



Universidad de las Ciencias
Informáticas
Facultad 6
Centro de Desarrollo GEYSED
Departamento de Práctica Profesional

PROPUESTA DE COMPONENTES INTEROPERABLES PARA FUNCIONALIDADES DE ANÁLISIS Y CONFIGURACIÓN EN APLICACIONES SIG WEB

TRABAJO FINAL PRESENTADO EN OPCIÓN AL TÍTULO DE
MÁSTER EN INFORMÁTICA APLICADA

Autor: Ing. Lidisy Hernández Montero

Tutor: DrC. Yeleny Zulueta Véliz
Co-Tutor: MSc. Romanuel Ramón Antunez

La Habana, 11 de Septiembre de 2015

DEDICATORIA

*A mi príncipe bello Pablo Javier
A mi esposo Romanuel
A mis padres Carlos y Lely
A mi hermana Liset*

AGRADECIMIENTOS

A mi machupichu, mi nené, por su incansable apoyo, por sus regaños y exigencias, por ser mi sostén siempre, te amo.

A mis padres, por ser mi ejemplo, mi impulso diario para lograr mis metas que son tuyas, los quiero.

A mi tatica, mi confidente, te quiero un montón.

A mi vida loca (PJ) -como me dice en medio de regaños-, te agradezco mis mayores alegrías, mis desvelos, la dicha de tenerte es infinita.

A los profes Trujillo y Yeleny por su impulso y ayuda.

A todos los profes y amistades que me ayudaron en este largo proceso.

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA

Declaro por este medio que yo Lidisy Hernández Montero, con carné de identidad 85062314016, soy la autora del trabajo final de maestría PROPUESTA DE COMPONENTES INTEROPERABLES PARA FUNCIONALIDADES DE ANÁLISIS Y CONFIGURACIÓN EN APLICACIONES SIG WEB, desarrollada como parte de la Maestría en Informática Aplicada y que autorizo a la Universidad de las Ciencias Informáticas a hacer uso de la misma en su beneficio, así como los derechos patrimoniales con carácter exclusivo.

Este trabajo fue desarrollado en el seno del proyecto GeneSIG y todos sus integrantes me reconocen la autoría del resultado expuesto.

Finalmente declaro que todo lo anteriormente expuesto se ajusta a la verdad, y asumo total responsabilidad moral y jurídica que se derive de este juramento profesional.

Y para que así conste, firmo la presente declaración jurada de autoría en La Habana a los ____ días del mes de _____ del año_____.

Nombre y Firma del maestrante

RESUMEN

La introducción de los crecientes avances tecnológicos en las comunicaciones, el desarrollo de poderosos medios de cómputo y en especial, la salida al mercado de potentes software para el almacenamiento, análisis y representación de información geográfica (IG), posibilitan hoy el modelado en un entorno digital de prácticamente cualquier fenómeno con capacidad de ser referido espacialmente.

Gran parte de la información manejada a nivel empresarial y gubernamental en el mundo presenta una estrecha relación con datos espaciales. Por tal motivo la toma de decisiones y la precisión de estas están condicionadas, en gran medida, por la calidad, exactitud y actualización de este tipo de datos.

Desde las décadas de los 80 y 90 en nuestro país se comienza el trabajo de desarrollos de Sistemas de Información Geográfica (SIG) de factura nacional, como fueron el SIGC y TELEMAT. En años recientes los esfuerzos han estado enfocados principalmente en el desarrollo de aplicaciones SIG web, así como en la implementación de la Infraestructura de Datos Espaciales de la República de Cuba (IDERC), combinando los esfuerzos de varias empresas, centros de investigaciones y universidades en general.

A pesar de los esfuerzos realizados y los avances obtenidos por diversas instituciones en el desarrollo de esta clase de aplicaciones, las tecnologías asociadas a los SIG que proliferan en el país proceden de distintos proveedores -empresas privadas en su mayoría- que crean una dependencia tecnológica insostenible en el tiempo.

En el ámbito de los SIG en la nube existen en la actualidad varios proveedores a nivel internacional de acceso gratuito o *freemium*, pero cada uno tiene asociado restricciones importantes, principalmente relacionadas con la gama de funcionalidades de análisis que proveen o limitaciones en la cantidad de mapas que se pueden gestionar.

Por tal motivo en el presente trabajo se desarrolla como propuesta un conjunto de componentes interoperables para realizar funcionalidades de análisis y configuración en aplicaciones SIG web, los que permitirán la implementación computacional de un modelo general de gestión de información geoespacial, denominado Plataforma GeneSIG; que permita dar soporte a la IDERC y de forma general a la construcción de aplicaciones de geo-procesamiento en la nube de factura nacional.

Palabras Clave: Análisis y Representación Geoespacial, Componentes, SIG en la nube.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
Antecedentes	2
Estructura del documento	4
Capítulo 1: Preliminares	5
1.1. Introducción.....	5
1.2. Cartografía Temática.....	5
1.2.1. Componentes de un Mapa Temático	5
1.2.2. Representación y Análisis de los Datos Temáticos	6
1.2.3. Tipos de Mapas.....	6
1.3. Cartografía y Geodesia	6
1.3.1. Superficie de Referencia.....	7
1.3.2. Proyecciones Cartográficas	7
1.3.3. Sistemas de Coordenadas.....	8
1.4. Análisis Geométricos en SIG	8
1.5. Áreas o Zonas de Influencia.....	8
1.5.1. Zonas de Influencia de Datos Puntuales	9
1.5.2. Zonas de Influencia de Datos Lineales	9
1.5.3. Zonas de Influencia de Datos Poligonales.....	12
1.6. Sistemas de Información Geográfica. Evolución Hacia la Nube	12
1.6.1. Computación en la Nube.....	13
1.6.2. SIG en la Nube.....	13
1.6.3. Panorama Actual de Proveedores <i>GIS Cloud</i>	14
1.7. Estandarización en SIG.....	16
1.7.1. Open Geospatial Consortium (OGC)	17
1.8. Conclusiones Parciales	18
Capítulo 2: Especificación y Construcción de los Componentes	19
2.1. Introducción.....	19
2.2. Arquitectura de Referencia.....	19
2.3. Diseño Genérico de los Componentes.....	20
2.4. Construcción y Especificación del Componente para la Creación de Mapas Temáticos.....	21
2.4.1. Operación <i>GetThematicCapabilities</i>	21
2.4.2. Operación <i>ThematicMap</i>	23
2.4.3. Utilización del Componente	25
2.4.4. Funcionamiento e Interoperabilidad.....	25
2.5. Construcción y Especificación del Componente de Configuración del Mapa	25
2.5.1. Operación <i>GetMapConfigCapabilities</i>	25
2.5.2. Operación <i>ConfigMap</i>	27

III

2.5.3.	Operación <i>ChangeSRS</i>	27
2.5.4.	Utilización del Componente	28
2.5.5.	Funcionamiento e Interoperabilidad.....	28
2.6.	Construcción y Especificación del Componente para Generar <i>Buffers</i>	28
2.6.1.	Operación <i>GetBuffersCapabilities</i>	28
2.6.2.	Operación <i>BuffersVectorial</i>	30
2.6.3.	Utilización del Componente	31
2.6.4.	Funcionamiento e Interoperabilidad.....	31
2.7.	Conclusiones Parciales	32
Capítulo 3: Validación y Aplicación.....		33
3.1	Introducción.....	33
3.2	Método Seleccionado.....	33
3.3	Aplicación del Criterio de Expertos	33
3.4	Resultados Arrojados del Método Delphi	34
3.5	Impacto.....	35
3.5.1.	Científico-Tecnológico.....	35
3.5.2.	Económico	36
3.6.	Aplicación	36
3.7.	Conclusiones Parciales	36
Conclusiones		37
Recomendaciones		38
Bibliografía.....		39
Anexos.....		41
Anexo 1. Cuestionario a Expertos.....		41
Anexo 2 Tablas del Método de Experto		43

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1. Vista abstracta de un modelo para la gestión de información geoespacial.....	1
Figura 2. Operaciones de Intersección y Disolución	9
Figura 3. Cálculo de ΔX y ΔY	9
Figura 4. Resultado de las Ecuaciones 1 y 2	10
Figura 5. Análisis completo de las líneas del <i>buffer</i>	10
Figura 6. Método de truncamiento.....	11
Figura 7. Método de adelgazamiento	11
Figura 8. Método de envolvente	11
Figura 9. <i>Buffer</i> exterior e interior de un polígono	12
Figura 10. Modelos de Servicios de Computación en la nube	13
Figura 11. Modelo de servicios SIG en la nube.....	14
Figura 12. Propuesta de arquitectura de referencia para SIG en la nube. Vista abstracta.....	19
Figura 13. Representación de alto nivel de arquitectura de referencia para SIG en la nube.....	20
Figura 14. Diseño genérico de los componentes	21
Figura 15. <i>GetThematicCapabilities</i> Documento XML.....	22
Figura 16. <i>GetConfigMapCapabilities</i> Documento XML	26
Figura 17. <i>GetBuffersCapabilities</i> Documento XML	29

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1. Parámetros de la operación <i>GetThematicCapabilities</i>	21
Tabla 2. Parámetros de la operación <i>ThematicMap</i>	23
Tabla 3. Parámetros de la operación <i>GetMapConfig</i>	26
Tabla 4. Parámetros de la operación <i>ConfigMap</i>	27
Tabla 5. Parámetros de la operación <i>ChangeSRS</i>	27
Tabla 6. Parámetros de la operación <i>GetBuffersCapabilities</i>	29
Tabla 7. Parámetros de la operación <i>BuffersVectorial</i>	30
Tabla 8. Nivel de competencia de los expertos	34
Tabla 9. Cálculo del coeficiente de conocimiento para los expertos	43
Tabla 10. Matriz de coeficientes de argumentación por experto	43
Tabla 11. Matriz del criterio de experto por indicador.....	44

INTRODUCCIÓN

La introducción de los crecientes avances tecnológicos en las comunicaciones, el desarrollo de poderosos medios de cómputo y en especial, la salida al mercado de potentes software para el almacenamiento, análisis y representación de información geográfica (IG), posibilitan hoy el modelado en un entorno digital de prácticamente cualquier fenómeno con capacidad de ser referido espacialmente.

Gran parte de la información manejada a nivel empresarial y gubernamental en el mundo presenta una estrecha relación con datos espaciales. Por tal motivo la toma de decisiones y la precisión de estas están condicionadas, en gran medida, por la calidad, exactitud y actualización de este tipo de datos. La situación actual es entonces favorable para el desarrollo de herramientas que permitan la utilización de toda esa información a la vez que se consideren los datos relativos a su posición en el espacio.

Esto es así y no solo porque se trabaje con grandes volúmenes de información referenciada geográficamente, sino porque se es consciente de la importancia que esta información geoespacial tiene, lo que se evidencia en el amplio dominio de aplicación de esta clase de soluciones, figura 1.

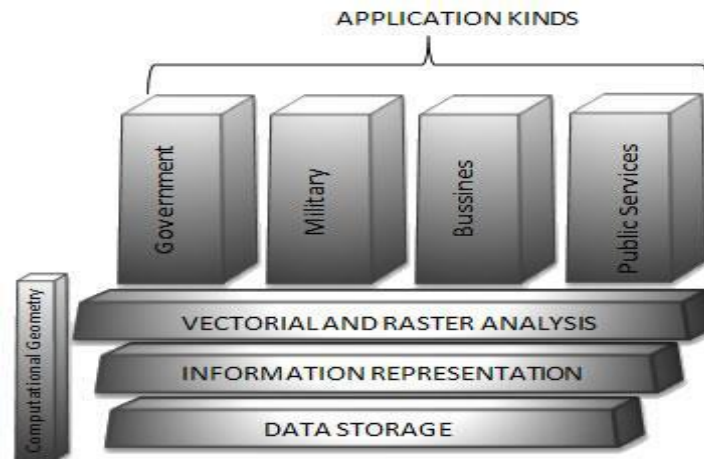


Figura 1. Vista abstracta de un modelo para la gestión de información geoespacial

Si bien se tienen varias definiciones de Sistemas de Información Geográfica (SIG) (1), en su mayoría coinciden en que son aplicaciones utilizadas por usuarios para gestionar, analizar y desplegar información geográficamente referenciada (2).

Los SIG pueden tener sus bases de datos distribuidas en distintos servidores y acceder a ellas mediante redes de comunicación. Esto permite el acceso a la información remota existente, pero para poder mezclar la información que proviene de cada servidor, esta debe tener ciertas características que permitan la interoperabilidad. Por ejemplo: que los archivos sean compatibles o que cumplan estándares comunes.

Sin embargo, aunque un SIG pueda obtener la IG de sus servidores dispersos, para poder compartir toda la IG disponible sobre un territorio, hace falta que existan acuerdos entre los propietarios de esa información para que pueda ser compartida y programas capaces de mostrarla. Aquí es donde intervienen las Infraestructura de Datos Espaciales (IDE). Como indica (3), una IDE incluye, además de los datos y atributos geográficos, documentación suficiente (metadatos), un medio para descubrir, visualizar y valorar los datos (catálogos y cartografía en red) y algún medio para proporcionar acceso a los datos geográficos (generalmente Internet).

De forma general los proyectos de IDE se habían limitado a ofrecer la IG mediante visores de mapas y/o descarga de esa información (4). Por otro lado, el número de usuarios que requieren interactuar con esta información va en aumento por lo que el solo visualizar la información es insuficiente. Lo que ha permitido la evolución hacia los geo-procesos en la nube, con mayor o menor nivel de complejidad, pero capaces de ejecutarse sin la clásica y pesada aplicación de escritorio.

Antecedentes

Desde las décadas de los 80 y 90 en nuestro país se comienza el trabajo de desarrollos de SIG de factura nacional, como fueron el SIGC y TELEMAT (5). En años recientes los esfuerzos han estado enfocados principalmente en el desarrollo de aplicaciones SIG web, así como en la implementación de la Infraestructura de Datos Espaciales de la República de Cuba (IDERC) (6), combinando los esfuerzos de varias empresas, centros de investigaciones y universidades en general.

A pesar de los esfuerzos realizados y los avances obtenidos por diversas instituciones en el desarrollo de esta clase de aplicaciones, las tecnologías asociadas a los SIG que proliferan en el país proceden de distintos proveedores -empresas privadas en su mayoría- que nos crean una dependencia tecnológica insostenible en el tiempo.

En el ámbito de los SIG en la nube existen en la actualidad varios proveedores a nivel internacional de acceso gratuito o *freemium* como GeoCommons, IkiMaps, CartoDB, ScribbleMap o Umapper. Cada una tiene asociada restricciones importantes, principalmente relacionadas con la gama de funcionalidades de análisis que proveen o limitaciones en la cantidad de mapas que se pueden gestionar.

Por estas razones, el diseño e implantación de soluciones integrales basadas en alternativas de código abierto representa un reto actual para los profesionales de la rama en Cuba; por el impacto que tienen estas tecnologías en los procesos de toma de decisiones en organismos cuyo campo de actuación reviste vital importancia para nuestra sociedad.

Tomando en consideración los elementos expuestos, supone plantearse como **problema:**

La diversidad de tecnologías y proveedores SIG que proliferan en el país -empresas privadas en su mayoría- y las limitaciones y/o restricciones existentes en los proveedores de SIG en la nube de acceso libre, están dificultando la implementación computacional de un modelo general de gestión geoespacial basado en estándares internacionales de interoperabilidad, que constituya la base para el desarrollo de aplicaciones SIG web -en la nube- a la medida, bajo el principio de independencia tecnológica.

El **objeto de estudio** lo constituye por tanto, las técnicas de análisis y representación geoespacial. Y de forma específica los componentes y/o herramientas para análisis y representación geoespacial en aplicaciones SIG web, constituyendo este último el **campo de acción** de la investigación.

Para orientar la labor investigativa, el problema formulado con anterioridad se desglosa en las siguientes interrogantes científicas:

- ¿Cómo representar gráficamente datos estadísticos sobre una base cartográfica dada?

- ¿Cómo gestionar los elementos de configuración del mapa para facilitar la aplicación de algoritmos para análisis geométricos en SIG para diferentes niveles de usuarios?
- ¿Cómo determinar las zonas de influencia de algún fenómeno conocida su distribución espacial?

Con el propósito de darle una solución efectiva al problema se plantea como **objetivo general**: desarrollar bajo el principio de independencia tecnológica un conjunto de componentes para funcionalidades de análisis y configuración basados en estándares OpenGIS¹.

Para alcanzar el objetivo general planteado se definen las siguientes tareas de investigación:

- 1- Definición de los diferentes tipos de mapas temáticos, tipos de datos usados y técnicas de representación.
- 2- Especificación de un componente basado en servicios interoperables para la generación de mapas temáticos.
- 3- Análisis de propuestas de algoritmos geométricos en SIG para diferentes niveles de usuarios.
- 4- Especificación de un componente basado en servicios interoperables que permita la configuración del sistema para una mejor experiencia de usuarios al trabajar con análisis geométricos.
- 5- Caracterizar los algoritmos y procedimientos para determinar zonas de influencias.
- 6- Especificación de un componente basado en servicios interoperables para la generación de zonas de influencias.
- 7- Desarrollo de los componentes especificados anteriormente.
- 8- Validación de la propuesta de componentes desarrollados.

Para dar cumplimiento al objetivo propuesto y brindar respuesta a las preguntas de investigación, se han combinado diferentes métodos y procedimientos teóricos y empíricos de la investigación científica, en la búsqueda y procesamiento de la información. Los fundamentales son:

Métodos teóricos: El método hipotético-deductivo para proponer líneas de trabajo a partir de resultados parciales obtenidos durante el proceso de investigación; el método sistémico para el desarrollo de las herramientas de software, y lograr que los elementos que conforman las mismas constituyan un todo que funcione de manera armónica; el método histórico-lógico y el dialéctico para el estudio crítico de los trabajos anteriores que constituyen referentes teórico-prácticos en el tratamiento del problema planteado, y tomarlos como base de comparación con los resultados alcanzados. El método analítico-sintético al descomponer el problema de investigación en elementos por separado y profundizar en el estudio de cada uno de ellos, para luego sintetizarlos en la solución de la propuesta; el método inducción-deducción como vía de la constatación teórica durante el desarrollo de la tesis.

Métodos empíricos: Análisis documental en la revisión de la literatura especializada para consultar la información necesaria en el proceso de investigación. El método coloquial para la presentación y discusión de los resultados en talleres, eventos y sesiones científicas en general; además de la entrevista para comprobar la utilidad y corrección de los resultados obtenidos.

¹ Open Geospatial Consortium

La contribución principal de este trabajo es el desarrollo de un conjunto de componentes interoperables para realizar funcionalidades de análisis y configuración en aplicaciones SIG web, los que permitirán la implementación computacional de un modelo general de gestión de información geoespacial, denominado Plataforma GeneSIG; que permita dar soporte a la IDERC y de forma general a la construcción de aplicaciones de geo-procesamiento en la nube de factura nacional.

Estructura del documento

El presente documento se encuentra dividido en tres capítulos. En el primero de ellos, Preliminares, se introducen algunos temas elementales sobre los mapas temáticos, se caracterizan los algoritmos para la generación de zonas de influencias, se analiza una propuesta de algoritmos para análisis geométricos SIG y se hace una breve introducción a la cartografía y geodesia. Continúa el capítulo con un análisis del estado actual del desarrollo de aplicaciones SIG web y la estandarización en los mismos. Finalizando con un conjunto de conclusiones parciales sobre los temas tratados.

El segundo capítulo se dedica a realizar la especificación y construcción de cada uno de los componentes propuestos. Presentándose inicialmente una arquitectura de referencia para el desarrollo de aplicaciones SIG web sobre la que se basará el diseño de los componentes propuestos. Se continúa con la especificación del componente para la creación de mapas temáticos, siguiendo con las especificaciones de los componentes para configuración del mapa y generación de zonas de influencias. Finalmente, se plantean un conjunto de conclusiones parciales arribadas hasta ese momento.

En el capítulo tres Validación y Aplicación, se describe la evaluación de la propuesta empleando el método de criterio de experto y sin intercambio directo. Además se responden a las preguntas de investigación formuladas en el trabajo mediante la aplicación de los componentes en el desarrollo de varias aplicaciones SIG.

Finalmente se plantean un conjunto de conclusiones generales a las que se arriban una vez concluido el trabajo, así como algunas recomendaciones y trabajos futuros.

1.1. Introducción

Con el objetivo de facilitar la comprensión del alcance de la investigación, en el presente capítulo se introducen una serie de temas fundamentales asociados al problema planteado. Se explica qué es la cartografía temática y algunos de los tipos de mapas temáticos. Se realiza una introducción a la geodesia y cartografía, definiéndose elementos fundamentales como superficie de referencia, proyecciones cartográficas y sistemas de coordenadas. Posteriormente se describen los diferentes enfoques para análisis geométricos en SIG y finalmente se presenta la evolución de los SIG hacia la nube, haciéndose un análisis de algunos de los principales proveedores de servicios *GIS Cloud* en la actualidad.

1.2. Cartografía Temática

Según la *International Cartographic Association*, un mapa se define como “la representación convencional gráfica de fenómenos concretos o abstractos, localizados en la Tierra o en cualquier parte del Universo”.

Estos se pueden clasificar según el tipo de formato en que son almacenados, según la escala de trabajo y según el propósito para el que han sido creados. Y dentro de esta última clasificación se encuentran los mapas temáticos.

El Instituto Geográfico Nacional de España, define que un mapa temático de propósito particular es aquel cuyo objetivo es localizar características o fenómenos particulares. El contenido puede abarcar diversos aspectos: desde información histórica, política o económica, hasta fenómenos naturales como el clima, la vegetación o la geología. De forma general sobre una base cartográfica simplificada, son representados fenómenos geográficos, tanto cualitativos como cuantitativos.

La cartografía temática recolecta y elabora datos primarios cualitativos y cuantitativos y los procesa con el fin de dar a conocer información de un tema o ciencia específicos (población, cobertura vegetal, catastro, aspectos culturales, aspectos económicos, entre otros) bajo una representación espacial a través de mapas gráficos, diagramas y perfiles. Por tal motivo se considera como un medio de expresión gráfica, cercano al hombre, que utiliza como soporte el fondo topográfico generado por la cartografía básica y con la ayuda de leyendas y convenciones, expresa mensajes de la ciencia temática para la cual ha sido diseñada. Resultando entonces de gran importancia debido a la facilidad que brindan para la representación de indicadores y análisis de datos (7).

1.2.1. Componentes de un Mapa Temático

Un mapa temático involucra dos componentes: la base geográfica o mapa base -por lo general un mapa topográfico- y el contenido temático.

Mapa base: Es una imagen más o menos sintética del territorio sobre el que se desea representar el contenido temático del mapa; es decir, proporciona información espacial para referenciar el fenómeno particular que tiene lugar en ese espacio geográfico. Este mapa debe adaptarse a la información que se desee representar sobre él y debe diseñarse teniendo en cuenta el contenido final del mapa (8).

Capa de contenido temático: Es la representación gráfica -sobre el área espacial en que ocurre- de un evento o característica en particular (8).

La lectura del mapa temático resultante de la integración entre el mapa base y la capa de contenido temático dependerá de la capacidad de integración intelectual y visual del lector.

1.2.2. Representación y Análisis de los Datos Temáticos

Antes de cartografiar los datos, se tienen que analizar sus características. Pues la información que se representa en los mapas temáticos, como se había mencionado anteriormente, proviene de datos cualitativos y/o cuantitativos.

Las relaciones entre los datos se pueden visualizar con distintas variables gráficas (diferencias en el color, la forma, el valor o el tamaño), que supondrían a los lectores de mapas una visualización y percepción de similitudes, jerarquías y cantidades. Las diferencias en tamaño, ya sean en símbolos puntuales, lineales o superficiales, se perciben como diferencias de cantidad.

Las diferencias en el matiz cromático o en la intensidad (como el tono más claro o más oscuro de un color) se perciben como una jerarquía, en la que los matices más oscuros representan cantidades relativas más elevadas, toda vez que los tonos más claros representan cantidades relativas más bajas.

1.2.3. Tipos de Mapas

Se distinguen diferentes tipos de mapas basándose en la representación gráfica de variables que utilizan y consecuentemente con las relaciones geográficas que permite percibir al usuario (9):

- **Mapas corocromáticos**, que muestran diferencias cualitativas usando diferencias de color.
- **Mapas de coropletas**, que muestran diferencias en cantidades relativas con diferencias de intensidad o matiz.
- **Mapas de símbolos proporcionales**, que muestran diferencias en las cantidades absolutas por medio de diferencias en el tamaño de los símbolos.
- **Mapas de isolíneas**, que presentan las diferencias en valores absolutos o relativos en una superficie percibida como continua.
- **Mapas de diagrama**, que utilizan diagramas, ya sea de puntos o superficies. Los gráficos circulares son un ejemplo.
- **Mapas de flujos**, que muestran la ruta, la dirección (y el tamaño) de los movimientos de transporte.
- **Mapas de puntos**, que representan la distribución de fenómenos discretos con símbolos puntuales, representando cada uno la misma cualidad.
- **Cartogramas**, son diagramas que muestran datos cuantitativos asociados a áreas, en los que las unidades de enumeración son proporcionales al dato representado.

1.3. Cartografía y Geodesia

La Tierra presenta una forma irregular denominada Geoide, al cual define (10) como figura irregular que trata de ajustarse a la forma de la tierra. El Geoide se puede definir como la superficie equipotencial definida por los mares en calma prolongados por debajo de los continentes (11).

Debido a las irregularidades del Geoide, plantea (12), se introducen ambigüedades en la localización de objetos en la superficie terrestre y por tanto en las mediciones. Es por tal motivo que se ha decidido utilizar una superficie de referencia abstracta que aproxime la forma del Geoide, pero sin sus irregularidades; esta figura se denomina esferoide/elipsoide.

1.3.1. Superficie de Referencia

Se han propuesto diversos esferoides/elipsoides de referencia, generalmente se conocen con el nombre de su creador. La razón de tener diferentes esferoides/elipsoides es que ninguno de ellos puede adaptarse completamente a todas las irregularidades del Geoide, aunque cada uno de ellos se adapta razonablemente bien a una zona concreta de la superficie terrestre.

Así cada elipsoide se define por (12):

1. Longitud de sus semiejes mayor (a) y menor (b) o,
2. Factor de achatamiento $f = (a-b)/a$. En donde a es el semieje mayor o ecuatorial y b el semieje menor o polar. El factor de achatamiento se expresa normalmente como $1/f$.

Para obtener una mejor aproximación de este modelo al Geoide es necesario anclar el esferoide/elipsoide a un punto fundamental del Geoide, en que el esferoide/elipsoide y el Geoide son tangentes (11).

Aparece entonces el *datum* que es el conjunto formado por los parámetros a y b del elipsoide, las coordenadas geográficas, latitud y longitud (Φ, λ), del punto fundamental y la dirección que define el Norte (13). Para un mismo elipsoide pueden utilizarse distintos puntos fundamentales, que darían lugar a distintos *datum* y a distintas coordenadas para un mismo punto.

En resumen, un *datum* establece la relación existente entre la superficie de referencia sobre la que se realizarán las mediciones (elipsoide) y la superficie real de la Tierra (geoide), por lo tanto establece una superficie de referencia permanente para la cartografía de un país o un continente.

Al utilizar material cartográfico se debe conocer que cada *datum* define un sistema de coordenadas planas y por lo tanto la posición de un determinado lugar en la superficie terrestre dependerá del *datum* que se utilice.

Una de las principales ventajas del esferoide/elipsoide es que puede ser modelado mediante ecuaciones matemáticas, y por ende su superficie puede ser representada en un plano en dos dimensiones (12).

1.3.2. Proyecciones Cartográficas

Al proceso de asignar una coordenada plana a cada punto de la superficie de la Tierra se le conoce como proyección. En (14) se plantea que una proyección es la correspondencia matemática biunívoca entre los puntos de una esfera o elipsoide y sus transformados en un plano. Es decir, una función f que a cada par de coordenadas geográficas (Φ, λ) le hace corresponder un par de coordenadas cartesianas (x, y).

Dado que no hay forma de eliminar los errores al trasladar una superficie curva a una superficie plana ninguna proyección es geoméricamente perfecta. Por tanto, cada

proyección es elaborada a partir de una figura geométrica con un propósito particular, y por ende, tiene sus propias virtudes y limitaciones (15).

1.3.3. Sistemas de Coordenadas

Los mapas y datos espaciales están relacionados con algún punto o zona de la superficie terrestre. Para georreferenciar estos lugares se utilizan los sistemas de coordenadas, los que constituyen un grupo de leyes matemáticas que permiten asignar coordenadas a dichos elementos. En la actualidad se utilizan diferentes tipos de sistemas de coordenadas, entre los cuales se distinguen dos: geográficas y en el plano (polar y cartesiano).

El sistema de coordenadas geográficas permite describir la posición de una ubicación geográfica en la Tierra utilizando mediciones esféricas de latitud y longitud (16). Estas son mediciones de los ángulos realizadas desde el centro del planeta hasta un punto en la superficie terrestre representada como un esferoide o elipsoide.

Los sistemas de coordenadas en el plano son utilizados para posicionar puntos de la superficie terrestre en la superficie plana del mapa en un espacio 2D, entre los cuales se tienen los de coordenadas cartesianas (X, Y) y los de coordenadas polares (acimut, distancia) (17).

1.4. Análisis Geométricos en SIG

Según (17) la mayor parte de los análisis espaciales realizados en los SIG hacen uso de cálculos geométricos sencillos, a partir de los cuales se construyen algoritmos más complejos.

Siguiendo esta línea en (11) se hace una evaluación de las diferentes tendencias para desarrollar estos algoritmos geométricos, presentándose inicialmente el enfoque según métricas euclidianas para el trabajo con coordenadas cartesianas, centrados en los cálculos de distancia en el plano, perímetro y área de polígonos.

Posteriormente se muestra un conjunto de algoritmos geodésicos formulados por (18) para trabajar en coordenadas geográficas, destinados principalmente a resolver los problemas directo e inverso de la geodesia (11).

Finalmente, se concluye con una propuesta de implementación genérica para algoritmos geométricos en SIG, independiente del sistema de coordenadas en que residan los datos. Proveyéndose las implementaciones correspondientes para el cálculo de distancia, acimut, perímetro y área de polígonos.

Esta propuesta genérica se basa principalmente en la propiedad de biyectividad de las proyecciones cartográficas y tiene en su concepción elementos de configuración que deben ser manejados en el sistema que lo implemente.

1.5. Áreas o Zonas de Influencia

En (17) se plantea que una de las transformaciones más importantes con capas vectoriales es la creación de zonas de influencia, también conocidas como *buffers*. Esta transformación puede llevarse a cabo con entidades de tipo punto, línea o polígono, y su resultado siempre es una nueva capa de polígonos. Las áreas cubiertas por estos polígonos reflejan las zonas de influencia de cada entidad, influencia que se considera la ejerce hasta una distancia dada.

Calcular un *buffer* de un punto es un procedimiento sumamente sencillo, ya que esta zona es simplemente un círculo centrado en el punto y como radio la distancia máxima de influencia; no sucede lo mismo con el caso de considerar líneas en lugar de puntos, la operación es conceptualmente similar, aunque el algoritmo es notablemente más complejo. Para una capa de polígonos, las zonas de influencia pueden establecerse no solo hacia el exterior, sino también hacia el interior de la geometría (17).

1.5.1. Zonas de Influencia de Datos Puntuales

El proceso solamente implica generar un polígono circular alrededor de cada punto con un radio igual al ancho del *buffer* (19). Existen dos métodos para asignar el ancho del *buffer*:

- El primer método utiliza una distancia fija de *buffer* para todos los puntos en una capa, esta distancia generalmente es proporcionada por el usuario.
- El segundo asigna a cada punto una distancia *buffer* individual basada en los atributos presentes en otra capa del sistema (pesos definidos). Los atributos de distancia se presentan en una tabla de atributos o tabla de búsqueda.

Si hay múltiples puntos en la capa a la que se le aplicará el *buffer*, entonces se deben verificar las sobre posiciones que se produzcan. Este proceso implica dos operaciones adicionales, intersección y disolución.

Se realiza la operación de intersección, para luego aplicarle la disolución, figura 2, la cual genera un cuerpo sólido con las líneas que forman el *buffer* (19).



Figura 2. Operaciones de Intersección y Disolución

1.5.2. Zonas de Influencia de Datos Lineales

Para el caso de los datos lineales se asigna a cada segmento de línea el ancho de *buffer* apropiado (fijo o por pesos), este *buffer* se denominará distancia *b* y cada segmento de línea es procesado individualmente, en donde cada uno tiene un nodo inicial (X_1, Y_1) y un nodo final (X_2, Y_2) (19).

A partir de estas coordenadas se calculan los valores ΔX y ΔY entre los dos extremos, figura 3.

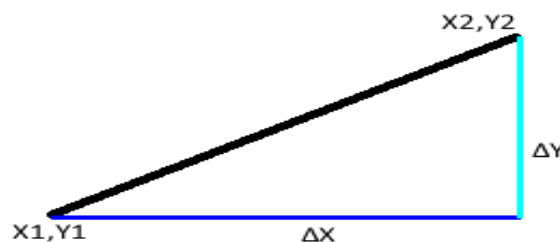


Figura 3. Cálculo de ΔX y ΔY

Los puntos finales a una distancia perpendicular b se pueden determinar a través de las siguientes ecuaciones:

$$(X_1, Y_1) = \begin{cases} X_1 \pm b \sin[\tan^{-1}(\Delta X/\Delta Y)] \\ Y_1 \pm b \cos[\tan^{-1}(\Delta X/\Delta Y)] \end{cases} \quad [1]$$

$$(X_2, Y_2) = \begin{cases} X_2 \pm b \sin[\tan^{-1}(\Delta X/\Delta Y)] \\ Y_2 \pm b \cos[\tan^{-1}(\Delta X/\Delta Y)] \end{cases} \quad [2]$$

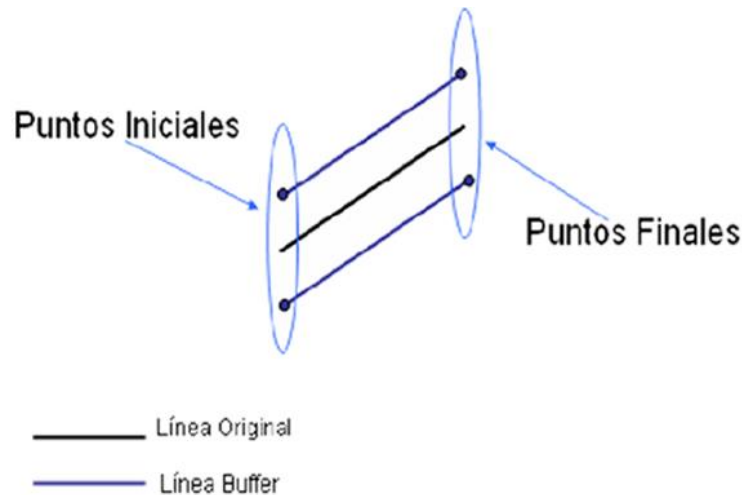


Figura 4. Resultado de las Ecuaciones 1 y 2

Una vez que las dos nuevas líneas paralelas de *buffer* han sido identificadas, el siguiente segmento de línea puede ser procesado (19).

Posteriormente que se han identificado las líneas de *buffer* paralelas para el siguiente segmento, las intersecciones de las líneas paralelas de *buffer* de cada segmento son calculadas y las nuevas coordenadas son asignadas a los vértices comunes. La prueba más sencilla para intersección de líneas puede ser utilizada en este punto. Estos pasos son repetidos hasta que el último segmento de línea haya sido procesado, figura 5.

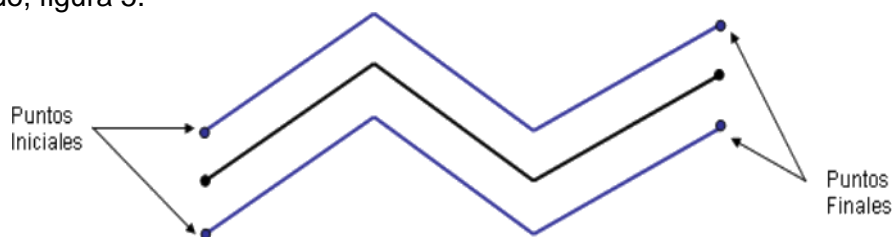


Figura 5. Análisis completo de las líneas del *buffer*

El último paso consiste en la definición de la forma de los extremos del área de influencia, que puede ser definida con diferentes variantes:

- Un sencillo truncamiento de los extremos finales de las líneas paralelas.
- Adelgazamiento en la finalización del *buffer* paralelo para encontrar los puntos finales.
- Envoltente, consiste en encerrar el punto de inicio y el punto final de la línea con un semicírculo o un *buffer* de radio b .

El método de truncamiento consiste en trazar una línea recta desde el punto final de la línea *buffer* hacia el punto final de la línea original, figura 6.

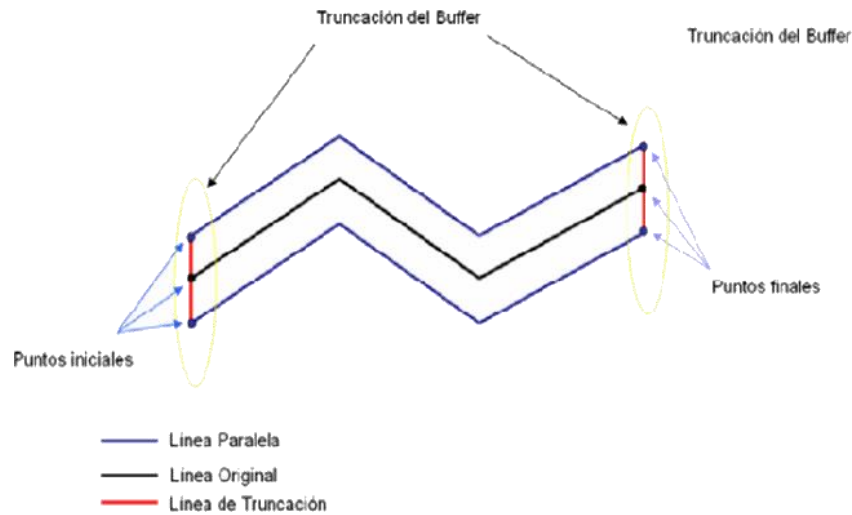


Figura 6. Método de truncamiento

El método de adelgazamiento consiste en realizar un decremento en la distancia *buffer* que existe entre las líneas paralelas y la línea original, hasta que la distancia *buffer* se vuelve cero para ambas paralelas, figura 7. Este método de terminación no es popular debido a que se debe establecer el grado de decremento para finalizarlo.

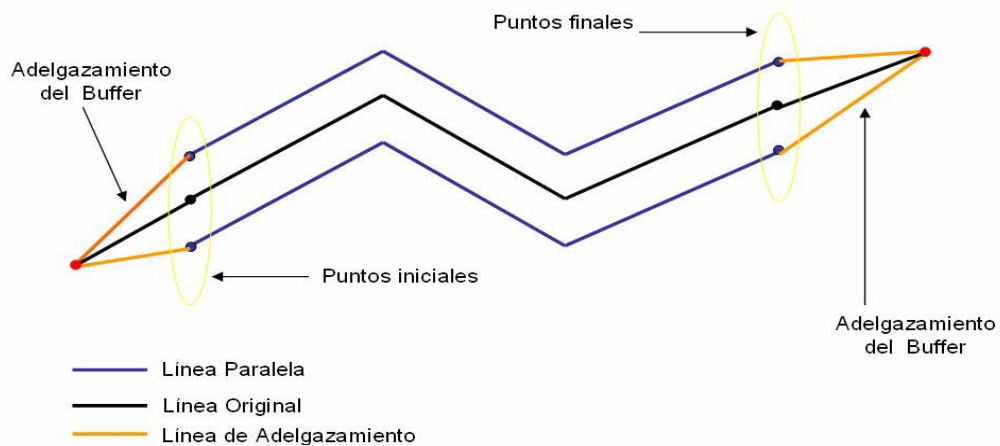


Figura 7. Método de adelgazamiento

El método de envoltura consiste en encerrar el punto de inicio y el punto final de la línea original con un semicírculo de radio *buffer* b , figura 8.

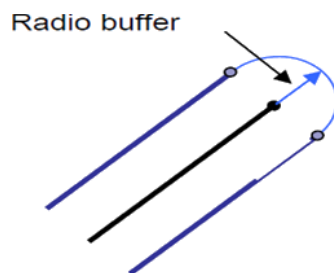


Figura 8. Método de envoltura

Concluida la determinación del *buffer*, se reordena la nueva línea de segmentos generada para construir un polígono cerrado.

1.5.3. Zonas de Influencia de Datos Poligonales

El método para polígonos utiliza el mismo proceso que el *buffer* para datos de tipo línea, la diferencia consiste en que el *buffer* del polígono es generado sobre un solo lado de la línea que define a la misma entidad espacial (polígono).

Esta área como se mencionó con anterioridad puede ser generada hacia el exterior o interior del polígono, figura 9.

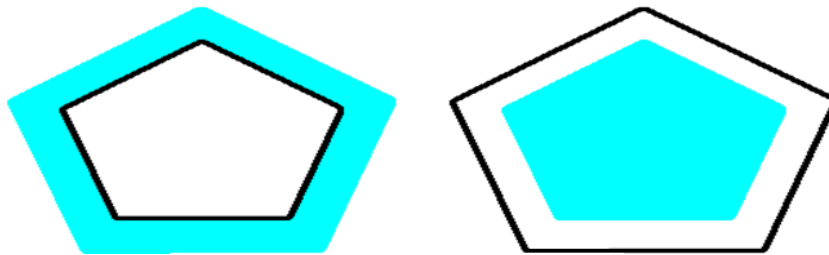


Figura 9. *Buffer* exterior e interior de un polígono

1.6. Sistemas de Información Geográfica. Evolución Hacia la Nube

Un SIG es un conjunto de software y hardware diseñado específicamente para la adquisición, análisis, interpretación, mantenimiento, presentación y uso de la información geográfica (20). En una vertiente similar, (21) lo define como un sistema de información diseñado para trabajar con datos referenciados mediante coordenadas espaciales o geográficas. En otras palabras, un SIG incluye tanto un sistema de base de datos con capacidades específicas para datos georreferenciados, como un conjunto de operaciones para trabajar con esos datos.

La realidad actual hace imprescindible incluir otras ideas al concepto de SIG, ya que no puede enmarcarse sólo como un conjunto de software y hardware, sino como una serie de elementos conectados (datos, tecnología, visualización, procesos, organización) donde cada uno desempeña una función particular, por lo que una definición más actualizada y precisa sería la propuesta por (22); que plantea que un SIG es un sistema que integra tecnología informática, personas e información geográfica, y cuya principal función es capturar, analizar, almacenar, editar y representar datos georreferenciados.

En resumen, puede afirmarse que un SIG integra los siguientes componentes:

- **Datos:** Materia prima necesaria para el trabajo en un SIG, contienen la información geográfica vital para la propia existencia de esta tecnología.
- **Procedimientos:** Conjunto de formulaciones y metodologías a aplicar sobre los datos.
- **Software:** Es necesaria una aplicación informática que pueda trabajar con los datos e implemente los procedimientos.
- **Hardware:** El equipamiento técnico necesario para ejecutar el software.
- **Personas:** Son las encargadas de diseñar y utilizar el software, siendo el motor principal del producto SIG.

De ahí que en los proyectos de SIG se requiere de fuertes inversiones en infraestructura y mantenimiento de los mismos, haciendo que estos proyectos sean complejos de dirigir; además, a esto en la actualidad se le suma que una de las condicionantes principales de estos tipos de proyectos es la disponibilidad y accesibilidad a la IG de forma que no se obstaculice, sino más bien, se faciliten y agilicen los procesos de análisis y toma de decisiones.

Poner a disposición, consultar y compartir información geográfica desde cualquier dispositivo y en tiempo real, sin importar el lugar ni el tipo de datos, se consolida como la última tendencia en tecnología geoespacial, también conocida como SIG en la nube o SIG web.

1.6.1. Computación en la Nube

La computación en la nube o *cloud computing* según NIST (23), es un modelo que permite un acceso conveniente y bajo demanda a un conjunto de recursos informáticos configurables (por ejemplo, redes, servidores, almacenamiento, aplicaciones y servicios). Que pueden ser rápidamente aprovisionados y liberados con un esfuerzo mínimo de gestión o interacción con el proveedor de servicios.

Desde este punto de vista, cualquier tipo de computación que puede ofrecer un sistema, pasa a considerarse un servicio que cualquier usuario puede utilizar, sin tener conocimiento de cómo gestionar los recursos que utiliza.

Este paradigma se define por cinco características esenciales: autoservicio bajo demanda, amplio acceso a la red, localización de recursos puestos en común independiente de su localización, rápida elasticidad y pago por uso. Y por 3 modelos de entrega de servicios: IaaS, PaaS y SaaS, figura 10 (24).

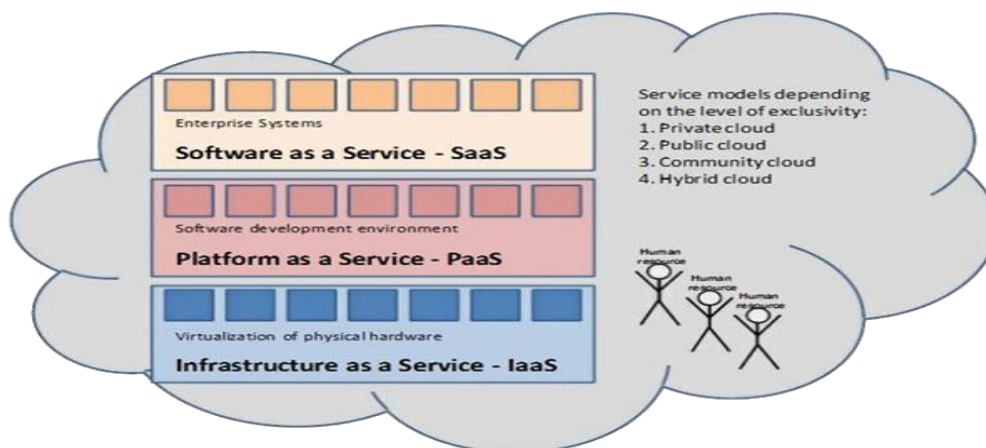


Figura 10. Modelos de Servicios de Computación en la nube. Fuente (24)

La aplicación del *cloud computing* a los sistemas de información de apoyo como los SIG ha abierto nuevas dimensiones a los investigadores en general, y a las empresas de Tecnologías de Información (TI) en particular.

1.6.2. SIG en la Nube

SIG en la nube o *GIS Cloud*, como también se le conoce en inglés, se refiere a los servicios alojados en internet destinados a los usuarios clásicos de SIG o usuarios en general que necesitan acceder e interactuar con IG (25). Estos servicios incluyen servicio de mapas, almacenamiento y acceso a datos y análisis.

Toda la información gestionada a través de estos servicios ayuda a optimizar las decisiones en tiempo real gracias a que identifican y gestionan flujos de trabajo mucho más eficientes y operativos. El entorno de la arquitectura de los servicios SIG en la nube son ligeramente distintos a los modelos de servicios tradicionales del *cloud computing*, resultado de las distintas necesidades y tipos de información manejados en el mundo SIG, compatibilizando los propios de la nube con otros tres modelos de servicio. **GaaS**: Servicio de SIG (GIS as a Service), es una extensión del SaaS, según la cual se ofrecen soluciones SIG como servicio; **AaaS**: Servicio de Aplicaciones (Application as a Service) e **laaS**: Servicio de Imágenes (Imagery as a Service), figura 11.

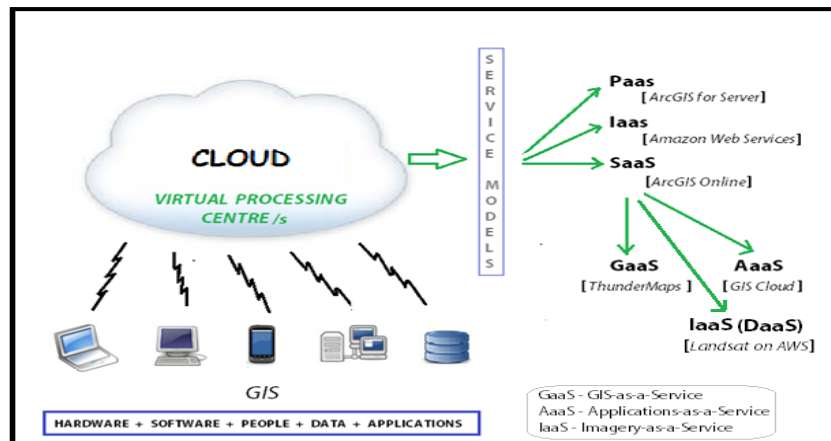


Figura 11. Modelo de servicios SIG en la nube. Fuente: gislounge

1.6.3. Panorama Actual de Proveedores *GIS Cloud*

Varias son las ventajas del *GIS Cloud*, entre las que pueden ser citadas:

- La información geográfica puede almacenarse en un dominio público, desde el cual puede accederse libremente y con la capacidad de actualizarse continuamente.
- La integración de las últimas actualizaciones de distintas bases de datos y la facilidad para compartir e intercambiar información geográfica interna y externamente, hace que la toma de decisiones sea mucho más sencilla y eficiente.
- La funcionalidad de la nube ayuda a ir más allá de los formatos propietarios, consiguiendo con ello poder recuperar la información de una forma más fácil cuando se opta por cambiar de proveedor.
- Facilita la puesta en común de recursos útiles, algo muy demandado y útil en comunidades y organizaciones con objetivos comunes o compartidos.
- Se ofertan distintos tipos de servicios y según el usuario puede acceder a servicio de mapas en línea, bancos de datos geoespaciales, imágenes, funciones de análisis y modelización, etc.
- Admite la visualización, creación, control, gestión, análisis e intercambio de mapas y datos con otros usuarios.
- Supone una ventaja competitiva, dado que se requiere menor tiempo para compartir y publicar mapas con acceso ilimitado, así como un retorno claro y seguro de la inversión realizada, dado que se paga según su uso pudiendo adaptarlo en función de la demanda.
- Facilita la captación de la información, su validación y la colaboración grupal en entornos globales y a tiempo real.

Por otro lado, las desventajas son derivadas principalmente por falta de información, miedos a la pérdida de privacidad o por falta de gobernabilidad de la infraestructura que soporta los proyectos. Aun así, lo que ya es un hecho evidente, es que la mayoría de las empresas del sector aplicaciones SIG están apostando fuerte por estas tecnologías y cada vez es mayor el número que migra a los servicios SIG en la nube. Algunas de estos proveedores son presentados a continuación.

GeoCommons (26): Su funcionalidad principal es la creación de mapas interactivos a partir de datos georreferenciados, pudiendo ser geográficos, culturales, históricos, etc. Su plataforma está basada en componentes de código abierto sobre una infraestructura propia. Algunos de los componentes son: Apache, Linux, Java, Ruby, Mapnik, PROJ4, Python, etc. Sigue un modelo de negocio *freemium*, lo que caracteriza una de sus principales limitantes, pues en su versión libre solo permite la manipulación de 10 mapas. Con la variante de pago de su plataforma GeoIQ Enterprise, ofrece multitud de productos como puede ser GeoIQ Connect, que permite compartir datos internos con datos en la nube, proporcionando soporte para la mayor parte de las bases de datos relacionales del mercado. O como GeoIQ Analytics, que propone potentes herramientas de análisis geoespacial.

Otra de las limitantes se presenta en la carga de datos, pues algunos de estos procesos tardan bastante en ser ejecutados, para estos casos la plataforma mantiene un listado de los que están pendientes por parte de cada usuario. Solo pueden mantenerse dos procesos/análisis simultáneos y cinco por día.

Para los desarrolladores, GeoCommons dispone de un API REST y funciones de JavaScript, que permiten utilizar el potencial de la plataforma para crear *Mashups* o crear cualquier aplicación con necesidades geoespaciales. Las funciones de Geocodificación, también pueden ser llamadas de forma remota, aunque solo están disponibles para direcciones de EE.UU, siendo esta otra de sus limitantes.

IkiMap (27): Plataforma web en español, que se ofrece como comunidad de intercambio de mapas y, a la vez, permite trabajar con ellos dando algunas de las funcionalidades de los SIG. Nace con el propósito de compartir información georreferenciada entre la comunidad de usuarios, para que cada uno pueda aportar valor al servicio.

IkiMap utiliza bases de datos PostgreSQL con el módulo PostGIS. Para la visualización, consulta y análisis de los mapas, utiliza el módulo PHP MapScript para acceder a la API de MapServer (entorno de desarrollo de código abierto para la creación de aplicaciones SIG en Internet). En el lado del cliente, utiliza OpenLayers (biblioteca JavaScript) y tecnología AJAX.

Hay que tener en cuenta que existen restricciones en cuanto a la carga de datos, ya que no deben superar los 2MB de tamaño, ni contener más de 500 elementos y/o 2000 coordenadas geoespaciales. Otro de los elementos negativos desde el punto de vista de este trabajo, es precisamente la naturaleza de esta plataforma, pues su principal objetivo es de compartir mapas entre la comunidad y redes sociales y el de ser un SIG en la nube propiamente.

Scribble Maps (28): Plataforma de publicación de información geográfica en la nube con funciones tanto para usuarios noveles como avanzados, que dispone de una interfaz sencilla y muy intuitiva, sin que por ello pierda características. Está construida utilizando el API de Google Maps, añadiendo funciones de edición que este último no posee.

Aunque la plataforma no tiene apenas limitaciones (1000MB de espacio para almacenamiento), sí que limita la importación de datos externos a archivos de 5MB como máximo y con el *datum* NAD83, aunque también soporta el WGS84, mucho más extendido.

En el aspecto de la interoperabilidad, Scribble Maps, de momento, falla. Su API todavía no ha sido publicado, aunque parece ser que la empresa responsable va a liberarlo en un corto espacio de tiempo, y que estará implementado en JS.

CartoDB (29): Herramienta para la gestión de datos espaciales, desarrollada por la empresa española Vizzuality, que permite almacenar datos georreferenciados en la nube, y ofrece herramientas de visualización y consulta sobre estos. Además de la plataforma online, dispone de un software de código abierto descargable en GitHub, que lleva el mismo nombre, y es en el que está basada la plataforma.

La infraestructura que utilizan es propia, con las siguientes tecnologías de código abierto: CartoDB-SQL-API, Mapnik 2.0, NodeJS 0.4.10+, PostGIS 2.0, Postgres 9.1.x, Redis 2.2+, Varnish 3.0+, Ruby 1.9.2+ y Windshaft-cartodb. En el caso de requerir autenticación utilizan OAuth.

Utiliza un modelo de negocio *freemium*, donde en su versión libre permite almacenar hasta 5 MB y trabajar solo con 5 tablas. El sistema de consultas permite realizar cualquier tipo de operación sobre las tablas de datos, por lo que, aunque no tiene herramientas de geo-procesamiento al estilo de GeoCommons, la capacidad de trabajo con los datos solo está limitada por el conocimiento sobre consultas SQL del usuario. En parte, es un punto negativo de CartoDB, ya que aunque la herramienta tiene una interfaz sencilla, cualquier operación debe ser realizada mediante consulta SQL.

En cuanto a interoperabilidad, CartoDB la garantiza, principalmente en los temas de almacenamiento y manipulación de los datos, en parte gracias al empleo de PostGIS, ya que este cuenta con certificación de OGC.

De cara a los desarrolladores, CartoDB ofrece un API de acceso vía HTTP que permite consultas SQL escritas como parámetro de texto en una URL. Por otro lado, también tiene un Maps API para realizar operaciones mediante URL. Finalmente, posee bibliotecas para lenguajes como: RUBY, PHP, PYTHON, JAVA, .NET y NODE.js. En el apartado de seguridad, CartoDB ha implementado una política de claves para la autenticación y acceso a los datos basándose en SSL y OAuth.

1.7. Estandarización en SIG

La implementación de SIG en la nube permite ofrecer una gama de servicios a través de la red. Estos servicios son muy diversos, y ofrecen posibilidades que van desde obtener datos hasta realizar consultas sobre un conjunto de operaciones que un servicio determinado puede ofrecer. En la ejecución de estos servicios, aparecen un cliente y un servidor, los cuales se comunican para realizar una tarea concreta.

En esta relación cliente – servidor, pueden surgir problemas derivados de la falta de elementos comunes entre ambos actores. Específicamente en el ámbito de la IG, existen varios formatos para almacenarlas y diferentes formas de transmitirla, lo que pudiera dificultar el trabajo en el marco de la nube. Ya que no todos los clientes SIG hablan el mismo idioma que todos los servidores, y dos cualesquiera de ellos no han de “entenderse” necesariamente.

En circunstancias ideales, debe existir una total interoperabilidad con independencia de los formatos y las aplicaciones empleadas, pudiendo interactuar entre sí los distintos clientes y servidores. Los estándares son el elemento que va a permitir esa interoperabilidad, definiendo el marco común que clientes y servidores emplearán para entenderse. En un contexto altamente heterogéneo tanto en datos como en herramientas, lograr esto no resulta una tarea sencilla (30), y los estándares son los encargados de aportar homogeneidad tecnológica y favorecer todo el trabajo a desarrollar.

Crear un estándar no es una labor sencilla. Se han de recoger las principales necesidades y armonizar todas ellas en una especificación única, de modo que clientes y servidores que implementen ese estándar sean de la mayor utilidad posible para todos los usuarios.

Existen organizaciones dedicadas a redactar las especificaciones correspondientes a estándares que cubran los distintos servicios, así como a promoverlas y mejorarlas. Los estándares más habituales en el campo de la información geográfica son elaborados por tres organizaciones: el *Open Geospatial Consortium* (OGC), ISO y W3C.

1.7.1. Open Geospatial Consortium (OGC)

El *Open Geospatial Consortium* (31), es una organización internacional y voluntaria dedicada a la elaboración de estándares. En el OGC participan más de 350 organizaciones miembro, incluyendo entre ellas a los principales fabricantes del sector, agencias nacionales, grupos de investigación u organizaciones sin ánimo de lucro, entre otros. Estas organizaciones miembro colaboran para alcanzar consensos y desarrollar e implementar estándares en el ámbito de los contenidos geoespaciales. Algunos de los estándares OGC más relevantes, y de mayor interés para el trabajo son los siguientes:

- **WMS.** Esta especificación permite al usuario final visualizar “mapas” de diferentes proveedores geoespaciales. Este estándar entiende un “mapa” como una representación de la información geográfica a través de un archivo de imagen digital que se pueda exhibir en una pantalla de ordenador. Los mapas producidos por WMS se generan normalmente en formato de imagen (.png,.gif o.jpeg). El WMS permite la superposición visual de información geográfica compleja y distribuida en diferentes servidores. Es decir, un cliente puede hacer varias peticiones a varios servidores a la vez y puede visualizar en un mismo entorno (por ejemplo en su pantalla del ordenador) diferentes datos geográficos de diferentes servidores (32).
- **WFS.** Esta especificación nace de la voluntad de tener acceso a datos vectoriales, así pues, define operaciones web de interfaz para la consulta y edición de entidades geográficas (*features*) vectoriales. Esta petición de geoinformación vectorial llega al cliente en lenguaje GML, lo que le facilitará su posterior gestión (33).
- **WPS.** Este estándar proporciona unas reglas para la estandarización de la entrada y salida (peticiones y respuestas) para servicios de procesamiento de datos. Describe cómo acceder a procesos geoespaciales desde una interfaz web. Los procesos incluyen cualquier cálculo o proceso que opere sobre datos *raster* o vectoriales georreferenciadas, por ejemplo operaciones con polígonos o bases de datos (34).
- **SFA.** Define por un lado unos tipos estandarizados para geometrías, los cuales se basan en otra especificación OGC denominada *OpenGIS Geometry Model*,

que establece una forma de definir geometrías. Por otra parte, se definen una serie de operaciones SQL que operan sobre esos tipos (35).

- **GML.** Este sub-lenguaje de XML permite el modelado, transporte y almacenamiento de geo-información. Su importancia radica en que a nivel informático se constituye como una lengua base para la gestión e intercambio de geo-información entre los diferentes programas que utilizan este tipo de datos (36).

Cada uno de estos estándares está descrito en una especificación, y estas están sujetas a cambios y mejoras, existiendo varias versiones en cada caso.

1.8. Conclusiones Parciales

Una vez analizados los puntos tratados en el capítulo, se puede concluir que la necesidad de representar los datos estadísticos que los usuarios manejan sobre una base geográfica llevó al nacimiento de la cartografía temática. Para diferenciar los mapas temáticos, de acuerdo al tipo de información que proporcionan se han dividido estos en dos grupos: los mapas temáticos cualitativos y los cuantitativos.

Por otro lado, para conseguir un correcto trabajo con las herramientas de análisis que proveen los SIG, es necesario conocer el *datum* que posee el material cartográfico con el que se trabaja, si se quieren obtener resultados válidos y controlar el error que se puede cometer en estos procesamientos. Siendo además un elemento importante, el que las soluciones de SIG, permitan manejar estos elementos de configuración referidos a proyecciones cartográficas, *datum* y sistemas de coordenadas. Una vez establecidos estos, un valor agregado podría ser el permitir a usuarios inexpertos en este campo, realizar análisis válidos, corrigiendo de forma automática errores de configuración en los parámetros cartográficos.

Se presenta además, la obtención de áreas de influencias o *buffer* como una de las transformaciones principales, llevadas a cabo en SIG. Debido al amplio campo de aplicaciones y análisis que posibilitan, permitiendo determinar los niveles de influencia que ejercen diferentes objetos geográficos en su entorno y viceversa.

Finalmente, se pudo apreciar como el desarrollo de las tradicionales herramientas pesadas de escritorio para el trabajo con información geográfica se ha ido desplazando hacia su implementación en la nube. Permitiendo la integración de las últimas actualizaciones de distintas bases de datos y la facilidad para compartir e intercambiar información geográfica interna y externamente, haciendo que la toma de decisiones sea mucho más sencilla y eficiente.

Aunque si bien existen varios proveedores a nivel internacional de servicios e infraestructura para proyectos de SIG en la nube, también es cierto que no resuelven una las principales problemáticas tratadas en este trabajo. Pues la mejores alternativas para el país serían los que emplean un modelo de negocio *freemium*, pero como se mostró todas presentan limitaciones, ya sea en la capacidad de gestión de información o en cuanto a las facilidades de análisis que brindan su versiones sin pagos.

Capítulo 2: Especificación y Construcción de los Componentes

2.1. Introducción

En este capítulo se presenta inicialmente una vista abstracta de la arquitectura de referencia para aplicaciones *GIS Cloud*, desde la que se parte para posteriormente generar un diseño genérico para permitir que los componentes puedan ser utilizados tanto en aplicaciones cliente – servidor como *stand alone*. Seguidamente se presenta la construcción de cada uno de los componentes propuestos, especificándose sus entradas y salidas. Finalmente se presenta un conjunto de conclusiones parciales arribadas una vez concluido el capítulo.

2.2. Arquitectura de Referencia

Para el desarrollo de los componentes propuestos se parte de una arquitectura de referencia, figura 12, para el desarrollo de aplicaciones SIG en la nube, que permita un desarrollo consolidado para almacenar, manipular, analizar y visualizar la IG. Donde se propone una estructura modular en la capa de comunicación. Cada uno de estos módulos o componentes, realizan un grupo especial de tareas como podrían ser, navegación sobre el mapa, gestión de capas de información, servicios de localización, análisis, entre otras. Esta propuesta es concebida a partir de la presentada en (25).

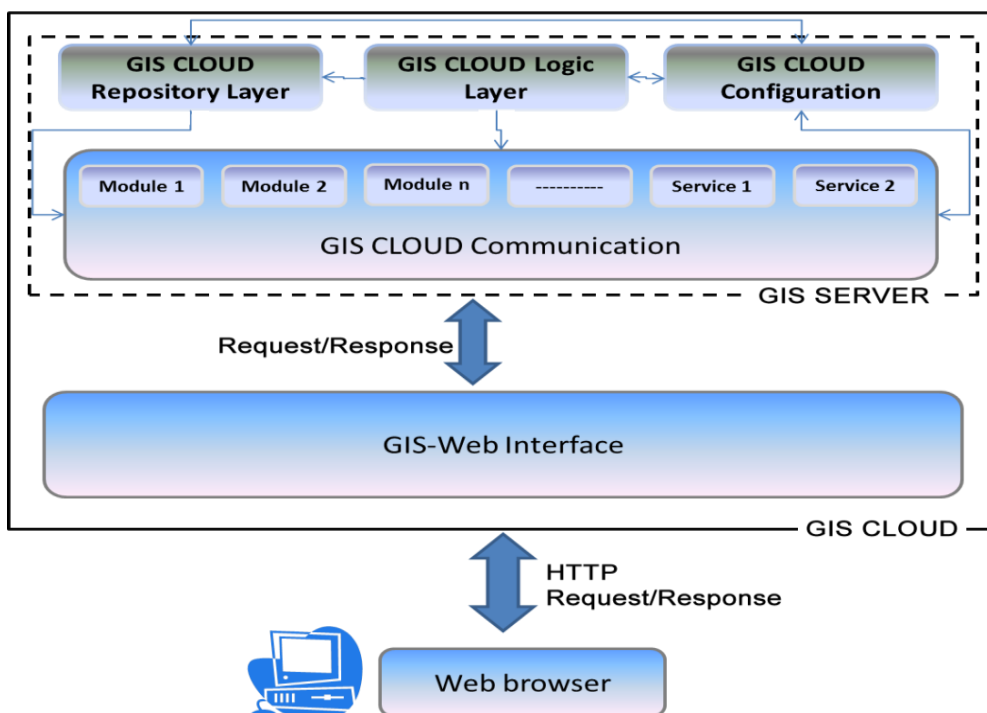


Figura 12. Propuesta de arquitectura de referencia para SIG en la nube. Vista abstracta

Siguiendo el objetivo de soberanía tecnológica, se realizó un análisis de las tecnologías existentes para la implementación computacional de la arquitectura de referencia presentada anteriormente. En la figura 13, se muestra una vista de alto nivel de esta implementación, donde se aprecia que sobre la capa de acceso a datos se orquestan un conjunto de funcionalidades y servicios de cartografía digital que se encuentran dentro de la capa de comunicación, la cual proporciona a la capa superior

los mecanismos de interacción necesarias para la construcción de la vista de los usuarios finales; y son expuestas las principales tecnologías seleccionadas para la implementación.

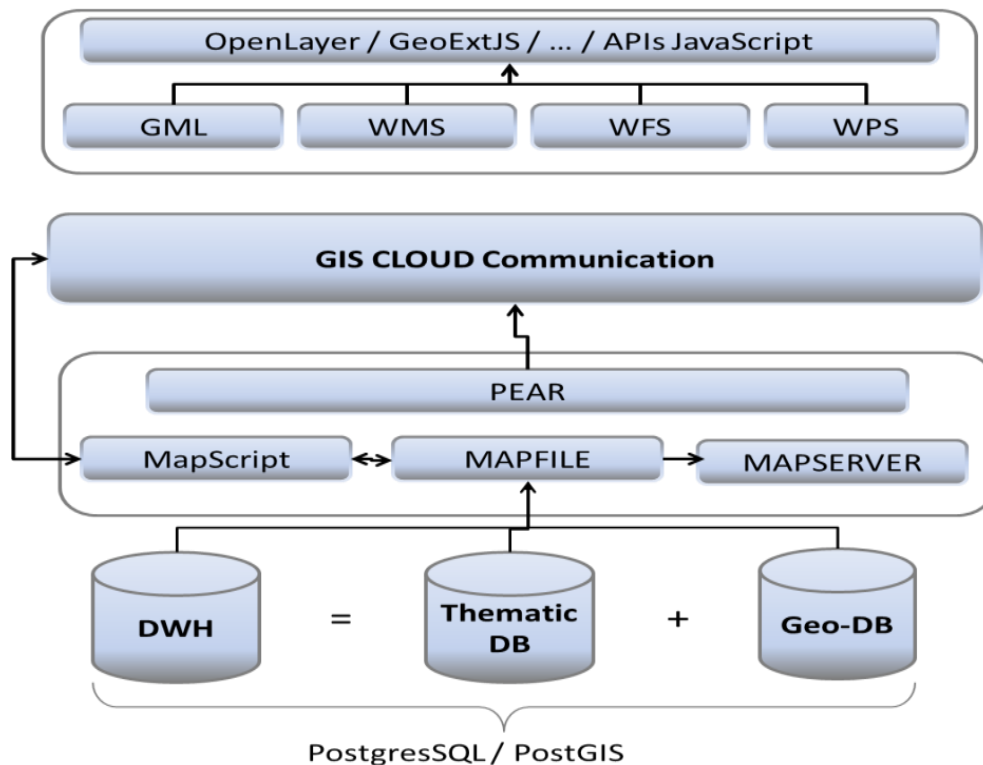


Figura 13. Representación de alto nivel de arquitectura de referencia para SIG en la nube

En este caso destacan como fundamentales las siguientes:

- Linux como sistema operativo.
- Apache como aplicación de servidor web.
- PostgreSQL/PostGIS como gestor de base de datos.
- MapServer como servidor de mapas.
- PHP y JavaScript como lenguajes de programación.

El principal aporte de este trabajo incide principalmente en la capa de comunicación, donde fueron desarrollados los componentes propuestos:

- Componente para la creación de mapas temáticos.
- Componente de configuración del mapa.
- Componente para la generación de *buffers*.

2.3. Diseño Genérico de los Componentes

Para la construcción de los componentes propuestos se partió de un diseño genérico, que permitiera la reusabilidad y escalabilidad de los mismos. Por otro lado, fue intencionado el hecho de brindar dos tipos de acceso, de forma que se facilitara su inclusión tanto en desarrollo de aplicaciones con modelo cliente - servidor -para el escenario de los *GIS Cloud* principalmente-, como en aplicaciones con modelo *stand-alone*. Por lo que su concepción fue dividida en una parte cliente y una parte servidor, figura 14.

De esta forma cliente y servidor se comunicarían o bien a través de SOAP o vía objetos directamente. Donde la parte cliente tiene la responsabilidad de preparar y elaborar la petición para luego enviar al servidor -utilizando el mecanismo seleccionado-, y posteriormente recibir y formatear la respuesta para ser presentada. Mientras en la parte servidor se recibe la petición y se realiza todo el procesamiento para dar la respuesta.

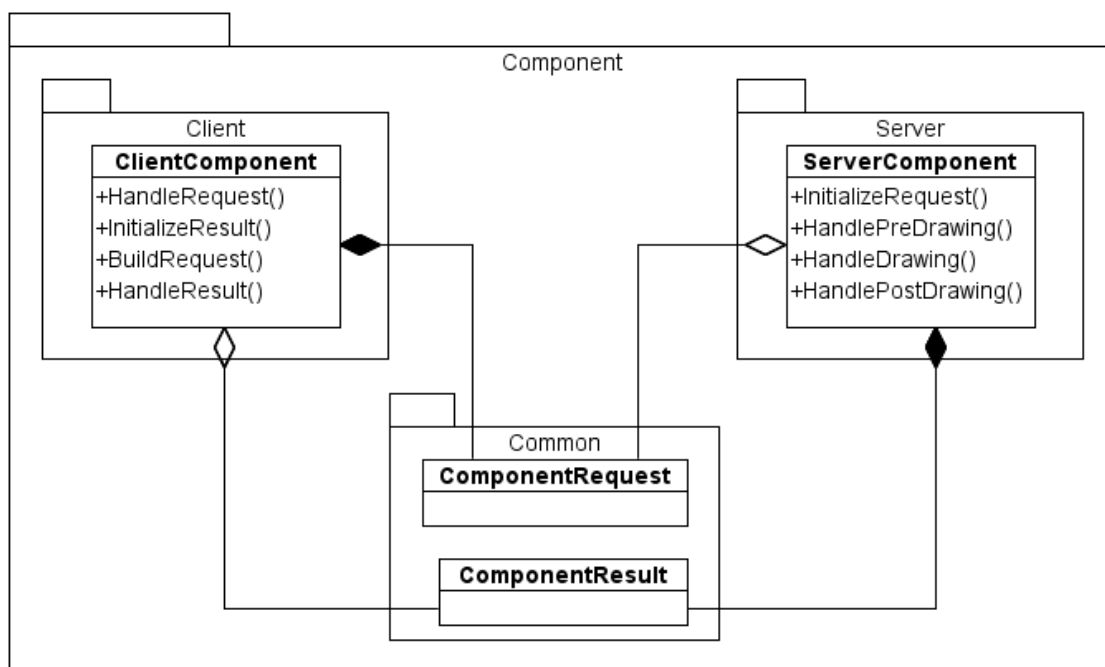


Figura 14. Diseño genérico de los componentes

2.4. Construcción y Especificación del Componente para la Creación de Mapas Temáticos

El componente para la creación de mapas temáticos, produce estos mapas de forma dinámica a partir de IG vectorial e información socioeconómica que está o puede ser vinculada con la IG. Estos mapas son presentados en forma de imágenes digitales que pueden superponerse unos a otros, siempre y cuando los parámetros geográficos y el tamaño de salida sean los mismos. El uso de formatos que permiten fondo transparente (por ejemplo, GIF o PNG) facilita la visualización simultánea de estos mapas.

Para la creación de mapas temáticos el componente procesa dos tipos de operaciones, *GetThematicCapabilities* y *ThematicMap*. En ambos casos son recibidas por la parte cliente del componente, donde son formateados los datos y construida la petición correspondiente a ser tratada por la parte servidor.

2.4.1. Operación *GetThematicCapabilities*

El objetivo de esta operación es brindar las capacidades temáticas de la información sobre la que está trabajando el componente. Esta operación requiere solo del parámetro REQUEST, tabla 1.

Tabla 1. Parámetros de la operación *GetThematicCapabilities*

Parámetro	Obligatoriedad	Descripción
REQUEST= <i>GetThematicCapabilities</i>	True	Nombre de la operación.

Al invocar esta operación se obtiene un fichero XML con las capacidades de tematización de la información sobre la que se trabaja. Estas capacidades están orientadas principalmente a indicar los formatos en que pueden ser obtenidos los mapas temáticos, los tipos de mapas que pueden ser generados por el componente, las capas de IG vectorial que se encuentran disponibles en el servidor y los datos socioeconómicos asociados por cada capa. Las dos etiquetas principales del XML resultante dentro del elemento raíz <ThematicCapabilities>, son <Operation>, donde se brindan informaciones generales de la operación, tales como nombre, título, resumen y url para acceder a las operaciones del servicio; y la etiqueta <ThematicCapability> donde se brinda la información sobre las capacidades temáticas, en la figura 15 se muestra un ejemplo de este documento.

```

<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1"?>
<ThematicCapabilities>
  <Operation>
    <Name>GTC</Name>
    <Version>1.0</Version>
    <abstract> Information About Cartographic Bases, Provider and Uses Conditions </abstract>
    <url> </url>
  </Operation>
  <ThematicCapability>
    <Format> </Format>
    <MapType> </MapType>
    <Charts> </Charts>
    <Symbols> </Symbols>
    <Layer>
      <title> </title>
      <abstract> </abstract>
      <author> </author>
      <CRS> </CRS>
      <EX_GeographicBoundingBox>
        <westBoundLongitude> </westBoundLongitude>
        <eastBoundLongitude> </eastBoundLongitude>
        <southBoundLatitude> </southBoundLatitude>
        <northBoundLatitude> </northBoundLatitude>
      </EX_GeographicBoundingBox>
      <BoundingBox SRS="" minx="" miny="" maxx="" maxy=""/>
      <field name="" type=""/>
      <GeomType></GeomType>
      <MinScaleDenominator> </MinScaleDenominator>
      <MaxScaleDenominator> </MaxScaleDenominator>
    </Layer>
  </ThematicCapability>
</ThematicCapabilities>

```

Figura 15. *GetThematicCapabilities* Documento XML

Esta estructura fue concebida tomando como base el documento de capacidades del estándar WMS del OGC, (37). Donde el elemento <Format> indica los formatos de imágenes (tipo MIME) en que puede ser dada la respuesta, deberán existir tantos elementos <Format> como formatos puedan ser suministrados. El elemento <MapType> brinda los tipos de mapas que pueden ser generados, de igual forma existirían tantos elementos <MapType> como cantidad de tipos de mapas que puedan ser creados. Los elementos <Chart> y <Symbols>, opcionales, aparecerán en dependencia de si es soportada la creación de mapas con gráficas y/o símbolos proporcionales e indicarán respectivamente los tipos de gráficas y símbolos que pueden ser generados.

El elemento <Layer>, es el más complejo dentro del <ThematicCapability> y su estructura está concebida para brindar información sobre las bases cartográficas disponibles y sus datos asociados. Si bien cada elemento <Layer> representa información independiente, estos pueden agruparse en una estructura jerárquica -cada elemento <Layer> puede tener otros <Layer> hijos-, esto permite que los elementos hijos “hereden” propiedades de su elemento padre y de esta forma disminuir el tamaño del documento.

Los elementos que componen los <Layer> son, <title>, define el identificador de la capa de información, <abstract> y <author>, son ambos elementos opcionales que suministran información sobre la naturaleza de la IG de la capa, así como del proveedor y/o creador respectivamente. El elemento <CRS> de una capa, define el sistema de referencia coordinado (*Coordinate Reference System*) de la misma (38). Cada capa debe incluir todos los CRS que son comunes a la capa y a todas sus subcapas. El elemento <EX_GeographicBoundingBox> (39), define el rectángulo mínimo en grados decimales del área abarcada por la capa. Las coordenadas se definen mediante los elementos <westBoundLongitude>, <eastBoundLongitude>, <southBoundLatitude> y <northBoundLatitude>. Si la capa no se encuentra en coordenadas geográficas las coordenadas de este rectángulo pueden no ser exactas, ya que solo se busca facilitar las búsquedas geográficas sin exigir que el motor de búsqueda deba realizar transformaciones de coordenadas.

Por otro lado, el elemento <BoundingBox> define el rectángulo mínimo que contiene la capa, al igual que <EX_GeographicBoundingBox> pero, a diferencia del anterior, las coordenadas se especifican en un determinado CRS. Los atributos de un <BoundingBox> son el CRS y las coordenadas (minx, miny, maxx, maxy) en las unidades especificadas por el CRS. Los <BoundingBox> de una capa se heredan a la subcapa. Los <BoundingBox> de una subcapa se agregan a los que hereda de su capa padre. Una capa no debe proveer un <BoundingBox> en un CRS que no soporta. Se debe proveer, al menos, de un <BoundingBox> en el CRS nativo de la capa -en el que están almacenados los datos-.

El elemento <field> fue agregado para describir los campos asociados a la capa de IG. Por cada campo asociado a una capa aparecerá un elemento <field>, a excepción del campo geométrico de la capa. Los atributos de este elemento son name para identificar el campo y type que especificará si la tematización resultante por ese campo sería cuantitativa o cualitativa. El elemento <GeomType> indica el tipo de geometrías representadas en la capa. Y finalmente los elementos <MinScaleDenominator> y <MaxScaleDenominator> indican el rango de escala en que es conveniente generar la capa, <MinScaleDenominator> siempre incluye el valor de borde -“mayor o igual”-, mientras que <MaxScaleDenominator> no lo incluye -“menor estricto”-.

2.4.2. Operación *ThematicMap*

Como resultado de esta operación se obtiene una imagen digital con la representación del mapa temático generado en correspondencia con los parámetros especificados por el usuario. Este mapa temático puede ser generado a partir de las bases cartográficas disponibles en el servidor y la información asociada a esta en la misma fuente, o información cargada por el usuario desde una fuente externa, en la tabla 2 se muestran los parámetros para esta operación.

Tabla 2. Parámetros de la operación *ThematicMap*

Parámetro	Obligatoriedad	Descripción
REQUEST= <i>ThematicMap</i>	True	Nombre de la operación.

MapType	True	Tipo de mapa temático a crear.
Format	False	Formato de salida del mapa.
Chart	False	Tipo de gráfica a ser generada.
Color	False	Lista de uno o más colores, separados por comas.
Symbol	False	Tipo de símbolo a generar.
NumClass	False	Número de clases para crear la tematización.
Layer	True	Capa sobre la que se creará la tematización.
CRS	True	Sistema de Coordenadas de Referencia con que se creará el mapa.
BBOX	True	Extensión del mapa que será creado, expresado en las unidades del CRS.
Field	False	Campo temático asociado a la capa en la misma fuente de datos.
KeyGeom	False	Llave para vincular la IG con datos provenientes de una fuente externa.
KeyTheme	False	Llave para vincular la información temática que se encuentra en una fuente externa con la IG.
FieldTheme	False	Campo que posee la información temática en la fuente externa.
Source	False	Tipo de fuente externa de donde se obtendrán los datos para crear la tematización.
Host	False	Servidor donde se encuentra la información temática en caso de que esta provenga de una base de datos externa.
User	False	Usuario para conectar con la base de datos externa.
Pass	False	Contraseña para conectar con la base de datos externa.
Port	False	Puerto para conectar con la base de datos externa.
BD	False	Nombre de la base de datos externas donde se encuentran los datos.
Table	False	Tabla en la base de datos externa donde se encuentran los datos temáticos.
File	False	Fichero que contiene la información temática en caso de que esta provenga de una hoja de cálculo.
Sheet	False	Hoja en el fichero donde se encuentra la información temática.
MinScaleD	False	Mínimo valor de escala para ser representada la capa resultante.
MaxScaleD	False	Máximo valor de escala para ser representada la capa resultante.

2.4.3. Utilización del Componente

Para la utilización del componente la primera operación que se debe ejecutar es *GetThematicCapabilities*, para obtener las capacidades temáticas de la información. De esta forma es posible presentar esta información a través de una interfaz visual al usuario, para que este seleccione los parámetros que desea para a continuación ser realizada la operación *ThematicMap*.

Aunque en principio los parámetros de la operación *ThematicMap* no poseen un orden específico, sí se recomienda solicitar estos en un orden lógico que facilite el trabajo del usuario y disminuya las probabilidades de excepciones. Este es el caso de solicitar inicialmente al usuario el tipo de mapa que desea crear, de entre los brindados por la operación *GetThematicCapabilities*, y la capa de IG sobre la que se trabajará. Esto permite disminuir la cantidad de campos innecesarios a solicitar posteriormente al usuario. Por ejemplo, si el usuario selecciona crear un mapa de datos superficiales, a continuación solo se le permitiría seleccionar las capas de tipo polígono disponibles según el *GetThematicCapabilities*, así como los campos nominales asociados a esta, y no se solicitarían el tipo de símbolos ni de gráfica. Sí se facilitaría la posibilidad de seleccionar algún tipo de fuente externa, en caso de no seleccionar ninguno de los campos nominales asociados a la capa seleccionada.

2.4.4. Funcionamiento e Interoperabilidad

El funcionamiento del componente se basa principalmente en la creación de nuevas capas disponibles. Estas capas son creadas con clases que mediante expresiones vinculan cada geometría con la información temática que se quiere representar. Las nuevas capas creadas son almacenadas en el fichero *.map*, que sirve de entrada al servidor de mapa MapServer, con la configuración apropiada para que puedan ser consumidas luego desde otras aplicaciones como WMS. Además la posibilidad de contar con la operación *GetThematicCapabilities* posibilita que el componente pueda ser utilizado como parte de una misma aplicación o desde alguna aplicación externa.

Por otro lado, el hecho del componente soportar dos operaciones que pueden ser accedidas por url, fue concebido con toda la intención de que su funcionamiento fuera muy similar al propuesto por los servicios del OGC, con la finalidad de que pueda ser sometido al comité de estandarización para su posterior implementación como un servicio más (WTMS) entre los estándares promovidos por la organización.

2.5. Construcción y Especificación del Componente de Configuración del Mapa

El objetivo de este componente es proporcionar los elementos para la configuración del mapa. Estos elementos permitirán dar soporte a las funcionalidades de análisis geoespacial. Para la gestión de los elementos de configuración del mapa el componente maneja tres operaciones, *GetMapConfigCapabilities*, *ConfigMap*, *ChangeSRS*.

2.5.1. Operación *GetMapConfigCapabilities*

La operación *GetMapConfigCapabilities* requiere solo del parámetro REQUEST, tabla 3, y brinda como resultado un documento XML, figura 19, con las capacidades de configuración del componente sobre la IG disponible, a partir del sistema de referencia espacial que posee actualmente la cartografía con la que se trabaja.

Tabla 3. Parámetros de la operación *GetMapConfig*

Parámetro	Obligatoriedad	Descripción
REQUEST= <i>GetMapConfig</i>	True	Nombre de la operación.

El documento XML resultante de esta operación presenta dos elementos principales dentro del elemento raíz `<MapConfigMapCapabilities>`, los cuales son el elemento `<Operation>`, donde se ofrece información general de la operación como es el caso de nombre, versión y url; y el elemento `<MapConfigCapability>` donde se ofrecen las capacidades de configuración del mapa y la establecida actualmente. Con este fin se tienen los elementos `<Coord>` que indican los tipos de coordenadas que pueden ser presentados (grados o metros) en dependencia del sistema de referencia espacial que se esté usando, este elemento posee el atributo `actual` para indicar cuál es el tipo de coordenadas que se visualiza en el momento de ejecutar la operación. Por su parte el elemento `<Datum>` muestra la información del *datum* con el que se está trabajando.

El elemento `<IDAuthority>` brinda información sobre la proyección cartográfica y/o sistema de referencia espacial (SRS por sus siglas en inglés) que se emplea, generalmente el código EPSG o algún otro código estandarizado que permita la identificación de esta proyección. Por su parte el elemento `<Ellps>` contiene el elipsoide de referencia de la proyección seleccionada mientras `<Proj>` muestra el tipo de esta proyección (long/lat, cartesiana, etc).

Por otro lado, el elemento `<DistanceType>` brinda información sobre los modelos posibles a utilizar (esférico o plano) para realizar los cálculos geométricos sobre los que se basan las funcionalidades de análisis; presenta también el atributo `actual` para indicar el modelo seleccionado en ese momento.

```

<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1"?>
<MapConfigMapCapabilities>
  <Operation>
    <Name>GCMC</Name>
    <Version>1.0</Version>
    <url> </url>
  </Operation>
  <MapConfigCapability>
    <Coord actual=" " </Coord>
    <Datum </Datum>
    <IDAuthority </IDAuthority>
    <Ellps </Ellps>
    <Proj </Proj>
    <DistanceType actual=" " </DistanceType>
    <Units>
      <CoordFormat actual="" </CoordFormat>
      <Distance actual="" </Distance>
      <Surface actual="" </Surface>
      <Angle actual="" </Angle>
    </Units>
  </MapConfigCapability>
</MapConfigMapCapabilities>

```

Figura 16. *GetConfigMapCapabilities* Documento XML

Este elemento fue incluido para facilitar posteriormente la inclusión de la propuesta de algoritmos para análisis geométricos en SIG presentada en (11). Finalmente se tiene el elemento `<Units>`, utilizado para ofrecer las capacidades de unidades de medidas en que se presentarán las informaciones; teniéndose `<Distance>` para indicar las unidades de distancia, `<Surface>` para las unidades de áreas, `<Angle>` para las unidades de mediciones de angulares y `<CoordFormat>` para indicar el formato de presentación de las coordenadas cuando estas están expresadas en grados.

2.5.2. Operación *ConfigMap*

Como resultado de esta operación se obtiene la modificación del archivo .map, con las nuevas configuraciones del mapa seleccionadas por el usuario, dentro de las posibles ofrecidas por la operación *GetMapConfigCapabilities*. Los parámetros necesarios para la operación se relacionan en la tabla 4.

Tabla 4. Parámetros de la operación *ConfigMap*

Parámetro	Obligatoriedad	Descripción
REQUEST= <i>ConfigMap</i>	True	Nombre de la operación.
Coord	False	Tipo de coordenadas en que se desea presentar las ubicaciones de puntos en el mapa. Solo es posible modificar las existentes si el sistema de referencia espacial es cartesiano.
DistType	False	Modelo que se desea utilizar para realizar los cálculos geométricos. Solo es posible modificar si el sistema de referencia espacial es cartesiano.
CoordFormat	False	Formato para representar las coordenadas geográficas cuando estas se encuentran expresadas en grados.
Dist	False	Unidad de medida en que serán expresadas las distancias.
Surfa	False	Unidad de medida en que serán expresadas las áreas.
Ang	False	Unidad de medida en que será expresado cada acimut.

2.5.3. Operación *ChangeSRS*

Esta operación se incluye como otra forma de modificar la configuración del mapa y para su ejecución se requiere de dos parámetros, tabla 5.

Tabla 5. Parámetros de la operación *ChangeSRS*

Parámetro	Obligatoriedad	Descripción
REQUEST= <i>ChangeSRS</i>	True	Nombre de la operación.
SRS	True	Código EPSG del nuevo SRS.

Como resultado de la ejecución de esta operación se modifica el sistema de referencia espacial utilizado hasta ese momento. Como se especificó en el epígrafe 2.5.1, las capacidades de configuración brindadas por la operación *GetMapConfigCapabilities* son generadas teniendo en cuenta el sistema de referencia espacial utilizado en ese momento; y sobre la base de esas capacidades es que trabaja la operación *ConfigMap*. Al modificarse el SRS actual las capacidades brindadas inicialmente pueden perder sentido para alguno de los parámetros de la operación *ConfigMap*, por lo que la modificación del SRS se desarrolló como una operación independiente y no como un parámetro más de la operación *ConfigMap*.

2.5.4. Utilización del Componente

Para la utilización del componente la primera operación que debe ejecutarse es *GetMapConfigCapabilities*, con el objetivo de obtener la configuración actual del mapa y las capacidades de modificación sobre esta que tiene el componente.

Posteriormente, pueden ser ejecutadas o bien la operación *ConfigMap* o *ChangeSRS*. Siempre debe tenerse en cuenta que una vez ejecutada la operación *ChangeSRS* el resultado obtenido previamente de la operación *GetMapConfigCapabilities* pierde validez. Por lo que una vez que fue ejecutada la operación *ChangeSRS* si se desea ejecutar la operación *ConfigMap* para modificar elementos de configuración del mapa sobre el nuevo SRS, debería solicitarse primero las nuevas capacidades de configuración.

2.5.5. Funcionamiento e Interoperabilidad

Para el procesamiento de las tres operaciones, el componente hace uso de la biblioteca Proj4 (40), que además es la utilizada por el servidor de mapas MapServer, sobre el cual se basa el funcionamiento de todos los componentes propuestos, tal y como se expuso en el epígrafe 2.2. De esta biblioteca son obtenidos los SRS disponibles para trabajar con la cartografía, además por ser un proyecto auspiciado por OGC, es de los más utilizados en la actualidad para el trabajo de configuración y transformación entre SRS, lo que permite que se trabaje con un formato conocido para el almacenamiento de este tipo de información.

La configuración del mapa realizada por el componente es reflejada en el archivo .map que utiliza MapServer, por lo que su resultado se verá expresado en cualquier otra aplicación que consuma los mapas generados por el mismo servidor sobre el que el componente trabaja.

2.6. Construcción y Especificación del Componente para Generar *Buffers*

El componente para la generación de zonas de influencias o *buffers*, permite la obtención de nuevas capas de información vectorial, con las geometrías de los *buffers* generados sobre las geometrías de alguna otra capa vectorial existente. Estas geometrías de los *buffers* generados, son almacenadas con la información geoespacial ya existente y posteriormente pueden ser presentadas en forma de imágenes digitales, las cuales pueden superponerse a las capas de IG previamente visualizadas. El empleo de formatos que permiten transparencia, posibilita realizar análisis mediante esta superposición de las geometrías afectadas por la influencia dentro del área de los *buffers*. O bien pueden ser solicitadas en formatos estándares de representación de IG.

Para la generación de las áreas de influencia el componente procesa dos operaciones, *GetBuffersCapabilities* y *BuffersVectorial*.

2.6.1. Operación *GetBuffersCapabilities*

El objetivo de esta operación es brindar las capacidades para la generación de zonas de influencia que posee el componente sobre la cartografía disponible. Esta operación requiere solo del parámetro REQUEST, tabla 6.

Tabla 6. Parámetros de la operación *GetBuffersCapabilities*

Parámetro	Obligatoriedad	Descripción
REQUEST= <i>GetBuffersCapabilities</i>	True	Nombre de la operación.

Como resultado de la ejecución de esta operación se obtiene un fichero XML con la información sobre las capacidades del componente. Un ejemplo de este documento es presentado en la figura 17.

Este documento presenta dos etiquetas principales dentro de su elemento raíz <BuffersCapabilities>, el primero de estos elementos es <Operation> donde se brindan informaciones generales de la operación, tales como nombre, título, resumen y url para acceder a las operaciones del servicio; y el elemento <BuffersCapability> donde se brinda la información sobre las capacidades para generar los *buffers* por el componente sobre la cartografía existente. Para este fin el elemento <QuadSegsDefault> brinda la cantidad de segmentos que se generan por defecto por cuadrante de circunferencia, este valor es utilizado principalmente cuando se generan *buffers* sobre capas de puntos. La interpretación de este valor sería la siguiente; considerando que el *buffer* generado sobre un punto es una circunferencia de radio r , el valor indicado en esta etiqueta es el máximo de segmentos que se generan para aproximar los arcos de longitud $\pi r/2$.

Los elementos <EndCap> indican los estilos de terminación del *buffer* soportados por el componente, mientras los elementos <Join> indican los estilos soportados para juntar *buffers* que se intersecten; ambos elementos poseen el atributo default para indicar con el valor true cuál es el estilo que se aplica por defecto. El elemento <MitreLimitDefault>, indica el grado por defecto para realizar el decremento para finalizar o agrupar los *buffers*, este valor solo se tendría en cuenta en los casos que sean escogidos los estilos de terminación y unión de *buffers* por adelgazamiento.

```

<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1"?>
<BuffersCapabilities>
  <Operation>
    <Name>GBC</Name>
    <Version>1.0</Version>
    <abstract>Information About Cartographic Bases, Provider and Uses Conditions </abstract>
    <url> </url>
  </Operation>
  <BuffersCapability>
    <QuadSegsDefault> </QuadSegsDefault>
    <EndCap default=""> </EndCap>
    <Join default=""> </Join>
    <MitreLimitDefault> </MitreLimitDefault>
    <Layer>
      <title> </title>
      <abstract>Information About the Represented Features </abstract>
      <author> </author>
      <CRS> </CRS>
      <EX_GeographicBoundingBox>
        <westBoundLongitude> </westBoundLongitude>
        <eastBoundLongitude> </eastBoundLongitude>
        <southBoundLatitude> </southBoundLatitude>
        <northBoundLatitude> </northBoundLatitude>
      </EX_GeographicBoundingBox>
      <BoundingBox SRS="" minx="" miny="" maxx="" maxy=""/>
      <GeomType></GeomType>
      <MinScaleDenominator> </MinScaleDenominator>
      <MaxScaleDenominator> </MaxScaleDenominator>
    </Layer>
  </BuffersCapability>
</BuffersCapabilities>

```

Figura 17. *GetBuffersCapabilities* Documento XML

El elemento <Layer>, es el más complejo dentro del <BuffersCapability> y su estructura está concebida para brindar información sobre las bases cartográficas disponibles sobre las que pueden ser generadas los *buffers*. Si bien cada elemento <Layer> representa información independiente, estos pueden agruparse en una estructura jerárquica -cada elemento <Layer> puede tener otros <Layer> hijos-, esto permite que los elementos hijos “hereden” propiedades de su elemento padre y de esta forma disminuir el tamaño del documento.

Los elementos que componen los <Layer> son, <title>, define el identificador de la capa de información, <abstract> y <author>, son ambos elementos opcionales, que suministran información sobre la naturaleza de la IG de la capa, así como del proveedor y/o creador respectivamente. El elemento <CRS> de una capa, define el sistema de referencia coordinado (*Coordinate Reference System*) de la misma (38). Cada capa debe incluir todos los CRS que son comunes a la capa y a todas sus subcapas. El elemento <EX_GeographicBoundingBox> (39), define el rectángulo mínimo en grados decimales del área abarcada por la capa. Las coordenadas se definen mediante los elementos <westBoundLongitude>, <eastBoundLongitude>, <southBoundLatitude> y <northBoundLatitude>. Si la capa no se encuentra en coordenadas geográficas las coordenadas de este rectángulo pueden no ser exactas, ya que sólo se busca facilitar las búsquedas geográficas sin exigir que el motor de búsqueda deba realizar transformaciones de coordenadas.

Por otro lado, el elemento <BoundingBox> define el rectángulo mínimo que contiene la capa, al igual que <EX_GeographicBoundingBox> pero, a diferencia del anterior, las coordenadas se especifican en un determinado CRS. Los atributos de un <BoundingBox> son el CRS y las coordenadas (minx, miny, maxx, maxy) en las unidades especificadas por el CRS. Los <BoundingBox> de una capa se heredan a la subcapa. Los <BoundingBox> de una subcapa se agregan a los que hereda de su capa padre. Una capa no debe proveer un <BoundingBox> en un CRS que no soporta. Se debe proveer, al menos, de un <BoundingBox> en el CRS nativo de la capa -en el que están almacenados los datos-.

El elemento <GeomType> indica el tipo de geometrías representadas en la capa. Finalmente los elementos <MinScaleDenominator> y <MaxScaleDenominator> indican el rango de escala en que es conveniente generar la capa, <MinScaleDenominator> siempre incluye el valor de borde -“mayor o igual”-, mientras que <MaxScaleDenominator> no lo incluye -“menor estricto”-.

2.6.2. Operación *BuffersVectorial*

Como resultado de esta operación se obtienen las geometrías de *buffers* correspondientes a todos los objetos geométricos representados en la capa seleccionada. La tabla 7, muestra los parámetros de esta operación.

Tabla 7. Parámetros de la operación *BuffersVectorial*

Parámetro	Obligatoriedad	Descripción
REQUEST= <i>BuffersVectorial</i>	True	Nombre de la operación.
Layer	True	Capa de la que se tomarán las geometrías para generarle los <i>buffers</i> .
Radius	True	Valor utilizado para definir el ancho de los <i>buffers</i> a generar.
Name	False	Valor para identificar la nueva capa resultante.

ExteriorRing	False	Valor booleano utilizado en caso de generar <i>buffers</i> sobre polígonos, indicar si estos son internos o externos.
QuadSegs	False	Número de segmentos para realizar la aproximación de <i>buffers</i> circulares.
EndCap	False	Estilo para formar los extremos de los <i>buffers</i> generados.
MitreLimit	False	Valor utilizado para determinar el grado para realizar el decremento para finalizar o agrupar los <i>buffers</i> en caso que el estilo seleccionado para los extremos sea adelgazar.
MinScaled	False	Mínimo valor de escala para ser representada la capa resultante.
MaxScaled	False	Máximo valor de escala para ser representada la capa resultante.

2.6.3. Utilización del Componente

Para la utilización del componente la primera operación que se debe ejecutar es *GetBuffersCapabilities*, capacidades para la generación de zonas de influencia que posee el componente sobre la cartografía disponible. De esta es posible presentar esta información a través de una interfaz visual al usuario, para que seleccione los parámetros que desea y posteriormente ser realizada la operación *BuffersVectorial*.

Para la ejecución de la operación *BuffersVectorial* no sería necesario solicitar al usuario todos los parámetros presentados en la tabla 7; sino solo aquellos que son obligatorios. Dentro de los opcionales solo se solicitarían, teniendo en cuenta el tipo de capa sobre la que se van a generar los *buffers*. Por ejemplo, si los *buffers* serán generados para analizar las zonas de influencia de los ríos no tendría sentido solicitar al usuario la cantidad de segmentos para aproximar *buffers* circulares, pues para el caso de los ríos, los *buffers* no tendrían esta forma. Para el caso de los parámetros referentes al rango de escala, sí debería siempre dársele la posibilidad al usuario de introducirlos, aunque no sean obligatorios. Esta sugerencia se debe a que estos parámetros no son obligatorios porque en caso de no especificarse, los *buffers* tendrían el mismo rango de escala de la capa base, pero puede ser de interés para el usuario modificar este rango de visualización para poder realizar análisis posteriores con otras capas con rangos de visualización diferentes.

2.6.4. Funcionamiento e Interoperabilidad

Una vez realizadas las operaciones para la obtención de las geometrías de los *buffers* generados, el funcionamiento de componente incluye la creación de nuevas capas disponibles. Estas capas son almacenadas en el archivo .map, que sirve de entrada al servidor de mapa MapServer, con la configuración apropiada para que puedan ser posteriormente consumidas desde otras aplicaciones como WMS o WFS, en caso que quieran consultarse los *buffers* como elemento geométrico y no como capa de IG.

El hecho del componente soportar dos operaciones que pueden ser accedidas por url, y con funcionamiento similar al de los servicios propuesto por OGC, permitirá facilitar su posterior inclusión como un servicio WPS, en la medida que el servidor de mapas MapServer brinde soporte para ello.

2.7. Conclusiones Parciales

Con las posibilidades de acceso a través de internet el análisis espacial y consulta de información geográfica suponen una gran fuente de conocimiento. Por lo que la interoperabilidad a la hora de compartir, almacenar y analizar esta información gana importancia en los productos tecnológicos de gestión de IG.

Los componentes presentados en este capítulo fueron construidos de forma similar a las especificaciones de los estándares OGC, con el objetivo de servir como referencia a desarrolladores e intuiciones sobre cómo y qué se debe incluir para la obtención de nuevos estándares que permitan ampliar la gama de funcionalidades actualmente disponibles como estándares internacionales.

El diseño desacoplado y con varios modelos de uso permite la utilización de estos componentes dentro de desarrollos SIG web -*GIS Cloud*-, como también ser utilizados en aplicaciones *stand-alone*.

Capítulo 3: Validación y Aplicación

3.1 Introducción

En el capítulo se describe el resultado de la validación de las funcionalidades a partir de la utilización del método criterio de expertos. Luego a partir de la aplicación de este método se logra un pronóstico sobre la efectividad de la propuesta. Finalmente se muestra el impacto que tiene el resultado obtenido en el ámbito científico-tecnológico y económico; así como su aplicación.

3.2 Método Seleccionado

Los elementos que se plantean en el problema de investigación como independencia tecnológica, interoperabilidad, se toman en cuenta para definir los indicadores para la validación de la propuesta a partir del criterio de expertos. Específicamente se emplea el Método Delphi que permite la retroalimentación y obtención de respuestas estadísticas del grupo de expertos seleccionados, que además se encuentran en el anonimato.

3.3 Aplicación del Criterio de Expertos

Para la validación de la propuesta se emplea el método Delphi a partir de una selección inicial de 15 expertos que han trabajado en el desarrollo de SIG. Se les plantea que deben realizar una autovaloración sobre el conocimiento que tienen sobre el tema de investigación y las fuentes de argumentación a partir de las cuales ha logrado ese conocimiento. Ver anexo 1, sección II y III respectivamente.

Se establece el coeficiente de competencia para cada posible experto a partir de la fórmula:

$$K = (k_c + k_a)/2$$

- K : Coeficiente de competencia de cada experto.
- k_c : Coeficiente de conocimiento o información que tiene el experto acerca del problema. Se establece que el experto debe marcar con una cruz el grado de conocimiento o información en una escala del 1 al 10. El coeficiente se calcula multiplicando la valoración del propio experto por 0,1.
- k_a : Este coeficiente se autoevalúa en alto (A), medio (M) o bajo (B) para un grupo de aspectos que influyen sobre el nivel de argumentación o fundamentación del tema a estudiar.

La selección final de los expertos tuvo lugar atendiendo a los siguientes criterios de interpretación del coeficiente de competencia (K):

- Si $0.8 \leq K \leq 1.0$, el coeficiente de competencia es Alto.
- Si $0.5 \leq K < 0.8$, el coeficiente de competencia es Medio.
- Si $K < 0.5$, el coeficiente de competencia es Bajo.

Como resultado se obtiene que ninguno de los expertos tiene un nivel de competencia bajo, lo cual refuerza los criterios y rigurosidad de la selección. Al analizar el comportamiento de los niveles de competencia se determinó escoger aquellos cuyo nivel es Alto (9 expertos). Los resultados de la distribución de los expertos según su nivel de competencia se muestran en la tabla 8.

Tabla 8. Nivel de competencia de los expertos

Expertos	k_c	k_a	K	Valoración
1	0.6	0.7	0.65	M
2	0.7	0.7	0.7	M
3	0.7	0.7	0.7	M
4	0.8	0.8	0.8	M
5	0.8	0.8	0.8	M
6	1	0.9	0.95	A
7	0.9	0.8	0.85	A
8	1	0.9	0.95	A
9	1	0.9	0.95	A
10	0.9	0.8	0.85	A
11	1	0.9	0.95	A
12	0.8	0.8	0.8	M
13	1	0.9	0.95	A
14	0.9	0.8	0.85	A
15	0.9	0.8	0.85	A

De los 9 expertos seleccionados el 66.7% son Máster en Ciencias afines a la informática. La media de años de experiencia en el desarrollo de software es de 8 años y de 6 años en el desarrollo de SIG.

Las preguntas del cuestionario diseñado en el anexo 1 están enfocadas a obtener las valoraciones de los expertos en función de los indicadores definidos y los problemas identificados. El experto expresa su valoración de cada indicador mediante una escala del 1 al 5: 5 Muy adecuado, 4 Bastante adecuado, 3 Adecuado, 2 Poco adecuado y 1 Inadecuado.

3.4 Resultados Arrojadados del Método Delphi

Para comprobar la consistencia en el trabajo de expertos, se utiliza el coeficiente de concordancia de Kendall y el estadígrafo Chi cuadrado. Dados n el número total de criterios a evaluarse y m la cantidad de expertos involucrados en la evaluación, se realiza el siguiente procedimiento para determinar la consistencia del trabajo de los expertos:

1. Calcular para cada criterio la sumatoria del peso dado por cada experto, mediante:

$$\sum_{j=1}^m C_j$$

2. Determinar el valor de puntuación promedio de cada criterio (P_j).

3. Se calcula el peso medio dado por cada experto:

$$P_i = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n_i}$$

y luego,

$$\bar{C} = \frac{\sum_{i=1}^m P_i}{m}$$

4. Determinar la desviación de la media y elevar el resultado al cuadrado para obtener la dispersión mediante:

$$\sigma^2 = \sum_{j=1}^n \left(\sum_{i=1}^m C_i - \bar{C} \right)^2$$

5. Conociendo la dispersión se puede calcular el coeficiente de concordancia de Kendall dado por la expresión:

$$k = \frac{12\sigma^2}{m^2(n^3 - n)}$$

6. Calcular el Chi cuadrado real a partir del valor del coeficiente de Kendall a partir de:

$$x^2 = m(n - 1)k$$

Después de recibir los valores del peso relativo de cada criterio se construye la tabla de los pesos otorgados, para proceder con los cálculos (Anexo 2, Tabla 11). De donde se obtuvo que $x^2 = 0.71$.

Para que exista concordancia en el trabajo de los expertos, según la tabla de Chi cuadrado debe cumplirse que: $x_{real}^2 = x_{tabla}^2$. Como $\alpha=0.01$ con 9 grados de libertad, entonces: $x_{tabla}^2 = 6.393$.

Al cumplirse que $0.71 < 6.393$, se llega a la conclusión de que existe concordancia entre los expertos y no es necesario realizar otra iteración.

3.5 Impacto

Con la realización de esta investigación se benefician los equipos de desarrollo de GeneSIG y Aplicativos del Centro GEYSED de la Facultad 6, y otras instituciones del país que dentro de su gestión propia necesiten la información geográfica como forma de georreferenciar los fenómenos propios, importantes para la toma de decisiones en su gestión administrativa.

3.5.1. Científico-Tecnológico

Se cuenta con un conjunto de componentes y tecnologías integradas que complementan el desarrollo y la instalación de SIG con diferentes propósitos, lo que se manifiesta en la cantidad y variedad de aplicaciones desarrolladas y registradas en el Centro Nacional de Derecho de Autor de Cuba (CENDA) que los implementan. Estos componentes son además interoperables con soluciones existentes, y capaz de integrarse en nuevos desarrollos.

Desde su concepción y durante su proceso de desarrollo se han realizado un conjunto de publicaciones, tesis de maestría e intercambios de carácter científico-técnico.

3.5.2. Económico

- Eliminación de costos asociados al pago de licencias de software propietarios.
- Disminución de costo y tiempo en el desarrollo de aplicaciones SIG.
- Disminución de los tiempos previstos para la implementación de las políticas de informatización y migración a software libre de datos y aplicaciones.
- Disminución de tiempo en la toma de decisiones en la gestión administrativa.

3.6. Aplicación

Los componentes desarrollados se integran a la Plataforma GeneSIG, a través de la cual se han desarrollado un conjunto de aplicaciones SIG -como queda evidenciado en los registros realizados en el CENDA-, que impactan directamente en los procesos de toma de decisiones en organismos de diversa índole:

- Plataforma GeneSIG v1.0 y v1.5: plataforma para el desarrollo de SIG, implementada con herramientas y tecnologías libres, cumpliendo además con especificaciones OpenGIS que establece el OGC y en consecuencia con las políticas de migración a software libre y de soberanía tecnológica que impulsa nuestro país.
- SIGMIC v1.0: SIG solicitado por el Ministerio de la Informática y las Comunicaciones (MIC) para la representación, análisis y consulta de todas las empresas adscritas al ministerio y sus proyectos, tanto nacionales como en el extranjero.
- SIG-Rutas v1.0: SIG para la gestión y consulta del transporte obrero en la UCI. Desplegado en la universidad con muy buena demanda y aceptación.
- SIG-Salud v1.0: SIG para gestión hospitalaria basado en la Plataforma GeneSIG v1.5, que se integra al paquete de soluciones Alas desarrollado por el Centro de Informática Médica (CESIM) de la UCI, y desplegado en varios estados de la República Bolivariana de Venezuela.
- SIGONRM v1.0: SIG basado en GeneSIG v1.0 para la gestión y consulta -por parte de la Oficina Nacional de Recursos Minerales (ONRM)- tanto de los recursos mineros y petroleros del país, como de sus áreas protegidas.
- SIGUCI v1.0: SIG para el análisis y consulta del campus universitario de la UCI. Desplegado en la institución desde 2009, es una de las aplicaciones que goza de mayor aceptación y uso en la intranet de la institución.

3.7. Conclusiones Parciales

Al aplicar un método multicriterio para evaluar la factibilidad de aplicar la solución propuesta, se obtienen resultados que califican la solución con una alta probabilidad de éxito.

Por último, con la construcción y aplicación de los componentes propuestos en el desarrollo de proyectos reales, se dieron respuestas a las preguntas de investigación formuladas en el trabajo.

Conclusiones

Como aspectos relevantes y a modo de conclusión se destaca lo siguiente:

La integración de datos sociales y económicos con datos geográficos tiene notoria importancia, dado que permite ver desde otra perspectiva, información estadística, que puede resultar de gran utilidad para los directivos y personas en general. La especificación y construcción de un componente que permite crear mapas temáticos y es capaz de ser consultado y de brindar sus resultados de forma estándar constituye un paso de avance en la obtención de soluciones que permitan reflejar la distribución espacial de fenómenos de diversas índoles. Esto, junto con las técnicas utilizadas para el análisis multidimensional de datos generados como consecuencia de todas las transacciones que tienen lugar en la actividad diaria, es útil como apoyo a los procesos de toma de decisiones.

El análisis geométrico en los SIG no es un problema simple si se quieren obtener resultados válidos. Debe el usuario ser consciente de la naturaleza de los datos con los que está trabajando, qué tipo de proyección y algoritmos utilizar en dependencia de los resultados que se quieran obtener. Por su parte, el componente presentado para la configuración de mapas digitales, sirve como soporte para la inclusión e implementación de la propuesta de algoritmos presentados en (7) en aplicaciones SIG web, permitiendo a estas la posibilidad de ofrecer resultados válidos para diferentes niveles de usuarios.

Con la construcción del componente para la generación de zonas de influencias, se permite la obtención de una de las transformaciones más importantes sobre capas vectoriales. El hecho de que estas geometrías *-buffers-* obtenidas, pueden posteriormente ser consultadas y/o representadas en mapas digitales a través de servicios estándares propuestos por el OGC tales como el WFS y/o WMS; facilitaría la realización de diversos análisis sobre la influencia en su entorno de determinados fenómenos, así como la predicción de las posibles afectaciones y/o beneficios.

El hecho de los componentes propuestos funcionar a través de operaciones diseñadas basadas en las especificaciones del OGC, les permiten servir como referencia y/o punto de partida a la hora de instituciones llegar a un consenso de cómo y qué incluir en la construcción de nuevos estándares que sean definidos con los mismo objetivos que los componentes propuestos.

El ser los componentes implementados con herramientas y tecnologías libres, en consecuencia con las políticas de migración a software libre y de soberanía tecnológica que impulsa nuestro país, permiten dar una respuesta eficiente y eficaz a las necesidades de procesamiento de información geoespacial, y a las exigencias actuales y perspectivas del mercado nacional e internacional.

Cualquier aplicación que incluya los componentes propuestos se verá beneficiada en la ampliación de la gama de funcionalidades que proveerá, así como en la posibilidad de difusión y/o consulta de la IG que gestiona.

Recomendaciones

Extender el funcionamiento del componente para la creación de mapas temáticos para el trabajo con capas *raster*.

Extender el funcionamiento del componente de configuración del mapa, para soportar operaciones para la definición de nuevos sistemas de referencia espacial.

Incluir en el componente para la generación de áreas de influencias parámetros para la definición de condicionales que permitan generar los *buffers* con radios variables.

1. *AN OVERVIEW AND DEFINITION OF GIS*. **Maguire , D. J.** Longman, London, UK : s.n., 1991, Geographical information systems: Principles and applications, Vol. 1, pp. 19-20.
2. **HARMON, John E. and ANDERSON, Steven J.** *The design and implementation of geographic information systems*. s.l. : John Wiley & Sons, 2003.
3. **Nebert, Douglas D.** *El Recetario IDE (The SDI Cookbook)*. [Online] 2001. <http://redgeomatrica.rediris.es/metadatos/publica/recetario/html/>.
4. **Estévez González, Víctor, Garmendia Salvador, Luis and Giménez de Ory, Elena .** *Visión general de los Sistemas de Información Geográfica. Geoservicios en la web*. Madrid : s.n., 2013.
5. *Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica en Cuba*. **Batista , J. L.** 2005, Mapping Interactivo: Revista Internacional de Ciencias de la Tierra.
6. **Delgado, T.** *Infraestructuras de Datos Espaciales en países de bajo desarrollo tecnológico. Implementación en Cuba*. 2005. PhD. Thesis, Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas.
7. *Sistema para la Creación de Mapas Temáticos*. **Ramón Antunez, Romanuel and Hernández Montero, Lidisy.** La Habana : s.n., 2011. Informática 2011.
8. **CIAMPAGNA & ASOCIADOS.** *Introducción a la Cartografía Temática*. s.l. : GDSIG.
9. **Ormeling, Ferjan.** Thematic Maps. [book auth.] IMY. *The World of Maps*. s.l. : International Cartographic Association, 2014.
10. **Ortiz, Gabriel.** Tu web sobre Sistemas de Información Geográfica. [gabrielortiz.com](http://recursos.gabrielortiz.com/). [Online] <http://recursos.gabrielortiz.com/index.asp?destino=diccionario&termino=geoide%20%28geoid%29>.
11. **Ramón Antunez, Romanuel.** *PROPUESTA DE ALGORITMOS PARA ANÁLISIS GEOMÉTRICOS EN SIG*. La Habana : UCI, 2011. Tesis presentada en opción al título de Master en Informática Aplicada.
12. **Fallas, Jorge.** *PROYECCIONES CARTOGRÁFICAS Y DATUM ¿Qué son y para qué sirven?* s.l. : TeleSig-Universidad Nacional : Laboratorio de Teledetección y Sistemas de Información Geográfica PRMVS-EDECA, 2003.
13. **Goizueta, javier.** *Sistemas de Referencia Geodésicos. Proyecciones Cartográficas*. s.l. : ECAS Técnicos Asociados S.A, 2006.
14. **Ass, F. Martín.** *Geodesia y Cartografía Matemática*. s.l. : IGN, 1983.
15. **Muehrcke, P.C. and Muehrcke, J. O.** *Map Use. Reading, analysis interpretation*. Madison.Wisconsin, USA : s.n., 1992.
16. **ESRI.** *ArcGIS Resource Center*. [Online] 2011. <http://resources.arcgis.com/es/home/>.
17. **Olaya, Victor.** *Sistema de Información Geográfica*. 2011.
18. **Pesquer Mayos, Lluís, Pons Fernández, Xavier and Masó Pau, Joan.** International Society for Photogrametry and Remote Sensing. www.isprs.org. [Online] 2003. http://www.isprs.org/publications/related/semana_geomatica05/front/abstracts/Dimarts8/G08_abs.pdf.
19. **Mata Rivera, Miguel Félix.** *Recuperando y Analizando Datos*. Mexico, DF : s.n., 2004. Tesis.
20. **Tomlin, C. Dana.** *Geographic Information Systems and Cartographic Modeling*. s.l. : Prentice-Hall, 1990. ISBN-10: 0133509273.
21. **Star , Jeffrey and Estes, John.** *Geographic Information Systems: An Introduction*. s.l. : Prentice-Hall, 1990. ISBN-10: 0133511235.

22. **Korte, George B.** *The GIS Book. How to Implement, Management and Assess the Value of Geographic Information Systems.* 5th Edition. Albany, New York, USA : Thomson Learning, 2001. ISBN: 0-7668-2820-4.
23. **Mell, Peter and Grance, Timothy.** The NIST Definition of Cloud Computing. *NIST.* [Online] 2011. <http://csrc.nist.gov/publications/nistpubs/800-145/SP800-145.pdf>. Special Publication 800-145.
24. **Mahmood, Zaigham.** *Cloud Computing. Methods and Practical Approaches.* s.l. : Springer-Verlag, 2013. ISBN 978-1-4471-5106-7.
25. *Cloud Computing: A solution to Geographical Information Systems (GIS).* **Bhat, Muzafar Ahmad, Shah, Razeef Mohd and Ahmad, Bashir.** 2011. International Journal on Computer Science and Engineering (IJCSE) . Vol. 3. ISSN : 0975-3397.
26. **ESRI Comunity.** *GeoCommons.* [Online] 2015. <http://geocommons.com/>.
27. **IkiMaps Group.** *IkiMaps.* [Online] <http://www.ikimap.com/es>.
28. **52 Stairs Studio Inc.** *Scribble Maps.* [Online] <http://www.scribblemaps.com/>.
29. **Vizzuality.** *CartoDB.* [Online] <https://cartodb.com/>.
30. *Integrating semantic and syntactic descriptions to chain geographic services.* **Granel, C., et al., et al.** 5, s.l. : IEEE, 2006, IEEE internet computing, Vol. 10, pp. 42-52. ISSN: 1089-7801.
31. **Open Geospatial Consortium.** OGC. Making location count. [Online] <http://www.opengeospatial.org/>.
32. —. WMS. OGC. *Making location count.* [Online] <http://www.opengeospatial.org/standards/wms>.
33. —. WFS. OGC. *Making location count.* [Online] <http://www.opengeospatial.org/standards/wfs>.
34. —. WPS. OGC. *Making location count.* [Online] <http://www.opengeospatial.org/standards/wps>.
35. —. SFA. OGC. *Making location count.* [Online] <http://www.opengeospatial.org/standards/sfa>.
36. —. GML. OGC. *Making location count.* [Online] <http://www.opengeospatial.org/standards/gml>.
37. **IDEE.** *Infraestructura de Datos Espaciales de España.* [Online] 2012. http://www.idee.es/resources/documentos/RD_wms_v1_3.pdf.
38. **CHANG, Kang-tsung.** *Introduction to geographic information systems.* Boston : McGraw-Hill Higher Education, 2006.
39. **Rienzi, Bruno, Serra, Flavia and Sosa, Raquel.** Taller de Formación para Sistemas de Información Geográficos. *Campus Virtual.* [Online] <http://campusvirtual.edu.uy/libro1/capitulo8.pdf>.
40. **CrabDish.** *UMapper.* [Online] <http://www.umapper.com/>.
41. **Proj.4.** Trac. *Proj. 4.* [Online] <http://trac.osgeo.org/proj/>.

Anexo 1. Cuestionario a Expertos

Teniendo en cuenta su experiencia profesional usted ha sido seleccionado para colaborar con una investigación encaminada a desarrollar bajo el principio de independencia tecnológica un conjunto de componentes para funcionalidades de análisis y configuración basados en estándares OpenGIS. Para valorar el resultado sobre el nivel de experiencia que Ud. posee, le pedimos realice la siguiente autoevaluación.

I - Datos generales del encuestado:

Institución y departamento en que labora: _____

Cargo que ocupa: _____

Título universitario: _____

Grado científico: _____

Años de experiencia en el desarrollo de software: _____

Años de experiencia en el desarrollo de SIG: _____

II. Evalúe el nivel de dominio sobre el tema encuestado marcando con una cruz sobre la escala del 1 (dominio mínimo) al 10 (dominio máximo).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

III. Evalúe la influencia de las siguientes fuentes de argumentación en los criterios valorativos aportados por usted.

Fuentes de argumentación	Grado de influencia de las fuentes de argumentación		
	Alto	Medio	Bajo
Análisis teórico realizado			
Experiencia adquirida			
Conocimiento de trabajos de autores nacionales			
Conocimiento de trabajos de autores extranjeros			
Conocimiento del estado del problema en el mundo			
Su intuición			

IV. Necesitamos que usted evalúe cada uno de los indicadores que se le presentarán. Para expresar su evaluación, evalúe a cada uno de los indicadores que se le presentan en la siguiente tabla, colocando el valor numérico en la casilla correspondiente y teniendo en cuenta para ello las siguientes escalas de clasificación: 5 Muy adecuado, 4 Bastante adecuado, 3 Adecuado, 2 Poco adecuado y 1 Inadecuado.

Indicadores	Criterio	Evaluación
Necesidad	Necesidad de la aplicación.	
Científica	Calidad de la investigación.	
	Novedad científica.	
	Aporte de la investigación.	
Económica	Contribución a disminuir costos en licencia de software.	
	Contribución a disminuir tiempo de toma de decisiones.	

	Contribución a disminuir tiempo de desarrollo de aplicaciones SIG.	
Aplicabilidad	Facilidad de integración en nuevos desarrollos.	
	Aplicabilidad de las funcionalidades desarrolladas para los usuarios finales.	

V. Si desea exponer cualquier otra opinión, por favor, exprese en el espacio disponible a continuación:

MUCHAS GRACIAS POR SU COLABORACIÓN

_____ Código

Anexo 2 Tablas del Método de Experto

Tabla 9. Cálculo del coeficiente de conocimiento para los expertos

No. de experto	Escala										k_c
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1						x					0.6
2							x				0.7
3							x				0.7
4								x			0.8
5								x			0.8
6										x	1
7									x		0.9
8										x	1
9										x	1
10									x		0.9
11										x	1
12								x			0.8
13										x	1
14									x		0.9
15									x		0.9

Tabla 10. Matriz de coeficientes de argumentación por experto

No. de experto	Fuente de argumentación					
	1	2	3	4	5	6
1	B	M	M	B	B	M
2	B	M	M	B	B	M
3	B	M	M	B	M	M
4	M	M	M	B	M	M
5	M	M	M	M	M	M
6	A	M	A	M	B	A
7	M	M	A	M	M	M
8	A	M	A	M	M	A
9	A	M	A	A	A	M
10	M	M	A	A	M	A
11	A	M	M	A	A	A
12	M	M	M	M	M	M
13	A	M	A	M	A	A
14	M	M	A	M	M	M
15	M	M	M	M	M	M

Tabla 11. Matriz del criterio de experto por indicador

Experto	Indicador									$P_i = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n_i}$	$\bar{C} = \frac{\sum_{i=1}^m P_i}{m}$
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
6	5	4	4	5	5	4	5	5	5	4.67	4.58
7	5	4	4	5	5	5	4	5	4	4.56	
8	4	5	5	5	5	4	5	5	5	4.78	
9	5	4	3	4	5	5	5	5	4	4.44	
10	4	5	4	5	5	4	5	5	5	4.67	
11	4	5	5	4	5	4	4	5	4	4.44	
13	4	4	4	5	5	4	4	5	5	4.44	
14	5	4	4	4	5	5	5	5	5	4.67	
15	4	5	5	4	5	4	4	5	5	4.56	
$\sum_{j=1}^m C_j$	40	40	38	41	45	39	41	45	42		
P_j	4.44	4.4 4	4.2 2	4.5 6	5	4.3 3	4.5 6	5	4.6 7		
$(\sum_{i=1}^m C_i - \bar{C})^2$	-1.22	- 1.2 2	- 3.2 2	- 0.2 2	3.7 8	- 2.2 2	- 0.2 2	3.7 8	0.7 8		
$\sigma^2 = \sum_{j=1}^n (\sum_{i=1}^m C_i - \bar{C})^2$	47.57										
$k = \frac{12\sigma^2}{m^2(n^3 - n)}$	0.009 8										
$x^2 = m(n - 1)k$	0.71										