

**MINISTERIO DE CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE
AGENCIA DE MEDIO AMBIENTE
INSTITUTO DE GEOGRAFÍA TROPICAL**

**CONTRIBUCIÓN AL ANÁLISIS ESPACIAL Y LA REPRESENTACIÓN
CARTOGRÁFICA EN LAS APLICACIONES DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA. USO DE PROGRAMAS COMPLEMENTARIOS PRC Y
ESTRUCTURACIÓN DEL PERSONAL**

**Tesis presentada en opción al grado científico de
Doctor en Ciencias Geográficas**

Autor: Lic. Orlando Novua Álvarez

**La Habana
2005**

AGRADECIMIENTOS

Han sido muchos los que de alguna manera han colaborado en la realización de este trabajo. Unos contribuyeron a mi formación como geógrafo investigador en la especialidad de los Sistemas de Información Geográfica; otros, en su quehacer diario, abonaron la arista subjetiva del problema de la investigación y reforzaron la necesidad en mí de abordarlo con pasión; finalmente están los que tendieron la mano decisiva para que el trabajo se concretara. Algunos nombres de los más importantes son: Frank Ramos, Marlén Palet, Carmen Mosquera, Odil Durán, Jorge Luis Díaz, Humberto González, Juan Mario Martínez, Luis Rafael Díaz, Margarita Fernández, Orestes Sardinias y Ada Suárez. Agradezco su contribución a los colegas de especialidad de varios centros de investigación con los que comparto ideas en muchos eventos científicos y cursos de superación, a mis profesores de la Facultad de Geografía de la Universidad de La Habana y a mis compañeros del Departamento de Modelación Cartográfica y SIG del IGT.

Especial agradecimiento merece mi familia más cercana: mi padre, mi esposa y mis dos hijos que han colaborado con su aliento y comprensión.

A todos, muchas gracias.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo al Instituto de Geografía Tropical (IGT), centro pionero en Cuba en las investigaciones sobre los Sistemas de Información Geográfica.

A la memoria siempre presente de mi madre.

SÍNTESIS

En la tesis se abordan las bases teórico-conceptuales y los procedimientos necesarios para la ejecución de las aplicaciones de los SIG con la utilización de programas complementarios PRC a los sistemas de geoprocésamiento existentes y con el empleo del personal que ejecuta las aplicaciones organizado en especialidades clave, como soluciones alternativas que contribuyen al uso de análisis y representaciones cartográficas de la información geográfica adecuados y convenientes para la solución de problemas geográficos concretos en el marco de dichas aplicaciones. Para ello, son analizadas las bases conceptuales, posiciones teóricas, antecedentes y tendencias existentes relacionados con los SIG y sus aplicaciones y se adoptan las bases conceptuales y posiciones teóricas necesarias para abordar el tema; se identifican de forma detallada y se sistematizan los problemas existentes en el marco de las aplicaciones de los SIG, relacionados con los programas computacionales y el personal, así como las soluciones que son empleadas, llegándose al planteamiento y análisis de las soluciones alternativas propuestas. Finalmente se materializa en la práctica la creación de dos programas complementarios PRC: SIMILITUD, para la clasificación de individuos espaciales basada en su similitud a un modelo, utilizando la distancia de similitud de Gower y TIPOGRAMAS, para la representación cartográfica de la información geográfica con el uso de tipogramas; ambos concebidos como partes de una plataforma única de programas complementarios diversos para el análisis y la representación cartográfica de la información geográfica (PRC_Estudio). Se ejecutan además seis aplicaciones SIG, relacionadas con el análisis y la representación cartográfica de la información geográfica, donde intervienen los dos programas complementarios anteriores, cuyos resultados con analizados.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I. Fundamentos teórico–metodológicos de la investigación	11
I.1. Bases conceptuales y posiciones teóricas acerca de los Sistemas de Información Geográfica y sus aplicaciones.....	11
I.2. Antecedentes a tomar en cuenta para la investigación. Tendencias de los SIG y sus aplicaciones.....	26
I.3. Bases metodológicas de la investigación.....	35
CAPÍTULO II. Soluciones alternativas para el empleo de los programas computacionales y el personal en las aplicaciones de los SIG. Programas complementarios PRC y organización del personal en especialidades clave	38
II.1. Problemas existentes en las aplicaciones de los SIG, relacionados con los programas computacionales y el personal.....	38
II.2. Soluciones para el empleo de los programas computacionales y el personal.....	41
II.3. Desarrollo de programas complementarios. Programas complementarios PRC para el análisis y la representación cartográfica de la información geográfica.....	54
CAPÍTULO III. Práctica de las soluciones alternativas propuestas. Estudio de casos relacionados con el análisis y la representación cartográfica de la información geográfica	65
III.1. Programa complementario SIMILITUD. Análisis de similitudes de entidades espaciales a modelos.....	66
III.2. Programa complementario TIPOGRAMAS. Representación cartográfica con el uso de diagramas especiales.....	75
III.3. Sistema PRC_Estudio. Estudio de programas complementarios.....	84

III.4. Aplicaciones SIG relacionadas con el análisis y la representación cartográfica de la información geográfica.....	86
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	96
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	98
BIBLIOGRAFÍA GENERAL	
BIBLIOGRAFÍA DEL AUTOR	
ANEXOS	

INTRODUCCIÓN

Problema de la investigación. Necesidad y actualidad

La contribución de la información geográfica a la solución de problemas prácticos en diversas esferas del conocimiento es un hecho conocido y aceptado mundialmente. Díaz (1992), plantea de manera más concluyente que “no existe una rama del saber en que la información geográfica no desempeñe un papel indispensable”. Tal aseveración hoy en día está dada, no sólo por la importancia intrínseca que encierra para múltiples propósitos este tipo de información de los objetos y fenómenos de la envoltura geográfica que incluye su carácter temático, su localización sobre la superficie terrestre, su representación cartográfica y su tiempo de ocurrencia; sino también por la forma cada vez más eficiente en que ella se maneja para su mejor uso en la práctica, acorde con las exigencias actuales. En este sentido, el tratamiento analítico a que es sometida esta información, así como su óptima representación, inmersos en un proceso dialéctico de desarrollo, contando con la intervención de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), como núcleos integradores de múltiples sistemas de geoprocesamiento, juegan un papel decisivo.

Los geógrafos se valen de las bondades de los SIG, específicamente de los análisis y las representaciones cartográficas de la información geográfica que permiten, para llevar a cabo sus investigaciones, en variadas dimensiones espaciales y temáticas, sobre la envoltura geográfica, que constituye el objeto de estudio de la Geografía y que, según Mateo (1984), “es el geosistema de rango superior que existe en el globo terráqueo o la formación geográfica más grande y complicada del planeta Tierra”. Estas investigaciones abarcan la localización y distribución espacial de los objetos y fenómenos naturales y socioeconómicos, así como el análisis de las interrelaciones dentro y entre ellos. En dependencia del objetivo, el alcance o la etapa de desarrollo de determinada investigación en el ámbito de la Geografía, es posible que se requiera del análisis y la representación de objetos y fenómenos de forma aislada o, por el contrario, se necesite del análisis integral de varios de ellos y su compleja representación cartográfica. Las bases de datos geográficos digitales con que operan los SIG permiten fundir los conceptos de inventario, análisis y síntesis en un ambiente único.

El empleo de los SIG para el tratamiento en general de la información geográfica, en el ámbito teórico-metodológico, ha tenido una significación trascendente, provocando una percepción novedosa del mundo real investigado en el marco de la Geografía, al pasar este último a ser analizado en un ambiente digital mediante un modelo digital de la realidad. Se crea así una nueva forma de aproximarse al objeto de estudio de la Geografía. Este modelo digital del mundo provoca un impacto en la teoría y la metodología de la Geografía con la incorporación de nuevos conceptos y métodos de análisis geográfico.

En el ámbito práctico, puede señalarse que los variados métodos asociados al uso de los SIG permiten una mayor eficiencia de los procedimientos geográficos empleados en la búsqueda de soluciones dentro de cualquier temática de investigación. Contando además con el actual desarrollo de los medios digitales de comunicación, los SIG expanden su uso, no sólo por las ciencias geográficas, sino por el resto de las ciencias y prácticas disciplinarias (Buzai, 2001).

Las investigaciones referentes a las aplicaciones de los SIG y la información geográfica se intensifican. Las acciones encaminadas a su utilización óptima sobre bases científicas constituyen uno de los temas actuales más discutidos a nivel internacional y a los cuales se les dedica significativos recursos materiales y financieros. No es casual hoy en día, la proliferación en el mundo de empeños globales en la concepción y tratamiento de los datos espaciales como son: el desarrollo de la Infraestructura Global de Datos Espaciales (IGDE) o la Base de Datos Geográfica de la ONU, así como de empeños regionales como el Comité Permanente para la Infraestructura de Datos Espaciales de las Américas (CP IDEA), por sólo citar algunos ejemplos. En ámbitos nacionales se puede apreciar ya la conformación, con distintos grados de desarrollo, de Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE).

En el ámbito cubano, se ha mantenido el interés constante, desde los años 80 del siglo XX hasta la actualidad, por el desarrollo paulatino de la inserción de las aplicaciones de los SIG en la solución de problemas en múltiples esferas del conocimiento donde el análisis y la representación cartográfica de la información geográfica son esenciales. En la actualidad, entre las acciones más abarcadoras que se llevan a cabo, en cuanto a participación de entidades de diferentes niveles de

organización del país, para la utilización práctica de la información geográfica, se encuentra la conformación de la Infraestructura de Datos Espaciales de la República de Cuba (IDERC).

En sentido amplio es importante destacar la vinculación de las investigaciones referentes a las aplicaciones de los SIG con el desarrollo de múltiples proyectos científico-técnicos relacionados con el tratamiento de la información geográfica, asociados a diferentes programas nacionales y ramales, que se corresponden con la solución de problemas actuales y perspectivas del desarrollo económico y social del país.

Concretamente el Instituto de Geografía Tropical (IGT), integrado a la Agencia de Medio Ambiente y perteneciente al Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) de Cuba, tiene contemplado dentro de su objeto social la ejecución de proyectos de investigaciones básicas, aplicadas y de innovación tecnológica y brindar servicios de asesoría, consultoría y asistencia técnica en el campo de la geografía, el medio ambiente y la geomática. La estructura organizativa del IGT, desde el punto de vista científico, incluye al departamento de Modelación Cartográfica y SIG, que aglutina especialistas encargados de la investigación y ejecución práctica de las aplicaciones de los SIG asociadas al desarrollo de diferentes proyectos de investigación que se ejecutan. La estrategia de desarrollo e innovación tecnológica del IGT incluye el empleo cada vez más activo de las tecnologías de la información geográfica en los proyectos y servicios científico-técnicos y la ejecución de investigaciones y productos tecnológicos que permitan el uso de análisis y representaciones cartográficas que resulten adecuadas y convenientes para la solución de problemas geográficos concretos en el marco de las aplicaciones de los SIG, teniendo en cuenta las particularidades del trabajo investigativo en el IGT.

En las aplicaciones de los SIG se emplean sistemas computacionales elaborados a escala mundial por entidades académicas y empresariales de alta especialización en este tipo de producto, que han tenido una amplia aceptación por sus usuarios, por tanto su uso se generaliza de manera constante. Estos sistemas, con el tiempo, se incrementan en número y diversidad; se hacen más complejos; abordan soluciones a mayor número de problemas, se perfeccionan; permiten más integración entre ellos, valiéndose de un alto nivel de intercambio entre los formatos de datos

espaciales que manejan; permiten su manejo cada vez más fácil por parte de los usuarios y se producen bajo la concepción de la estandarización de los procesos que realizan. Al emplear estos sistemas computacionales, sus usuarios aprovechan todas las bondades que, de manera general ellos brindan, sin embargo, es también una realidad el hecho de que diferentes tipos de análisis y representaciones cartográficas, que necesitan utilizar los usuarios para resolver problemas particulares de carácter geográfico, así como la forma específica o personalizada de ejecutarlos, pueden verse limitados por las posibilidades que ofrecen los sistemas. Aún empleando diferentes variantes existentes para dar respuestas a este problema, los usuarios que trabajan con distintos sistemas, según el requerimiento de las aplicaciones, continúan enfrentándose a estas limitaciones.

Otro aspecto significativo a tener en cuenta es que los SIG se encuentran en un campo de acción de varias especialidades o disciplinas científicas y técnicas. Una aplicación SIG tiene como objetivo la solución de problemas concretos de carácter geográfico dentro de temas determinados (caracterizaciones socioeconómicas regionales; estudios geográficos de riesgos naturales, de incidencias de enfermedades...), en el marco de lo cual el análisis y la representación cartográfica de la información geográfica juegan un papel fundamental, por tanto, en una aplicación es necesaria la concurrencia de especialistas en los temas tratados; pero por otra parte, la solución a los problemas temáticos es abordada en un ambiente computacional que requiere de especialidades relacionadas con la modelación cartográfica del tema en el SIG, la conformación de bases de datos digitales, el mantenimiento digital de la información, el empleo de equipos e infraestructuras y, en ocasiones, el desarrollo de programaciones. Un desequilibrio en la actuación de los especialistas imbricados en una aplicación SIG provoca resultados insatisfactorios en las respuestas obtenidas durante la misma. El estudio de las aplicaciones de los SIG por especialistas en las ciencias geográficas, teniendo en cuenta las concurrencias de las diferentes especialidades mencionadas, con el propósito de obtener mejores respuestas a los problemas geográficos abordados, es también una necesidad.

La práctica de la ejecución de las aplicaciones de los SIG en la solución de diversos problemas de carácter geográfico ha permitido captar, mediante la observación científica, que el uso de análisis y representaciones cartográficas de la información geográfica adecuados y convenientes para la

solución de problemas concretos en el marco de dichas aplicaciones se afecta con las limitaciones en las posibilidades que ofrecen para ello los sistemas computacionales existentes, así como con la falta de una atención apropiada al empleo de los especialistas que las ejecutan.

Hipótesis de la investigación

Es posible contribuir al uso de análisis y representaciones cartográficas de la información geográfica, que resulten adecuados y convenientes para la solución de problemas geográficos concretos en el marco de las aplicaciones de los SIG, mediante la utilización de programas complementarios PRC a los sistemas de geoprocésamiento existentes y el empleo del personal que ejecuta las aplicaciones organizado en especialidades clave.

Objetivos y tareas de la investigación

El objetivo general de la presente investigación es:

Contribuir al uso de análisis y representaciones cartográficas de la información geográfica que resulten adecuados y convenientes para la solución de problemas geográficos concretos en el marco de las aplicaciones de los SIG.

Como objetivos específicos se plantean los siguientes:

- Definir las bases teórico-conceptuales y los procedimientos necesarios para la ejecución de las aplicaciones de los SIG con la utilización de programas complementarios PRC a los sistemas de geoprocésamiento existentes y con el empleo del personal que ejecuta las aplicaciones organizado en especialidades clave.
- Demostrar la funcionalidad práctica de las aplicaciones de los SIG, bajo los enfoques propuestos, mediante la solución de problemas concretos relacionados con el análisis y la representación cartográfica de la información geográfica.

En correspondencia con los objetivos propuestos se plantea resolver las tareas siguientes:

- Análisis de las bases conceptuales, las posiciones teóricas y los antecedentes existentes, relacionados con el tema de la investigación, así como adopción de bases conceptuales y posiciones teóricas necesarias para abordar la investigación.
- Identificación de las principales tendencias relacionadas con los SIG y sus aplicaciones.
- Identificación en forma detallada y sistematización de los problemas existentes en la práctica de las aplicaciones de los SIG, relacionados con los programas computacionales empleados y el personal participante en las mismas.
- Sistematización de las soluciones utilizadas para el empleo de los programas computacionales existentes y el personal participante en las aplicaciones de los SIG.
- Establecimiento de las definiciones y los procedimientos necesarios para el empleo de los programas complementarios PRC y el personal organizado en especialidades clave en la ejecución de las aplicaciones de los SIG, como soluciones alternativas a los problemas identificados.
- Demostración del valor práctico del empleo de los programas complementarios PRC y el personal organizado en especialidades clave en la ejecución de las aplicaciones de los SIG, como soluciones alternativas para el uso de análisis y representaciones cartográficas de la información geográfica que resulten adecuados y convenientes para la solución de problemas concretos en el marco de dichas aplicaciones, mediante:
- La creación de dos programas complementarios: SIMILITUD, para el análisis de similitudes de entidades espaciales a un modelo, según variables que las caracterizan y TIPOGRAMAS, para la representación cartográfica de la información geográfica en mapas temáticos mediante el uso de los tipogramas; concebidos como partes de una plataforma

única de programas complementarios diversos para el análisis y la representación cartográfica de la información geográfica (PRC_Estudio).

- La solución de los problemas que implica la ejecución de estos métodos de análisis y representación cartográfica de la información geográfica, mediante el uso de los programas complementarios.
- La ejecución de varias aplicaciones SIG, relacionadas con el análisis y la representación cartográfica de la información geográfica, donde intervienen los dos programas complementarios anteriores.
- Análisis de los resultados obtenidos en la investigación.
- Redacción de las conclusiones y recomendaciones.
- Redacción del informe escrito de la investigación.

Novedad científica, importancia práctica e impacto de los resultados

El aporte científico principal de la investigación consiste en la definición de las bases teórico-conceptuales y los procedimientos necesarios para la ejecución de las aplicaciones de los SIG con la utilización de programas complementarios PRC a los sistemas de geoprocésamiento existentes y con el empleo del personal que ejecuta las aplicaciones organizado en especialidades clave, como soluciones alternativas que contribuyen al uso de análisis y representaciones cartográficas de la información geográfica adecuados y convenientes para la solución de problemas geográficos concretos en el marco de dichas aplicaciones.

Además, la investigación aborda el diseño y creación de la plataforma de programación PRC_Estudio, (Estudio de programas complementarios), que actualmente ofrece soluciones para el análisis de similitudes de entidades espaciales a un modelo (SIMILITUD) y la representación cartográfica de la información geográfica en mapas temáticos mediante el uso de los tipogramas

(TIPOGRAMAS), dando solución a los problemas que implica la ejecución de estos dos tipos de análisis y representación geográfica en el ambiente de un programa complementario PRC. La plataforma PRC_Estudio tiene las ventajas de: ser abierta a la incorporación de nuevos tipos y métodos de análisis y representación de la información geográfica; crearse de forma sencilla; no repetir procedimientos que ya funcionan eficientemente en sistemas de geoprocésamiento existentes; así como emplearse en aplicaciones SIG de forma complementaria a cualquier sistema de geoprocésamiento que sea utilizado, constituyendo una alternativa más flexible que las soluciones de programación de tipo *Scripts*, que se condicionan al uso de un solo sistema determinado.

Es importante señalar también que durante el desarrollo de la tesis se presenta una sistematización de bases conceptuales y posiciones teóricas que son útiles para abordar, con diferentes objetivos, el tema de los SIG y sus aplicaciones.

Teniendo en cuenta todo lo anterior puede plantearse que los resultados de la tesis poseen valor teórico-metodológico y práctico.

La presente investigación se ha nutrido de la experiencia acumulada por el autor durante el desarrollo de varios proyectos y servicios científico-técnicos, cuyos resultados teórico-metodológicos y prácticos se han introducido en el ámbito social, económico y científico. Entre ellos pueden mencionarse:

- Sistema de Información Geográfica de Cuba (SIGC).
- Atlas de Camagüey.
- Atlas Agropecuario y Forestal de Pinar del Río.
- Atlas de Medio Ambiente del Caribe.
- SIG para el análisis ambiental. Modelo conceptual y base de datos a escala nacional.
- Sistema de Información Territorial Integral de la Isla de la Juventud.
- SIG como soporte al estudio de la línea base ambiental de Pinares de Mayarí y para la gestión ambiental, en el marco de un proyecto con fines de explotación minero-metalúrgica.
- SIG para la gestión ambiental del municipio Plaza de la Revolución.

- SIG como soporte a acciones para el desarrollo local del Consejo Popular Vedado – Malecón.
- Aplicaciones SIG en el marco del proyecto “Medio Ambiente y desarrollo sostenible en el Caribe. Una visión de las realidades y expectativas regionales”.
- SIG para el ordenamiento territorial de localidades rurales en Cuba y México. Proyecto Conacyt Cuba-México.

En los últimos siete proyectos se han ido introduciendo paulatinamente los resultados presentados ahora de forma sistematizada en la investigación. La ejecución final de la tesis ha formado parte de los resultados del proyecto “Aplicación de herramientas de geoprocésamiento para la caracterización y el diagnóstico microrregional del medio rural en Cuba”, que ha vinculado los resultados obtenidos en la misma con los resultados temáticos parciales del proyecto y a su vez con la estrategia de desarrollo e innovación tecnológica del IGT.

La trascendencia de la plataforma de programación PRC_Estudio comprende la inclusión de tipos y métodos de análisis y representación de la información geográfica demandados por nuevos proyectos, entre los que figuran de manera especial las actualizaciones de atlas regionales y especiales y del atlas nacional de Cuba.

El marco contextual en que se han desarrollado los ejemplos para la validación de las soluciones alternativas propuestas está relacionado con las particularidades del trabajo investigativo en el IGT, pero estas soluciones pueden emplearse en un marco más abierto, por ejecutores de aplicaciones SIG donde sus condiciones de trabajo las requieran.

Eventos científicos nacionales e internacionales

Los principales resultados obtenidos en la investigación han sido expuestos en varios eventos científicos nacionales e internacionales entre los cuales se encuentran:

- XIII Forum Nacional de Ciencia y Técnica, 2001, La Habana.

- Seminario Internacional “El mundo rural: transformaciones y perspectivas a la luz de la nueva ruralidad”, 2003, Bogotá, Colombia.
- VI Taller Internacional “Informática y Geociencias GEOINFO 2003, La Habana.
- Primer Congreso Internacional de Estudios Territoriales, 2003. Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM), Morelos, México.
- Convención Internacional Trópico 2004. La Habana.

Publicación de los resultados

En la bibliografía del autor, presentada en la tesis, se hace referencia a un conjunto de informes científico-técnicos inéditos y publicaciones en memorias de eventos científicos, en libros (papel y formato electrónico (CD)) y en revistas científicas seriadas; que se vinculan con el tema tratado en la investigación.

Los principales resultados obtenidos en la investigación han sido publicados en los últimos años en memorias de eventos científicos (32, 46, 47, 48, 52, 53); libros en formato electrónico-CD (40, 45) y revistas científicas seriadas (49, 54). *(Nota: La numeración entre paréntesis corresponde con el número de orden en la bibliografía del autor).*

Estructura y volumen del trabajo.

La tesis se presenta con la siguiente estructura: introducción, 3 capítulos, conclusiones y recomendaciones, referencias bibliográficas, bibliografía general, bibliografía del autor y anexos. Cuenta con 100 páginas mecanografiadas, 8 tablas y 35 figuras o ilustraciones, que incluyen esquemas, gráficos y mapas.

La estructura del trabajo tiene una relación directa con las etapas en que se ha desarrollado la investigación. De esta forma, en el primer capítulo “**Fundamentos teórico-metodológicos de la investigación**”, se analizan las bases conceptuales, posiciones teóricas, antecedentes y tendencias existentes relacionados con los SIG y sus aplicaciones, que permiten sustentar la hipótesis planteada y se adoptan las bases conceptuales y posiciones teóricas necesarias para abordar el tema. Finalmente se plantea el procedimiento metodológico general seguido en la investigación.

En el segundo capítulo “**Soluciones alternativas para el empleo de los programas computacionales y el personal en las aplicaciones de los SIG. Programas complementarios PRC y organización del personal en especialidades clave**” se identifican de forma detallada y se sistematizan los problemas existentes en el marco de las aplicaciones de los SIG, relacionados con los programas computacionales y el personal, así como las soluciones que son empleadas. Se establecen las definiciones y los procedimientos necesarios para el empleo de los programas complementarios PRC y el personal organizado en especialidades clave en la ejecución de las aplicaciones de los SIG, como soluciones alternativas a los problemas identificados.

En el tercer capítulo “**Práctica de las soluciones alternativas propuestas. Estudio de casos relacionados con el análisis y la representación cartográfica de la información geográfica**” se expone la materialización en la práctica de la creación de dos programas complementarios PRC: SIMILITUD, para la clasificación de individuos espaciales basada en su similitud a un modelo, utilizando la distancia de similitud de Gower y TIPOGRAMAS, para la representación cartográfica de la información geográfica con el uso de tipogramas; ambos concebidos como partes de una plataforma única de programas complementarios diversos para el análisis y la representación cartográfica de la información geográfica (PRC_Estudio). Finalmente se ejecutan seis aplicaciones SIG, relacionadas con el análisis y la representación cartográfica de la información geográfica, donde intervienen los dos programas complementarios anteriores, cuyos resultados con analizados.

CAPÍTULO I. FUNDAMENTOS TEÓRICO–METODOLÓGICOS DE LA INVESTIGACIÓN

I.1. Bases conceptuales y posiciones teóricas acerca de los Sistemas de Información Geográfica y sus aplicaciones.

El término Sistema de Información Geográfica (SIG) ha sido definido por muchos autores a través del tiempo y en diferentes momentos algunos de éstos han hecho alusión al carácter inconcluso, heterogéneo o ambiguo de las definiciones. Expresiones como: “el término...a veces se presta a confusión por carecerse de una definición mundialmente aceptada” (Díaz, 1992) o “... la definición de SIG no es un tema concluido debido a su dinámica y al avance tecnológico de los computadores...” (Pérez, 1993) o también el mismo hecho de presentar varias definiciones cuando se hace referencia a los SIG para su mejor explicación (Quintela, 1995), por sólo señalar algunos ejemplos, se han relacionado con este problema. Algunas de las definiciones elaboradas en diferentes fechas, seleccionadas por tocar puntos centrales a analizar, han sido:

“Un SIG no es un campo en sí mismo, más bien la base común entre procesos de la información y los campos que utilizan técnicas de análisis espacial.” (Tomlinson, 1984).

“...es un sistema de soporte en la toma de decisiones, que involucra la integración de datos espacialmente referenciados, para la solución de los problemas del medio ambiente.” (Cowen, 1988).

“...es un sistema de *hardware*, *software* y procedimientos, diseñados para soportar la captura, el manejo, la manipulación, el análisis, el modelado y el despliegue de datos espacialmente referenciados (georreferenciados) para la solución de los complejos problemas del manejo y planeamiento territorial.” (Rhind, 1989).

“...es un sistema computarizado que permite la entrada, almacenamiento, análisis, representación y salida eficiente de datos espaciales (mapas) y atributos (descriptivos) de acuerdo a especificaciones y requerimientos concretos.” (Valenzuela, 1989).

“...es una cadena informativa automatizada que cumple las funciones básicas de almacenar, analizar y cartografiar la información geográfica en diferentes niveles de diálogo y a determinadas escalas.” (Díaz, 1992).

“...es un conjunto organizado de *hardware* computacional, *software*, datos geográficos y personal, diseñado para la captura, almacenamiento, actualización, manipulación, análisis y despliegue eficiente de todas las formas de información geográficamente referenciada. ... Una definición simple es: Un sistema computarizado capaz de mantener y usar datos que describen lugares sobre la superficie de la Tierra.” (ESRI, 1994).

“...es un poderoso conjunto de herramientas para obtener, almacenar, buscar en todo momento, transformando y desplegando, datos espaciales del mundo real para satisfacer un propósito o conjunto de propósitos dados.” (Burrough y Mc Donnell, 1998).

“...es un sistema computarizado que ayuda al mantenimiento de datos acerca del espacio geográfico... ...facilita las fases de entrada, análisis y representación de datos espacialmente, en los casos en que estamos tratando con datos georreferenciados.” (de By, 2001).

“Los SIG son programas de computación que representan un espacio geográfico y nos permiten analizarlo espacialmente, relacionándolo con bases de datos.” (Candia, 2002).

Guevara (1987) planteó que un SIG podía considerarse como una interfase entre el mundo real y el usuario (figura 1).

En el Forum Internacional de Instrumentación e Información en Geografía de Lyon, Francia, en 1987, se discutió la tendencia presentada por el profesor David Rhind (Díaz, 1992), que se muestra en la figura 2.

Algunas definiciones expresan explícitamente de que se trata de un programa (*software*) o sistema de programas, algunas no son tan explícitas acerca del universo que abarcan los SIG y

otras destacan que es un sistema que va más allá de los programas e incluye entre sus componentes, los equipos, los datos, el personal y los procedimientos de trabajo.

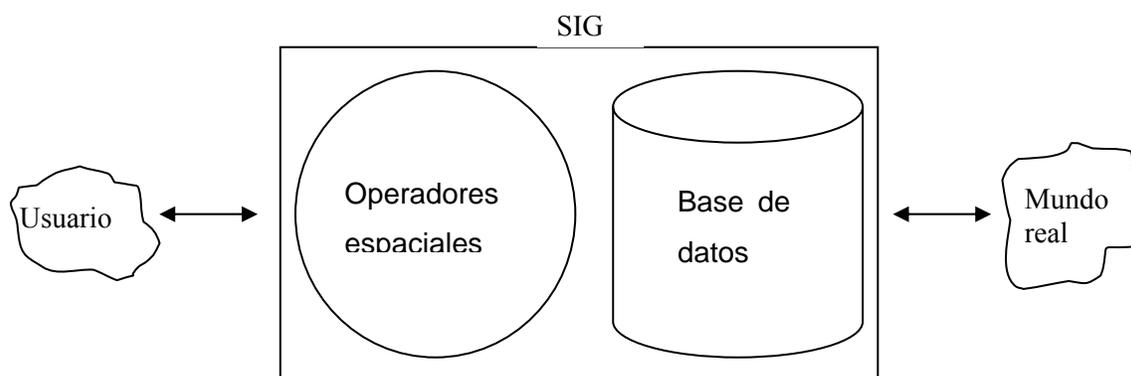


Fig. 1. Esquema hipotético de la posición de un SIG ante la solución de un problema. (Guevara, 1987).

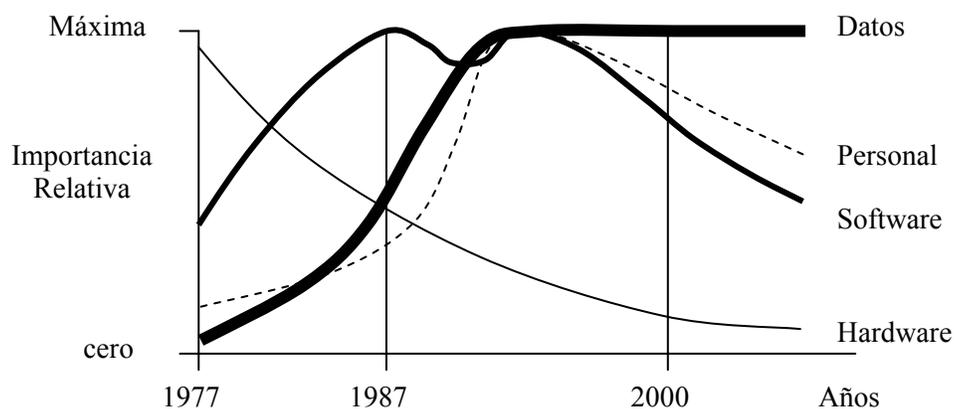


Fig. 2. Tendencias de desarrollo de los principales componentes de los SIG. (Modificada por el autor a partir de Díaz (1992), basada en Rhind (1987)).

En Cuba, en 1987, en el entonces Instituto de Geografía, hoy Instituto de Geografía Tropical (IGT), se hizo referencia al SIG de Cuba (SIGC) como toda una cadena informativa que incluía

varios tipos de sistemas y programas, equipos, procedimientos de trabajo y personal, orientados a la actualización del nuevo Atlas Nacional.

En 1989 se comenzó en Cuba, en el entonces Instituto Cubano de Hidrografía, que hoy integra la empresa GEOCUBA, la elaboración de un “*Software* para las Geociencias” llamado Telemap, uno de cuyos módulos encargado del análisis espacial, se denominó Telemap/GIS.

En el ámbito internacional se ha hecho mención, por ejemplo, al SIG de la FAO (Organización para la Alimentación y la Agricultura), que trabaja con paquetes como Arc Info. En Cuba se puede hacer referencia a algunos ejemplos como: el SIG aplicado a la gestión ambiental en el municipio Plaza de la Revolución (Caballero, et al., 2003), que emplea al sistema MapInfo o el SIG para la gestión ambiental en el archipiélago Sabana–Camagüey, que emplea sistemas como SPANS, CARIS o ArcView.

Los sistemas de programas computacionales como ArcInfo, ILWIS, IDRISI, SPANS, MapInfo, ArcView, ArcGIS y otros, que son sistemas que manejan y analizan con distinto grado de complejidad los datos espaciales, son denominados por algunos como SIG. Otros han preferido llamarle así, sólo a los que presentan un fuerte y sofisticado poder de análisis espacial, como ArcInfo y denominar, por ejemplo, a MapInfo en su versión 5.5, como *software* para *Desktop Mapping* o mapeo interactivo sencillo.

Wilkinson y Fisher (1987) introdujeron el término IGIS (en español, SIGI) para denominar los SIG integrados, o sea aquellos que trabajan con datos provenientes de sensores remotos. A partir de aquí varios autores siguieron usando esta terminología y en Cuba se ven ejemplos en trabajos como el de García (1994), que se refiere a la “aplicación de la tecnología de los SIG integrados (SIGI) en el estudio de los recursos naturales, en interés de la defensa y la economía.”

Se ha aceptado, por otra parte, que la denominación de SIG se ajusta al manejo de datos geográficos en determinadas áreas como pueden ser: cuencas hidrográficas, parques nacionales, áreas protegidas y otras, donde en última instancia hay propósitos bien determinados con los cuales se maneja la información. Para áreas mayores, en territorios más o menos abarcadores,

donde se persiguen propósitos diversos, se emplea la definición de SIT, o sea, Sistemas de Información Territorial.

Asociados a los SIG están también los términos: diseño, programación, implementación y aplicación. Se ha hecho referencia además a proyectos SIG o basados en SIG y a SIG institucionales.

La programación se refiere a la creación de los sistemas de programas que forman parte de los SIG, empleando lenguajes existentes y apropiados para su funcionamiento; sin embargo, se puede diseñar o implementar un *software*, pero también el sistema compuesto por el *software* y el resto de los componentes que se han mencionado anteriormente. El término aplicación puede tener acepciones diferentes, según una de ellas se presupone la intervención de todos los componentes en la solución de un problema con carácter espacial dentro de una temática determinada, pero según otra, está relacionada con adaptaciones en el funcionamiento de un programa computacional o programación de nuevas tareas dentro de este.

El profesor de By (2001), plantea lo siguiente: “Una aplicación SIG es, por ejemplo, llegar a determinar la temperatura del agua de mar asociada con el evento llamado El Niño en dos meses de diciembre subsecuentes. ...Cuando no hay riesgo de ambigüedad, las personas algunas veces no hacen distinción entre SIG y aplicaciones de SIG.”

En la misma obra citada anteriormente de By señala: “una distinción en las aplicaciones de los SIG surge según el propósito de uso de los sistemas. Un uso típico de los SIG es el de un proyecto de investigación con un objetivo definido explícitamente. Tales proyectos tienen usualmente definido a priori la duración. Estas aplicaciones se denominan aplicaciones en proyectos basados en SIG. En contraste con esto, están las denominadas aplicaciones de SIG institucionales. La duración de estas aplicaciones puede ser indefinida o al menos a priori no se define. Su objetivo es usualmente proporcionar una base de datos para otras aplicaciones. No está dirigida a una determinada investigación.”

Es también interesante hacer referencia al hecho de denominar aplicaciones a la personalización de opciones o incluso programación de nuevas tareas, que puede hacerse en los paquetes comerciales que se utilizan en el marco de un SIG, para acomodar su uso a condiciones de trabajo dadas. Éste puede ser el caso de paquetes manejadores de bases de datos de atributos en los que se pueden crear pantallas de consultas a la base, niveles de diálogo y fichas de actualización. También es el caso de paquetes de SIG en los cuales se pueden realizar los llamados *scripts*, que son programaciones en un lenguaje dado, con condiciones de ejecución propias del *software* de SIG en cuestión y que sirven para solucionar problemas como parte de la captación, entrada, análisis o salida de datos, que no estén solucionados dentro de éste o acomodar mejor el trabajo del usuario en comparación a como lo hacen las soluciones ya implementadas.

Hasta aquí se observa, que tanto en el ámbito nacional como internacional, cuando se discute sobre SIG y de las tareas que se ejecutan relacionadas con los mismos, debe entenderse el contexto en que se usan los conceptos analizados para evitar confusiones que provoquen problemas mayores.

El fundamento que tiene esta disociación en la terminología empleada puede estar en el hecho de encontrarse los SIG en un campo de acción de varias especialidades o disciplinas científicas y técnicas. Algunas disciplinas tienen que ver más directamente con la generación de *software* y otras con su empleo en la solución de problemas espaciales propios. Los especialistas en el desarrollo de programas necesitan del enfoque sistémico para la integración de los programas basada en una unidad que responda a las exigencias de su uso. Necesitan de la existencia de un SIG en su acepción de sistema computacional. Los especialistas en las ciencias que tratan el espacio, especialmente las ciencias geográficas, necesitan del enfoque sistémico para la integración de los programas, los equipos de cómputo, las personas, los datos y los procedimientos de trabajo, basada en una unidad que responda a las exigencias de los problemas abordados en las diferentes ciencias. Necesitan de la existencia de un SIG en una acepción que va más allá del *software*. La información geográfica necesita tratarse en el ambiente de un sistema que rebasa el uso de programas computacionales.

En este trabajo se emplean las dos acepciones del término SIG analizadas anteriormente, con el cuidado requerido para tratar de evitar confusiones. Se considera SIG a los sistemas de programas computacionales que permiten la entrada, almacenamiento, análisis, representación y salida eficiente de datos espaciales (acepción estrecha de SIG) y también a todo el sistema mayor que se crea para tratar la información geográfica en un ambiente computacional con el objetivo de solucionar problemas concretos de carácter geográfico en los diferentes campos del saber que lo emplean (acepción amplia de SIG), constituyendo una base común entre los procesos de la información y los propios campos, en los cuales intervienen con datos determinados, con un ambiente de *hardware* dado, con un personal con consecuentes condiciones y organización y bajo procedimientos descritos con niveles de precisión que pueden ser operativos y estratégicos. Quedarían entonces como componentes de ese sistema, en su acepción amplia: el *software*, el *hardware*, los datos, los procedimientos y el personal.

Se entiende por aplicación de un SIG a la intervención de un SIG, en su acepción amplia en la solución de problemas concretos, con carácter espacial, dentro de una temática determinada. Las aplicaciones de los SIG pueden concebirse en el marco de proyectos o de instituciones (figura 3).

Cuando sea necesario se hará la distinción entre SIG en su acepción amplia, por un lado y SIG en su acepción estrecha, paquetes de SIG, programas de SIG o *software* de SIG; por otro. Como convención, para hacer referencia a la elaboración de los SIG en su acepción amplia se hablará de implementación y para el caso de un *software* de SIG o de otro tipo se empleará el término desarrollo o programación. Otra convención será denominar programación de tipo *script* a la personalización de opciones o incluso programación de nuevas tareas que puede hacerse dentro de los paquetes comerciales usados en el marco de un SIG, mediante lenguajes de programación internos propios y denominar programación complementaria al desarrollo de programas independientes a los paquetes comerciales existentes, que ejecutándose desde fuera de estos últimos pueden cumplir los mismos objetivos. A los programas asociados a este último tipo de programación se les denominará programas complementarios.

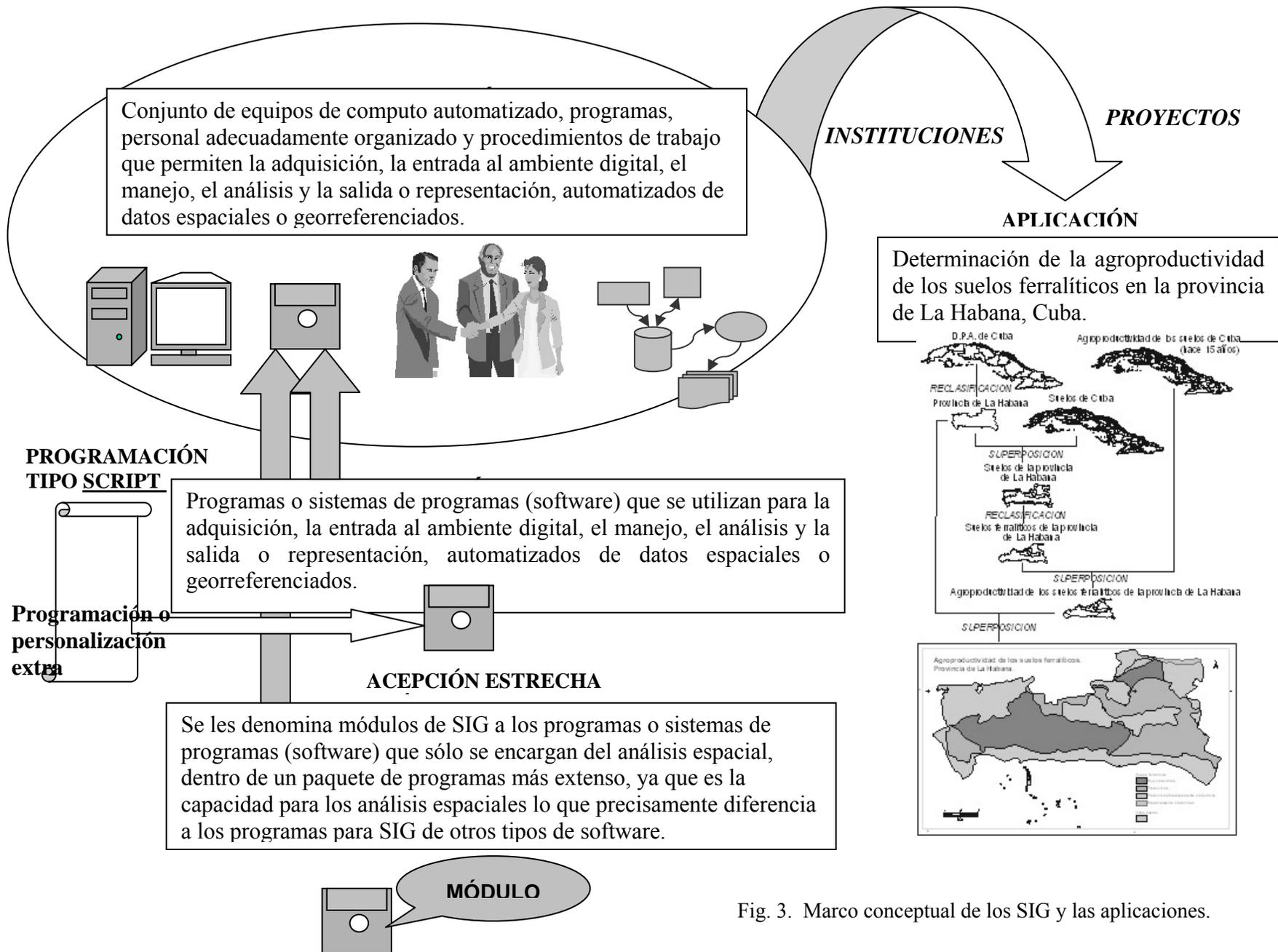


Fig. 3. Marco conceptual de los SIG y las aplicaciones.

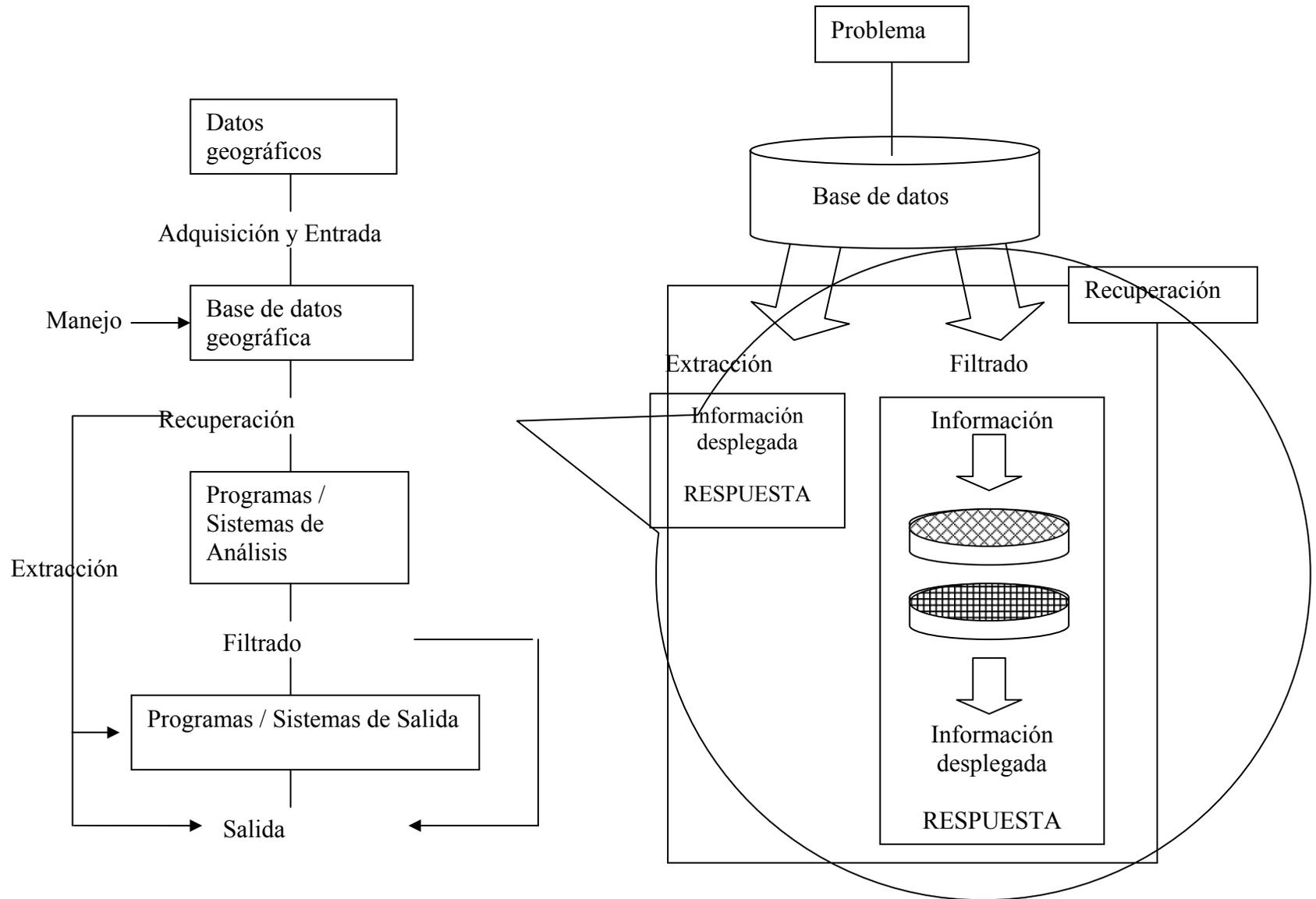


Fig. 4. Funciones básicas de los SIG.
(Modificada a partir de Novua (1992)).

Las funciones básicas que realizan los SIG se describen en la figura 4. Los datos geográficos, después que son adquiridos, pueden ser introducidos en una base de datos, ser manejados y de allí se pueden recuperar de alguna forma. En algunos casos basta con localizar el dato en la base de datos para dar respuesta a un problema planteado. En otros casos es provechoso representar el fenómeno cuestionado en el problema con el uso de técnicas presentes en sistemas y programas de salida o realizar antes el filtrado de la información mediante la aplicación de programas y sistemas de análisis para llegar a la esencia del fenómeno cuestionado. Por otra parte es bueno señalar que la salida propia de los sistemas de análisis puede satisfacer al usuario, pero también a veces es mejor representar la misma con ayuda de sistemas propios de salida. En síntesis, se puede plantear que los SIG permiten la entrada, el manejo, la recuperación o análisis (extracción y filtrado) y la salida de los datos geográficos. Precisamente teniendo en cuenta las funciones que permiten los SIG, en el momento de desarrollar el *software* u organizar el trabajo para una aplicación, generalmente se subdividen las tareas acometidas e incluso el personal, en subsistemas de trabajo. Así, se hace referencia al subsistema de adquisición de datos (cuyas funciones no se realizan con un *software* de SIG propiamente, pero se necesitan como paso previo a la entrada de datos), el subsistema de entrada de datos, el subsistema de manejo, el subsistema de recuperación o análisis y el subsistema de salida de datos. Las tablas 1 y 2 muestran clasificaciones de las funciones de manejo y análisis de datos, respectivamente. Las figuras 5 y 6 muestran opciones y clasificaciones de las funciones de entrada y salida de datos, respectivamente.

Es importante destacar el papel esencial que juega el análisis y la representación cartográfica de la información geográfica en la solución de problemas concretos de carácter geográfico dentro de las disciplinas o campos donde ello se requiere. El análisis permite interrelacionar y sintetizar los datos o estratos primarios de la información geográfica recogida en diferentes inventarios y generar información que brinda respuestas específicas a problemas concretos. La representación cartográfica es el medio ideal de expresión de la información geográfica, de la comunicación de los resultados obtenidos con su análisis y puede llegar a constituir una base para nuevos análisis. Como es lógico, en los SIG el análisis y la representación cartográfica están relacionados con el resto de las funciones mencionadas.

Sobre la denominación de los SIG como tecnología, se puede analizar una definición de tecnología adoptada por el Instituto de Geografía Tropical (IGT) de Cuba, en el marco de su estrategia de desarrollo e innovación tecnológica. La misma plantea que tecnología es “el sistema de conocimientos y de información derivado de la investigación, de la experimentación o de la experiencia y que, unido a métodos de producción, comercialización y gestión que le son propios, permite crear una forma reproducible o generar nuevos o mejorados productos, procesos y servicios (IGT, 2003 a)”.

Observando la definición anterior se puede plantear entonces que los SIG constituyen una tecnología, no sólo por el hecho de ser una herramienta, visión de marco reducido, que a menudo se aprecia del término tecnología, sino por el hecho de constituir una manera determinada de llevar a cabo las investigaciones con bases científicas. Se puede plantear que son una herramienta, en este caso, para realizar análisis espaciales. Una herramienta cuya implementación y aplicación tienen un carácter científico.

Con respecto a la clasificación de los sistemas computacionales que se emplean, el punto crítico es si éstos realizan, con algún tipo de eficiencia, los análisis espaciales. Si es así, pueden catalogarse como SIG, sean sistemas completos o módulos dentro de otros sistemas más abarcadores. Las diferencias restantes tienen que ver con el grado de eficiencia del análisis espacial y ese análisis lo sugiere el empleo que tenga el SIG, el objetivo con que se aplique, los datos a manejar, los análisis y las salidas esperadas.

Acerca del término de SIG integrados (SIGI) para denominar a aquellos que trabajan con datos provenientes de sensores remotos, se debe plantear que los SIG son, de hecho, una tecnología de integración de datos. Los sensores remotos son una vía más de obtención de datos espaciales, por lo tanto, los datos que ellos brindan, lógicamente son considerados dentro de los datos que maneja un SIG.

Tabla 1. Funciones de manejo de datos.

GRUPO	TIPO	SUBTIPO
Visualización de datos espaciales	Determinación del tipo de entidad espacial	Punto
		Línea
		Polígono
	Manejo de variables para las entidades geográficas	Localización
		Color
		Intensidad
		Tamaño
		Forma
		Esparcimiento
		Orientación
Mantenimiento de datos espaciales	Transformaciones de formato	Importación y Exportación de datos en variados formatos
		Analógica – Digital (Digitalización)
		Vector – Raster (Rasterización)
		Raster – Vector (Vectorización)
	Transformaciones geométricas	Transformaciones de coordenadas (Georreferenciación absoluta y relativa, Rotación, Traslación, Reverso, Escalamiento)
		Transformaciones de proyecciones
		Ajuste de bordes
		Eliminación de polígonos no deseados, originados por la superposición de capas

GRUPO	TIPO	SUBTIPO
Edición de elementos gráficos	Transformación de un elemento o grupos de elementos	Agregar
		Borrar
		Copiar
		Mover
		Cambiar (agregar, borrar o mover nodos)
	Generación de nuevos elementos a partir de dos o más existentes	Unir (disolver límites)
		Separar
		Combinar
		Descombinar

Generalización de líneas (reducción del número de nodos)	Simplificación o reducción de información redundante
	Suavización o eliminación de bordes agudos o sinuosos
Edición de atributos (transformación de un elemento o grupos de elementos)	Agregar
	Borrar
	Copiar
	Mover
	Cambiar
Interrogación a la base de datos de atributos (<u>queries</u>)	Selección de datos mediante especificaciones simbólicas
	Selección de datos mediante condiciones simbólicas

Fuente: Modificada por el autor a partir de Maya (1993).

Tabla 2. Funciones de análisis de datos.

GRUPO	TIPO	SUBTIPO
Consulta / Recuperación	Según la geometría	Extracción de datos mediante especificaciones geométricas
		Extracción de datos mediante condiciones geométricas
	Según los atributos	Extracción de datos mediante especificaciones simbólicas
		Extracción de datos mediante condiciones simbólicas o lógicas
Reclasificación / Generalización	Según valor inicial	
	Según posición	
	Según tamaño	
	Según forma de la configuración espacial	
Mediciones	Absolutas	Longitud de líneas
		Perímetros y áreas de polígonos
		Número de puntos, líneas o polígonos
	Relativas	Cálculo de distancias entre puntos
		Cálculo de volúmenes
		Número de puntos dentro de un polígono
		Número de puntos en una línea
		Número de líneas dentro de un polígono
		Número de polígonos dentro de un polígono

Tabla 2. Funciones de análisis de datos (continuación).

GRUPO	TIPO	SUBTIPO
Superposición	Aritmética	Suma
		Resta
		Multiplicación
		División
	Lógica (determinación de áreas donde ocurren un conjunto especificado de condiciones)	
Vecindad	Búsqueda	Asignación de valores de vecindad
		Búsqueda empleando <u>Buffers</u>
	Polígonos de Thiessen	
	Interpolación	
	Generación de contornos	
	Funciones topográficas	Pendiente
		Aspecto
Conectividad	Contigüidad	
	Proximidad (<u>Buffers</u>)	
	Redes	Determinación de rutas óptimas
		Determinación de puntos con acceso óptimo
		Evaluación de accesibilidad
		Predicciones de carga en los puntos de la red
	Propagación	
	Seguimiento	
	Intervisibilidad	
	Iluminación	
	Vistas en perspectiva	

Fuente: Modificada por el autor a partir de Maya (1993).

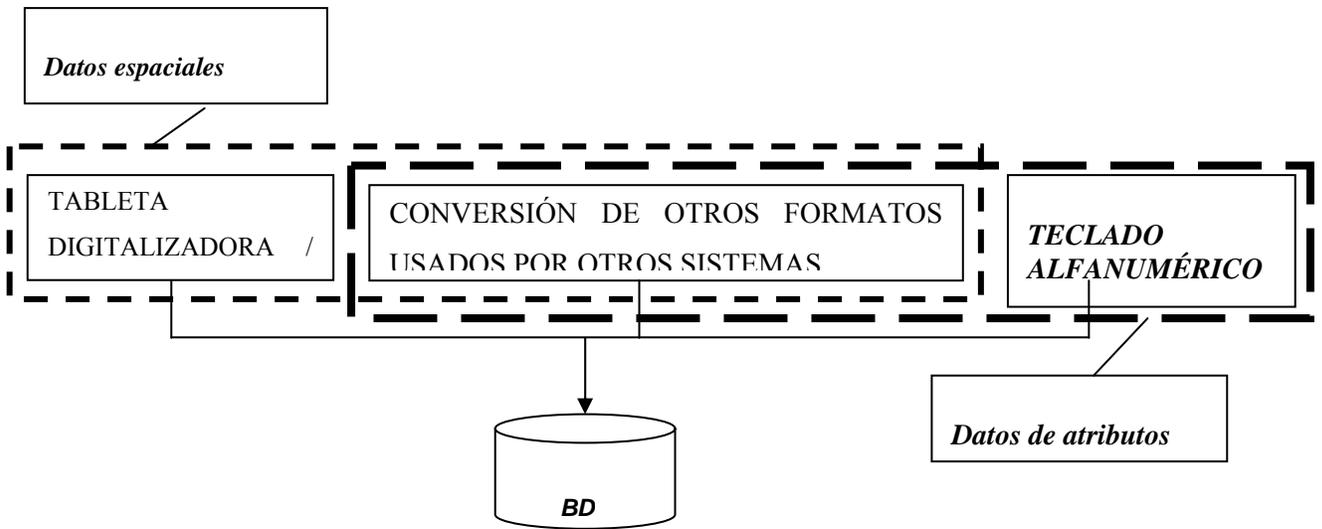


Fig. 5. Opciones de entrada de datos en los SIG.

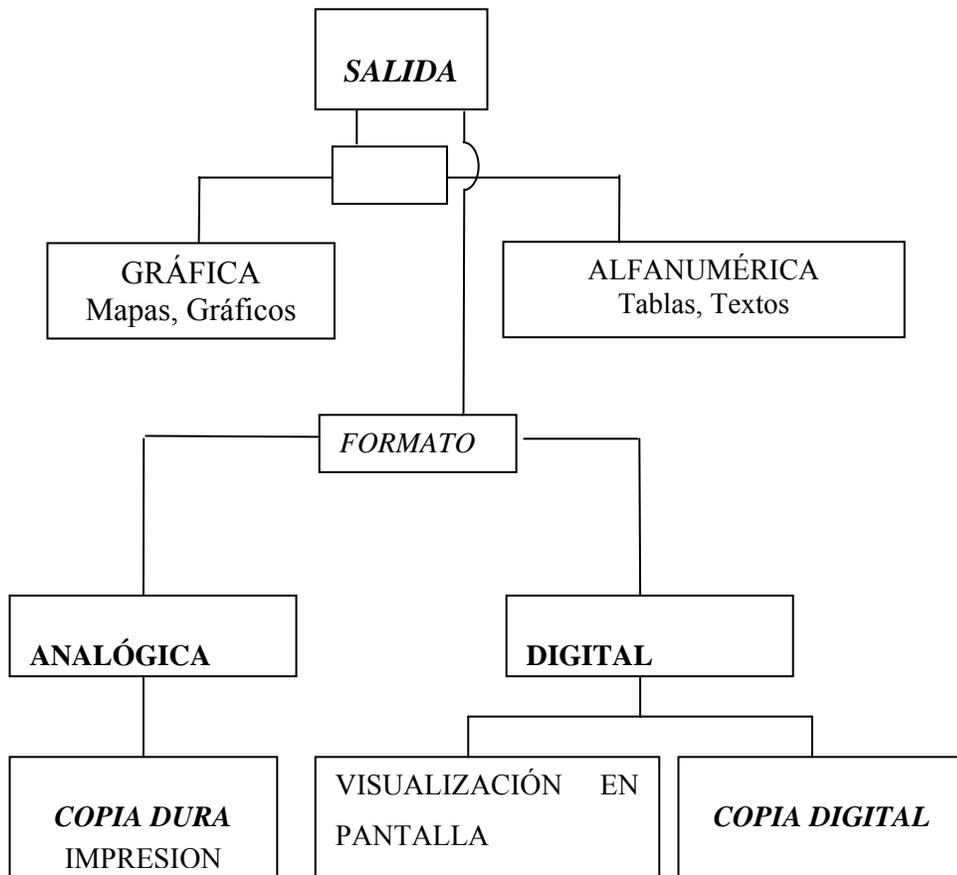


Fig. 6. Clasificación de las salidas de datos en los SIG.

Los SIG son además una tecnología de integración de productos, métodos y procedimientos, que pueden haberse desarrollado con un nivel determinado de forma independiente. Son integradores de tecnologías diversas. En la figura 7 se muestra la integración que se produce de algunas tecnologías en los SIG.

El proceso que se muestra a la izquierda, en la figura 7, es típico del trabajo en múltiples campos del saber, o sea, los especialistas para llegar a obtener nuevos conocimientos, pueden realizar levantamientos del terreno que originan datos. Estos datos son procesados e interpretados de alguna manera, produciéndose información que se necesita representar para su comunicación y entendimiento. Los SIG realizan este proceso de forma eficiente, como se señaló en la descripción de sus funciones básicas. Según Georgiadou, Knippers, Sides y Van Westen (2001), “este orden pudiera ser alterado. Muchas veces las primeras pruebas de análisis con los datos sugieren que se necesita más datos o la representación de los datos indica nuevas interrogantes para cuya respuesta es necesario hacer más análisis, para los cuales a su vez se necesitan más datos. Esto indica que las fases pudieran ser iterativas hasta estar satisfecho con el trabajo final.”

A la derecha, en la misma figura, se observan sólo algunas de las disciplinas cuya tecnología en un momento determinado se ha desarrollado de manera tal, que ha llevado a una gran especialización y evolución independiente. Se han desarrollado sistemas independientes para su ejecución. Por ejemplo existen programas y sistemas computarizados creados especialmente para resolver tareas propias de los análisis hidrológicos o sistemas de cartografía automatizada, sistemas de procesamiento digital de imágenes (PDI) o sistemas expertos basados en inteligencia artificial. Estas tecnologías se han integrado a los SIG, enriqueciendo su poder en cada fase del proceso descrito a la izquierda. Por ejemplo, las tecnologías de la cartografía automatizada se han integrado en los SIG al proceso de representación de la información; las de teledetección y procesamiento digital de imágenes se han integrado a la fase de levantamiento del terreno y obtención de datos con alta calidad; las tecnologías de los sistemas expertos se integran a la fase de procesamiento e interpretación de los datos.

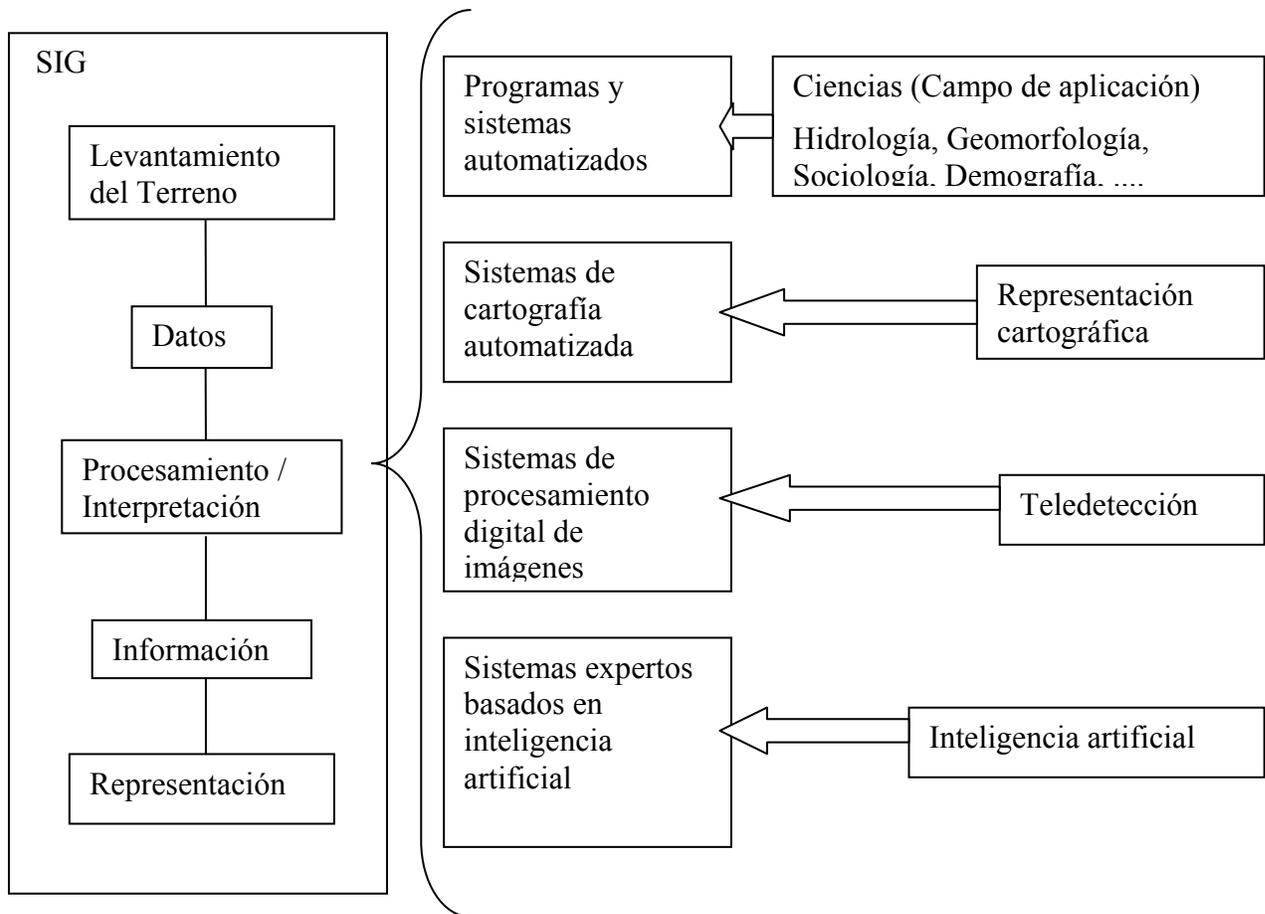


Fig. 7. La integración en los SIG vista mediante algunos ejemplos.

Muchos son los casos de tecnologías con desarrollo independiente que finalmente se pueden integrar al funcionamiento de los SIG. Las propias bases de datos de atributos han sido eficientemente manejadas por los llamados sistemas manejadores de bases de datos (DBMS, *Data Base Management Systems*). Estos manejadores, o simplemente bases de datos, constituyen modelos y estructuras de datos. Ofrecen técnicas para el almacenamiento de datos y permiten usar la más eficiente (soporte de optimización de almacenamiento). Se orientan al procesamiento de grandes volúmenes de éstos, así como a tratar su uso por múltiples usuarios a la vez (conurrencia de usuarios). Permiten imponer reglas en el almacenamiento de los datos, que son automáticamente chequeadas después de las actualizaciones de los mismos (soporte de integridad de los datos). Ofrecen un lenguaje de fácil manipulación de los datos que permite varios tipos de extracción y su actualización (facilidades de extracción de datos o interrogación a la base). Tratan de ejecutar cada interrogación en el lenguaje de manipulación de los datos de la manera más

eficiente (optimización de las interrogaciones o *queries*). Todas estas operaciones las pueden realizar teniendo en cuenta la seguridad de los datos. El desarrollo alcanzado por manejadores o bases como Access (Microsoft Corp.) Oracle (Oracle Corp.), Informix (Informix Corp.), Sybase (Sybase Corp.) y otros, es significativo.

Los sistemas CAD (*Computer Aided Desing*), entre los cuales el sistema AutoCAD (AutoDesk, Inc.) ha sido ampliamente difundido y utilizado mundialmente con amplia aceptación, se han destacado en la entrada o digitalización cómoda de entidades gráficas (puntos, líneas y polígonos), así como en su edición. Otros sistemas de edición gráfica como Corel Draw (Corel Corp.) o Adobe Photoshop (Adobe Systems Incorporated) han escudriñado con mucho éxito el mundo de la edición de gráficos vectoriales e imágenes. Existen paquetes estadísticos (SPSS, SAS, Statgraphics, StatView, Mathlab y muchos otros) que operan con efectividad con los datos almacenados en bases de datos de atributos, brindando numerosas técnicas para el manejo y análisis estadístico de los mismos.

La relación entre las tecnologías anteriormente mencionadas, desarrolladas independientemente y los SIG, como paquetes de programas, lleva a un concepto que puede emplearse para describir una forma de trabajo con los datos espaciales: el geoprocesamiento. El caso es que en los paquetes de SIG esas tecnologías no están integradas de igual forma en cuanto a su contenido y su nivel de desarrollo, entonces, en la búsqueda de la mejor solución al procesamiento de los datos espaciales, se trabaja con los paquetes de SIG y con los paquetes independientes desarrollados para esas tecnologías.

El geoprocesamiento puede ser definido como el conjunto de tecnologías orientadas a la recopilación y tratamiento de informaciones espaciales con un objetivo específico. Así, las actividades que envuelve el geoprocesamiento, son ejecutadas por sistemas específicos en las aplicaciones (INPE, 2000).

El geoprocesamiento es un concepto más abarcador que el concepto de SIG como paquete de programas y representa cualquier tipo de procesamiento de datos georreferenciados, mientras que

un paquete de SIG procesa datos gráficos y no gráficos (alfanuméricos) con énfasis en análisis espaciales y modelado de superficies. Por otra parte el concepto de geoprocésamiento, con respecto al concepto de SIG en su acepción amplia, es un indicador de la forma en que se trabaja. Un SIG en su acepción amplia puede estar concebido para trabajarlo en el marco de un *software* único de SIG o en el marco de un *software* de SIG interactuando con muchos otros de diferente tipo (geoprocésamiento) (figura 8).

El término geoprocésamiento, empleado de manera frecuente a partir ya de los últimos años del siglo XX y afianzado en la actualidad en el marco de trabajo de la comunidad científica dedicada a la manipulación en general de los datos geográficos, ha sido esencial en las investigaciones realizadas en países como Brasil. En el Instituto Nacional de Pesquisas Espaciales (INPE) se ha desarrollado el sistema SPRING, que funciona bajo este enfoque. Este término encierra una estrecha relación con el de geomática, difundido mundialmente de forma paralela al anterior.

La geomática es definida “como un sector de tecnología y servicios centrado en la adquisición, almacenamiento, análisis, diseminación y administración de información referenciada geográficamente para contribuir a la toma de decisiones” (Asociación de la Industria Canadiense, GIAC, 1999, citado por Delgado, 2002). La geomática se ha llegado a definir como “la ciencia y tecnología que trata de la recopilación, análisis, interpretación, distribución y uso de la información geográfica. ...abarca una amplia gama de tecnologías que se pueden emplear en conjunto en un sistema común de referencia espacial para crear una imagen detallada, pero comprensible del mundo material y del lugar que ocupamos en el mismo” (GIAC, 2004).

En resumen se puede señalar que el geoprocésamiento, que comprende la integración de diversas tecnologías de la información geográfica o geotecnologías, es una tendencia necesaria en el manejo general de este tipo de información y que los SIG constituyen su área tecnológica nuclear.

Delgado (2002) plantea que “la tendencia a la integración tecnológica ha dado lugar a la transición de los Sistemas de Información Geográfica desde una tecnología *standalone* a otra que se beneficia, cada vez más, de la naturaleza integrada de la tecnología geoespacial de hoy en día y

de las soluciones corporativas y empresariales que ellas ofrecen. Esta aseveración es compartida por muchos expertos internacionales y sus implicaciones han significado cambios en el enfoque de ver los SIG hacia algo más universal y global.”

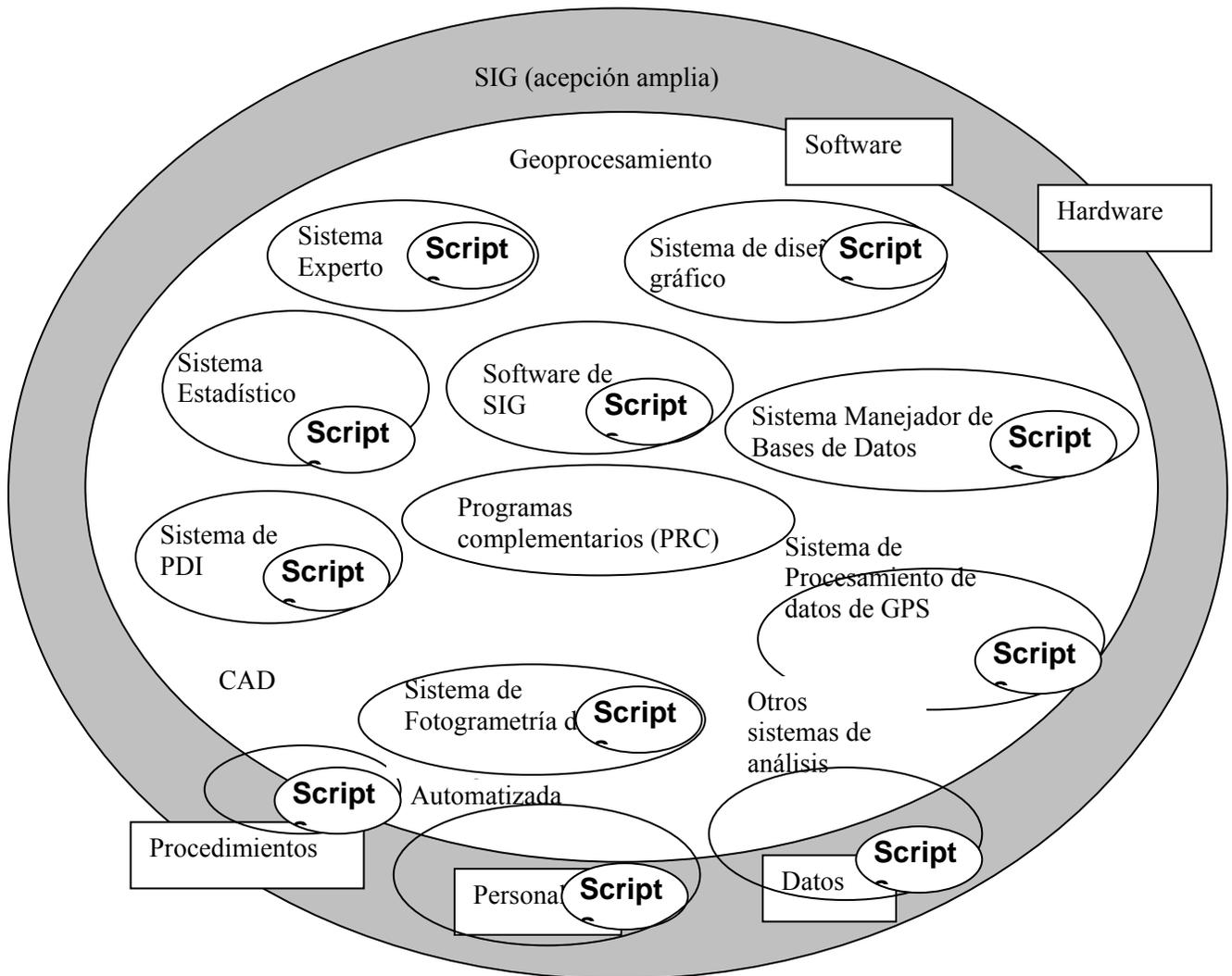


Fig. 8. Tecnologías que pueden intervenir en el geoprocésamiento. Relación del geoprocésamiento con los programas computacionales de SIG y con los SIG en su acepción amplia.

Una vez visto el concepto de geoprocésamiento es importante señalar que, por consiguiente, dentro de los tipos de programas computacionales que se pueden considerar formando parte de un SIG en su acepción amplia, en este marco, están: los paquetes de SIG, otros paquetes relacionados con otras tecnologías integradas a los SIG y también programas complementarios a los SIG.

Se entiende por programas complementarios a los SIG a los programas computacionales que se desarrollan de manera independiente de cualquier otro *software* y que interactúan con paquetes de SIG y pueden hacerlo con otros sistemas o programas relacionados con otras tecnologías integradas a los SIG, basados en el intercambio de datos según las transformaciones de formato (importación y exportación) en el marco del geoprocésamiento, para solucionar, siempre que sea posible, problemas no resueltos aún en ellos o resolverlos de una manera más personalizada hacia el trabajo de los especialistas en las diversas temáticas donde se aplican.

Para la implementación o establecimiento de los SIG en su acepción amplia, como proceso mediante el cual queda dispuesto para desempeñar las funciones para las que fue creado en el marco de las aplicaciones que tendrá, sea o no en el contexto del geoprocésamiento, se han determinado varias fases o etapas de trabajo. La denominación y el número de las fases varía, según autores diferentes, en dependencia de cuán detallada se describa la implementación. En síntesis se puede hacer referencia a una fase de diseño, donde se expone el modelo conceptual del SIG, previo un análisis exhaustivo de requerimientos y de factibilidad y se proyectan todos sus componentes; una fase experimental, que se realiza con una muestra de datos para un área piloto y que permite ajustar el diseño según planteamientos reales; una fase de carga de la base de datos dispuesta en su totalidad; y una fase operativa, donde el SIG realiza ya sus funciones con los datos y las problemáticas de aplicación reales.

En todo momento se plantea que los datos vinculados a los SIG son datos espaciales, georreferenciados y, en última instancia, datos geográficos. Es importante entonces analizar detalladamente estos conceptos.

Según Valero (1993), un dato se define como la menor unidad de información que puede intervenir con independencia y significación en el procesamiento de datos, entendiéndose éste último como la recolección de datos que son evaluados y ordenados para ser colocados en la perspectiva necesaria para que se produzca información útil. Son hechos o material que da origen a la información. Son representados por símbolos. Los datos son transformados en información por el procesamiento de los datos. La información son los datos arreglados y ordenados en forma útil.

De acuerdo con de By (2001), la mayoría de las veces se usan ambos términos (dato e información) indistintamente y sin el riesgo de que sean ambiguos. Sin embargo, haciendo distinciones, se entiende por datos a las representaciones que pueden ser operadas por una computadora. Por información se entiende los datos que han sido interpretados por el ser humano. Los humanos trabajan con información, no con datos. La percepción humana y los procesos mentales apuntan a la información, el entendimiento y el conocimiento.

Dato e información son entonces dos conceptos que se usan indistintamente y el énfasis en uno o en el otro está relacionado con el nivel de interpretación, de utilidad y de significación en uno u otro campo del conocimiento.

Según Bunge (1972), los datos son proposiciones empíricas particulares que se refieren a experiencias efectuadas, que se acumulan para ser utilizados como evidencias una vez interpretados con ayuda de alguna teoría. Los datos que la ciencia utiliza son los que se refieren a hechos objetivos y en el caso específico de la geografía, históricamente han estado relacionados con la descripción de los espacios estudiados.

Los datos geográficos que maneja un SIG son entonces datos que incluyen la dimensión espacial, es decir, presentan localización mediante una referenciación a la superficie de la Tierra, están definidos por medio de atributos espaciales y por otros atributos que no tienen carácter espacial y pueden expresar el tiempo de ocurrencia de los fenómenos.

Los datos espaciales, que de manera estricta abarcarían la dimensión espacial de los datos geográficos, son los datos que contienen valores de posición y atributos espaciales como la extensión o tamaño, la forma o configuración; así como atributos topológicos que describen características tales como la conectividad, la vecindad, la adyacencia, es decir, relaciones que son invariables a modificaciones de escala. Los datos no espaciales son los que contienen valores no relacionados a la posición, los cuales pueden ser nombres, códigos o características.

Como plantean Kainz, de By y Ellis (2001), ocasionalmente se encuentra en la literatura la frase de que los datos espaciales son los datos que están georreferenciados. Estrictamente hablando puede haber datos espaciales con valores de posición no relativos a la superficie de la Tierra y que por tanto no están georreferenciados, por ejemplo en ingeniería mecánica las partes de una máquina se definen de manera relativa unas con otras (freno trasero, piñón superior...). No obstante en el contexto de los SIG se habla de datos espaciales como sinónimo de datos georreferenciados.

Debido a que los datos espaciales son los que caracterizan a los datos geográficos y los diferencian de otros tipos de datos, también se usan indistintamente estos conceptos.

Puede decirse entonces que los datos geográficos son entidades espacio-temporales que describen o cuantifican la distribución, el estado y los vínculos de los distintos fenómenos naturales y sociales. Por regla general, los datos geográficos se expresan gráficamente en mapas, y se representan por signos convencionales especiales denominados signos cartográficos (Mosquera, 2000).

Los datos geográficos son pues, datos espaciales y su clasificación más común es simplemente topológica (Cebrián y Marks, 1986), prescindiéndose de la forma, el tamaño o los atributos temáticos. Sólo se tiene en cuenta el número de sus dimensiones (Cebrián, 1988), así ellos se pueden clasificar en: puntuales, lineales, superficiales y volumétricos.

Con los términos de análisis geográfico y análisis espacial, en el marco de los SIG, pasa entonces algo parecido a lo visto con los términos de datos geográficos y datos espaciales. El análisis

geográfico es el examen de los fenómenos y procesos del mundo real, teniendo en cuenta su ubicación espacial, mediante el desarrollo y aplicaciones de los modelos del mundo real, que pueden llevarse a cabo con el uso de la base de datos espaciales de los SIG y el conjunto de operadores espaciales de que se disponga.

El análisis espacial en un SIG es realizado sobre los datos espaciales y no espaciales, siendo utilizados éstos para modelar, hacer predicciones y para poder llegar a conclusiones sobre problemas de interés (Pérez, 1993).

Retomando una idea anteriormente planteada cualquier recuperación que se haga de la información de un SIG está relacionada en mayor o menor grado con un análisis espacial. Algunos ejemplos de los procesos de análisis espacial típicos de un SIG se muestran en la tabla 3. La información geográfica tiene las características siguientes:

- Tiene carácter temático, espacial, temporal y puede representarse cartográficamente.
- Incluye elementos de la naturaleza y socioeconómicos, que pueden analizarse por separado o de manera integral.
- Se gestiona eficazmente en un SIG.
- Su universo de análisis en un SIG responde a la aplicación que se le vaya a dar. Para cada aplicación, para cada problema analizado y para cada espacio geográfico examinado puede cambiar la información que se necesita.
- Puede aplicarse en una gran cantidad de campos del conocimiento.
- Puede provenir de fuentes de una gran cantidad de campos del conocimiento.

- Según el formato de la fuente de información, puede provenir de fuentes de distinto tipo como son: mapas, tablas y textos analógicos y digitales de variado formato; imágenes satelitales y aéreas o también levantamientos topogeodésicos o topográficos con el uso de diferentes medios como pueden ser, sobre todo en los últimos tiempos, las estaciones totales y los sistemas de posicionamiento global (GPS).
- Según el grado de análisis a que ha sido sometida la información, puede provenir de fuentes de inventarios originales o puede ser producto de algún tipo de filtrado de información con el empleo, sobre todo en los últimos tiempos, de algún sistema para geoprocesamiento o simplemente de algún paquete de SIG.
- En estudios geográficos integrales generalmente es sometida a análisis complejos en los SIG, donde intervienen un conjunto de métodos y procedimientos que muchas veces no se encuentran integrados en un sólo paquete de SIG. Se emplea entonces el geoprocesamiento como concepto integrador de tecnologías, las programaciones de tipo *script* y también se puede recurrir a programaciones complementarias de ciertos análisis.
- En estudios geográficos integrales puede requerir de una representación cartográfica compleja como expresión de la propia complejidad de sus análisis. Su cartografía necesita de los valores del paradigma cartográfico cognoscitivo que implica mapas donde a veces se vinculan varios métodos de representación a la vez, se usan métodos específicos y se promueven nuevos conocimientos; pero también demanda de los valores del paradigma cartográfico comunicativo al requerir una buena comunicación. La posibilidad de esta cartografía a veces no se encuentra integrada en un sólo paquete de SIG. Se emplea entonces el geoprocesamiento como concepto integrador de tecnologías, las programaciones de tipo *script* y también se puede recurrir a programaciones complementarias de ciertos métodos de representación.

Tabla 3. Ejemplos de análisis espacial.

Análisis	Pregunta	Ejemplo
Condición	¿Qué es lo que está...?	¿Qué población tiene esta ciudad? (Cienfuegos señalada en el mapa). Figura 9.
Localización	¿Dónde está...?	¿Dónde existen en Cuba condiciones climáticas poco favorables para el desarrollo de actividades en ambientes exteriores? Figura 10.
Tendencia	¿Qué cambió...?	¿Los suelos ferralíticos de la provincia de La Habana eran productivos hace 15 años? Figura 11.
Patrones	¿Cuál es el patrón...?	¿Cómo se distribuye el endemismo en un área de actividad minera en Cuba? Figura 12.
Modelos	¿Qué pasaría si...?	¿Qué vegetación se vería afectada si se expande el área de una concesión minera en 500 m? Figura 13.

Fuente: Modificada por el autor a partir de Maguire, Goodchild y Rhind (1991).

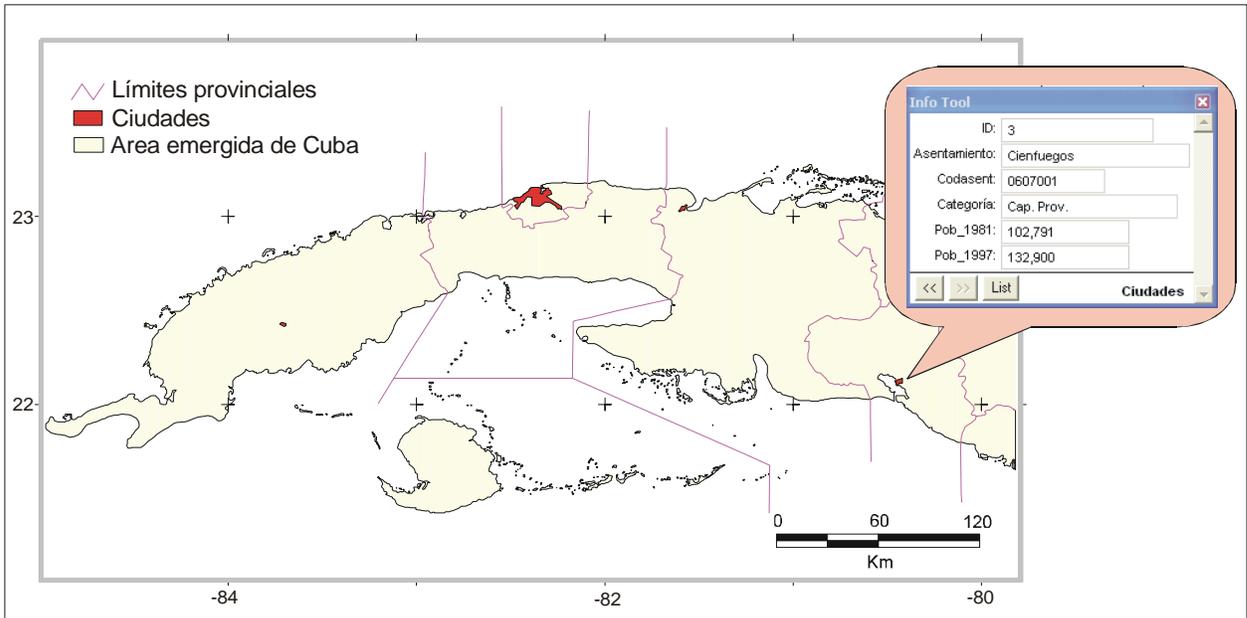


Fig. 9 (señalada en la tabla 3). Paisaje digital que muestra un ejemplo de análisis espacial. Recuperación de datos mediante especificación geométrica.

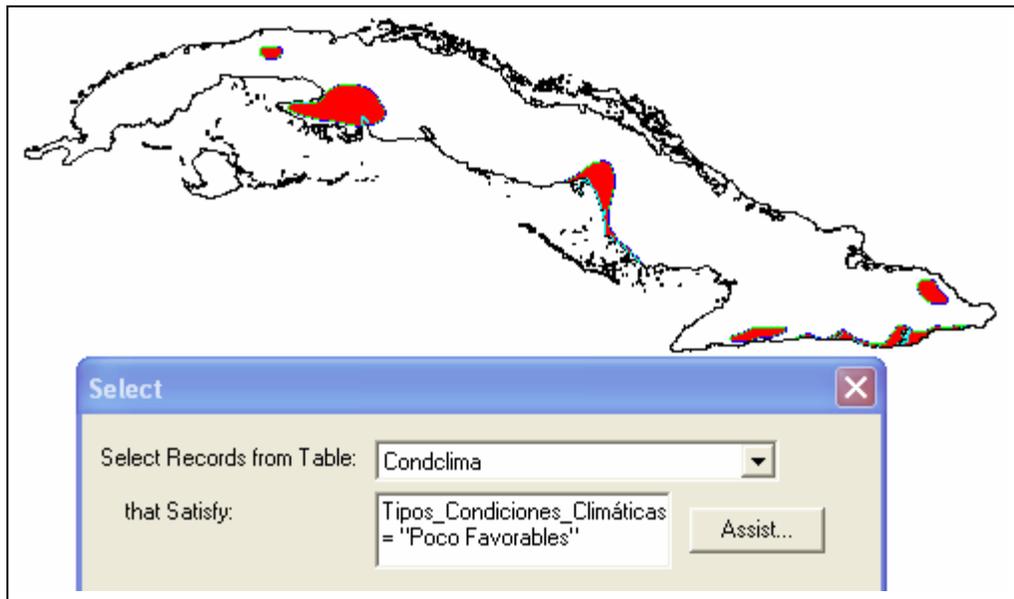


Fig. 10 (señalada en la tabla 3). Paisaje digital que muestra un ejemplo de análisis espacial. Recuperación de datos mediante condición simbólica. En rojo las áreas con condiciones poco favorables en Cuba para el desarrollo de actividades en ambientes exteriores.

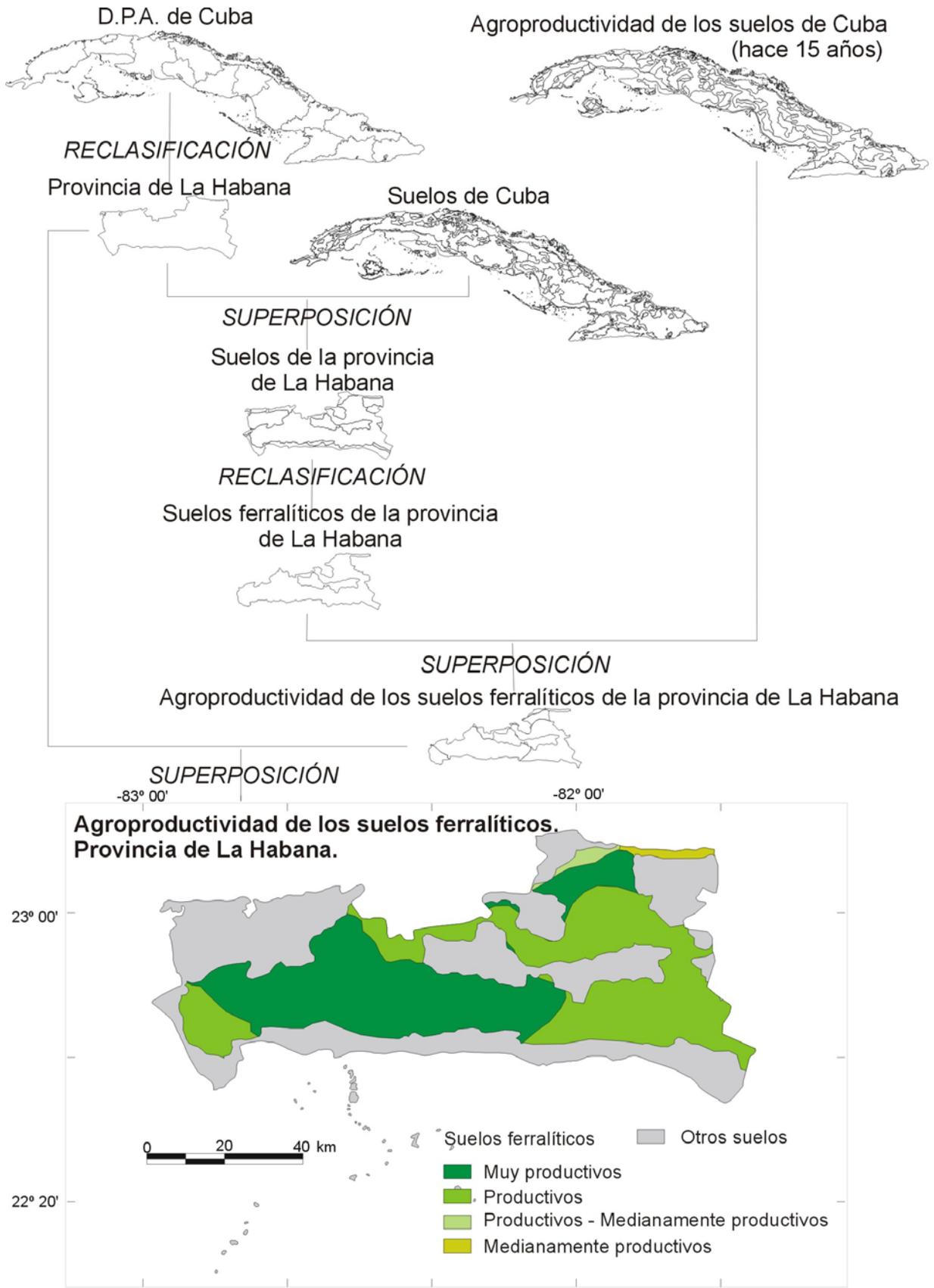


Fig. 11 (señalada en la tabla 3). Composición de paisajes digitales y mapa final, que muestran un ejemplo de análisis espacial. Reclasificación y superposición de capas areales en el SIG.

Endemismo en el área de actividad minera

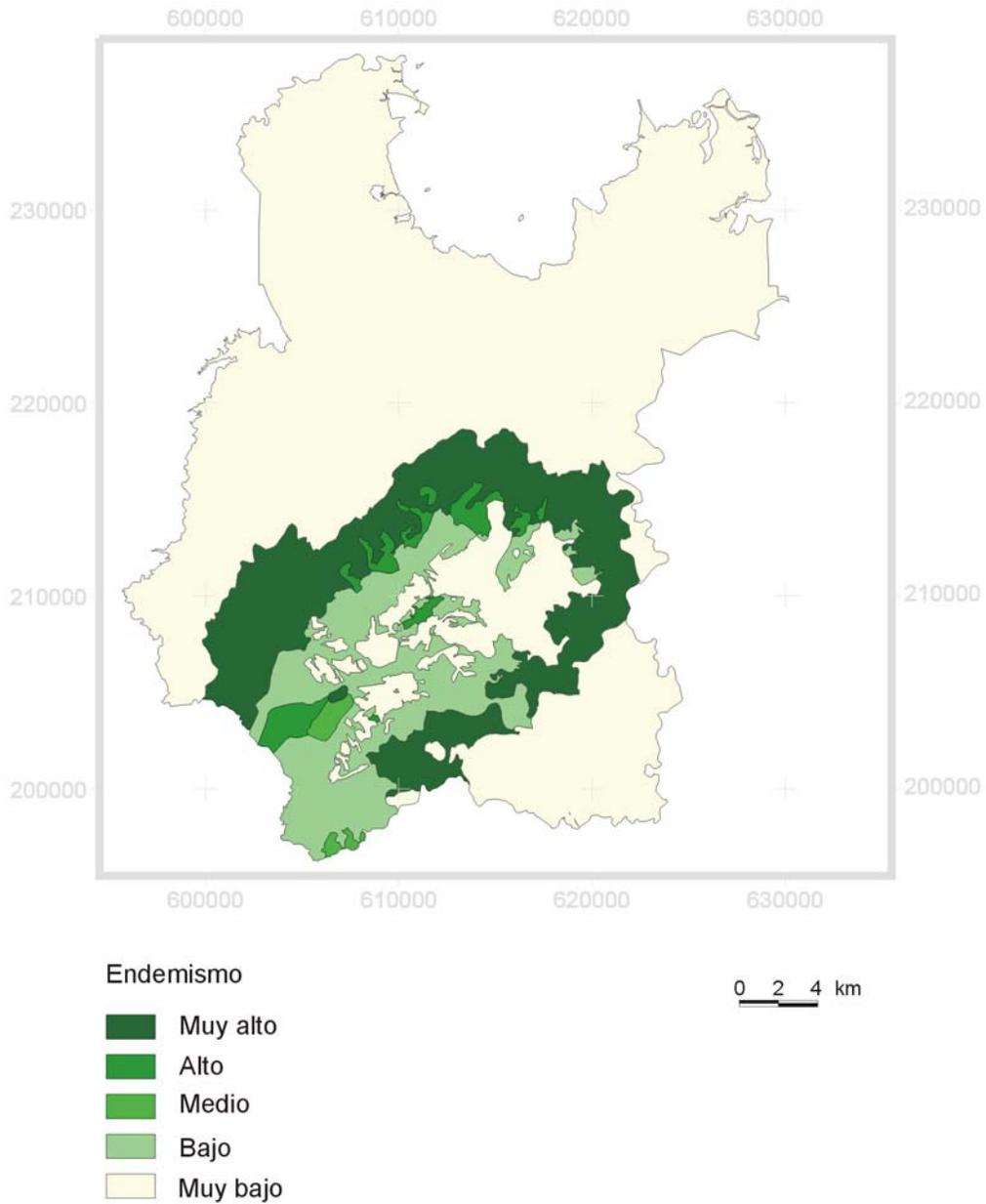


Fig. 12 (señalada en la tabla 3). Mapa que muestra un ejemplo de análisis espacial. Reclasificación de un mapa de vegetación.