
NUEVAS PERSPECTIVAS EN LA ENSEÑANZA DE LAS TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Joaquín Bosque Sendra

Catedrático de Geografía Humana
Departamento de Geografía
Universidad de Alcalá
e-mail: joaquin.bosque@uah

INTRODUCCIÓN

El objetivo de este texto es plantear los nuevos desafíos que el desarrollo de la nascente Ciencia de la Información Geográfica (CIG) plantea a la enseñanza de las Tecnologías geográficas. El esquema de exposición es el siguiente: en el apartado uno se discute cómo es la actual enseñanza de las Tecnologías de la Información Geográfica (TIG) y cuáles son los objetivos habituales de estos estudios; en el siguiente apartado, el segundo, se estudian los problemas que el rápido desarrollo de las TIG plantea a su difusión generalizada en la sociedad y la respuesta que a esta circunstancia supone la creación de la CIG; en el tercer apartado trataremos de los cambios en los objetivos de la enseñanza de las TIG que se desprenden de esta nueva ciencia y en los nuevos temas que se deben añadir a los actualmente enseñados sobre las TIG; el cuarto apartado analiza las nuevas posibilidades metodológicas y didácticas que parece necesario poner en marcha para atender a los nuevos requerimientos de la enseñanza de la nueva Ciencia de la Información Geográfica. El último apartado contiene una discusión de cuál debería ser la organización académica más adecuada de estos nuevos estudios.

LOS OBJETIVOS Y EL CONTENIDO DE LA ENSEÑANZA DE LAS TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

La finalidad y los contenidos de la formación de profesionales de las TIG han sido una cuestión rela-

tivamente debatida en los últimos años. En castellano se pueden encontrar varias referencias que tratan el tema, en ellas es posible encontrar una cierta coincidencia en cuanto a la finalidad de estos estudios (Bosque y otros, 1992; Bosque Sendra, 1992; Pujol y Comas, 1993).

A partir de estos trabajos y de la experiencia docente de nuestro departamento en estas cuestiones es posible concluir que las TIG se enseñan, hasta el momento, como unas herramientas de gran utilidad en multitud de campos. Por lo tanto, la enseñanza de estas técnicas está subordinada a su uso en el análisis de diversas cuestiones; es decir, la enseñanza de las TIG es, básicamente, un tema instrumental y auxiliar. De acuerdo con esto, su objetivo es la formación de diversos tipos de usuarios de estas herramientas. Mas en concreto, se ha hablado de tres tipos de profesionales de las TIG, que son los siguientes:

1. El usuario «inteligente», el más habitual y numeroso de los profesionales de las TIG. Se trataría de personas que, siendo expertos en algún campo de conocimiento o de actividad relacionada con el análisis espacial (licenciados en Geografía, gestores municipales, expertos en Ordenación del Territorio, etc), están obligados a emplear las diversas tecnologías de la IG en la resolución de sus problemas.
2. El administrador del sistema, un nivel de formación superior al anterior. Se trata de un experto en el uso de alguno o algunos programas informáticos sobre Información Geográfica (IG) y dedicado a mantener y estructurar las bases de datos integradas en el sistema, en condiciones de empleo para los usuarios habituales.
3. El generador/elaborador de las TIG, el investigador de los problemas de la mejora y de-

sarrollo de nuevos y más potentes dispositivos físicos y lógicos para las TIG.

De estos tipos de profesionales, realmente solo los dos primeros han sido preparados en las distintas enseñanzas de las TIG que, hasta el momento, se han organizado en España.

En los últimos cinco años en muchas y diversas carreras y licenciaturas se han incluido asignaturas y estudios relacionados con estos instrumentos. Por ejemplo, la nueva Licenciatura en Ciencias Ambientales, incluye una materia troncal, denominada «Sistemas de Información Geográfica», que ha servido para la formación teórico-práctica elemental de estos licenciados en estos instrumentos, a un nivel de usuario «inteligente» poco avanzado. Algo parecido se podría decir de la recién instaurada Licenciatura en Geografía, ya que un análisis de los planes de estudio elaborados podría mostrar como muchas de las TIG se enseñan en esta carrera, pero nuevamente con el objetivo de la preparación de usuarios de ellas, que las puedan emplear en sus actividades de Ordenación del Territorio o de la Planificación urbana. Finalmente, la nueva Ingeniería en Geodesia y Cartografía se podría considerar como un intento, no totalmente claro, del legislador por crear un marco legal donde los estudios de estas tecnologías se pudiesen llevar a cabo de manera más completa y especializada. De esta última es de donde podrían salir los administradores de sistemas y los desarrolladores de las TIG.

No obstante, es necesario insistir que la mayoría de los usuarios, administradores o desarrolladores que existen en la actualidad no han recibido una enseñanza reglada sobre estas cuestiones, sino que proceden de la autoenseñanza y la formación de postgrado y de la que se lleva a cabo en las propias empresas donde trabajan. Solo a partir de estos momentos pueden estar saliendo al mercado de trabajo licenciados con alguna preparación en estas materias.

En resumen, hasta el momento el estudio de las TIG se ha realizado con un enfoque auxiliar y, en cierto modo, secundario respecto a otras muchas disciplinas, al servicio de las cuales se las subordina.

LA EVOLUCIÓN RECIENTE DE LAS TIG Y LA SIG

Frente al panorama antes reflejado las TIG han sufrido una rápida evolución en los últimos años, que en este apartado queremos reflejar sucintamente.

Desde hace ya tiempo se emplean en la práctica toda una amplia serie de tecnologías para el manejo de la información geográfica. Algunas muy antiguas como la Topografía, la Geodesia y la Cartografía. Otras más recientes, pero ya clásicas: la Fotointerpretación y la Fotogrametría. Por fin, las más actuales y novedosas:

- GPS y GLONASS, constelación de satélites terrestres que permiten determinar con gran exactitud la posición geográfica sobre la superficie terrestre, usando un receptor de radio.
- Teledetección. Sensores y cámaras en órbita terrestre y aerotransportados que permitan obtener información de diversos tipos sobre la superficie de la tierra, mediante la obtención de imágenes digitales y su integración en base de datos.
- SIG, un sistema de hardware, software, datos y usuarios que permite capturar, almacenar, desplegar, cartografiar, analizar, etc, información geográfica y con ello ayudar a la toma de decisiones.

Un aspecto muy reciente del uso de las TIG es su generalización y difusión masiva en la actual sociedad de la información. Cada vez más a menudo, los diferentes sectores económicos se ven obligados a hacer uso de estos instrumentos en su actividad cotidiana. No es éste el momento de detallar todos estos nuevos usos, que se extienden desde actividades científicas a usos en la gestión empresarial, desde la integración entre TIG y modelos de simulación ambiental, hasta la denominada agricultura de precisión.

Todas estas nuevas utilizaciones están tropezando con algunos graves inconvenientes derivados de las todavía notables deficiencias en el desarrollo conceptual y práctico de las TIG. Esto se debe a que, a pesar de su importante evolución, es muy evidente la complicación y complejidad de uso de estas técnicas, que solo pueden ser empleadas, hasta el momento, por personal preparado y entrenado. Al mismo tiempo las TIG aunque muy eficaces para ciertas tareas, presentan graves deficiencias en cuanto a potencia y capacidad de tratar problemas territoriales complejos.

Una modificación imprescindible para que su uso se generalice en toda la sociedad es conseguir que los procedimientos de uso de la IG sean, a la vez, más «inteligentes» y autónomos y más potentes; del mismo modo que ahora, por ejemplo, se emplea la luz eléctrica por millones de personas sin necesidad de entender nada de Electricidad o de Física. Para que esto sea posible es imprescindible una modificación radical en la concepción y

organización de estas herramientas. Y para ello es necesario llevar a cabo gran cantidad de investigaciones en multitud de campos, de modo que una enorme cantidad de problemas conceptuales y técnicos se resuelvan.

Con la finalidad de resolver la problemática anterior, en los últimos años se ha planteado el objetivo de crear una denominada Ciencia de la Información Geográfica que se dedique a estas tareas (Goodchild, 1992). Como veremos a continuación se han dado pasos muy importantes para el desarrollo de esta nueva disciplina científica.

La CIG sería, por lo tanto, un nuevo cuerpo de conocimiento que pretende el estudio, la investigación y el desarrollo de los conceptos teóricos, los algoritmos matemáticos, los programas informáticos, los instrumentos físicos, las bases de datos, las nuevas formas de uso y los nuevos temas donde usar las tecnologías de la información geográfica, de manera que sea posible el uso eficiente de la información geográfica en la resolución de problemas territoriales complejos.

Se trata de un campo de conocimiento multidisciplinar. La Geografía, la Cartografía, la Geodesia, la Fotogrametría, entre otras, aportan ideas y elementos para su desarrollo. Por lo tanto, es una de las nuevas disciplinas «intersección» de algunas otras preexistentes, tal como la denominada Ciencia Ambiental, etc.

Se han fijado algunos grandes temas que deben ser tratados por esta nueva disciplina, básicamente los podemos resumir en los siguientes:

A) Antiguos problemas de las tecnologías geográficas que no han sido adecuadamente resueltos y que dificultan la extensión de estas tecnologías de manera general entre el conjunto de la población. Principalmente los tres siguientes:

1º Diseño de nuevos y mejores modelos de datos para la representación digital de la Información Geográfica

2º Desarrollo de mejores métodos de análisis de la Información geográfica que se incluyan en las tecnologías geográficas.

3º Nuevos procedimientos para la adquisición e integración de datos geográficos

B) Nuevos problemas ya existentes o, incluso, de previsible aparición en el cercano futuro, dado el desarrollo de la tecnología informáti-

ca y el cada vez mayor uso de las tecnologías geográficas.

1º La interoperabilidad de la información y de las tecnologías geográficas

2º Las relaciones conflictivas y de colaboración entre la sociedad de la información y las tecnologías geográficas.

La creación de la CIG es una propuesta reciente de algunos autores norteamericanos (Goodchild, 1992), que en algunos lugares (Canadá, Australia, Francia) se suele nombrar como Geomática, y que esta recibiendo el creciente apoyo de diversas instituciones. Ejemplos de ello son los siguientes hechos:

- La nueva actitud del NCGIA (USA), con su nuevo proyecto de investigación VARENIUS, centrado en el desarrollo de esta ciencia. Y, por otro lado, el desarrollo de una nueva versión del Core curriculum para *G/Science*. Se trata de la segunda edición de su anterior Core curriculum para GIS (Systems) NCGIA (1990), que ahora se reconvierte a la enseñanza de la Ciencia de la Información geográfica (ver el sitio WEB: <http://www.ncgia.ucsb.edu/giscc>)
- La reciente creación de un Consorcio universitario para la CIG, formado por unas treinta universidades y centros de investigación norteamericanos con la perspectiva de su desarrollo y avance (UCGIS, 1996).
- Creación del consorcio OPENGIS de empresas productoras de software de SIG con la idea de facilitar la interoperabilidad y la apertura de los programas SIG comerciales. Consorcio que, por lo tanto, trabaja sobre uno de los principales objetivos de esta nueva disciplina: la posibilidad de establecer un estándar general de intercambio de datos y métodos de análisis geográfico (<http://www.opengis.org>).
- Por último, la primera revista científica sobre SIG, el denominado inicialmente *International Journal of Geographical Information Systems* (IJGIS) ha cambiado su nombre, la S significa ahora Science.

En resumen, una nueva situación ha surgido en los últimos años, modificando sustancialmente el status de estas tecnologías y de su uso en la sociedad. Ante este cambio parece necesario alguna reflexión sobre el modo y los objetivos de la enseñanza de estos métodos, a ello dedicamos el siguiente apartado.

NUEVOS PLANTEAMIENTOS DE LA ENSEÑANZA DE LAS TIG

La aparición y creciente desarrollo de la CIG debe modificar de manera importante la finalidad y organización de la enseñanza de las TIG. Hasta ahora, la finalidad de la enseñanza se solía centrar, tal y como se ha indicado previamente, en la formación de expertos en el uso de estas herramientas y mucho menos en el de desarrolladores de ellas (Wright, D.J., M.F. Goodchild, y J.D. Proctor, 1997). Por ejemplo, la tabla 1 contiene un resumen de los objetivos de la enseñanza de los SIG tal y como han sido definidos hace unos años.

Es visible la preocupación por la preparación de expertos y conocedores de estos instrumentos y muy poco el de la formación de verdaderos científicos y estudiosos (investigadores) del tema.

Por el contrario, en nuestra opinión, el nacimiento de esta nueva ciencia plantea la necesidad de crear estudios con la finalidad de la formación de «científicos de la Información Geográfica», que, por lo tanto, ya no tienen que ser meros expertos en el uso de estas herramientas, sino conocedores profundos de ellas y de sus problemas y, por ello, capaces de mejorarlas y de resolver las graves dificultades que aun existen para su mayor difusión.

Tabla 1. Objetivos de un curso SIG (Unwin y otros, 1990)

1. Comprender la tecnología SIG en el contexto de la sociedad de la información
2. Adquirir habilidades en el manejo de datos espacialmente referenciados y comprensión de los conceptos involucrados en esta cuestión
3. Comprender la calidad de los datos y de la información en el contexto de los SIG.
4. Entender los algoritmos empleados en el procesamiento de los datos
5. Apreciar las potencialidades y las limitaciones del hardware para el trabajo de un SIG
6. Entender las típicas aplicaciones de los SIG y ser capaz de traducir los problemas al contexto SIG.
7. Entender las implicaciones del trabajo de un SIG en el contexto empresarial en que este se produce. (Unwin y otros, 1990, p. 460)

Consideramos que este cambio de objetivo en la enseñanza es importante y crucial, y debe afectar a todos los temas relacionados con la formación y el entrenamiento de los estudiantes de las TIG. En especial, supone un cambio de la actitud profunda con que profesores y estudiantes tienen que plantearse su actividad. Anteriormente, las TIG eran simplemente unas herramientas auxiliares de personas dedicadas a otras cuestiones, las más sustanciales para ellas. Desde el momento que se acepte esta nueva formulación, el estudio de las TIG adquiere sentido por ellas mismas: son ellas las que se convierten en motivo de estudio y de investigación, como tema de una complejidad y dificultad notable que exige toda nuestra atención.

Esta modificación básica en el enfoque de la enseñanza tendrá efectos tanto en el contenido de los estudios como en la metodología de trabajo de estudiantes y profesores.

Una primera cuestión a tratar se refiere al nivel de profundidad que se debe alcanzar en la enseñanza de las TIG. Es posible establecer dos niveles diferentes. Por un lado, se sitúa la formación sobre «**Qué pueden hacer las TIG**», su objetivo es el conocimiento de lo que se puede llamar la «filosofía» del funcionamiento y de trabajo con las TIG; consiste, básicamente, en el estudio de los resultados de cada operación que se puede efectuar con una TIG, de su utilidad práctica, de los requisitos necesarios para llevarla a cabo y de las limitaciones y problemas de su utilización. En segundo lugar, otro enfoque posible se refiere a «**Cómo efectúan cada operación las TIG**», es decir el conocimiento de los algoritmos, matemáticos o informáticos, que permitan llevar a cabo cada tarea.

En el caso de la formación de «usuarios inteligentes» el nivel de profundización aceptable es el primero, «**Qué pueden hacer las TIG**», sin entrar en excesivo detalle en como se efectúan las tareas por el ordenador y el programa informático o en cuáles son los algoritmos que se emplean en esta operación. Por el contrario, es evidente que un científico de la IG necesita alcanzar el otro nivel, «**Cómo efectúan las operaciones las TIG**», de modo que la comprensión y entendimiento de ellas sea más completo y adecuado.

Más aún, podríamos formular otros dos tipos de enseñanzas necesarias para un científico de este tipo, que podríamos resumir en las referentes a las preguntas: «**Qué no hacen las TIG**» y a «**Qué deberían poder hacer las TIG**». Un científico de la información geográfica debería cono-

cer igual de bien lo que actualmente es posible realizar usando las TIG (los problemas que ahora tienen solución), como las cuestiones que no pueden ser resueltas por los procedimientos disponibles. Esto es condición necesaria para que puedan intentar desarrollar y mejorar estas tecnologías. Del mismo modo, un científico de este tipo debería tener información sobre los temas que son importantes y no se pueden tratar actualmente con los métodos disponibles, es decir tener respuestas a la segunda pregunta que hemos formulado anteriormente. Todo esto, que no es imprescindible para un usuario o un administrador, sí es esencial para un científico como el que aquí tratamos.

Para concretar lo dicho anteriormente, a continuación tratamos, de modo preliminar, los nuevos temas que se deberían incluir en la formación de un «científico de la IG».

Tradicionalmente los contenidos habituales de la enseñanza de las TIG se han podido resumir en algo semejante a la tabla 2:

Tabla 2. *Contenidos de la formación en SIG de un usuario «inteligente» dedicado a la ordenación del territorio*

1. Definición general, contexto institucional e histórico de los SIG.
2. La información y los datos geográficos. Tipos de datos geográficos. Modelos de datos (ráster, vectorial, etc) para la representación digital de la información espacial.
3. Operaciones de entrada de la información en un SIG. Digitización vectorial y ráster. Uso de imágenes de sensores remotos. Georeferenciación.
4. Análisis de datos en un SIG: operaciones básicas sobre puntos, líneas, polígonos y superficies. 1º Búsqueda selectiva de información; 2º superposición de mapas, 3º análisis de redes, 4º Modelado cartográfico. 5º SIG y evaluación multicriterio. 6º SIG y modelos matemáticos (hidrológicos, erosión del suelo, etc). 7º Errores en los datos y su propagación.
5. Cartografía asistida por ordenador.
6. Aplicaciones de los SIG.
7. Entrenamiento (a nivel básico) en un programa informático ráster y en otro vectorial.

Los contenidos expresados en la tabla anterior son similares a los planteados por Unwin y otros en 1990, (ver tabla 3).

Todos estos contenidos de la enseñanza de las TIG se tienen que modificar para dar paso a nuevas cuestiones, hasta ahora poco tratadas, pero que son cada vez de mayor importancia en el uso práctico de estas técnicas y, sobre todo, forman los problemas peor resueltos en la actualidad y que, por ello, se deben colocar en el primer plano de las preocupaciones de un científico de la IG. Entre estos nuevos temas podemos destacar los siguientes:

- Las fuentes de error, de variabilidad en los datos. Problema crucial en la creación de las bases de datos digitales. En primer lugar, la definición de medidas cuantitativas del error, de la variabilidad de los datos. En segundo lugar, la propagación del error en las operaciones de análisis usadas con las TIG.
- Los metadatos de la información geográfica. Los procedimientos para la transmisión de datos geográficos. Los formatos de metadatos: el de USA, el formato MIGRA español, etc. Estos mecanismos son elementos esenciales para los objetivos de interoperabilidad y facilidad de uso de estas tecnologías.
- Los nuevos procedimientos para una mejor visualización, simplificación, análisis de componentes y teorización de la información geográfica, que tenga en cuenta la interacción espacial de los datos geográficos: por ejemplo, los métodos denominados «Análisis exploratorio espacial de datos» (ESDA).
- La orientación a objetos en la definición y empleo de bases de datos geográficos.

Todas estas cuestiones son recientes pero ya han recibido un amplio desarrollo en la literatura y la investigación¹, lo que permite su inclusión en la enseñanza, pero debemos recordar que existen otras muchas cuestiones de similar importancia que todavía están mal desarrolladas y resultan difíciles de incluir en la formación de los estudiantes.

Un esquema más completo de estos nuevos contenidos, centrado como las anteriores tablas en la enseñanza de una de estas tecnologías –los SIG– se puede observar en la tabla 4.

¹ Algunos de estos temas han sido mencionados como importantes (muy en concreto el enfoque orientado a objetos en la definición de bases de datos), y que es necesario incluir en los cursos sobre TIG, en las encuestas planteadas a empresas que emplean estas tecnologías. Las encuestas se han realizado dentro del proyecto ALFA del Departamento de Geografía de la Universidad de Alcalá.

Tabla 3: Contenidos de un curso SIG (Unwin y otros, 1990)

Sección 1: El contexto para los SIG

- 1) Definiciones. ¿Qué es un SIG?. Terminología e historia del desarrollo de la cartografía asistida por ordenador, la Teledetección, la Fotogrametría. Sistemas de información catastral.
- 2) Datos e información como recursos. La comercialización de la información
- 3) Un «organizador avanzado» seleccionado para ilustrar las capacidades de un SIG

Sección 2: Conceptos de análisis espacial y cartográfico en SIG

- 4) Tipología de los datos espaciales. Puntos, líneas, polígonos y superficies. Niveles de medida: nominal, ordinal, intervalos. Contraste entre datos naturales y socioeconómicos.
- 5) Georeferenciación. Sistemas de coordenadas y geocódigos
- 6) Proyecciones cartográficas y transformaciones.
- 7) Transformación de coordenadas en dos dimensiones. Traslación, rotación, escalado, etc. Ajuste de mínimos cuadrados usando una transformación afin.
- 8) Transformación de coordenadas en tres dimensiones. Representaciones en perspectiva y proyecciones.
- 9) Conceptos espaciales fundamentales. Distancia, orientación, proximidad, conectividad...
- 10) Calidad de la información espacial. Escala, precisión, exactitud....
- 11) Operaciones básicas sobre puntos. Contabilidad, medidas de centralidad, dispersión... Teselaciones a partir de puntos
- 12) Operaciones básicas sobre líneas. Intersección, trazado de corredores, análisis de redes. Generalización y mejora.
- 13) Operaciones básicas sobre polígonos. Perímetro, área, centroide, reclasificación de polígonos y unión, superposición.
- 14) Operaciones básicas sobre superficies. Interpolación espacial.

Sección 3: Realización en el ordenador

- 15) Representación digital de la información. Estructuras de bajo nivel: bits, bytes, palabra y memoria del ordenador.
- 16) Representación digital de la información. Estructuras de alto nivel: ficheros (simples, en red, relacional)
- 17) Modelos de datos para la información espacial: ráster (almacenamiento, compresión, quadtree...)
- 18) Errores en el modelo ráster. Exactitud de la clasificación y errores de digitización. Propagación de errores en el modelo ráster.
- 19) Modelos de datos para la información espacial: vectorial (arcos, polígonos, estructura topológica, construcción de polígonos...)
- 20) Errores en el modelo vectorial. Propagación de errores en el modelo vectorial
- 21) El debate ráster/vectorial. Conversión de un modelo al otro. Modelo integrado versus modelo híbrido
- 22) Avances en Informática relevantes a SIG. Sistemas expertos.

Sección 4: Consideraciones operativas

- 23) El hardware. Captura de datos, digitización, barrido óptico
- 24) Almacenamiento de datos. Tipos de aparatos (ROM/RAM, cintas, discos...).
- 25) Procesadores y ambientes de proceso para SIG.
- 26) Pantallas. Tipos. Representación en papel. Resolución de pantallas. Uso del color
- 27) Un ejemplo de un programa SIG para ilustrar cuestiones de ingeniería del software.

Sección 5: Aplicaciones de los SIG

- 28) Campos de aplicación: infraestructuras, análisis de recursos naturales, planificación urbana, soporte de decisiones.
- 29) Aplicaciones a la escala global. Iniciativas internacionales (GRID).
- 30) Adopción de decisiones usando SIG: análisis de mapas, búsqueda espacial, métodos multicriterio.
- 31) Introducción a la gestión de proyectos con SIG: elección del sistema y elaboración de pruebas
- 32) Costos y beneficios en aplicaciones de los SIG

Sección 6: Cuestiones institucionales

- 33) Acceso a los datos. Copyright. Información comercializable
- 34) Calidad y estándar para datos y sistemas

Tabla 4. Contenidos de la versión 1997 del Core curriculum del NCGIA (<http://ncgia.ucsb.edu>)

- 0. Introducción a los SIG**
 - 0.1 ¿Qué es un SIG?
 - 0.2 ¿Qué hace un SIG?

- 1. Conceptos fundamentales geográficos para la Ciencia de la Información Geográfica**
 - 1.0 ¿Qué es la ciencia?
 - 1.1 El mundo en términos espaciales: Cognición humana de problemas espaciales
 - 1.2 La representación de la Tierra: puntos, líneas, áreas, «campos»
 - 1.3 Sistemas de coordenadas geográficas
 - 1.4 Cartografía
 - 1.5 Relaciones espaciales: topología, distancia, fronteras, etc
 - 1.6 Abstracción, generalización y errores

- 2. Organizando los conceptos geográficos en un SIG**
 - 2.1 Características de la tecnología informática: datos y procesos, algoritmos, orientación a objetos, etc
 - 2.2 Fundamentos de Informática: lenguajes de programación, redes.
 - 2.3 Fundamentos de Ciencia de la información: modelos de datos.
 - 2.4 La representación de «campos»: ráster, TIN, etc.
 - 2.5 La representación de objetos discretos: topología, objetos.
 - 2.6 Representación de redes
 - 2.7 Representación y almacenamiento de aspectos temporales
 - 2.8 «Poblando» (de datos) un SIG: entrada de datos.
 - 2.9 Tipos de datos geográficos.
 - 2.10 Manejando la incertidumbre: propagación de errores.
 - 2.11 Visualización y cartografía
 - 2.12 Interacción con el usuario
 - 2.13 Análisis espacial: geoestadística, algebra de mapas, localización-asignación, interpolación, etc.
 - 2.14 Paradigmas de implementación de un SIG: SADE, ESDA, Multimedia, etc.

- 3. La tecnología de la información geográfica en la sociedad**
 - 3.1 Haciendo trabajar al SIG
 - 3.2 La aportación de los datos
 - 3.3 El contexto social
 - 3.4 la industria SIG
 - 3.5 La enseñanza de los SIG

- 4. Áreas de aplicación y estudio de casos**
 - 4.1 Gestión de recursos: agricultura, forestal.
 - 4.2 Gestión y planificación urbana
 - 4.3 Catastros
 - 4.4 Gestión de instalaciones (infraestructuras)
 - 4.5 Redes
 - 4.6 Salud ambiental
 - 4.7 Modelado ambiental
 - 4.8 Evaluación de riesgos
 - 4.9 Estudiando y aprendiendo Geografía
 - 4.10 Marketing geográfico
 - 4.11 Turismo

Las diferencias con los planteamientos previos (contenidos en la tabla 3) son bastante visibles, en especial el mayor peso otorgado a los conceptos teóricos y básicos, que son imprescindibles en la formación de un verdadero «científico» de la Información geográfica, pero no lo son tanto para un mero usuario de los SIG.

No obstante, una modificación de mayor importancia reside en el enfoque general de las enseñanzas, no solo centradas en explicar cómo usar las TIG (enseñanza para el usuario), sino, además, dirigidas a entender su modo de funcionamiento y los problemas mal resueltos que todavía aparecen dentro de ellas (enseñanza para el científico).

NUEVOS PROCEDIMIENTOS DE ENSEÑANZA DE LAS TECNOLOGÍAS GEOGRÁFICAS

Los métodos de enseñanza de las TIG también deberán modificarse a partir de los nuevos objetivos que antes hemos planteado y, en este caso particular, como consecuencia del propio desarrollo general de las tecnologías de la información.

El cambio más relevante que podemos mencionar sería el aprovechamiento de las posibilidades para una enseñanza no presencial y personalizada que ofrece la red de redes INTERNET.

1. Sitios WEB que ofrecen de modo gratuito informaciones y recursos didácticos sobre los temas relacionadas con las TIG: Grupo de Métodos cuantitativos, Teledetección y SIG de la AGE (<http://www.adi.uam.es/~recugeo1>), IDRISI (www.clarklabs.clarku.edu) y otras casas comerciales (www.esri.com). IDRISI tiene en España un centro de recursos que facilita información y realiza diversas actividades de difusión y apoyo a este programa: <http://sigte.udg.es/sp/drs/idrisi.html> <http://www.geogra.alcala.es/departamento/idrisi.htm>
2. Sitios WEB de departamentos y/o de profesores que pueden proporcionar gran cantidad de información sobre estas cuestiones: por ejemplo, en España, el del profesor A. Moreno de la Universidad autónoma de Madrid (<http://www.adi.uam.es/~recugeo1>) o el del profesor E. Chuvieco de la Universidad de Alcalá (<http://www.geogra.alcala.es/personal/ecs/emilio.htm>). Uno de los más interesantes es el de Eric Lorup del centro de recursos IDRISI en Austria (<http://www.sbg.ac.at/geo/leute/lorup.htm>) en el que se puede encontrar un verdadero curso en línea para el entrenamiento en la utilización de este programa de SIG.
3. Las herramientas que se están desarrollando para la diseminación fácil, a través de INTERNET, de información geográfica: mapas vectoriales o ráster, etc. Por ejemplo, los programas elaborados por diversas empresas para esta finalidad: MapGuide 3.0 y MapGuide Viewer de Autodesk, MapObjects IMS 2.0/ ArcView IMS 1.0 de Esri, GeoMedia Web Map 2.0 de

INTERGRAPH, MapInfo MapXsite/MapXtreme 2.0 de Mapinfo (ver un balance en Culpepper, 1998). O, de manera más general, los módulos de programas SIG disponibles en el sitio WEB de INNOVAGIS (<http://gasa.dcea.fct.unl.pt/inovaGIS>), que aportan algunos medios para una rápida y completa difusión gratuita de estas tecnologías.

4. Las listas de discusión electrónicas sobre los diversos aspectos de las TIG que facilitan el contacto entre los interesados y la resolución rápida de problemas sobre los más diferentes aspectos del tema. Por ejemplo, las listas sobre SIG de la Red IRIS en España: SIG@LISTSERV.REDIRIS.ES, la de usuarios de IDRISI (idrisi-1@clarku.edu) y otras muchas que se podrían mencionar.
5. Finalmente, la aparición de cursos de postgrado sobre estas tecnologías basadas en la enseñanza a distancia, las cuales hacen un uso intensivo de los nuevos medios de comunicación a distancia que nuestra sociedad dispone, en primer lugar el correo electrónico, la telaraña WEB, pero también el teléfono y el fax. El uso inteligente y meditado de estos medios posibilita un acceso rápido y barato a recursos de enseñanza, a lecciones elaboradas por buenos conocedores del tema, y a la consulta casi instantánea a expertos, lo que facilita el aprendizaje más rápido y eficiente.

Un buen ejemplo de estos es el curso UNIGIS sobre SIG, el cuál esta dirigido por consorcio internacional de universidades y se imparte en numerosos países y varios idiomas. Ver el sitio WEB: <http://www.unigis.org>. En castellano existe una versión de este curso promovido por la Universidad de Girona (<http://unigis.udg.es>).

Todo lo anterior no es más que una pequeña muestra de las inmensas posibilidades que las nuevas tecnologías de la información ofrecen para mejorar y facilitar la enseñanza y el aprendizaje de los más diversos métodos, entre ellos de la cartografía, la Teledetección, los SIG y el resto de métodos para el manejo de la información geográfica.

LA ORGANIZACIÓN DE LA ENSEÑANZA DE LA CIG

La aparición de una nueva ciencia lleva aparejado, como ya hemos indicado, la necesidad de la organización de su enseñanza e, incluso, del desarrollo

de una nueva carrera o licenciatura. ¿Es éste el caso de la CIG? y, más en concreto, ¿cuál es la situación en España?

Lo primero a tener en cuenta en este tema es dónde se enseñan (en España), actualmente, las tecnologías geográficas que subyacen al desarrollo de la CIG. No es muy sencillo responder correctamente a esta pregunta, pero algunas ideas se pueden concretar sobre ello:

- El GPS/GLONASS, se enseña en alguna medida en los estudios de Topografía y en la nueva carrera de Ingeniería en Geodesia y Cartografía.
- La Teledetección. En este caso las enseñanzas sobre el tema están muy repartidas en diversas carreras: Geografía, Física, Geología, etc. Evidentemente en la Ingeniería en Geodesia y Cartografía, se dedica bastante atención al tema.
- Los SIG. Como en el caso de la Teledetección existe una amplia difusión de su enseñanza en licenciaturas diferentes, ya hemos mencionado entre ellas las de Ciencias Ambientales y la de Geografía, pero en otras muchas se puede encontrar asignaturas dedicadas a ello. Y, por supuesto, en la Ingeniería en Geodesia y Cartografía existen materias importantes sobre la cuestión.

Al margen de los estudios de licenciatura en diversos cursos de postgrado se enseñan todas estas cuestiones (Bosque y otros, 1992; Pujol y Comas, 1993). A partir de esta experiencia la primera pregunta a resolver es si la formación de «Científicos de la IG» se debe iniciar mediante la realización de una licenciatura o más tardíamente en cursos y estudios de postgrado.

En nuestra opinión, es necesario que la formación de este nuevo tipo de científico se inicie desde el nivel de la licenciatura. La complejidad de los problemas que tendrá que estudiar este tipo de profesional así lo aconseja. En la actualidad, en España no existe el ámbito académico adecuado para recibir los estudios de esta nueva ciencia, aunque la Ingeniería en Geodesia y Cartografía puede fácilmente convertirse en el principal receptáculo y nicho de la enseñanza y la investigación en los temas de Información Geográfica. Evidentemente esto no implica que desde otros muchos ámbitos académicos no se puedan hacer importantes aportaciones a ello, pero la formación de verdaderos científicos de la I.G. creemos que se puede iniciar en esta ingeniería.

No obstante, algunas otras licenciaturas pueden

contribuir a la formación de científicos de la IG, por ejemplo, la de Geografía. Para ello, se debe considerar que un científico de la IG debe poseer una formación muy amplia, multidisciplinar y variada (y no centrada exclusivamente en los aspectos más técnicos e instrumentales), por lo que una licenciatura en Geografía adecuadamente especializada en el tratamiento y análisis de la información geográfica, podría constituir un buen soporte para la formación de algunos de estos científicos de la IG y aportar matices más difíciles de considerar en la Ingeniería antes mencionada. Algo similar se podría pensar de algunas otras licenciaturas que existen en la actualidad, y que con alguna modificación y especialización, podrían cumplir igualmente un papel relevante en estas tareas.

La razón para la afirmación anterior es la siguiente: de acuerdo con la definición que hemos planteado de Ciencia de la Información Geográfica existen tareas muy diferentes dentro de esta nueva disciplina, así, por ejemplo, el desarrollo de las nuevas formas de uso y los nuevos temas donde emplear las tecnologías de la información geográfica, o la elaboración de los conceptos teóricos básicos, no necesita una formación técnica muy elevada; por el contrario, requiere un buen conocimiento de los problemas concretos donde se usan, mejor o peor, estas tecnologías y, por supuesto, un amplio conocimiento de ellas. En estas cuestiones el aporte de geógrafos y de otros científicos, especializados en el tratamiento de la Información geográfica, puede ser fundamental para un rápido y potente desarrollo de la Ciencia de la Información Geográfica.

En resumen, creemos necesario que se organicen estudios de licenciatura dedicados a esta finalidad, que, tendrían una base muy clara en la actual Ingeniería en Geodesia y Cartografía, pero que podrían recibir buenos aportes desde otras licenciaturas, en primero lugar de la de Geografía.

Pero, al mismo tiempo, es evidente que, de acuerdo con lo que hemos venido planteando, el científico de la IG deberá recibir una amplia y detallada formación de postgrado para poder alcanzar los niveles de especialización imprescindibles. Posiblemente el ámbito más adecuado sería la creación de programas de doctorado que permitan ampliar la formación de los licenciados y facilitar las tareas de investigación y de desarrollo de las Tecnologías de la Información Geográfica.

El objetivo de los diversos estudios mencionados (licenciatura y postgrado) sería, por lo tanto, la formación de especialistas en Información Geográfica, que puedan contribuir al desarrollo de los conceptos teóricos, los algoritmos matemáticos,

los programas informáticos, los dispositivos físicos de las tecnologías geográficas o las nuevas aplicaciones de estas tecnologías. Al mismo tiempo, evidentemente, con estas enseñanzas se preparan profesionales altamente capacitados para el manejo de la Información Geográfica: usuarios de las tecnologías geográficas, y administradores de los SIG y de las bases de datos. Consideramos que el mercado de trabajo puede tener una considerable demanda de este tipo de personal especializado.

Wright, D.J., M.F. Goodchild, and J.D. Proctor (1997) *Demystifying the persistent ambiguity of GIS as 'tool' versus 'science'*. *Annals of the Association of American Geographers* 87(2): 346-362.

Sitio WEB de interés

Michael F. Goodchild. (1997): *What is Geographic Information Science?*, NCGIA Core Curriculum in GIScience, <http://www.ncgia.ucsb.edu/giscc/units/u002/u002.html>, expuesto el 7 de Octubre de 1997.

REFERENCIAS

Bosque Sendra, J. (1992): «La enseñanza de los Sistemas de Información Geográfica». Comunicación al V *Coloquio de Geografía cuantitativa*, Zaragoza, Septiembre de 1992. Publicada en *V Coloquio de Geografía cuantitativa. Actas. Comunicaciones*. Zaragoza. Servicio de publicaciones de la Universidad de Zaragoza, pp. 47-58

Bosque Sendra, J., Chuvieco Salinero, E., Domínguez, L. y González, R. (1992): *Aproximación a la problemática de la Didáctica de los SIG* Actas del 1º Congreso de la AESIGYT, Madrid, abril de 1992. Publicada en *Comunicaciones 1º Congreso AESIGYT, Los Sistemas de Información Geográfica en la gestión territorial* Madrid, AESIGYT, pp. 126-138.

Culpepper, B. (1998): *INTERNET Map tools GIS Europe*, Diciembre de 1998, pp. 30-36.

Goodchild, M.F. (1992): *Geographical information science*. *International Journal of Geographical Information Systems* 6(1): pp. 31-45.

NCGIA (1990): *Core curriculum*. Tres volúmenes: I. *Introduction to GIS*. II. *Technical issues in GIS*. III. *Application issues in GIS* Santa Barbara, CA. National Center for Geographic Information and Analysis/ University of California.

Pujol, P. y Comas, D. (1993): *La educación y la investigación sobre SIG en las universidades españolas. Resultados de un estudio en 2º Congreso de AESIG*. Madrid, AESIG/Estudio gráfico, pp. 183-191.

UCGIS (1996): *Research Priorities for Geographic Information Science*. *Cartography and Geographic Information Systems*, vol. 23. nº 3, pp. 115-127

Unwin *et alia* (1990): *A syllabus for teaching geographical information systems* *Int. J. Geographical Information Systems*, vol. 4, nº 4, pp. 457-465