, el Departamento de Protección del Medio Ambiente, el Departamento de Salud y el Departamento de Agricultura, en colaboración deciden realizar un seguimiento del virus considerando la componente espacial y por esa razón utilizan un GIS como centralización de los datos. Estos datos incluyen resultados de los análisis realizados en una población de humanos; además de, en muestras de pollos y caballos, pájaros muertos y mosquitos. Las muestras tenían que ser enviadas al laboratorio para su análisis, pero antes era necesario que se hiciera algún tipo de registro de esas muestras

para saber más tarde dónde fueron tomadas; en lugar de utilizar el método convencional de notas escritas en este proyecto de Pennsylvania decidieron utilizar el software ArcPad, y este les permitió introducir la información in situ, con portátiles, tanto la localización como otras características relativas a las muestras. El procedimiento consistía en asignar un número a cada muestra, rellenar un formulario con ese número, y enviar el recipiente que contenía la muestra con el número al laboratorio; de esta manera se pudo tener toda la información en la base de datos, centralizada y accesible a quien la necesitaba. Un servidor web automáticamente verificaba la base de datos externa y corregía para actualizar o para avisar de errores. Los datos para ser consultados por el ciudadano se publicaron en internet; véase [www.west-nile.state.pa.us](http://www.west-nile.state.pa.us). No se encuentran ahí todos los datos sólo, los que pueden resultar de interés al ciudadano y no vulneran la confidencialidad de personas e instituciones. Cada departamento tenía su cometido y el acceso a los datos relevantes para su trabajo en el proyecto, y toda la información se guardaba en una sola base de datos accesible online con acceso restringido según los usuarios concretos.

Puesto que el ciclo de vida del virus implica a los pájaros y las hembras de mosquitos, el Departamento de Agricultura vigiló los pájaros y los animales mientras que el Departamento de Medio Ambiente produjo mapas de lugares con cierta probabilidad para la incubación de mosquitos y recogió muestras de insectos a lo largo de la región en estudio, todo esto utilizando el software ArcPad apoyado con GPS. El personal colocaba un código de barras a cada muestra en el lugar de recogida, y registraban la posición e información del hábitat. El Departamento de Salud analizaba los mosquitos para saber si eran portadores del virus.

Dado el éxito logrado en el seguimiento y control del virus del Nilo los tres departamentos decidieron volver a colaborar después del 11 de septiembre de 2001, con el objeto de diseñar un sistema para el caso en que se produjera un nuevo ataque terrorista, esta vez de tipo biológico, químico o nuclear, como exposición al carbunco, viruela, o contaminación del agua. El sistema, que todavía se desarrolla en estos momentos dispone de módulos para la ayuda a la toma de decisiones en caso de emergencias.

Desde hace poco se están celebrando congresos específicos de la aplicación de los GIS en SA lo que muestra la actividad que existe en este campo. Como muestra de la utilidad de los GIS en este área del conocimiento se comentarán brevemente dos de los trabajos que aparecen en una de las convocatorias del año 2000.

O'Dwyer<sup>7</sup> estudia con un GIS el riesgo de altos niveles de plomo en la sangre en Adelaide en Australia, utiliza factores como la presencia de materiales que pueden contener plomo, distancia a ciertas industrias, hábitos alimenticios, aficiones, volumen de tráfico en ciertas calles, posición de los semáforos (retención de vehículos y emisión de plomo), etc.

Es interesante cómo la pintura de casas antiguas es el factor que presenta mayor correlación con los niveles de plomo en sangre. Ciertas pinturas contienen niveles al-

tos de plomo, aunque existe una legislación al respecto, muchas casas que fueron construidas en Australia antes de 1971 representan todavía hoy un alto riesgo. Los factores que determinan un alto riesgo de contaminación por plomo son bien conocidos, pero el hecho de que se sigan produciendo esos altos niveles indica que la localización y su conexión medioambiental no ha sido puesta de manifiesto, pues de otra forma se hubieran tomado las medidas para evitar el riesgo. O'Dwyer establece como limitaciones del método GIS, no ya la tecnología en sí, sino la confidencialidad de los datos. El software utilizado es uno de propósito general mencionado más arriba: ArcInfo.

El segundo trabajo corresponde a U Sunday Tim<sup>8</sup>, que en el estado de Iowa ha utilizado un software llamado EMPHASIS (EnvironMental Public Health data analySis System) para organizar, gestionar, analizar y mostrar información relativa a la salud pública medioambiental; utiliza el GIS Arcview de ESRI (también mencionado más arriba) sobre la base de datos Oracle. También utilizó el software estadístico S-Plus. En este experimento U. S. Tim, de la misma manera que indicara O'Dwyer, muestra que la mayor limitación viene de la confidencialidad de los datos, aunque en este caso se resuelve parcialmente el problema con un acceso restringido a cierta información del GIS, con claves y permisos, que hace ya tiempo permite la tecnología GIS.

Otro software que se utiliza es EpilInfo e Idrisi, que se utilizan con software estadístico como SPSS, S-PLUS. Generalmente el software especializado en SA se conecta con un GIS y paquetes estadístico para permitir mayor flexibilidad y potencia de análisis y cálculo. Sirva como ejemplo la segunda versión del software WASAMS (Water and Sanitation Monitoring System) que permite la posibilidad de enlace con un GIS de propósito general.

## ESTRATEGIAS Y CONCLUSIONES

Con lo dicho hasta ahora resulta patente la utilidad de los GIS en el campo de SA, por lo tanto, ¿cuáles serían las acciones a tomar más apropiadas por la comunidad SA para promover la utilización de los GIS? Se pueden situar en dos frentes fundamentales: el educativo y el investigador.

**Educativo:** Es necesario que la comunidad científica trabajando en SA tome conciencia de la utilidad de esta tecnología. Las nuevas promociones de profesionales que salgan de la universidad en ciencias relacionadas con SA deberían recibir formación en GIS, y a los que no conocieron estas tecnologías debido a que terminaron los estudios hace ya algún tiempo, se les debería organizar cursos o seminarios con los que se les permitiera actualizar sus conocimientos, éstos podrían ser cursos a distancia, del tipo señalado más arriba, o bien diseñando cursos en cooperación con titulaciones que ya tienen varios años de experiencia en el desarrollado de programas GIS: Geografía, Ciencias de la Computación o Geodesia y Cartografía.

**Investigador:** Existen problemas específicos de SA que una vez resueltos permitirían una mejora notable de las aplicaciones informáticas. La mayor parte de la informa-

ción que se maneja en SA es incierta, incompleta o inexacta y el análisis se debe realizar combinando datos muy variados. Ya se habló de técnicas de matemáticas de conjuntos borrosos y algoritmos heurísticos que deben estudiarse en mayor profundidad.

Es interesante la siguiente metáfora de Goodchild<sup>9</sup>: La relación entre un GIS y el mundo real es parecida a la relación entre la imagen médica y el cuerpo humano; un informe medioambiental es como una revisión médica. De la misma manera que es importante para un individuo conocer si un miembro de su cuerpo está enfermo, lo es para la sociedad conocer si un país o región de la tierra tienen buena o mala salud. La sugerencia de Goodchild es que hay que impulsar la utilización de los GIS como herramientas para el análisis y control de la salud ambiental nacional, con diagnósticos, políticas e intervenciones; de la misma manera que hacemos con la salud individual, que hacemos uso de radiografías e imágenes médicas para lograr un diagnóstico más preciso.

Hace algunos años se podía entender la no utilización de los GIS en SA, pues el software era especializado y el coste de las aplicaciones era prohibitivo. Sin embargo, hoy día el software de GIS es cada vez más potente y más sencillo, y como consecuencia de una feroz competencia cada vez más barato. ¡Ya no hay excusa!

## BIBLIOGRAFÍA

1. Bourrough PA, McDonnell RA. Principles of Geographical Information System. Oxford: Oxford University Press; 1998.
2. Couclelis H. Beyond the raster-vector debate in GIS. Theories of Spatio-Temporal Reasoning in Geogrphic Space. En Lectures Notes in Computer Science 639. Berlin: Springer-Verlag; 1992: 65-77.
3. Longley PA, Goodchild MF, MacGuire DJ, Rhind DW. Geographic Information Systems and Science. Chichster: Wiley & Sons; 2001.
4. Worboy MF. GIS: Acomputing Perspective. London: Taylor & Francis; 1995.
5. abel R. Predicting the next map with spatial adaptive filtering. En Proceedings of the fourth international symposium in medical geography, Norwich, 16-19 July. University of East Anglia, Norwich UK. 1990.
6. Scholten HJ, de Lepper MJC. The benefits of the application of geographical information systems in public and environmental health. WHO Statistical Quarterly; 1991; 44(3).
7. O'Dwyer LA. The Use of GIS in Identifying Risk of Elevated Blood Lead Levels in Australia. En Proceedings of the third National Conference of the Geographic Information Systems in Public Health. 2000: 167-181.
8. Tim US. Understanding the Role of Geospatial Information Technologies in Environmental and Public Health: Applications and Research Directions. En Proceedings of the third National Conference of the Geographic Information Systems in Public Health. 2000: 647-658.
9. Goodchild MF. Strategies for GIS and Public Health. En Proceedings of the third National Conference of the Geographic Information Systems in Public Health; 2000: 63-71.