

# Caracterización del proceso y herramientas metodológicas de la ingeniería de requerimientos para aplicaciones de sistemas de información geográfica

## Characterising requirement engineering process and methodological tools for geographical information system (GIS) applications

Luis Fernando Medina Cardona<sup>1</sup>

### RESUMEN

Este artículo describe el proceso de la ingeniería de requerimientos y las herramientas metodológicas usadas en aplicaciones de sistemas de información geográfica (SIG) ante la ausencia de una alternativa integral y consistente específica para este dominio. Para ello, por un lado, se introduce la problemática de la ingeniería de requerimientos en aplicaciones SIG, se exhiben los tipos de requerimientos, actores involucrados y aspectos comunicativos relevantes en el proceso de requerimientos y se clasifican las metodologías existentes en lenguajes de modelamiento y especificación. Adicionalmente, se presentan los estándares geomáticos como un elemento transversal a tener en cuenta en las aplicaciones SIG.

**Palabras clave:** Sistemas de información geográfica, ingeniería de software, análisis de sistemas, ingeniería de requerimientos, estándares geomáticos.

### ABSTRACT

This article describes the requirements engineering process and the methodological tools used in geographical information system (GIS) applications as a way to face the absence of a consistent and complete specific alternative for this domain. Requirements engineering for GIS applications are thus introduced; requirements types, actors involved and communication aspects important for the process are exhibited and current methodologies are classified in modelling and specification languages. Additionally, geomatic standards as a transversal element for GIS applications are presented.

**Keywords:** geographical information systems, software engineering, systems analysis, requirements engineering, geographical standards.

Recibido: agosto 16 de 2006

Aceptado: marzo 1 de 2007

### Introducción

Los sistemas de información geográfica han sido propuestos desde hace más de treinta años como una disciplina estructurada para representar, modelar, analizar y planificar el territorio usando herramientas computacionales (IGAC 1995); (Teo, 1995). A través de esta plataforma ha sido posible unir múltiples visiones que parten desde las ciencias exactas y las humanas y sociales para proveer una valoración integral del territorio, su estado y las dinámicas que toman lugar en él (Clarke, Parks y Crane, 2002). Actualmente se constituyen en un campo académico de importancia creciente en las ciencias de la computación y en uno de los sectores de la industria informática de mayor crecimiento (Christensen, Tryfona y Jensen, 2001; Load y Yeung, 2002). Sin embargo, la implantación de aplicaciones basadas en SIG presenta

varias dificultades, pues el carácter de estos sistemas como ciencia multidisciplinaria ha tornado la implementación de sus respectivas aplicaciones en una tarea problemática, tanto por la diversidad de los miembros de los equipos presentes en el dominio de aplicación, como por el amplio espectro de posibles usuarios de la información espacial (Aime, Bonfatti y Monari, 1999; Traynor y Williams, 1995). Esto se evidencia en la falta de metodologías bien definidas para el levantamiento de requerimientos del sistema, en donde las arquitecturas cerradas (Load y Yeung, 2002) siguen manifestándose como obstáculos en la puesta en marcha de aplicaciones SIG, lo cual va en clara contradicción con sus propósitos. Por ello este importante dominio requiere analizar el proceso de ingeniería de requerimientos desde

<sup>1</sup> Ingeniero de sistemas. Candidato a M.Sc. en Ingeniería de Sistemas y Computación. Investigador, grupo de software libre EIDOS. Auxiliar de docencia, Departamento de Ingeniería de Sistemas e Industrial, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. lfmedinac@unal.edu.co

su problemática, cubriendo los aspectos a tener en cuenta y las herramientas metodológicas disponibles para el modelamiento del mismo. El artículo está organizado de la siguiente manera: Inicialmente se describe las dificultades propias de la ingeniería de requerimientos en SIG buscando definir el problema. Posteriormente, presenta clasificaciones del dominio, los actores del sistema y su interacción, enmarcándose dentro de las dinámicas de la ingeniería de requerimientos. Luego, incluye las herramientas metodológicas disponibles hasta el momento encontradas en la literatura para apoyar los procesos de requerimientos en aplicaciones SIG. Finalmente, discute los estándares geomáticos a tener en cuenta y presenta las conclusiones.

## Dificultades en ingeniería de requerimientos para aplicaciones SIG

Las características tratadas hasta ahora confieren a las aplicaciones en sistemas de información geográfica una dificultad extra al efectuar el proceso inicial de ingeniería de requerimientos. La mayoría de los estudios muestra que los SIG son difíciles de usar (Traynor y Williams, 1995) o que sus aplicaciones aún están lejos de la cultura del usuario normal (Aime, Bonfatti y Monari, 1999), lo cual evidentemente complica un proceso que de hecho ya no es fácil. A esto debe sumársele que las metodologías propias de la ingeniería de requerimientos no fueron concebidas para este tipo de sistemas. En general estas problemáticas pueden clasificarse siguiendo la división entre el proceso y el producto de la ingeniería de *software* (Sommerville, 2002); (Pressman, 2002), así:

### Dificultades del proceso

- Metodologías incompletas: la mayoría de técnicas de modelamiento y especificación de requerimientos han sido concebidas para sistemas alfanuméricos en donde los atributos espaciales no hacen parte del núcleo de diagramas y operaciones, y aunque existen extensiones que permiten incluir información georreferenciada, estas aún no están lo suficientemente difundidas y en muchos casos son añadiduras que no se integran de manera natural a las metodologías. Igual sucede con el componente temporal inherente a muchos procesos físicos y la tercera dimensión,<sup>2</sup> como elementos que tampoco encuentran un asidero metodológico para plasmar sus requerimientos relacionados.
- *Stakeholders* heterogéneos: durante mucho tiempo los SIG y sus aplicaciones hicieron parte de esferas donde los usuarios pertenecían a la comunidad científica, en la mayoría de los casos sin ninguna experiencia en computación. Por este motivo, la recolección de requerimientos del sistema se hacía en un ambiente muy diversificado. La masificación de Internet y el uso cada vez más frecuente de las aplicaciones SIG como herramienta de apoyo en la toma de decisiones por

gobiernos y particulares, agravó la situación, ampliando enormemente los usos del sistema.

- Complejidad de la información: la información espacial cuenta con propiedades que no hacen fácil la labor de modelado de datos que se desarrolla en la parte de análisis de requerimientos (Sommerville, 2002). La información georreferenciada es bastante voluminosa, y sus altos costos ocasiona que la mayoría de las organizaciones deban acudir a distintas fuentes para proveerse de los datos necesarios para una aplicación. Como consecuencia se dispone generalmente de una base de información poco homogénea, con distintos rasgos de calidad, escala y actualidad entre sí. Por este motivo, muchas veces es imposible establecer relaciones entre entidades de información lógicamente conectadas pero incompatibles en la práctica. Además, como se ha discutido anteriormente, las falencias metodológicas que no cubren necesidades de las aplicaciones SIG provocan que el análisis de requerimientos pase por alto estos obstáculos para el desarrollo de la aplicación, pues no se registran atributos de calidad, escala, etc.

### Dificultades inherentes al producto

- Componente espacio-temporal: los modelos existentes deben contemplar los espaciales con respecto a las primitivas geométricas que los representan (puntos, líneas y polígonos) y al comportamiento en el tiempo de esta representación. Este último componente sirve para discretizar fenómenos continuos en el tiempo (por ejemplo, el crecimiento de un perímetro urbano observado cada diez años) (Figura 1) o la ubicación en el espacio de elementos móviles (un automóvil en una red vial).

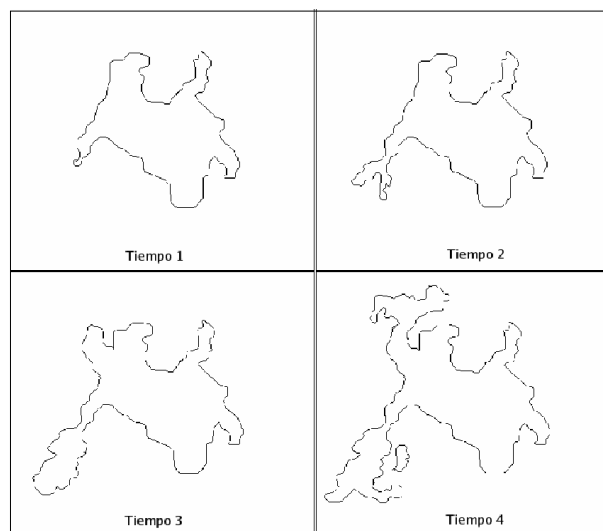


Figura 1. Componente espacio-temporal

- Componente de tercera dimensión: las aplicaciones SIG como herencia del trabajo de la geografía con planos representa los fenómenos en dos dimensiones, olvidándose de la tercera dimensión, que generalmente

<sup>2</sup> La cual fue relegada por mucho tiempo como herencia del método de trabajo bidimensional de la geografía

representa la altitud. El uso de la tecnología informática hace posible considerar todas las dimensiones; a pesar de esto, los lenguajes de modelamiento y especificación poco la han tenido en cuenta (Figura 2).

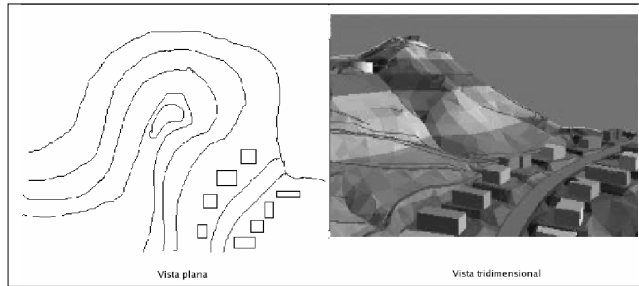


Figura 2. Componente de tercera dimensión

- Componente de calidad: este generalmente es poco tenido en cuenta. Involucra el concepto de metadatos, el cual es descrito generalmente como los datos de los datos y refiere atributos que hacen posible evaluar la calidad de la información georreferenciada, como el año de origen, escala de trabajo, procesos de refinamiento aplicados, proceso de levantamiento (digitalización, trabajo de campo, GPS, sensores remotos), confiabilidad, entre otros.
- Componente de escala: debe considerarse que de acuerdo a la escala de observación una misma entidad puede representarse mediante distintas primitivas geométricas. Así, un embalse observado a escala 1:500.000 se aprecia como un punto, pero al ampliar la escala a 1:25.000 se transforma en un polígono donde es posible observar los límites del mismo (Figura 3).

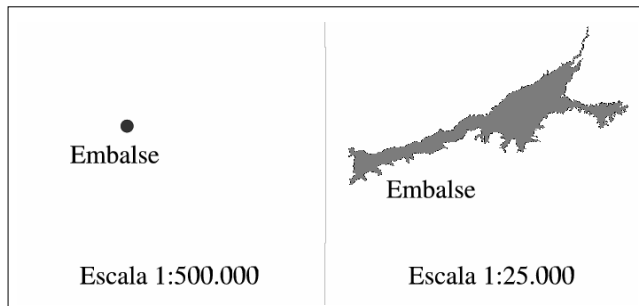


Figura 3. Componente de escala

## Caracterización de la ingeniería de requerimientos para aplicaciones SIG

Como se ha resaltado, los sistemas de información geográfica y sus respectivas aplicaciones informáticas son un dominio específico de naturaleza multidisciplinaria, lo cual reporta una serie de dificultades a los procesos de ingeniería de requerimientos. Sin embargo, otro conjunto de factores deben ser considerados para construir un panorama integral sobre las maneras de abordar el problema. En particular, el dominio de las aplicaciones SIG es lo suficientemente amplio para incluir problemas cuyos planteamientos requieren soluciones disímiles entre sí. Pese a esto, se han abstraído

rasgos comunes que son precisamente los que describen la tarea de Ingeniería de requerimientos en este dominio y adicionalmente podrían arrojar pistas para la posible formulación de una metodología apropiada. Por ello, para aclarar la discusión, se explican varios elementos como los tipos de aplicaciones SIG, los actores involucrados en el proceso de requerimientos, restricciones y aspectos de comunicación (Leffeingwell y Widrig, 2003) teniendo presente los estándares que deben acompañar este esfuerzo.

## Clasificación de las aplicaciones SIG

Los sistemas de información geográfica son sistemas de uso intensivo de datos, multidisciplinarios, dinámicos y complejos que basan su aproximación en un modelo ambiental de la realidad (Clarke, Parks y Crane, 2002). Estos modelos distan de ser completamente precisos por no obedecer a una jerarquía única de conocimiento. Sin embargo, las aplicaciones informáticas en SIG poseen características que proveen una clasificación útil para determinar requerimientos.

- Sistemas dinámicos: aunque puede decirse que todos los fenómenos modelados por una aplicación SIG varían en el tiempo, el costo y tiempo necesarios para recolectar la información son la causa principal de que muchos sistemas se decidan por una alternativa estática en donde se modela un instante específico de una zona geográfica con una vigencia de años hasta que sea posible actualizar la información. Sistemas forestales o geológicos pertenecen a este tipo. De otro lado, existen sistemas cuyo modelamiento requiere necesariamente que el elemento tiempo sea contemplado. Ejemplos de estos últimos son los sistemas de modelamiento de transporte o servicios públicos.
- Sistemas físicos: los sistemas que se encuentran en este grupo modelan aspectos del territorio que corresponden a fenómenos regidos exclusivamente por leyes naturales sin influencia externa. Esto permite la aplicación de marcos de trabajo matemáticos donde los datos cuantitativos son lo principal.
- Sistemas sociales: estos sistemas incluyen las variables producidas por la influencia humana en la naturaleza o incluso persiguen modelar el comportamiento de una población humana referida a un contexto geográfico. Debido a esto se presentan varios datos de naturaleza cualitativa en los modelamientos.

## Clasificación de requerimientos

Independientemente de la clasificación de las aplicaciones SIG, es posible hallar un conjunto de características comunes que guían los procesos de ingeniería de requerimientos en SIG permitiendo establecer una conexión con los conceptos de requerimientos de usuario y requerimientos de sistema. En primer lugar se encuentran las unidades funcionales presentes en cualquier proyecto de aplicación SIG. Estas no solamente marcan la estructura de la aplicación sino incluso unos momentos en su ciclo de vida y el perfil de

las personas involucradas en el sistema. Este último factor permite enlazar con los actores del sistema, entendiéndose por estos los actores primarios representados por humanos y no otros sistemas asociados que puedan solicitar servicios (Weitzenfeld, 2004).

**Según unidades funcionales**

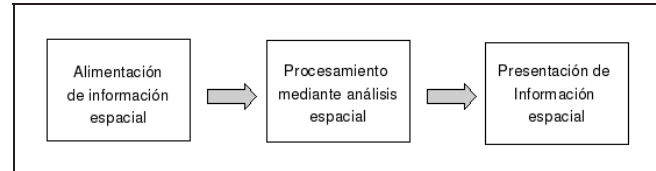
- Requerimientos de estructura de datos: en esta parte se definen las capas de información que serán usadas en el sistema, evaluando principalmente su calidad (escala, fuente, preprocesamientos aplicados) y actualidad (año de levantamiento de la información, tiempo de vida). De igual manera, se decide la forma de representación de cada capa, ya sea vectorial (basada en primitivas de punto, línea y polígono) o *raster* (discretización del territorio mediante celdas).
- Requerimientos de modelado de datos: aquí se aplican procesos de estructuración de la información obedeciendo a la relación de cada capa con las demás y a una jerarquización de las entidades espaciales. Procesos de interpolación son aplicados para presentar un conjunto de información homogéneo.
- Requerimientos de manipulación de datos: en esta unidad funcional se obtienen productos derivados a partir de las capas espaciales iniciales aplicando procesos de álgebra de mapas para capas tipo *raster* o de conjuntos (intersección, unión, substracción) para capas tipo vector.
- Requerimientos de presentación de datos: los productos derivados de la parte anterior que se consideren finales, más algunas capas primitivas, son ofrecidas a los usuarios para consulta espacial o alfanumérica a través de interfaces de naturaleza gráfica.

**Tabla 1. Unidades funcionales en SIG**

Unidad Funcional	Requerimientos de modelado	Ejemplo
Estructura de datos	Consistencia y calidad de datos Espacio continuo.	Restricciones, interpretación, discretización, modelos de interpolación
Modelado de datos	Geometría Topología	Puntos, curvas, polígonos etc. redes, particiones
Manipulación de datos	Operaciones Relaciones espaciales Análisis de redes	Topología, dirección, medidas
Presentación de resultados	Presentación visual	Restricciones de visualización Mapas

La Tabla 1 muestra estas unidades funcionales y los requerimientos de datos que acarrear. Estas unidades funcionales, aunque siempre presentes en el ciclo de vida de una aplicación SIG, marcan una secuencia lógica basada en el flujo de la información desde su recolección (alimentación del sistema), procesamiento y presentación final (Figura 4).

La primera de estas fases se relaciona con la unidades funcionales 1 y 2 (requerimientos en estructura y modelado de datos), mientras que las fases restantes se relacionan respectivamente con las unidades funcionales 3 y 4 (manipulación y presentación de datos). También puede decirse que por su naturaleza técnica las dos primeras fases y sus correspondientes unidades funcionales se asimilan más al concepto de requerimientos de sistema, mientras que la última fase y unidad funcional apuntan a los requerimientos de usuario.

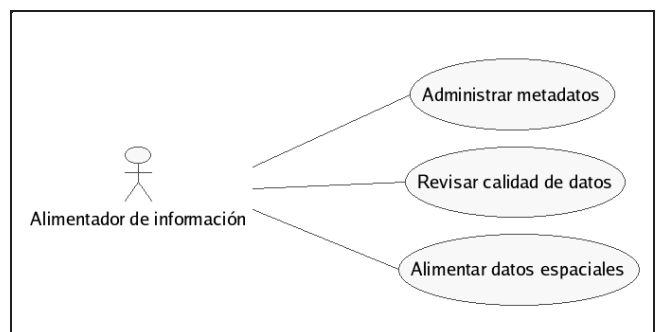


**Figura 4. Fases en SIG**

**Según actores**

Una aplicación de sistemas de información geográfica involucra muchos actores de diversas disciplinas. Sin embargo, una categorización de las distintas aplicaciones en SIG (IGAC, 1995); (Clarke, Parks y Crane, 2002) exhibe un conjunto de actores en común cuyas instancias, sin importar la disciplina de la que provengan, interactúan con el sistema de una manera esquemática y regular. Los casos de uso presentados permiten construir los requerimientos para este tipo de actores.

- Alimentador de información: este actor es el responsable de transformar la información espacial recolectada para la aplicación, sea secundaria o levantada expeditamente para la misma, de una manera que produzca capas de información con características homogéneas. Para ello el sistema debe proveer las funcionalidades necesarias para esta tarea. El proceso de carga de datos va acompañado de interacciones con el sistema, destinadas a garantizar la homogeneidad nombrada y a documentarla. Para ello se revisa la calidad de los datos siguiendo criterios de escala, precisión, tiempo de levantamiento, sensores usados, etc., documentándolos en los llamados metadatos, que consignan dicha información para referencia futura. Un buen sistema debe ofrecer funcionalidades con estos propósitos (Figura 5).



**Figura 5. Caso de uso para alimentador de datos**

- Analista espacial: este actor toma como insumo las capas alimentadas al sistema y dependiendo de la finalidad del mismo, las somete a modelamientos geomáticos para producir nueva información que puede ser insumo para otros procesos o información final. Para ello debe proveerse al sistema de herramientas de procesamiento espacial para datos de tipo vector o *raster* y brindar características para administrar distintas versiones de una misma capa para determinado territorio, lo cual es vital en aplicaciones que modelan fenómenos dinámicos. Generalmente las instancias de este usuario están representadas por profesionales temáticos interesados en modelar los fenómenos de su competencia (Figura 6).
- Usuario: por tal debe entenderse al usuario final que consulta los productos del sistema mediante una interfaz gráfica habilitada para exhibir las capas temáticas seleccionadas superpuestas para una región y acceder a la información alfanumérica de cada una. La interacción de este usuario puede darse con la simple búsqueda de algún lugar en el mapa que representa la región y con la consulta de los atributos espaciales y alfanuméricos para la misma. Otra interacción posible para algunas instancias de este usuario es la actualización de atributos alfanuméricos de la información (Figura 7).

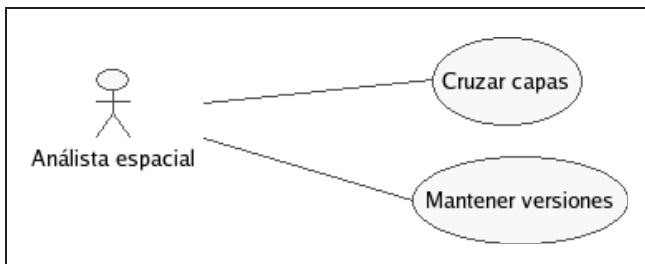


Figura 6. Caso de uso para analista de datos

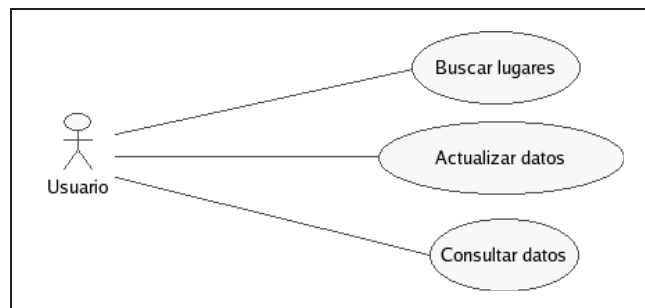


Figura 7. Caso de uso para analista de datos

**Aspectos comunicativos**

Para llevar a cabo el proceso de extracción de requerimientos y los pasos posteriores de análisis y especificación es necesario mantener presente la interacción constante entre usuarios y *stakeholders* bajo el entendimiento de refinamiento progresivo del sistema y sus restricciones (Leffeingwell y Widrig, 2003). La naturaleza inherente a los SIG como herramienta

de modelamiento y a sus aplicaciones como mecanismo de representación de una realidad en constante cambio, dota a este tipo de sistemas de características de retroalimentación que pueden hacer evolucionar la arquitectura del sistema para ajustarse a nuevos eventos. Por ello la comunicación entre los actores y sus relaciones con el sistema es de vital importancia para el modelamiento del sistema, dado que sus interacciones ayudan a definir justamente la visión del usuario en el modelamiento de los datos, creación de la base de datos espacial y manejo integral del sistema (Load y Yeung, 2002) (Figura 8). Debido a este modelo de comunicación es más conveniente efectuar técnicas de extracción de requerimientos basadas en talleres de reunión grupal e incluso etnográficas que permitan apreciar directamente la interacción de los actores (Sommerville, 2002; Pressman, 2002).

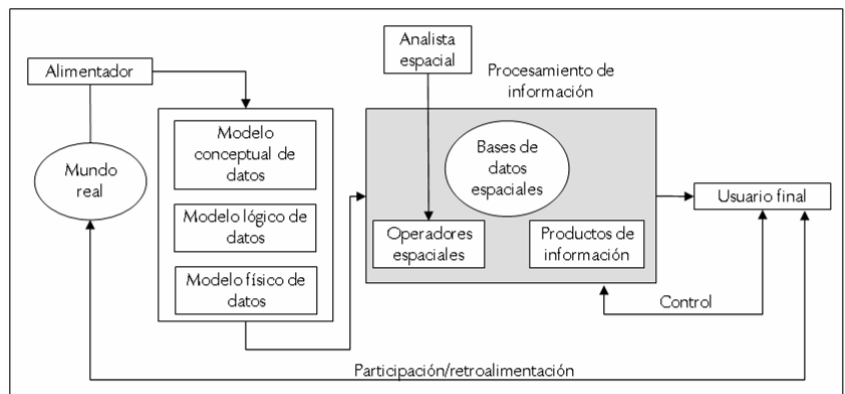


Figura 8. Modelo de comunicación en SIG

**Herramientas metodológicas disponibles**

La labor de ingeniería de requerimientos para aplicaciones SIG debe enfrentar las problemáticas ya explicadas para lograr presentar una visión inicial de lo que se desea de una aplicación, construida por o para un equipo multidisciplinario o en muchos casos para un grupo de usuarios mucho más amplio a partir de la labor de extracción de requerimientos mostrada en la sección anterior. Las dificultades mencionadas en la sección 2 afectan principalmente los requerimientos funcionales y los de dominio específico del ámbito SIG. Las herramientas de análisis en este dominio se componen de técnicas de modelado de sistemas que permiten expresar los requerimientos de una aplicación SIG de manera más técnica y menos ambigua que el lenguaje natural en que se basa la extracción de requerimientos. En Christensen, Tryfona y Jensen, (2001) se listan las características que debe cumplir una buena técnica de modelado de sistemas para análisis de requerimientos en aplicaciones SIG. Estas deben cubrir los siguientes aspectos:

- Dimensión temporal: cambios de los objetos en el tiempo.
- Elementos espaciales complejos: multipuntos, multilíneas y multipolígonos (elementos individuales pero compuestos de varias instancias de las primitivas espaciales)

- Valores temáticos: atributos que describen propiedades de los objetos.
- Objetos difusos: características geográficas que pertenecen a una clase con ciertos grados.
- Datos basados en entidades y en valores de campo: aquellos que se pueden clasificar mediante entidades o que son continuos y no pertenecen a una entidad específica (ej. altura).
- Generalización: varias representaciones de los objetos espaciales dependiendo de la escala.
- Restricciones: imponer rangos a los valores de los atributos.
- Identificador de objetos: todos los objetos espacializables deben ser identificados de manera única.
- Calidad de los datos: calificar la idoneidad de la procedencia y tratamiento dado a los datos espaciales.

### Lenguajes de modelamiento

- Entidad-relación: el modelo georrelacional es uno de los más extendidos en SIG (Load y Yeung, 2002), donde tanto los atributos alfanuméricos como la parte espacial son almacenados en tablas de manejadores de bases de datos normales. Esto ha llevado a que aún sea muy usado el modelo entidad-relación. En particular este se ha extendido no solo para indicar entidades espaciales, sino para modelar las relaciones que se pueden presentar entre dos entidades espaciales, ya sea unión, sobreposición o disyunción entre estas (Figura 9). En esta idea general se enmarcan iniciativas como Giser (Shekhar, Coyle y Goyal, 1997) y Ester (Shekhar, Coyle y Goyal, 1997).

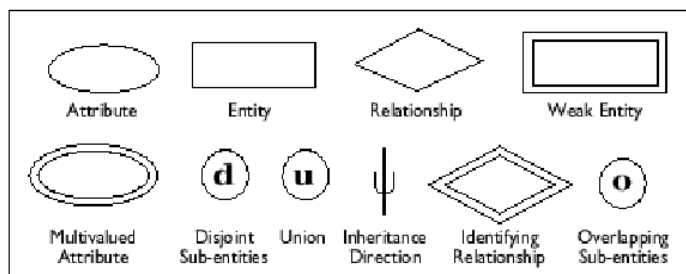


Figura 9. Elementos del modelo relacional extendido para SIG (Shekhar, Coyle y Goyal, 1997)

- Metodologías orientadas a objetos: los métodos de análisis estructurado, y posteriormente el análisis orientado a objetos, han sido herramientas ampliamente usadas en ingeniería de requerimientos en las fases de análisis. Sin embargo, cuando se entra en los campos de las aplicaciones SIG se hace evidente que los conceptos y diagramas incluidos en estos son insuficientes. Es por eso que existen varios intentos de extender el análisis orientado a objetos con primitivas y operaciones que permitan considerar los elementos espaciales y temporales propios de los SIG, como sus operaciones

asociadas. También tienen en cuenta que la información georreferenciada se representa como *raster* o *vector*, cada una con sus propios comportamientos a tener en cuenta. Se han propuesto modelos conceptuales como GeoOOA para relaciones topológicas de redes y relaciones temporales (Kosters, Pagel y Six, 1995; Kosterl y Six, 1996), y se propone otra extensión que ha sido pensada específicamente en el almacenamiento de información en bases de datos (Gordillol y Balaguer, 1998). También en Camossi, Bertolotto, Bertino y Guerrini, (2003) es posible encontrar una extensión del modelo ODMG para entidades móviles y mapas temporales<sup>3</sup> así como para modelar distintos tipos de granularidades y sus respectivos operadores. GeoFrame es otro intento que extiende UML con atributos para el razonamiento temporal (Da Rocha, Edelweiss e lochpe, 2003). El siguiente es un ejemplo de extensión de dos atributos:

```
class ciudad{
    attr Temporal (días, int) poblacion;
    attr Temporal (decadas,Spatial) extension;
}
```

En donde se especifica la población como un número entero que se verifica en una escala diaria y la extensión de la ciudad como atributo espacial que cambia con una temporalidad medida en décadas.

### Lenguajes de especificación

El problema de la especificación para aplicaciones de *software* cobra mayores dimensiones al tener en cuenta aspectos geográficos con la complejidad de sus dimensiones espaciales y temporales. La ya mencionada heterogeneidad de los equipos de trabajo SIG de los usuarios de información provocan que sólo el lenguaje natural haya sido usado extensivamente para la especificación de aplicaciones SIG (Da Rocha, Edelweiss e lochpe, 2003). Por esta razón se requieren lenguajes más formales que permitan la especificación de las aplicaciones centradas en mapas (Da Rocha, Edelweiss e lochpe, 2003) enfrentando la ausencia de una terminología estandarizada y de herramientas para la especificación y prototipado de aplicaciones. Por esto los SIG son un campo de aplicación natural para los llamados métodos formales. Se destacan dos aproximaciones:

- Lenguajes de dominio específico: estos lenguajes<sup>4</sup> parten de la clasificación de los distintos espacios existentes en matemáticas y las operaciones sobre los mismos aprovechando su similitud con tipos de aplicaciones basadas en mapas. Así, la teoría de grafos, la geometría euclidiana y la teoría de conjuntos aportan conceptos para la especificación de aplicaciones. Por ejemplo, relaciones de pertenencia, solapamiento, etc., presentes en los datos espaciales, pueden especificarse usando notaciones de teoría de conjuntos.

<sup>3</sup> Los mapas temporales muestran la evolución en el tiempo de un fenómeno físico o antrópico en un territorio determinado.

<sup>4</sup> DSL: Domain Specific Language son sus siglas en inglés.

El proceso de ingeniería de requerimientos se verá apoyado como se muestra en la (Figura 10) pasando de la definición informal de requerimientos a una especificación formal de los mismos. En Da Rocha, Edelweiss e Iochpe (2003) se define un modelo de este tipo basado en una extensión de la notación Z. En Schneider y Weinrich (2004) se precisa un riguroso lenguaje (SPAL3D) que permite extender tipos de datos y operadores al campo de la información geográfica tridimensional. El problema de la interoperabilidad es abordado por Interlis (Keller, 1999), un lenguaje de descripción de geodatos pensado para la interacción de SIG federativos. En Chrtien, Vimont, Larue, Legoff y Paste (1994) se describe un lenguaje gráfico que incluye un lenguaje de consulta extendido de SQL (GQL) que puede ser usado para crear prototipos rápidamente.

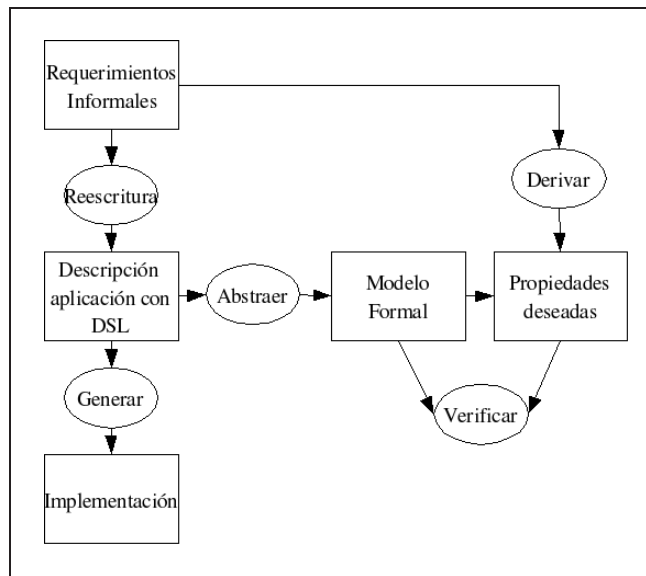


Figura 10. Apoyo de los DSL a la ingeniería de requerimientos en SIG

- Lenguajes funcionales: el rápido prototipado, la facilidad de entendimiento y la inclusión de la semántica de la información (y no solo su descripción) son criterios que apuntan a la selección de un lenguaje funcional para la especificación de aplicaciones SIG. Un lenguaje funcional permite ahorrarse definiciones de tipos y sintaxis engorrosos, por lo cual son más entendibles por un público no especializado. La capacidad de definir bloques funcionales permite especificar los objetos espaciales, sus características espacio-temporales, así como verificar directamente la correcta jerarquización de los elementos entre sí (qué elementos se unen para conformar otros) y el comportamiento de las operaciones definidas. En Frank y Kunh (1995) se discute el uso del lenguaje Gofor para este propósito, así como en Car y Frank (1995) se presenta una formalización de los modelos conceptuales para SIG con miras a una especificación funcional.

### Estándares geomáticos

Aunque los SIG se han caracterizado por su heterogeneidad, cada vez se vienen consolidando más los estándares geomá-

ticos gracias a los esfuerzos de comités conformados por la industria, la academia y el sector público. Una metodología como la que se busca proponer debe tener en cuenta dichos estándares desde el inicio en las labores de la ingeniería de requerimientos, para así garantizar que serán tenidos en cuenta en el resto del ciclo de vida del sistema.

### Componentes de los estándares para datos geográficos

La siguiente clasificación pone de manifiesto la importancia de los estándares en la construcción de aplicaciones SIG, dada su creciente naturaleza distribuida (Load y Yeung, 2002):

- Estándares para productos de datos: estos se preocupan por definir la estructura de las capas espaciales de modo que se provea un marco de trabajo común en el cual almacenar la información recopilada con el propósito de construir aplicaciones en SIG.
- Estándares para transferencia de datos: como su nombre lo indica, estos estándares surgen para facilitar el intercambio de datos entre aplicaciones principalmente propietarias; sin embargo, dado el auge de Internet y de las arquitecturas de sistemas por capas, tales estándares proponen marcos de referencia comunes para todo un conjunto de aplicaciones y no solamente traductores entre parejas de formatos.
- Estándares para calidad de datos: son documentos que listan los requerimientos de calidad de datos para aplicaciones específicas o para escalas específicas, por lo cual dependen del propósito de la aplicación y de las temáticas que se estén modelando.
- Estándares para metadatos: presentan una descripción detallada de distintas características asociadas a los datos, como quién, cómo y cuándo se produjo la información. Son de vital importancia para el establecimiento de redes de distribución de datos en donde es necesario catalogar la información con precisión.

### Open GeoSpatial Consortium

El Open GIS Consortium (OGIS) es un consorcio formado por industria, academia y agencias gubernamentales que intenta construir especificaciones que vayan más allá de la simple normalización de los datos, procurando emitir todo un conjunto de recomendaciones que engloben la parte conceptual y técnica requerida para la puesta en marcha de aplicaciones SIG (Load y Yeung, 2002). Por ello propone varios marcos de trabajo que se encargan de temáticas específicas en este dominio (OGC, 2003):

- Marco de trabajo de información: asume la perspectiva de la información preocupándose por su estructura componentes espacio-temporales y metadatos (OGC, 2005); (OGC, 2001); (OGC, 1999).
- Marco de trabajo de servicios: toma la perspectiva sobre los componentes de un SIG y los servicios, interfaces y operaciones que debe ofrecer cada uno.



- Arquitectura multirred multicapa: desde el punto de vista de la ingeniería se relacionan arquitectónicamente los componentes propuestos (OGC, 1999).
- Implementación multiplataforma: basándose en la tecnología disponible (Webservices, XML), presenta recomendaciones para implementar los marcos de trabajo descritos (OGC, 2003); (OGC, 2003); (OGC, 2005).

### Iniciativa ICDE

El ICDE<sup>5</sup> es una iniciativa nacional basada en el trabajo realizado por el Comité Federal de Datos Geográficos (FGDC) en la definición e implantación del concepto de la infraestructura nacional de datos espaciales (NSDI) en Estados Unidos. Se ha venido configurando con esfuerzos interinstitucionales concertados, atendiendo las siguientes prioridades (IGAC, 1999):

- Generar e implantar políticas básicas sobre la información geográfica alrededor de su papel en el desarrollo social y económico de la nación.
- Crear datos geográficos con cobertura nacional, con especificaciones claras, de fácil integración para su uso en los procesos de toma de decisiones, de manera coordinada y teniendo en cuenta las prioridades nacionales y las necesidades de los usuarios.
- Documentar los datos geográficos a través de estándares que permitan, de manera unificada, obtener información acerca del estado de la calidad y el origen de los datos existentes.
- Identificar y desarrollar servicios de información geográfica a través de mecanismos que faciliten a los usuarios su acceso y uso.

El valor de esta iniciativa para la ingeniería de requerimientos en aplicaciones SIG radica en presentar los lineamientos a seguir en materia de metadatos de la información.

### Conclusiones

Los sistemas de información geográfica (SIG) son cada vez de mayor importancia considerando que en la actualidad más del 80% de los datos existentes en el mundo son georreferenciados o tienen asociado algún tipo de espacialización (Camossi, Bertolotto, Bertino y Guerrini, 2003). Específicamente, la ingeniería de requerimientos es fundamental para la difusión de este tipo de sistemas, que son necesarios para la democratización de la información y para hacer partícipe a la misma comunidad, incrementando su nivel de conocimiento sobre el espacio que los rodea. Sin embargo, la falta de bagaje tecnológico, no solo de los usuarios sino de los mismos diseñadores de estos sistemas, y el hecho de que los procesos de ingeniería de requerimientos existentes no aborden el problema de manera integral, hace necesario estudiar sus procesos con miras a satisfacer las necesidades de las aplicaciones SIG que incluyen apoyo a la dimensión

espacio-temporal, granularidad (escala) de la información, interoperabilidad, calidad de la misma y comportamiento de los operadores que la afectan. Por ello, la descripción de las herramientas metodológicas existentes permite apreciar cómo se han afrontado las falencias en los procesos de requerimientos para este dominio específico mediante el uso de lenguajes de modelamiento y especificación y al apoyo en estándares con miras a conformar una metodología integral en IR para aplicaciones SIG que cubra las necesidades presentadas. Dicha metodología traería como consecuencia la mayor difusión de este tipo de aplicaciones de manejo de información espacial, que cada vez son más necesarias en el panorama actual.

### Bibliografía

Aime A., Bonfatti, F., and Monari, P.D., Making gis closer to end users of urban environment data., GIS '99: Proceedings of the 7th ACM international symposium on Advances in geographic information systems, New York, NY, USA, ACM Press, 1999, pp. 122-127.

Camossi, E., Bertolotto, M., Bertino, E. and Guerrini, G., A., Multigranular spatiotemporal data model., GIS '03: Proceedings of the 11th ACM international symposium on Advances in geographic information systems, New York, NY, USA, ACM Press, 2003, pp. 94-101.

Car, A. and Frank, A.U., Formalization of conceptual models for gis using gofer., Computers, Environment and Urban Systems, Vol. 19, March-April, 1995, pp. 89-98.

Christensen, A.F., Tryfona, N., and Jensen, C.S. Requirements and research issues in geographic data modeling., GIS '01: Proceedings of the 9th ACM international symposium on Advances in geographic information systems, 2001.

Chrtien, D., Vimont, Y., Larue, T., Legoff, R. and Pastre, D., The geosabrina design: the way to build a gis above a spatial data server., SAC '94: Proceedings of the 1994 ACM symposium on Applied computing, New York, NY, USA, ACM Press, 1994, pp., 328-332.

Clarke, K.C., Parks, B.O. and Crane, M.P., Geographic Information Systems and environmental modeling., Prentice Hall, Indian edition ed., 2002.

Da Rocha, R.V., Edelweiss, N. and Lochpe, C., Geoframe-t: a temporal conceptual framework for data modeling., GIS '01: Proceedings of the 9th ACM international symposium on Advances in geographic information systems, New York, NY, USA, ACM Press, 2001, pp. 124-129.

Frank, A.U. and Kuhn, W., Specifying open GIS with functional languages., Department of Geoinformation, Technical University Viena, 1995.

Gordillo, S. and Balaguer, F., Refining an object-oriented gis design model: topologies and field data., GIS '98: Proceedings of the 6th ACM international symposium on Advances in geographic information systems, New York, NY, USA, ACM Press, 1998, pp. 76-81.

IGAC, Conceptos básicos sobre Sistemas de Información Geográfica y aplicaciones en latinoamerica., Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC, 1995.

<sup>5</sup> Infraestructura colombiana de datos espaciales.



IGAC, Infraestructura colombiana de datos espaciales ICDE, conceptos y lineamientos., reporte técnico, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 1999.

Keller, S.F., Modeling and sharing geographic data with interlis., *Computers & Geosciences*, Vol. 25, , February, 1999, pp. 49-59.

Kosters, G., Pagel, B.U. and Six, H.W., Object-oriented requirements engineering for GIS applications., *ACM-GIS*, 1995, pp. 61-65.

Kosters, G. and Six, H.W., GeoOOA: Object-oriented analysis for GIS-applications., reporte técnico., March 28, 1996.

Leffingwell, D. and Widrig, D., Managing software requirements., A use case approach, Addison-Wesley, 2003.

Load, C.P. and Yeung, A.K.W., Concepts and techniques of Geographic Information Systems, Prentice-Hall, 2002.

Nelson, M.A.V., Alencar, P.S.C. and Cowan, D.D., An approach to formal specification and verification of map-centered applications., *Environmental Modelling & Software*, Vol. 16, July, 2001, pp. 459-465.

O. G. C. Inc, OGC reference model., reporte técnico., Open GeoSpatial Consortium Inc, 2003.

OGC., Opengis location services (openls): Core services (parts 1-5) (ols core)., 2005.

OGC., Coordinate transformation services (ct)., 2001.

OGC., Simple features - sql (sfs), 1999.

OGC., Simple features - corba (sfc), 1999.

OGC., Geography markup language (gml3.0), 2003.

OGC., Web coverage service (wcs), 2003.

OGC., Web feature service (wfs), 2005.

Presuman, R.S., Ingeniería de Software, un enfoque práctico., 5 Edición, McGraw-Hill, 2002.

Shekhar, S., Coyle, M., Goyal, B., Liu, D.R. and Sarkar, S. Data models in geographic information systems., *Communications of the ACM*, Vol. 40, No. 4, 1997, pp. 103-111.

Schneider, M. and Weinrich, B.E., An abstract model of three- dimensional spatial data types., *GIS '04: Proceedings of the 12th annual ACM international workshop on Geographic information systems*, New York, NY, USA, ACM Press, 2004, pp. 67-72.

Sommerville, I., Ingeniería de Software., Addison Wesley, 2002.

Teo, J.M., Tecnología de los Sistemas de información Geográfica., RAMA, 1995.

Traynor, C. and Williams, M.G., Why are geographic information systems hard to use?., *CHI '95: Conference companion on Human factors in computing systems*, New York, NY, USA, ,ACM Press, 1995,pp. 288-289.

Weitzenfeld, A., Ingeniería de software orientada a objetos con UML., Java e Internet, Thomsos Publishing, 2004.