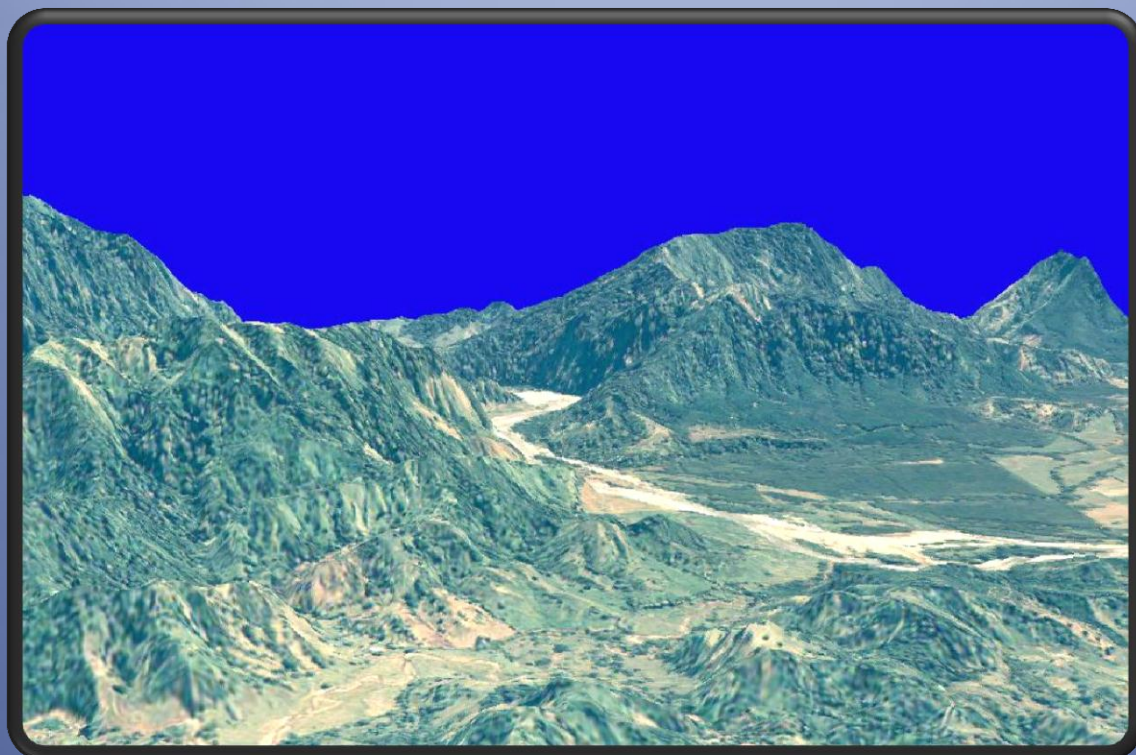




SIG y Geodatos

GeoInformación a su alcance

El presente documento describe qué es un sistema de información geográfica, brinda una breve reseña de su evolución en el tiempo y define e ilustra el concepto de geodato.

JORGE FALLA GAMBOA

Contenido

1. Geomática y Sistemas de Información Geográfica: dos términos del mundo geoespacial	2
2. SIG: ¿herramienta, ciencia o tecnología?	3
3. De mapas de papel al mundo geodigital: historia de los SIG	5
4. Ámbito de aplicación y funciones del SIG	9
5. Geodatos y el mundo real	12
6. ¿Por qué utilizar un SIG?	14
7. ¿Por qué el SIG es una geotecnología popular?	15
8. Ejercicio de autoevaluación	17
9. Respuesta a los ejercicios de autoevaluación	17
11. Enlaces de interés	21

1. Geomática y Sistemas de Información Geográfica: dos términos del mundo geoespacial

La toma de decisiones siempre involucra un sitio o localidad, así como eventos climáticos que influyen en ellas. ¿Dónde vamos a sembrar?, ¿cómo será la próxima estación lluviosa? o ¿qué haremos para enfrentar la próxima estación seca influenciada por el fenómeno de El Niño? Aunque las preguntas son relevantes para todos los productores nacionales, la respuesta y acciones que cada uno adopte dependerá de la ubicación de su finca en el territorio nacional; por lo tanto, la toma de decisiones inteligente requiere un insumo espacial. Para responder a estas y otras preguntas de naturaleza geoespacial se han creado los Sistemas de Información Geográfica (SIG), también conocidos como Geomática en los países francoparlantes (e.g. Canadá¹ y Canadá²).

El SIG es un sistema de información geoespacial conformado por *hardware*, *software*, geodatos, procedimientos y una organización administrativa diseñada para capturar, editar, almacenar, recuperar, analizar, visualizar y compartir datos georeferenciados. Su objetivo es resolver problemas complejos de planificación y gestión (Aranoff, 1991; Burrough y McDonnell, 1988). El producto del SIG es INFORMACIÓN: GEODATOS + ANÁLISIS (figura 1.).

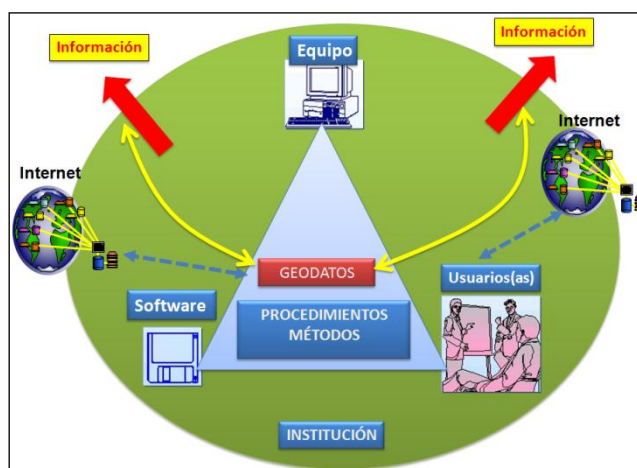


Figura 1: Componentes de un Sistema de Información Geográfico (SIG).

Para que un SIG sea exitoso, todos sus componentes deben estar presentes y funcionar de manera armoniosa y sincronizada. Con frecuencia, se enfatiza el equipo y el *software*, y se olvida la razón de ser del sistema: analizar y proveer apoyo para la toma de decisiones. Crear información a partir de geodatos requiere personal capacitado y con una visión de equipo; en síntesis, es necesario institucionalizar el sistema y evitar que sea percibido como un productor de mapas.

Desde sus inicios, el SIG se caracterizó por su enfoque multidisciplinario, adoptando e integrando de una manera novedosa tecnologías, técnicas y métodos de trabajo de otras disciplinas, entre las que pueden citarse: teledetección, gestión de bases de datos, cartografía digital, geodesia, diseño gráfico, diseño asistido por

¹ <http://pubs.cig-acsg.ca/journal/cig>

² <http://www.scg.ulaval.ca/page.php?nom=geomatique>

computadora (CAD)³, geoinformática, geoestadística, tecnologías de la información, informática y más recientemente el entorno *web*.

La integración de imágenes, audio, fotos y mapas en un entorno digital georeferenciado puede apreciarse en Google Earth (<http://earth.google.es/>), Google Maps (<http://maps.google.com/>), ArcGis on line de ESRI (<http://www.esri.com/software/arcgis/arcgisonline/>) y mapéalo de Costa Rica (<http://mapealo.navegalo.com>). Todos estos sitios ofrecen en mayor o menor grado la posibilidad de navegar, buscar y crear mapas sencillos.

2. SIG: ¿herramienta, ciencia o tecnología?

A pesar de que hoy es claro que el SIG forma parte de las ciencias y tecnologías de la información geográfica (DiBiase *et al.*, 2007), en la década de los noventa, la comunidad de usuarios de SIG se planteó la siguiente pregunta: ¿Es el SIG una herramienta o una ciencia? Wright *et al.* (1997) analizan las respuestas de un foro planteado en 1993 para discutir dicha pregunta y concluyen que el SIG puede percibirse desde tres aristas:

- a. El SIG como herramienta, técnica, tecnología o aplicación computacional. Esta percepción implica el uso de un *software* especializado asociado a *hardware* particular (e.g. escáner, impresora de gran formato) y a geodatos digitales. Su objetivo es realizar tareas específicas aplicando conocimientos científicos; pero la tarea en sí no es “hacer ciencia”. Los técnicos, profesionales y vendedores se identifican con facilidad con esta visión del SIG. En el *software* actual, tal concepción está representada por el término “caja de herramientas”.
- b. El SIG como elaboración de herramientas implica la definición de especificaciones, el desarrollo, la evaluación y el uso de la herramienta con miras a su avance y mejora continua en funcionalidad y facilidad de uso. Los desarrolladores de *software* y en menor grado los usuarios de la herramienta se identifican con esta visión del SIG. La interfaz simple y amigable de los programas actuales es un ejemplo de esta faceta del SIG.
- c. El SIG como ciencia (GISc, GISci o GIScience por su designación en inglés) está vinculado a la identificación un problema y a su comprensión mediante el análisis de las preguntas fundamentales planteadas por el uso del SIG. En este sentido, debe poseer un componente teórico-metodológico propio para el estudio y modelado de fenómenos geoespaciales, la medición y modelado de propagación de errores y en general el conjunto de conocimientos requeridos para desarrollar y probar teorías geoespaciales.

Posteriormente, en el 2006, el University Consortium for Geographic Information Science (UCGIS, <http://www.ucgis.org/>) y la Asociación Americana de Geógrafos (AAG, <http://www.aag.org>) desagregaron el dominio Ciencias y Tecnologías de la Información Geográfica (CTIG), (GIS & T por sus siglas en inglés) en tres subdominios (DiBiase *et al.*, 2007), los cuales guardan cierto paralelismo con la propuesta de Wright *et al.* (1997):

Ciencias de Información Geográfica (CIG). Ciencia multidisciplinaria con aportes de disciplinas como la Filosofía, Psicología, Matemática, Informática, Estadística y Arquitectura, cuyo objeto de estudio es la naturaleza de la información geográfica y la aplicación de tecnologías geoespaciales al estudio de temas científicos básicos.

Tecnología geoespacial. Conjunto especializado de tecnologías de la información que apoyan la adquisición de datos y geodatos, su almacenamiento, procesamiento, análisis y visualización.

³ <http://www.gsd.harvard.edu/users/servin/giscad/giscad.html>

Aplicaciones de las CTIG. Engloban los diversos usos de la tecnología geoespacial en instituciones públicas, privadas, ONG, la academia y, en general, por cualquier ser humano. Sus áreas de aplicación son prácticamente infinitas y van desde la arqueología, la navegación por receptores de GPS hasta el mapeo y estudio de océanos y planetas.

Cuando se introduce una nueva tecnología o forma de trabajo surge la pregunta: ¿qué me ofrece esta nueva visión y en qué se diferencia de lo que hago actualmente? Las respuestas se abordarán a lo largo del texto; sin embargo, por ahora se indicará que, por un lado, estos sistemas georeferenciados permiten recrear digitalmente tanto los atributos de los elementos de la finca (e.g. parcelas, caminos, cuerpos de agua) como sus relaciones e interacciones geoespaciales. Por otro lado, comparten elementos con las herramientas tecnológicas que ya usted utiliza en sus tareas cotidianas, lo cual facilita su adopción en muy corto plazo. Estas nuevas herramientas pueden analizar los datos de una finca utilizando tablas y bases de datos convencionales (e.g. *Access* y *Excel*) y a la vez le brindan su ubicación o localización en el contexto nacional. En síntesis, usted puede y utilizar esta novedosa característica de los CTIG para representar digitalmente el mundo que le rodea y mantener su integridad geoespacial.

Las CTIG son tan comunes como los celulares o las computadoras portátiles en los países desarrollados desde principios de la década de los ochenta (Baumann, 2011; Coppock y Rhind, 1991); no obstante, su adopción en los países en vías de desarrollo ha sido lenta y algunas veces poco exitosa. Aun así, las ventajas que ofrecen dichos sistemas en tareas de planificación, gestión y monitoreo ambiental, de recursos naturales y agrícola, no fue hasta la segunda mitad de la década de los noventa que las tecnologías geoespaciales se popularizaron en los ambientes académicos y públicos tanto en Costa Rica (Fallas, 1995) como en la región centroamericana (Guillén, 1996; Mejía, 1996; The World Conservation Union, 1993).

Tres factores que dificultaron la inserción de estas nuevas herramientas geotecnológicas fueron: el alto costo del software/computadoras, la ausencia de geodatos y la falta de personal capacitado. Los avances en área de los microprocesadores, el acceso a computadoras personales de bajo costo y la madurez en el desarrollo de software de SIG privativo y libre han permitido que dichas herramientas geotecnológicas sean tan comunes actualmente como lo fueron en los países desarrollados hace una o dos décadas. Por ejemplo, hoy es posible utilizar un *software* de SIG (libre o privativo) en una computadora cuyo precio oscila entre US\$400 y US\$800, lo cual explica por qué los CTIG son una geotecnología aceptada y bien establecida en la sociedad del siglo XXI.

No hay duda de que se han logrado avances importantes; sin embargo, todavía persisten algunas barreras propias de la cultura organizacional del sector agrícola que ponen en peligro la sostenibilidad de dicha mejora geotecnológica. Entre las principales se pueden citar: la falta de políticas en el sector que promuevan su madurez a diferentes niveles organizacionales y operacionales, así como la poca efectividad de los mecanismos de cooperación e intercambio de experiencias y geodatos entre instituciones en nivel local, regional y nacional.

A pesar de este rezago tecnológico, hoy es frecuente encontrar fincas altamente tecnificadas, cuyos profesionales y capataces utilizan aparatos equipados con un sistema de información geográfica móvil, receptores de posicionamiento global y dispositivos electrónicos para la captura de datos en el campo, los cuales son posteriormente integrados en una geobase de datos para su análisis en la oficina. En síntesis, los SIG y sus tecnologías asociadas les permiten al agricultor y al ganadero reducir costos, aumentar su productividad, minimizar la contaminación y administrar sus tierras de manera amigable con el ambiente.

3. De mapas de papel al mundo geodigital: historia de los SIG

El sistema de información geográfica (SIG) gestionado en un entorno informático⁴ es una ciencia que tiene sus raíces en la década de los sesenta; no obstante, su uso global y en especial en Centroamérica se popularizó a partir de 1990 (Buzai1 y Robinson, 2011; Fallas, 1995; Guillen 1996; Junkov y Janina, 1993; Mejía, 1996; The World Conservation Union/ORMA, 1993) gracias a los avances en el área de las microcomputadoras, la cooperación internacional y la disponibilidad de programas para ambiente de PCs. EL *software* de SIG tiene por finalidad gestionar geodatos mediante herramientas y procedimientos computarizados y así facilitar la toma de decisiones en ambientes de trabajo tanto interdisciplinarios como multidisciplinarios (Steiniger y Weibel, 2010).

En un SIG, cada ente o elemento del mundo real está definido por su posición geográfica y por sus características o atributos. Por ejemplo, el aeropuerto Tobías Bolaños de Pavas (figura 2) podría representarse por una serie de coordenadas (e.g. longitud y latitud) que definen su posición y perímetro, una tabla de atributos que describe sus características físicas y de tráfico (e.g. área, número de vuelos, destinos y horarios) y una o más fotos del sitio. A partir de estos datos, los funcionarios en diferentes instituciones y localidades pueden analizar una situación particular desde diferentes puntos de vista, al utilizar las funciones y operaciones de un SIG. Una ventaja del SIG es que elimina ambigüedades en cuanto la ubicación y las características del objeto o tema analizado.



Figura 2: Aeropuerto Tobías Bolaños. Pavas. Fuente: Google Earth. En la imagen pueden observarse tanto elementos del aeropuerto (e.g. pista de aterrizaje, edificios, aeronaves) como de su entorno (caseríos, río, edificios, espacios no construidos y vías de acceso). Cada uno de estos elementos es representado por geodatos en un *software* de SIG.

En la evolución de los sistemas de información geográfica pueden distinguirse los siguientes periodos (Coppock and Rhind, 1991; Rajani, 1995; McKee, 1996a y 1996b; Strand, 1996).

1960-1970. Etapa caracterizada por esfuerzos dispersos de individuos y pequeños grupos de trabajo en ambientes académicos, públicos y empresariales. A inicios de los años sesenta, Roger Tomlinson, geógrafo inglés residente en Canadá, acuñó el término Sistemas de Información Geográfica y por esta razón se le conoce como “el padre de los SIG”, Fig. 3(A). Para Tomlinson, el SIG era una solución informática diseñada para automatizar, almacenar, recuperar, visualizar y analizar geodatos como puede observarse en la figura 1.6. (B). Tales funciones primitivas del SIG todavía persisten en las soluciones tecnológicas actuales.

⁴ La Real Academia Española define Informática como conjunto de conocimientos científicos y técnicas que hacen posible el tratamiento automático de la información por medio de ordenadores (www.rae.es). Sin embargo, en Latinoamérica se utiliza con mayor frecuencia el término computación, el cual es una traducción del término anglosajón Computer Sciences (CS) o Ciencias de la Computación.



Figura 3. A. Dr. Roger Tomlinson en 1967 cuando explicaba en un corto, titulado "Datos para la toma de decisiones", cómo las computadoras eran utilizadas para resolver problemas geográficos en Canadá⁵. B. Seminario 2010 de Environmental Systems Research Institute (ESRI-USA), "El Dr. Tomlinson mira a más de 40 años de innovación geoespacial".

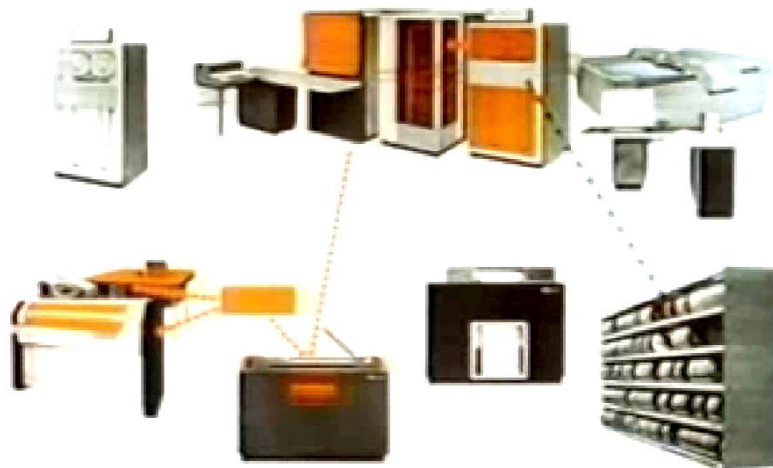
Fuente: http://video.esri.com/watch/102/dr-roger-tomlinson-data-for-decision_comma_-then-and-now (2010).

Entre los proyectos pioneros que merecen un reconocimiento especial están: el Sistema de Información para la Gestión de Tierras de Minnesota-USA (MLMIS por sus siglas en inglés), proyecto conjunto desarrollado entre el Centro para Asuntos Urbanos y Regionales (CURA por sus siglas en inglés) de la Universidad de Minnesota y la Agencia de Planificación del Estado de Minnesota y el Sistema de Información Geográfica de Canadá (CGIs por sus siglas en inglés), desarrollado por Tomlinson para el Departamento Federal de Silvicultura y Desarrollo Rural y considerado como el primer SIG computarizado de la historia, figura 4.

⁵ Si desea ver los videos visitar <http://www.youtube.com/watch?v=rM8vwf3tpu8&feature=relmfu> (Data for decision part 1 of 3), <http://www.youtube.com/watch?v=4UjCDfly-4w&feature=relmfu> (Data for decision part 2 of 3), <http://www.youtube.com/watch?v=IbaZVlqZRs&feature=relmfu> (Data for decision part 3 of 3).



La situación inicial: codificar, almacenar, medir y analizar una inmensa cantidad de datos almacenados en mapas impresos y registros tabulares por métodos convencionales sustentados en un intenso uso de recurso humano.



La solución: crear un novedoso Sistema de Información Geográfico computarizado para automatizar el ingreso de datos, su almacenamiento en cintas magnéticas, su visualización en monitores y realizar análisis complejos en muy poco tiempo y con gran exactitud.

Figura 4: Conceptualización del problema y de la solución adoptada en Canadá para agilizar la toma decisiones en la década del sesenta.

1970-1990. Esta fue una etapa de desarrollo y madurez de los SIG. Gran parte de la investigación pionera se realizó inicialmente en el Laboratorio de Computación Gráfica y Análisis Espacial de la Universidad de Harvard a finales de 1970, como parte del proyecto de *software* Odisea. Este proyecto fue pionero en el desarrollo de estructuras de datos y de algoritmos para el análisis geoespacial, la interfaz de usuario para el ingreso de comandos en línea y el uso de técnicas modulares de ingeniería de *software*. Para un usuario o desarrollador de *software* moderno, esto no parece novedoso; sin embargo, en aquella época fue un gran avance.

La compañía M&S Computing-USA (conocida a partir de 1980 como Intergraph y adquirida por Hexagon AB en octubre del 2010, <http://www.hexagon.com/en/index.htm>) obtuvo su primer contrato para el mapeo de la ciudad de Nashville, Estados Unidos, en 1973 y así incursionó la empresa privada en la automatización de geodatos.

A partir de la década de los ochenta, diversos grupos de investigación y compañías comenzaron a desarrollar *software* con fines comerciales, lo que culminó con la liberación del programa ARC/INFO de la compañía ESRI® en 1982, y marcó un hito como el primer *software* comercial de SIG para minicomputadoras. La introducción de estas nuevas computadoras, pequeñas, comparadas con las computadoras principales (*main frames*), pero con gran poder de análisis y menos costosas, permitió a organizaciones medianas y a departamentos en agencias gubernamentales y universidades adquirir sus propios equipos para albergar el SIG. También durante esa década la tecnología informática de *hardware* pasó a estaciones de trabajo UNIX y PC. Para aprovechar este nuevo nicho tecnológico la compañía ESRI® liberó PC ARC/INFO en 1987, lo que favoreció aun más la difusión del SIG; especialmente en América Latina y otras países en vías de desarrollo.

Un evento académico que merece especial realce, como punto de partida en la adopción del SIG en América Latina, fue la I Conferencia Latinoamericana de Informática en Geografía realizada del 7 al 9 de julio de 1987 en San José de Costa Rica. El encuentro fue auspiciado por la Unión Geográfica Internacional (UGI) y coordinado por Merrill Lyew, de la Universidad Nacional de Costa Rica; Duane F. Marble, de Ohio State University-USA; Armando Guevara, de ESRI-USA; y Jorge Xavier da Silva, de la Universidad Federal do Rio de Janeiro-Brazil. Las áreas temáticas tratadas en la conferencia fueron: cartografía digital, modelado de procesos espaciales, sensores remotos y sistemas de información geográfica.

Uno de los aportes que puede atribuirse al SIG en aquel periodo fue proveer una plataforma común para eliminar el aislamiento existente hasta aquel momento entre fotogrametría, teledetección, geodesia, cartografía, topografía, geografía, ciencias de la computación, estadística espacial y otras disciplinas relacionadas con los datos geoespaciales.

1990-2000. Periodo caracterizado por la madurez y una mejor integración de tecnología, herramientas y ciencia de los SIG. En el ámbito de los usuarios, se caracterizó por la presencia de múltiples actores y diversas compañías que competían por la supremacía en el mercado, así como por la creación y adopción de estándares que permitieran el desarrollo de sistemas integrados pero abiertos. El concepto Sistema Integrado de Información Geográfica (SIIG) fue acuñado en la década de los noventa para agrupar en un solo término los Sistemas de Información Geográfica (SIG), los Sistemas de Posicionamiento Global por Satélite (conocidos como GPS por sus siglas en inglés) y la teledetección (Ehlers *et al.*, 1991; Davis *et al.*, 1991; Lillesand, Kiefer and Chipman, 2008).

Las estaciones de trabajo y las microcomputadoras en ambiente de *Windows* dominan el mercado gracias a sus bajos precios e innovaciones en su *hardware*. Se experimenta un avance sustancial en el procesamiento en datos gracias a computadoras interconectadas en redes, en la distribución electrónica de datos y en el uso de nuevas técnicas y métodos para la captura de datos tales como la teledetección y el GPS. Las soluciones en ambiente UNIX son cada vez menos frecuentes y su mercado se reduce a aplicaciones especializadas.

2000-presente. Esta es la etapa más interesante, productiva e innovadora en la evolución de los SIG. Se ha pasado de un SIG encapsulado en ambientes empresariales o gubernamentales a uno dominado por aplicaciones orientadas a internet, los servicios *web* y dispositivos inteligentes que utilizan geodatos almacenados en la nube (*cloud computing*). Esto significa que más y más personas pueden crear, analizar y compartir mapas en línea desde

su casa, celular u oficina con un mínimo de entrenamiento. Otra área de avance es la definición de estándares de interoperabilidad que facilitan la creación y el intercambio de datos y aplicaciones.

El *software* libre en ambiente de *Windows* también ha jugado un papel crucial como elemento dinamizador en esta etapa, al permitir el acceso a herramientas geotecnológicas estables, de alta calidad y con un mínimo de inversión. En el ámbito comercial, las principales empresas de *software* también proveen visualizadores gratuitos que proporcionan acceso instantáneo a muchos servicios en línea, incluyendo mapas y herramientas.

Según Daratech⁶, las ventas en la industria geoespacial (SIG, *software* y datos) alcanzó los 4,4 billones de dólares en el 2010, creció 10,3 % con respecto al 2009 y se esperaba que creciera otro 8,3 % en el 2011, lo cual demuestra su solidez comercial. Es un hecho innegable que los geodatos constituyen la base de la industria geoespacial. Los avances tecnológicos en la adquisición, la gestión, la distribución y el acceso de geodatos han inducido a un aumento exponencial en la geoinformación disponible. Durante los últimos ocho años, el mercado de geodatos experimentó una tasa anual de crecimiento compuesto de 15,5 %, aproximadamente el doble de la tasa de crecimiento registrada para las áreas de *software* geoespacial y servicios. "Los datos son para el SIG y las aplicaciones geoespaciales lo que el software es para las computadoras", dijo Charles M. Foundyller CEO de Daratech, Inc. "Sin ellos, el SIG y las aplicaciones geoespaciales no tienen nada que decirnos".

4. Ámbito de aplicación y funciones del SIG

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son un conjunto de herramientas tecnológicas (*software* y *hardware*), procesos, datos y usuarios que interactúan en un entorno geoinformático con el objetivo de analizar situaciones particulares y proponer soluciones a los restos que enfrentan tanto los productores como los consumidores (Steiniger y Weibel, 2010).

La gestión exitosa de los bienes y servicios de los agrosistemas en el siglo XXI requiere una cuantificación precisa de la cantidad, calidad y ubicación del capital agrario (e.g. suelo, agua, semillas y fertilizantes), así como un conocimiento fidedigno de los procesos ecosistémicos al interior de cada cultivo (e.g. crecimiento, plagas y resiliencia) y de los límites naturales y culturales entre los que debe gestionarse cada agrosistema.

Los geodatos y la geoinformación son pilares fundamentales para la gestión de un subsector agrícola, sustentable tanto en nivel de finca como de país. La información y el conocimiento promueven alianzas entre dueños de fincas, instituciones del Estado y las compañías que comercializan los productos agrícolas. Esta interacción conlleva a la identificación y formulación de innovaciones que fortalecen el desarrollo humano en un marco de bienestar compartido, transparente y sustentado en una estrategia de fomento a la competitividad.

El *software* y *hardware* del SIG almacenan datos sobre el mundo real como una colección de capas temáticas individuales entrelazadas por su ubicación o localización (figura 5). El concepto es simple, pero extremadamente poderoso y versátil y, a la fecha, ha demostrado ser invaluable como herramienta para resolver retos relacionados con la agricultura de precisión, la gestión de servicios públicos, el análisis de mercados, la cartografía de zonas ambientalmente sensibles y el modelado de impactos ambientales, sociales y económicos en diferentes escalas espaciales (Aspinall and Pearson, 2000; Ball, 2002; Goodchild *et al.*, 1993).

⁶ http://govpro.com/technology/gis_gps/gis-geospatial-growth-20110127/

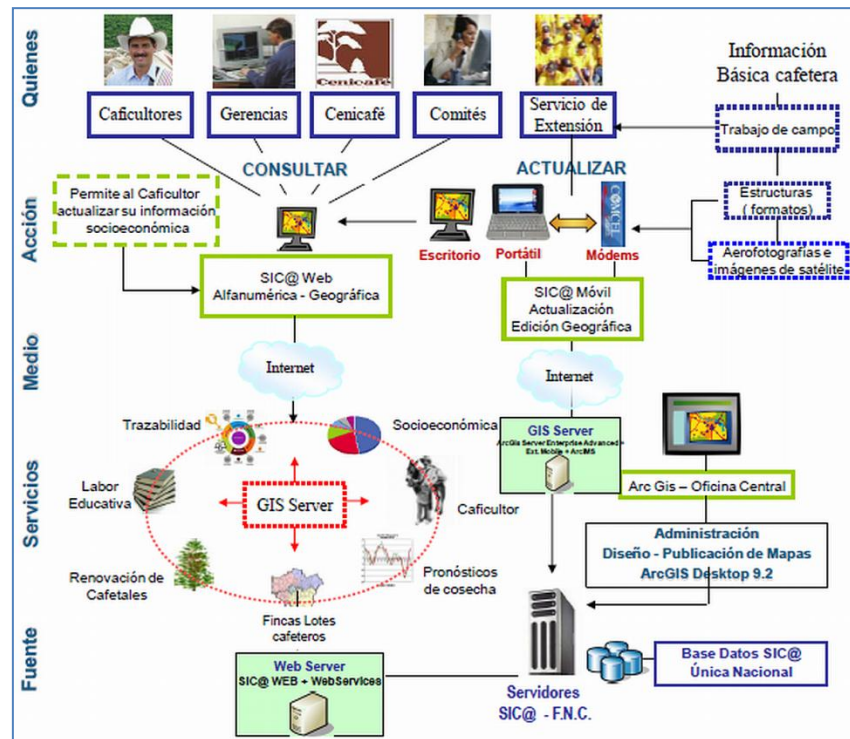


Figura 5: El Sistema de Información Cafetero (SIC@) de Colombia provee a sus usuarios cartografía básica y los datos requeridos en nivel de finca para planificación, definición de políticas de sostenibilidad, toma de decisiones, análisis de competitividad, monitoreo ambiental, pronóstico de cosechas, catastro de predios y control de calidad. Fuente: <http://www.procalculoprosis.com/lauc/fscommand/rnat2.pdf> (2009).

Aun cuando las posibilidades de análisis del SIG son casi infinitas, podemos resumirlas de la siguiente manera:

- *Localización*: mapeo de elementos del mundo real mediante un sistema de referencia geográfico (e.g. ubicación de fincas, cultivos y parcelas en las faldas del volcán Irazú).
- *Condición*: selección de elementos de un conjunto de datos, dadas ciertas condiciones o restricciones geoespaciales y alfanuméricas (atributos) (e.g. fincas cultivadas de papa menores a 1 hectárea y ubicadas en San Juan de Chicó).
- *Mapeo/monitoreo de cambios en tiempo y espacio (tendencias)*: comparar, en tiempo y/o espacio, la condición de un elemento (e.g. cambios en la producción por hectárea en fincas paperas durante un periodo de 10 años).
- *Rutas*: cálculo de rutas óptimas entre dos o más puntos (e.g. diseñar una ruta óptima para la aplicación de fertilizantes en la zona papera de Cartago).
- *Patrones*: buscar patrones y relaciones geoespaciales (e.g. relación entre la cantidad de lluvia media anual, la aplicación de fertilizantes y la producción de papa por hectárea).
- *Modelado de escenarios*: creación de modelos a partir de fenómenos o situaciones reales para su posterior simulación en un entorno digital (e.g. efecto de la variabilidad climática en la productividad de hortalizas en Costa Rica).

Desde una perspectiva operacional, un SIG puede describirse como un conjunto de herramientas tecnológicas y procedimientos que permiten capturar, codificar, almacenar, editar, analizar, visualizar y compartir datos

geoespaciales (figura 6). El *software* de SIG utiliza como insumos capas de geodatos (e.g. mapa de carreteras, marinas, aeropuertos y poblados) tanto en formato vectorial como *ráster*. Los datos alfanuméricos (e.g. características de los geodatos) pueden almacenarse en tablas (e.g. *Excel*, *Dbase*) o en una base de datos relacional (e.g. *Oracle*, *Microsoft SQL Server*, *Access* o *MySQL*).

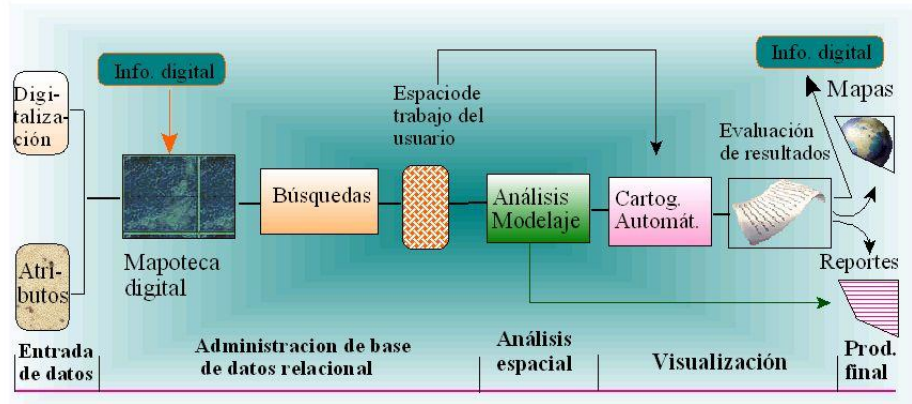


Figura 6: Perspectiva operativa de un SIG. Fuente: basado en Burrough y McDonnell, 1998.

Las principales funciones y operaciones de naturaleza geoespacial que permite ejecutar un *software* de SIG son (Albrecht, 1995; Burrough y McDonnell, 1998; Krummel *et al.*, 1987; Pastor y Broschart, 1990):

Crear geodatos: esta es la primera tarea que debe realizar cualquier persona, institución o empresa que desee utilizar un *software* de SIG. Con frecuencia requiere de trabajo de campo, digitar mapas existentes, importar datos tabulares a bases de datos, y adquirir imágenes de satélite y ortofotos.

Editar geodatos: su edición incluye la actualización de su geometría, transformaciones de los atributos, transformación de coordenadas y cambio de formato.

Almacenar geodatos: son almacenados en archivos digitales individuales y geobases de datos.

Integración o fusión con otros geodatos existentes: con frecuencia los datos nuevos deben integrarse a bases ya existentes.

Visualizar geodatos: los archivos almacenados deben visualizarse como una actividad previa a su análisis y edición.

Consultas geoespaciales y por atributos: las búsquedas o consultas a la base de datos permiten responder a preguntas concretas tales como quién es el dueño de la finca “X” que colinda con el área protegida “Y” o cuál es el lote de la finca con la mayor producción en un año dado.

Geoprocesamiento: esta la mayor fortaleza de un SIG y permite responder a preguntas de naturaleza espacial, a saber: ¿cuál es la ubicación óptimo para un corredor natural? o ¿cómo ha cambiado en el tiempo el uso-cobertura de la tierra en una finca o región agropecuaria?

Producción cartográfica: el resultado del todo análisis finalmente debe comunicarse como un mapa impreso o digital.

Los resultados o productos de una aplicación de SIG son almacenados en formato digital, se imprimen como mapas o son exportables a otros programas para su posterior procesamiento. La sociedad moderna está inmersa en un mundo de colores y formas y, por lo tanto, los mapas y sus diseños deben ser llamativos para atraer la atención de los tomadores de decisiones. Con esto no se pretende que deba dejarse de lado la rigurosidad científica, sino más bien incorporar elementos de diseño gráfico y publicidad en los productos del SIG. Las herramientas especializadas para crear mapas que provee el software de SIG permiten lograr ambos objetivos. Por un lado, se utilizan colores y diseños atractivos para llamar la atención de los interlocutores y, por otro, se comunican datos de gran rigurosidad científica. Es importante recordar que un mapa o diagrama es más efectivo que un voluminoso informe cuando se trata de comunicar una idea o un concepto.

5. Geodatos y el mundo real

En una finca todos los elementos coexisten simultáneamente en un determinado espacio geográfico, como puede apreciarse en la figura 7 (A). Nuestro cerebro puede visualizar y percibir las relaciones geoespaciales que existen entre dichos elementos sin necesidad de segregarlos en temas o capas; sin embargo, no es capaz de realizar cálculos complejos como determinar áreas, distancias o relacionar la profundidad del suelo con la fertilización y la producción de una determinada parcela. Estas interacciones complejas son realizadas mediante un *software* de SIG, en el cual cada elemento es representado como una capa de geodatos con sus respectivos atributos o características y relaciones espaciales (e.g. ríos, carreteras, uso-cobertura y pendiente), figura 7(B).

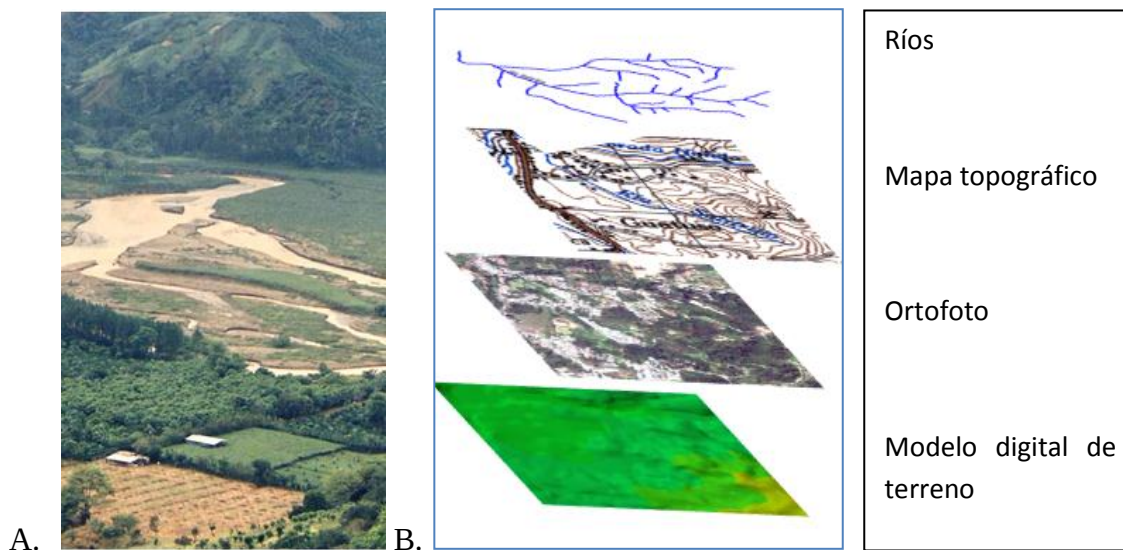


Figura 7: A. Elementos de la realidad en un SIG. B. Representación de los elementos de la realidad en capas de geodatos coregistradas. Fuente: Elaboración propia.

El *software* de SIG, en su entorno digital, organiza los datos geográficos de tal manera que cualquier persona que haga un clic con su puntero, puede conocer no solo lo que está en la superficie (e.g. café, pasto y árboles), sino también las características del suelo donde crece dicha vegetación, la cantidad de lluvia que cayó en momento dado, las prácticas agrícolas utilizadas y su producción. El producto final son decisiones informadas e inteligentes.

El geodato es la representación geométrica de un elemento de nuestro entorno y de sus propiedades o características (Fonseca *et al.*, 2002). En un SIG, los modelos de datos permiten representar tanto los atributos espaciales como no espaciales y proveen un medio preciso para almacenar, visualizar, analizar y mantener dicha información actualizada. Este modelo no se limita al mapeo de elementos específicos, como calles o ríos; también abarca otras representaciones de la geografía por medio de modelos de superficie (e.g. pendiente), de redes (e.g.

sistema de drenaje en una finca), imágenes (fotos aéreas) y modelos en tres dimensiones (3D), así como datos de producción, rendimiento y tenencia de la tierra, como puede apreciarse en la figura 8.

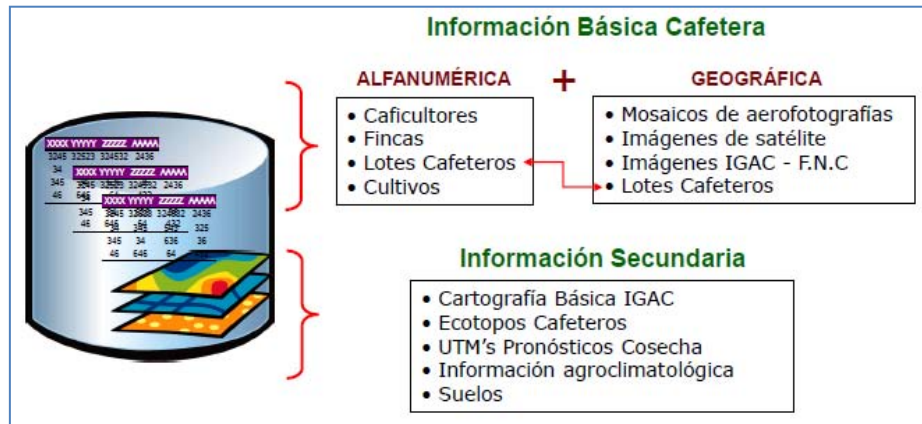


Figura 8: Representación de objetos del mundo real a partir de entes geométricos y sus atributos en el Sistema de Información Cafetero de Colombia (SIC@ WEB). Fuente:

En <http://www.procalculoprosis.com/lauc/fscommand/rnat2.pdf>

A referirse al tema de los geodatos, Gomes y Velho (1995), sugieren dividirlos en cuatro universos, a saber (Fig. 1.12.):

- 1) El *universo físico*. Comprende los objetos y fenómenos del mundo real que serán modelados en la computadora (e.g. casas, inundaciones, rutas y cultivos).
- 2) El *universo lógico*. Corresponde a una definición formal de los objetos y fenómenos del mundo real (e.g. ¿qué es una casa?).
- 3) La *representación geométrica del universo*. Utiliza un set finito de símbolos del universo matemático para describir los elementos del universo físico (e.g. rectángulos, círculos y cuadrados).
- 4) El *universo de aplicación*. Mapea los elementos del universo de representación mediante las estructuras de datos implementadas en un lenguaje de computación (e.g. VB.NET, C#, .NET).

Fonseca *et al.* (2002) adicionaron el *universo cognitivo*, el cual trata lo relativo al conocimiento, entendido como aquel acervo de información adquirida mediante la experiencia o de la introspección; por lo tanto, representa la manera en que un individuo o grupo social percibe la realidad o universo físico (figura 9). El universo físico es el mundo real, en tanto que el universo cognitivo es el mundo de los conceptos tales como árbol, bosque, cauce, cuenca hidrográfica, hortaliza y suelo.

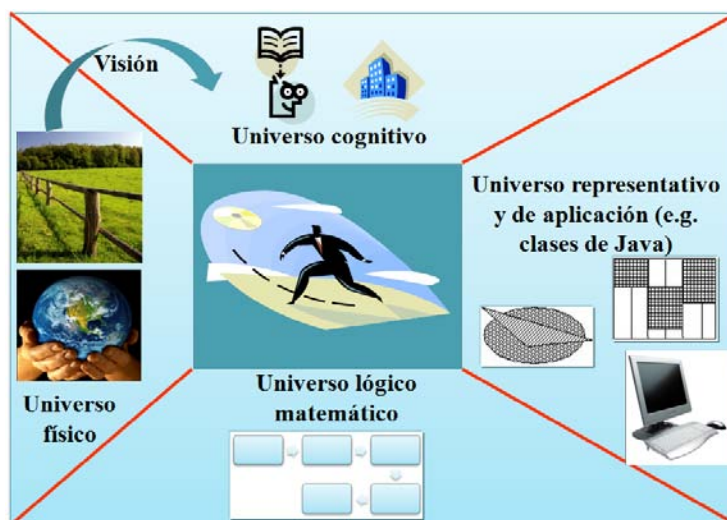


Figura 9: Percepción humana de los universos utilizados para modelar datos geográficos.

Fuente: Basado en Gomes y Velho, 1995; Fonseca *et al.*, 2002 y Marr, 1982.

6. ¿Por qué utilizar un SIG?

Goodchild *et al.* (1999) definieron la ciencia de los Sistemas de Información Geográfica como el estudio sistemático a partir de principios científicos de la naturaleza y de las propiedades de la información geográfica. Esta nueva ciencia estudia el universo físico en tres niveles: el individuo, el sistema y la sociedad. El SIG, como herramienta geotecnológica, le permite al ser humano, a la institución, la empresa o el equipo de trabajo coleccionar, almacenar, analizar y compartir geodatos en su oficina o mediante la *web*, y de ese modo enriquecer los procesos de toma de decisiones.

El SIG transformó la percepción estática y en algunos casos "ilustrativa" de los mapas. En términos simples, se ha pasado del uso de reglas y cartografía impresa a utilizar cartografía digital, computadoras personales y teléfonos inteligentes. El uso del SIG en múltiples disciplinas ha transformado el enfoque teórico-práctico fragmentado, característico de la década de los ochenta, a una visión holística que integre lo económico, social, ecológico y tecnológico del objeto de interés, sea este la parcela, la finca o la agroempresa.

El análisis geodatos con un Sistema de Información Geográfica comparte los mismos requerimientos de otros métodos de análisis no espaciales. Toda aplicación debe sustentarse en un minucioso proceso de planificación que involucra las siguientes acciones:

1. Formulación y descripción del problema o reto que enfrenta el cliente. Definir con claridad los objetivos, alcances y requerimientos del cliente; incluye los análisis y productos requeridos.
2. Selección de datos, geodatos, métodos, procedimientos e instrumentos por utilizar para coleccionarlos. Esto incluye definir el equipo humano y de cómputo requerido así como responder a las siguientes preguntas: ¿Cuál completo es el conjunto de datos en términos espaciales, temporales y de atributos?; ¿es el conjunto de datos apropiado para responder a las preguntas de la investigación? y ¿cuál es la exactitud de los datos (espacial, temporal y en cuanto a atributos)? Cuando se analicen datos de diferentes fuentes, ¿son los datos compatibles y consistentes entre ellos?; ¿cuáles son las fuentes de geodatos? y ¿son fuentes confiables?

3. Compilación y registro y análisis exploratorio de datos. Planificar la entrada de datos (manual, semiautomática y digital). Presupuestar tiempo para la edición de archivos y creación de la geobase de datos.
4. Formulación de hipótesis (cuando corresponda). Utilizar procedimientos de trabajo claros y replicables.
5. Modelado y evaluación de resultados. Adoptar estándares de calidad aceptados por la comunidad nacional o internacional de SIG y Agromática.
6. Validación de los resultados. Consulta o revisión de los resultados por parte de expertos.
7. Elaboración y socialización de informe. Elaborar metadatos: descripción de datos, permiten comprender los datos, compartirlos y evaluar su utilidad.
8. Ejecución de recomendaciones
9. Seguimiento y retroalimentación.

Los resultados del análisis geoespacial deben entenderse como un elemento que aporta al proceso de toma de decisiones de la finca, agroempresa o institución y no como la verdad absoluta. Con esta herramienta es posible familiarizar rápidamente al equipo de trabajo con la evidencia recabada, su ubicación, verificar la calidad de los datos y visualizar (por medio de mapas, cuadros y gráficos) posibles relaciones y patrones espaciales. En esta etapa del proceso es deseable contar con un profesional que puede utilizar con propiedad las funciones y operaciones del software de SIG.

Desde la perspectiva del usuario final, el análisis geoespacial es la principal razón para crear y mantener un SIG en una institución o empresa. El procesamiento y análisis de geodatos es lo que diferencia a un *software* de SIG de otros sistemas de información o del *software* de diseño asistido por computadora (CAD). El primero permite visualizar geodatos, derivar nueva información a partir de geodatos existentes, utilizar modelos matemáticos, operadores lógicos, combinar y sobreponer mapas, determinar zonas de amortiguamiento alrededor de puntos, líneas y polígonos, cambiar de proyecciones y corregir distorsiones geométricas en los geodatos; en tanto que el segundo se utiliza para diseño y tiene una capacidad limitada de análisis. Estos y otros temas se tratarán con más profundidad en el capítulo tres.

Finalmente, recuerde que los geodatos, los métodos y las técnicas de análisis geoespacial así como el *software* seleccionado para ejecutar una determinada tarea constituyen solo un instrumento que le permite responder a las preguntas claves: ¿para qué? y ¿por qué?

7. ¿Por qué el SIG es una geotecnología popular?

El SIG goza de gran aceptación en disciplinas tan diversas como las ciencias biológicas, naturales, físicas y en áreas aplicadas como la ingeniería, el ordenamiento territorial, la gestión ambiental y la administración de servicios de salud, prevención y seguridad ciudadana. Los profesionales, en forma individual o como equipos de trabajo, utilizan uno o varios de los subsistemas de la Ciencias y Tecnologías de la Información Geográfica (CTIG) para dar soluciones eficientes y de bajo costo a los retos cotidianos que enfrentan. Las razones para su proliferación son las siguientes:

1. Aumento considerable en la cantidad, calidad y disponibilidad de geodatos en nivel mundial. *Google Maps* y *Google Earth* son solo dos ejemplos de los datos disponibles sin costo alguno.
2. Los geodatos cuentan con un sistema de referencia implícito (e.g. pueblos, cantones, distritos y municipios) o explícito (e.g. latitud y longitud).

3. El SIG es una herramienta de trabajo bien establecida en el sector gubernamental, privado, ONGs y la academia.
4. En la última década, el precio de las computadoras, sus periféricos y programas conexos se ha reducido y, a la vez, la capacidad de procesamiento ha mejorado sustancialmente. Esto ha permitido que un creciente número de usuarios tengan acceso a microprocesadores con capacidad de albergar un SIG de última generación.
5. Amplia disponibilidad de *software* libre (el usuario puede modificar el código de programación) y gratuito (no tiene costo para el usuario, pero no puede modificar el código de programación). Un ejemplo del primero es GRASS (<http://grass.osgeo.org>) y del segundo *Map Maker* (<http://www.mapmaker.com>).

La información es esencial para la toma de decisiones. Sin embargo, para que sea útil debe sistematizarse y estar disponible en un formato amigable a sus usuarios. A partir de la década de los sesenta se ha notado un rápido desarrollo en los aspectos teórico-conceptuales, tecnológicos y organizacionales en los diferentes subsistemas de las CTIG (figura 10.). Gracias a estos avances, las CTIG se han convertido en una herramienta que integra, con base en un elemento común el espacio, a muy diversas profesiones y disciplinas. En la actualidad es común encontrar a especialistas en agricultura, informática, matemática, física, diseño gráfico, economía, relaciones públicas y teledetección y quienes trabajan en un proyecto que a su vez se ejecuta en una finca, un distrito forestal, un país o un continente.

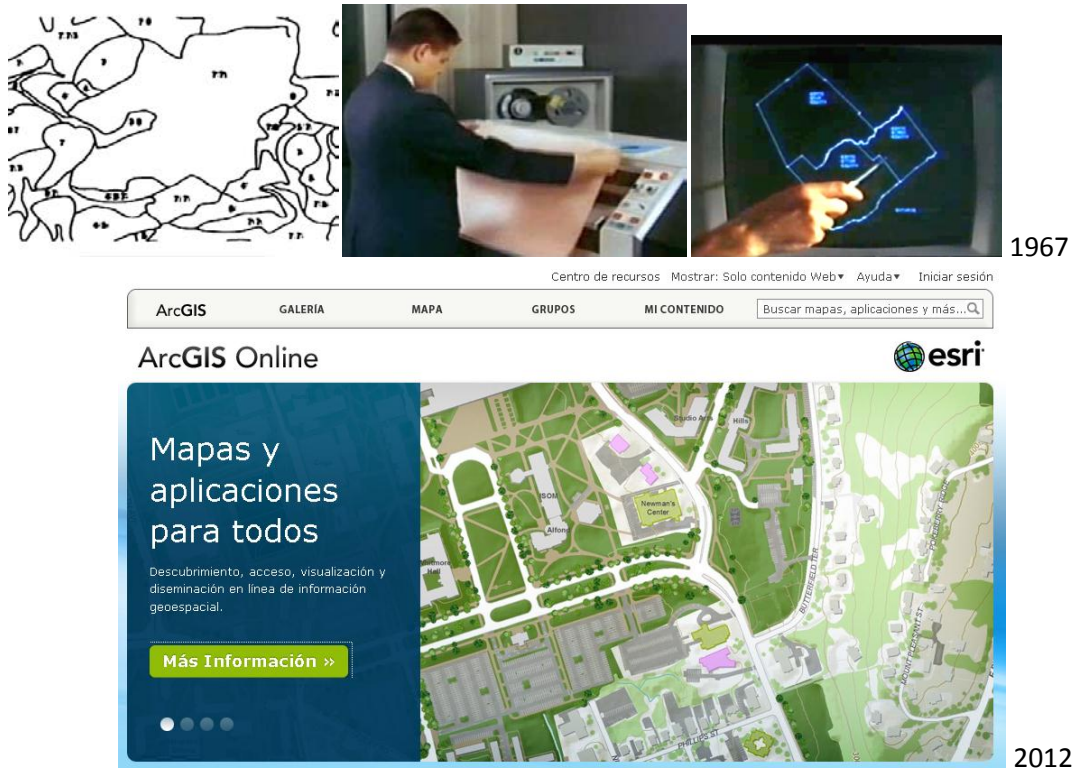


Figura 10: Cuarenta y cinco años de evolución en los sistemas de información geográfica

8. Ejercicio de autoevaluación

- 1) Liste los componentes de un Sistema de Información Geográfica (SIG).
- 2) Describa al menos tres tipos de preguntas que pueden responderse por medio de un SIG.
- 3) ¿Qué es un geodato?
- 4) Describa la relación entre los cuatro universos propuestos por Gomes y Velho (1995) para modelar los datos geográficos.
- 5) ¿Para qué podría utilizar usted un Sistema de Información Geográfica?
- 6) ¿Por qué el SIG es una geotecnología popular en nuestros días?
- 7) Describa las principales funciones y operaciones de naturaleza geoespacial de un *software* de SIG.

9. Respuesta a los ejercicios de autoevaluación

- 1) *Software* y *hardware*, procesos, datos, usuarios y el entorno geoinformático-institucional.
- 2) El estudiante puede responder:
 - Localización: mapeo de elementos del mundo real gracias a un sistema de referencia geográfico (e.g. ubicación fincas, cultivos y parcelas en las faldas del volcán Irazú).
 - Condición: selección de elementos dadas ciertas condiciones o restricciones geoespaciales y/o alfanuméricas (atributos) (e.g. fincas cultivadas de papa menores a 1hectárea y ubicadas en San Juan de Chicoá).
 - Mapeo y monitoreo de cambios en tiempo y espacio (tendencias): comparar, en tiempo y espacio, la condición de un elemento (e.g. cambios en la producción de fincas paperas durante años Niño).
 - Rutas: cálculo de rutas óptimas entre dos o más puntos (e.g. diseñar una ruta óptima para la aplicación de fertilizantes en la zona papera de Cartago).
 - Patrones: buscar patrones y relaciones geoespaciales (e.g. relación entre cantidad de lluvia media anual, aplicación de fertilizantes y producción de papa).
 - Modelado de escenarios: generación de modelos a partir de fenómenos o situaciones simuladas (e.g. efecto de la variabilidad climática y el cambio climático en la producción de hortalizas en Costa Rica).
- 3) El geodato es una representación geométrica de nuestro entorno y de sus propiedades o características. Otra definición de geodato es "ente o elemento del mundo real caracterizado por su posición geográfica y sus atributos no espaciales". Posee tanto información sobre su posición u

ubicación como sobre sus características o atributos. Por ejemplo, un canal de drenaje posee una ubicación, una longitud, un ancho, una profundidad, un costo, una fecha de construcción y un propietario.

- 4) El estudiante debe preparar un diagrama para ilustrar la relación entre los siguientes universos:
 - El universo físico, el cual comprende los objetos y fenómenos del mundo real que serán modelados en la computadora (e.g. casas, inundaciones, rutas y cultivos).
 - El universo lógico, el cual corresponde a una definición formal de los objetos y fenómenos del mundo real (e.g. ¿qué es una casa?).
 - La representación geométrica del universo a partir de un conjunto finito de símbolos del universo matemático para describir los elementos del universo físico (e.g. rectángulos, círculos y cuadrados).
 - El universo de aplicación utilizado para mapear los elementos del universo de representación, a partir de las estructuras de datos implementadas en un lenguaje de computación.

- 5) El SIG, como herramienta geotecnológica, permite coleccionar, almacenar, utilizar y compartir geodatos y así enriquecer los procesos de toma de decisiones.

- 6) El SIG es utilizado por diferentes sectores y empresas en Costa Rica. Algunas de las razones para su aceptación y adopción son las siguientes:
 - Aumento considerable en la cantidad, calidad y disponibilidad de geodatos en nivel mundial.
 - Los geodatos cuentan con un sistema de referencia implícito (e.g. pueblos, cantones, distritos y municipios) o explícito (e.g. latitud y longitud).
 - El SIG es una herramienta de trabajo bien establecida en el sector gubernamental, privado, ONGs y la academia.
 - Reducción sustancial en el costo de las computadoras, el *software* y sus periféricos. Durante las últimas dos décadas ha habido una considerable disminución en los precios de los sistemas de cómputo. Esta reducción en los precios se debe a dos factores: aumento en el número de usuarios e introducción de los microprocesadores en el mercado de la computación a finales de la década de los setenta.
 - Amplia disponibilidad de *software* libre y gratuito.

- 7) El estudiante puede responder:
 - Crear geodatos: antes de realizar cualquier análisis geoespacial los datos deben ser compilados mediante trabajo de campo, uso de mapas existentes, imágenes de satélite, ortofotos o adquiridos de proveedores de geodatos.
 - Editar geodatos: algunas tareas típicas en la edición de geodatos son: corrección de errores, actualización de la geometría y atributos, transformación de coordenadas y cambio de formato.

- Almacenar geodatos: son almacenados en archivos digitales individuales o una geobase de datos.
- Integración o fusión con otros geodatos existentes: con frecuencia los datos nuevos deben integrarse a geobases ya existentes.
- Visualizar geodatos: los archivos digitales deben visualizarse como una actividad previa a su análisis.
- Consultas geoespaciales y por atributos: las búsquedas o consultas a la base de datos se utilizan para responder a preguntas concretas tales como quién es el dueño de la finca “X” que colinda con el área protegida “Y”.
- Geoprocesamiento: esta la mayor fortaleza de un SIG y permite responder a preguntas de naturaleza espacial. Algunos ejemplos son: ¿cuál es el trazado óptimo para un corredor natural? o ¿cómo ha cambiado en el tiempo el uso-cobertura de la tierra en una finca o región agropecuaria?
- Producción cartográfica: el resultado del todo análisis finalmente debe expresarse como un mapa impreso o digital.

10. Referencias

- Albrecht, J. (1995). *Semantic net of universal elementary GIS functions* (en línea). En Proceedings of the International Symposium on Computer-Assisted Cartography February 27-29, Charlotte, North Carolina. Consultado 1 nov. 2011. Disponible en <http://mapcontext.com/autocarto/proceedings/auto-carto-12/pdf/pages245-254.pdf>
- Aranoff, S. (1991). *Geographic information systems: a management perspective*. Ottawa, Canada: WDL. 294p.
- Aspinall, R. y Pearson D. (2000). Integrated geographical assessment of environmental condition in water catchments: Linking landscape ecology, environmental modeling and GIS. *Journal of Environmental Management* 59 (4), 299-319p.
- Baumann, J. (2010). *Colombian Coffee Growers Use GIS to Brew Better Crops* (en línea). ArcNews. Consultado 1 noviembre del 2011. Disponible en <http://www.esri.com/news/arcnews/summer10articles/colombian-coffee.html>.
- Baumann, J. (2011). *Sustaining the Nation's Food Supply and Security*. ArcWatch, Julio 2011. Disponible en <http://www.esri.com/news/arcwatch/0711/tracking-pests.html>
- Burrough P. A. y McDonnell R., A. (1998). *Principles of Geographical Information Systems* (Spatial Information Systems). (2ª ed.). Oxford University Press, 327p.
- Buzai1 G., D. y Robinson D., J. (2011). *Sistemas de información geográfica en América Latina*. (1987-2010). Un análisis de su evolución académica basado en la CONFIBSIG. XIII Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica. México. Disponible en http://www.inegi.org.mx/eventos/2011/conf_ibero/doc/MagistralBuzai-Robinson.pdf

- Cañedo A., R.; Ramos-Ochoa R., E.; Guerrero-Pupo J., C. 2005. *La Informática, la Computación y la Ciencia de la Información: una alianza para el desarrollo* (en línea). *Acimed* 3(5). Consultado 12 noviembre del 2011. Disponible en http://bvs.sld.cu/revistas/aci/vol13_5_05/aci07505.htm
- Coppock, J. T. y Rhind, D. W. (1991). *The history of GIS* (en línea). In: Maguire D. J.; Goodchild, M. F. and Rhind, D. W. (eds). *Geographical Information Systems: Principles and Applications*. Longman, London. Consultado 1 noviembre del 2011. Disponible en <http://www.grossmont.edu/judd.curran/thx1article.pdf>
- Dadhwal, V. K. (2003). *Crop growth and productivity monitoring and simulation using remote sensing and GIS. Satellite Remote Sensing and GIS Applications in Agricultural Meteorology*. pp. 263-289. Disponible en <http://www.wamis.org/agm/pubs/agm8/Paper-13.pdf>. Consultado en: 1 noviembre 2011.
- DiBiase, D.; DeMers, M.; Johnson, A.; Kemp, K.; Luck, A., T.; Plewe, B. y Wentz, E. (2007). Introducing the First Edition of Geographic Information Science and Technology Body of Knowledge (en línea). *Cartography and Geographic Information Science*. 34(2), 113-120. Consultado 1 noviembre del 2011 Disponible en: https://www.e-education.psu.edu/files/sites/file/BoK_CaGIS_2007.pdf.
- Dawn, J. W.; Goodchild, M. F. y Proctor, J. D. (1997). *Demystifying the Persistent Ambiguity of GIS as "Tool" Versus "Science"* (en línea). *The Annals of the Association of American Geographers* 87(2): 346-362. Consultado 1 noviembre del 2011. Disponible en <http://dusk.geo.orst.edu/annals.html>
- ESRI. (2009). *GIS Best Practices. GIS for Agriculture* (en línea). Consultado 1 febrero del 2012. Disponible en <http://www.esri.com/library/bestpractices/gis-for-agriculture.pdf>. Consultado 1 noviembre 2011.
- Fallas, Jorge (ed.). (1995). *Sistemas de Información Geográfica, Teledetección y Sistemas de Posicionamiento Global en Costa Rica*. Memoria. Laboratorio de Teledetección y Sistemas de Información Geográfica. Programa Regional en Manejo de Vida Silvestre para Mesoamérica y el Caribe. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica, 75p.
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (FNC). (2009). *Sistema de información cafetero* (en línea). Gerencia Técnica. Gerencia Administrativa. Consultado: 1 nov. 2011. Disponible en <http://www.procalculoprosis.com/lauc/fsccommand/rnat2.pdf>.
- Fonseca, F.; Egenhofer, M.; Agouris, P. y Câmara, G. (2002). Using Ontologies for Integrated Geographic Information Systems. *Transactions in GIS* 6(3), 231-257.
- Gomes, J. y Velho, L. (1995). *Abstraction Paradigms for Computer Graphics* (en línea). *The Visual Computer* 11: 227-239. Consultado 23 febrero del 2012. Disponible en http://www.visgraf.impa.br/Data/RefBib/PS_PDF/a95a/vc95.ps.gz
- Guillén, M., R. (1996). *Diagnóstico Sistemas de Información Geográfica en el Salvador*. Unidad Sistemas de Información Ambiental. San Salvador, El Salvador. 43p. +1 anexo.
- Lillesand T., Kiefer R., W. y Chapman J. (2008). *Remote Sensing and Image Interpretation*. (2008). (6ª ed.). Wiley. 746p.
- Maguire, D. (2008). *GIS Best Practices. GIS and Science* (en línea). ESRI. Consultado 23 febrero del 2012. Disponible en <http://www.esri.com/library/bestpractices/gis-and-science.pdf>

Mejía, S. (1996). *Diagnóstico del estado actual de los sistemas de información geográfica (SIG) en Nicaragua*. Proyecto NIC/94/P50. Managua, Nicaragua. 16p.

Steiniger, S.; Weibel, R. (2010). *GIS software: a description in 1000 words* (en línea). In Warf, B. Encyclopedia of geography. London, GB. Visitado 20 de febrero 2012. Disponible en http://www.zora.uzh.ch/41354/1/Steiniger_Weibel_GIS_Software_2010.pdf

The World Conservation Union/ORMA. (1993). *Management of Environmental Information in Central América*. Report on Regional Institutions. San José, Costa Rica. 11p. +Anexos.

11. Enlaces de interés

Association of American Geographers (AAG): <http://www.aag.org/>

Association of American Geographers, Spatial Analysis SIG: <http://www.fsu.edu/~geog/sam/>

Association of American Geographers (AAG), Geographic Information Systems and Science SIG: <http://geography.sdsu.edu/aaggis/>

Association for Geographic Information (AGI): <http://www.agi.org.uk>

Birkbeck College, University of London: <http://www.bbk.ac.uk/gisonline>

Center for Advanced Spatial Analysis (CASA): <http://www.casa.ucl.ac.uk>

Center for Spatially Integrated Social Science (CSISS): <http://www.csiss.org>

Center for Computational Geography: <http://www.ccg.leeds.ac.uk>

Center for Computational Geostatistics: <http://www.uofaweb.ualberta.ca/ccg>

European Commission Joint Research Center (CEC/JRC)-a web forum for Geostatistics and Spatial Statistics supported by the European Commission: <http://www.ai-geostats.org>

EURO Working Group on Locational Analysis: <http://www.vub.ac.be/EWGGLA/homepage.htm>

Free GIS Organization – portal and mailing list: <http://www.freegis.org>

Geoscience Australia: <http://www.ga.gov.au>

Geospatial Information and Technology Association (GITA): <http://www.gita.org>

GIS.COM-geospatial portal sponsored by ESRI <http://www.gis.com>

NCGIA Core curriculum 1990: <http://www.geog.ubc.ca/courses/klink/gis.notes/ncgia/toc.html>

Open Geospatial Consortium (OGC): <http://www.opengeospatial.org>

Open Source Geospatial Foundation (OSGeo): <http://www.osgeo.org>

Sourceforge (Find, Create, and Publish Open Source software for free): <http://sourceforge.net>

Royal Geographical Society/Institute of British Geographers: <http://www.rgs.org/>

Royal Geographical Society/Institute of British Geographers: Quantitative Methods Research Group: <http://www.qmrg.org.uk>

Spatial analysis laboratory, (SAL), University of Illinois: <http://geodacenter.asu.edu>

UNIGIS <http://www.unigis.net>

University Consortium for Geographic Information Science (UCGIS): <http://www.ucgis.org>

USGS: <http://www.usgs.gov>

USGS Spatial Data Transfer Standard: <http://mcmcweb.er.usgs.gov/sdts>

US National Research Council of the National Academies: Mapping Science Committee:
<http://dels.nas.edu/global/besr/MSR>

US National Research Council of the National Academies: Geographic Science Committee:
<http://dels.nas.edu/global/besr/GSC>

ESRI GIS Dictionary: <http://support.esri.com/en/knowledgebase/Gisdictionary/browse>

Statistical analysis website, companion to the Geospatial Analysis Website: <http://www.statsref.com>

Online statistical methods and definitions e-Handbook, the “NIST/SEMATECH e-Handbook of Statistical Methods”:
<http://www.itl.nist.gov/div898/handbook>