



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO**  
**CENTRO UNIVERSITARIO UAEM TEXCOCO**

**COMPARATIVA ENTRE HERRAMIENTAS DE SISTEMAS DE  
INFORMACIÓN GEOGRÁFICA LIBRES Y PRIVATIVAS**

**Tesina**

**Previa a la obtención del título de  
Lic. En Informática Administrativa**

**Presentado por:**

**MAYTE GUADALUPE LUCERO PAREDES**

**Director: Dr. Adrián Trueba Espinosa**

**Revisor: M. en C.A. José Sergio Ruiz Castilla**

**Revisor: M. en C.C. Ángel Rafael Quintos Ramírez**

**2012**



## *Agradecimientos*

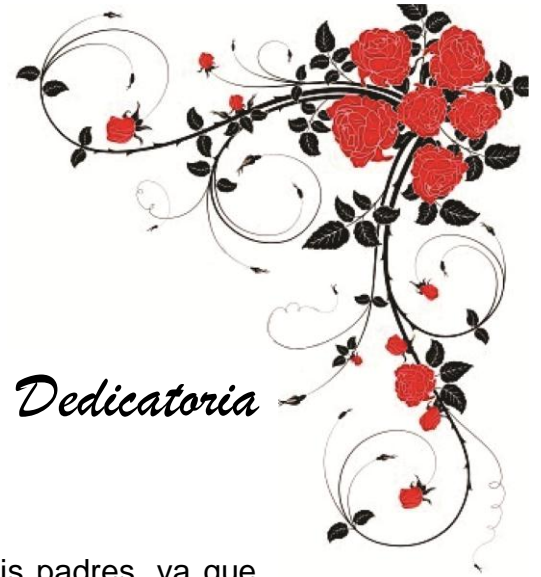
Son muchas las personas a quienes agradezco el logro de esta meta, pero principalmente agradezco a Dios por guiar mi camino y permitir tener el apoyo, orientación y motivación de dichas personas.

A toda mi familia, principalmente a mis padres, que nunca dejaron de creer en mí y siempre me brindaron el amor, la motivación y el apoyo necesario para continuar con mis estudios. A mis hermanos, mis sobrinos, mi cuñada y mi ahijado, por que se han convertido en una de mis motivaciones para salir adelante. A mi esposo, con quien he decidido compartir mi vida, quien me ayuda y apoya con sus palabras de aliento, su paciencia y su amor.

Agradezco infinitamente a mi Director de Tesina el Dr. Adrián Trueba Espinosa, por su paciencia, constancia, orientación y consejos que han permitido la culminación de este trabajo de investigación.

De igual manera a los profesores revisores M. en C.A. José Sergio Ruiz Castilla y M. en C.C. Ángel Rafael Quintos Ramírez, por su cooperación y sus acertados consejos. Y a todos los profesores y autoridades del Centro Universitario UAEM Texcoco, institución a la que con orgullo pertenezco.

Finalmente al Dr. José Guadalupe Ruiz Salazar, por la oportunidad brindada para laborar y los permisos otorgados, para poder asistir a mis revisiones.



## *Dedicatoria*

La culminación del presente trabajo lo dedico a mis padres, ya que con su amor, enseñanza y ejemplo han hecho de mí una persona de bien, con metas y propósitos para ser mejor cada día; y me han inspirado a salir adelante.

A mis hermanos, por que con su amor y compañía han llenado mi vida de alegrías; a mi cuñada, por darme dos sobrinos maravillosos que llenan mi vida de amor y de ilusiones. Y en general a toda mi familia, a mis tías, tíos, primos, sobrinos y abuelo.

A mi esposo, que se ha convertido en una motivación más para dar de mí lo mejor y ha sido un ejemplo para darme cuenta que se pueden lograr muchas cosas más de lo esperado.

Y principalmente lo dedico a Dios, que me ha dado la sabiduría y los medios necesarios para lograr esta meta y ha llenado mi vida de bendiciones, de amor, felicidad y salud.

# ÍNDICE

<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>6</b>
<b>II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>8</b>
<b>III. JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>10</b>
<b>IV. OBJETIVOS .....</b>	<b>11</b>
4.1. OBJETIVO GENERAL.....	11
4.2. OBJETIVOS PARTICULARES .....	11
<b>V. METODOLOGÍA.....</b>	<b>12</b>
<b>VI. HISTORIA DE LOS SIG .....</b>	<b>13</b>
<b>VII. DEFINICIÓN DE SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) .....</b>	<b>16</b>
<b>VIII. COMPONENTES DE UN SIG .....</b>	<b>17</b>
8.1. HARDWARE.....	18
8.2. SOFTWARE .....	19
8.3. DATOS.....	20
8.4. RECURSO HUMANO .....	20
8.5. MÉTODOS.....	21
<b>IX. FUNCIONES DE UN SIG.....</b>	<b>22</b>
9.1. DATOS DE ENTRADA .....	22
9.2. ALMACENAMIENTO Y ADMINISTRACIÓN DE DATOS .....	23
9.3. MANIPULACIÓN Y ANÁLISIS.....	24
9.4. VISUALIZACIÓN Y SALIDA.....	24
<b>X. TIPOS DE SIG DE ACUERDO AL MODELO DE DATOS ESPACIALES .....</b>	<b>26</b>
10.1. MODELO DE DATOS RASTER.....	26
10.2. MODELO DE DATOS VECTOR.....	28
10.3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS MODELOS DE DATOS .....	31
<b>XI. TIPOS DE SIG DE ACUERDO AL TIPO DE LICENCIAMIENTO .....</b>	<b>33</b>
11.1. APLICACIONES SIG PRIVATIVAS.....	36
11.2. APLICACIONES SIG LIBRES .....	37
11.3. PRODUCTOS DE SOFTWARE GIS .....	40
<b>XII. DESCRIPCIÓN GENERAL DE SOFTWARE´S .....</b>	<b>41</b>
12.1. ARCGIS .....	41
12.2. ERDAS.....	41
12.3. IDRISI.....	42
12.4. GRASS.....	42

12.5. GVSIG.....	43
12.6. ILWIS .....	43
<b>XIII. COMPARATIVA ENTRE HERRAMIENTAS SIG LIBRES Y PROPIETARIAS .....</b>	<b>44</b>
13.1 ASPECTOS DESTACABLES DE UN SIG.....	44
ANÁLISIS ESPACIAL.....	44
CAPACIDAD RASTER .....	46
CAPACIDAD 3D.....	46
GENERACIÓN Y PRESENTACIÓN DE MAPAS.....	47
INTEROPERABILIDAD .....	47
<b>XIV. ASPECTOS DE COSTOS A CONSIDERAR PARA ELEGIR UN SOFTWARE SIG</b>	<b>52</b>
<b>XV. ALCANCES DE APLICACIONES DE LOS SIG .....</b>	<b>53</b>
<b>XVI. RESULTADOS .....</b>	<b>59</b>
<b>XVII. DISCUSIÓN .....</b>	<b>63</b>
<b>XVIII. CONCLUSIONES .....</b>	<b>69</b>
<b>XIX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>71</b>

## **ÍNDICE DE CUADROS**

Cuadro 1. Ventajas y desventajas del modelo de datos raster y vectorial .....	31
Cuadro 2. Lista de Productores de Software GIS y sus principales productos (Chang, 2010). .....	40
Cuadro 3. Ejemplos de alcances de aplicaciones de los sistemas de información geográfica.....	55
Cuadro 4. Comparativa de herramientas SIG Propietarias y Libres .....	60

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1. Representación de variable cuantitativa en formato raster (Sarria, 2004). .....	27
Figura 2. Representación de variable cualitativa en formato raster (Sarria, 2004).....	28
Figura 3. Formato vectorial. ....	30
Figura 4. Modelo de datos raster y vectorial (AulaTI, 2009). ....	32

# I. INTRODUCCIÓN

Los Sistemas de Información Geográfica (también conocidos como SIG), involucran diversos factores gráficos y de bases de datos que proyectan eficazmente a la gestión territorial para la toma de decisiones.

El término GIS (siglas en inglés) o SIG fue introducido en el año de 1964 después de haberse dado a conocer el proyecto denominado *Canadian Geographical Information System* (CGIS), desarrollado para registrar el inventario y proyección de la ocupación del suelo. De este proyecto se crearon otros sistemas y se hicieron grandes aportes por parte de instituciones educativas en varios países. En la década de los 70's con la creación de los programas GRID e IMGRID basados en la representación raster, se desarrollo el MAP de Dana Tomlin, el cual sirvió como pauta para el desarrollo de los SIG's comerciales. En 1994 se crea el consorcio OpenGIS formado por distribuidores GIS, agencias gubernamentales y usuarios, con lo que surge un mayor interés por el desarrollo de software libre para SIG (Bosque, 1992).

Hay aplicaciones desarrolladas bajo software libre, así como, propietario, con atributos y funcionalidades equiparables. Respecto a su uso, existe una inmensa variedad de aplicaciones desarrolladas, por ejemplo para el manejo de recursos naturales, gestión de servicios públicos, aplicaciones empresariales y científicas.

La inserción en el uso de plataformas libres ha sido la pauta para que muchas aplicaciones desarrolladas bajo software libre se hayan puesto a la par o incluso

(en algunos casos) superado a sus competidoras desarrolladas bajo software propietario. Considerando lo anterior, es necesario documentar las ventajas y desventajas que hay al elegir un SIG comercial o libre, con el fin de poder determinar sin mucho problema que SIG elegir es más conveniente elegir.

## II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Un Sistema de Información Geográfica (SIG), es una herramienta que ofrece múltiples utilidades en diversos ámbitos de aplicación con alcances diversos. Los SIG se conforman de una base que almacena datos temáticos, los cuales, sirven para identificar etiquetas o datos de información relacionada con ubicaciones de datos espaciales, representados por medio de mapas digitales. Con esto, el usuario hace consultas interactivas para analizar información espacial y manipular datos.

En el mercado y en el ámbito del software libre existen diversos SIG's que realizan diferentes operaciones; desde los complejos hasta los que sirven de introducción al manejo de los mismos, pasando por los de funcionamiento medio. Esta diversidad trae como consecuencia que las personas en un momento tengan conflictos al tomar una decisión para seleccionar un SIG de acuerdo a los alcances técnicos, también se enfrentan a conflictos para seleccionar entre un SIG comercial o uno de distribución libre, es decir, entre los que tienen costo y los que son de uso libre.

Este fenómeno se presenta debido a la carencia de un documento que pueda verter características técnicas y económicas de comparación de cada uno de ellos. Esta falta de información puede traer como consecuencia hacer una mala inversión, ya que de comprar o empezar a trabajar en un SIG no adecuado, se tendrían pérdidas económicas por hacer una inadecuada compra y por otro lado



pérdida de tiempo al no poder concluir el trabajo por falta de características técnicas en un SIG determinado.

Por lo anterior es de gran utilidad conocer ¿Cuáles son los aspectos técnicos, de costos y alcances de aplicaciones que se deben considerar al momento de elegir un software para desarrollar un Sistema de Información Geográfica?.

### III. JUSTIFICACIÓN

Los Sistemas de Información Geográfica se han convertido en los últimos años, en una importante herramienta que se emplea para visualizar una distribución espacial de los resultados de algún fenómeno que se esté estudiando y ver cómo cambian las condiciones en el tiempo y en el espacio. Las aplicaciones que se hacen tienen impacto en las actividades académicas, empresariales y gubernamentales.

Si se conocieran las características de los principales SIG's, que hay a la venta y de licencia libres en un documento donde se comparen costos, características técnicas y de alcance en aplicaciones, se podría hacer una selección adecuada para trabajar y generar estudios de alto nivel a menores costos. Con esto las empresas podrían lograr un ahorro económico y lograr cumplir adecuadamente con su quehacer académico o empresarial.

Conocer las características técnicas y de costos de los SIG antes de adquirir uno para trabajar trae como consecuencias ahorros económicos, por ello se considera relevante conocer cuál es la importancia que tienen las aplicaciones de los Sistemas de Información Geográfica en diferentes áreas de trabajo y los costos que implican.

## **IV. OBJETIVOS**

### **4.1. Objetivo general**

Documentar un estudio comparativo que concentre las ventajas y desventajas de los sistemas de información geográfica comerciales y de licencia libre. Considerando los aspectos técnicos, costos y alcances de aplicaciones.

### **4.2. Objetivos particulares**

Documentar las características técnicas de los Sistemas de Información Geográfica con licencia y sin licencia.

Documentar el uso de los Sistemas de Información Geográfica con licencia y libres que se han implementado en diversas áreas.

Comparar los costos de los Sistemas de Información Geográfica para poder elegir entre uno de ellos en función de las necesidades de usabilidad.

Hacer un análisis de alcances y beneficios de los SIG para elegir alguno de ellos de acuerdo a la aplicación y costo.

## V. METODOLOGÍA

Para llevar a cabo el estudio comparativo se han de seleccionar seis herramientas SIG; de las cuales tres serán propietarias y tres libres. Además de conocer las características de cada tipo de licenciamiento, incluyendo sus ventajas y desventajas.

Realizar una investigación documental de las herramientas SIG seleccionadas para conocer a profundidad sus principales características y funcionalidades.

Determinar cuáles son los aspectos destacables en un SIG, para realizar un análisis comparativo y posteriormente obtener una ponderación de cada SIG.

Realizar una comparación de costos de inversión para llevar a cabo la implementación de cada SIG.

Documentar aplicaciones o proyectos en los que se ha implementado un SIG de acuerdo a cada software de los seis elegidos, considerando el área o industria de aplicación, el año y país en que fue implementado, así como su finalidad para la que fue creado.

## VI. HISTORIA DE LOS SIG

En el año de 1964 se lleva a cabo un proyecto, el cual promueve mucha tecnología e introduce el término GIS, dicho Sistema de Información Geográfica fue el denominado *Canadian Geographical Information System (CGIS)*, utilizado para el inventario y planeamiento de la ocupación del suelo, financiado por el departamento de agricultura de Canadá y uno de sus principales colaboradores fue Roger Tomlinson. A partir de esto, otros sistemas fueron creados como LUNR (*Land Use and Natural Resources Information System*) desarrollado en 1967 en el estado norteamericano de Nueva York; MLMIS (*Minnesota Land Management Information System*) creado en el año de 1969; PIOS (*Polygon Information Overlay System*) creado en 1971; ORMIS (*The Oak Ridge Modelling Information System*, 1972); STORET (*STOrage and RETrieval*). Además, tanto organismos como individuos han aportado innovaciones importantes, pero en lo que respecta a modelo de datos a utilizar en los SIG, los aportes más significativos han sido por parte del Laboratory for Computer Graphics and Spatial Analysis de la Universidad de Harvard en Estados Unidos, fundado en el año de 1966 por H. Fisher, cuyo objetivo principal fue utilizar las computadoras para la elaboración de gráficos y el manejo de información espacial para el planeamiento territorial, siguiendo la ideología de McHairg plasmada en su obra *Design with Nature (1969)*. Entre las principales actividades del laboratorio destaca la elaboración de diversos programas tales como, SYMAP un programa de cartografía asistida por computadora, elaborado para grandes computadoras, que permitía la obtención de

“borradores” de los mapas trazados mediante una impresora de líneas, que conservaba digitalmente la información espacial por medio de líneas de coordenadas. Posteriormente surgen los programas que utilizan el trazador de curvas (plotter) como CALFORM en 1970, en el cual existe mayor calidad de las reproducciones. De igual manera, se elabora el programa GRID e IMGRID basados en la representación raster del espacio geográfico, los cuales más tarde servirían como base para la creación del programa MAP de Dana Tomlin, que a su vez ha servido como pauta para los SIG comerciales posteriores, tales como IDRISI y ERDAS. Más tarde se desarrolla el programa POLYVRT en el cual se integra la topología de los objetos cartográficos principalmente en formato DIME (*Dual Independent Map Encoding*) que incluye la topología de la información espacial. En consecuencia de este, se crea el primer y verdadero SIG de tipo vectorial llamado ODYSSEY, incluyendo la digitalización semiautomática de los datos espaciales, la gestión de base de datos y la elaboración interactiva de los mapas (Bosque, 1992).

Otro de los grandes aportes fue hecho por la empresa comercial ESRI, fundada en el año de 1969, por Jack Dangermond, estudiante del laboratorio de Harvard y su esposa Laura, quienes partieron de los trabajos de Harvard desarrollando y ampliando estos planteamientos, creando varios Sistemas de Información y programas propios, destacando el llamado ARC/INFO basado en el ODYSSEY y que actualmente es uno de los SIG con mayor impacto dentro del mercado. En ese mismo año Jim Meadlock y otras 4 personas que trabajaron en Sistemas de teledirección para cohetes de Saturno, forman M&S Computing, que más tarde se

conocería como Intergraph otra de las principales empresas del mercado. Posteriormente en el año de 1987 Terry Coppock y otros publican la primera revista internacional sobre GIS, en cuyo contenido se presentan trabajos de Estados Unidos, Canadá, Alemania y el Reino Unido, principalmente. Más tarde en el año de 1988 se crean dos centros de investigación; El Centro Nacional para la Investigación Geográfica y Análisis (NCGIA) por la National Science Foundation de los Estados Unidos, con la finalidad de desarrollar investigación básica sobre el análisis geográfico utilizando Sistemas de Información Geográfica y el UK RLL (*Regional Research Laboratory*) cuya finalidad fue mejorar instalaciones para el procesamiento de datos en las ciencias sociales, aunque solo fue financiada hasta 1991. Ya en 1994 por decreto (12906) del ejecutivo firmado por el presidente Clinton, se lleva a cabo la creación de la NDSI (*National Spatial Data Infrastructure*) y la FGDC (*Federal Geographic Data Committee*), es decir, se establece la infraestructura nacional de datos espaciales y el comité federal de datos geográficos, respectivamente, así como también la creación de centros de intercambio de información denominados *clearinghouses*. En este mismo año se crea el Consorcio OpenGIS (Consorcio geoespacial abierto), un consorcio formado por distribuidores de GIS, agencias gubernamentales y usuarios que aportan conocimientos para ir mejorando la interoperabilidad (Longley, et al., 2011).

En el 2004 el usuario SIG más grande del mundo, *National Imagery and Mapping Agency* conocido como NIMA, cambian su nombre a NGA (*National Geospatial-Intelligence Agency*), para hacer énfasis en geo-inteligencia y cuya finalidad es proporcionar inteligencia geoespacial oportuna, pertinente y precisa para apoyar

los objetivos de seguridad nacional (National Geoespatial Intelligence Agency, 2012).

## **VII. DEFINICIÓN DE SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)**

Numerosas definiciones han sido formuladas a través de la historia de los SIG's por diferentes autores, entre las más destacadas encontramos las siguientes:

Un Sistema de Información Geográfica se define como “un conjunto de herramientas para almacenamiento, recuperación, transformación y la representación de datos espaciales relativos al mundo real para una particular serie de propósitos” (Burrough, 1986). Tras esta definición el mismo autor formula otra aun más completa en la cual, define a los SIG como “un conjunto de herramientas para reunir, introducir, almacenar, recuperar, transformar y cartografiar datos espaciales sobre el mundo real para un conjunto particular de objetivos” (Burrough, 1988).

Otra importante definición es la formulada por la NCGIA (National Center for Geographic Information and Analysis) en el año de 1990, en la cual se define a los Sistemas de Información Geográfica como “un sistema de hardware, software y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación,



análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados, para resolver problemas complejos de planificación y gestión” (NCGIA, 1990).

En el año de 1992 Joaquín Bosque Sendra, los define como “un conjunto de mapas de la misma porción del territorio, donde un lugar concreto tiene la misma localización en todos los mapas incluidos en el sistema de información, resultando posible realizar análisis de sus características espaciales y temáticas para obtener un mejor conocimiento de esa zona”.

Para el 2005 DeMers define a los Sistemas de Información Geográfica como “un sistema diseñado para introducir, almacenar, editar, recuperar, analizar y representar datos geográficos e información” (DeMers, 2005).

## **VIII. COMPONENTES DE UN SIG**

Un Sistema de Información Geográfica, es en esencia, un programa de ordenador y por ello, es necesario conocer algunos de los elementos que constituyen la tecnología informática (Bosque, 1992).

Un SIG está conformado por cinco componentes, los cuáles cumplen con una función, permitiendo así alcanzar la eficacia e interacción necesaria durante su desarrollo y uso.

A continuación se hace una descripción de los componentes:

## 8.1. Hardware

Básicamente es el equipo de cómputo donde opera el SIG, ya que permite la interacción del usuario con el sistema.

Todo SIG requiere de éste para las operaciones básicas de entrada de datos, almacenamiento, manipulación y salida. En términos generales debido a las grandes cantidades de datos, es importante que el hardware del ordenador este equipado con un procesador potente y gran capacidad de almacenamiento (Maguire, 1989).

El hardware incluye equipos como PCs y estaciones de trabajo (workstations). Adicionalmente el equipo puede incluir monitores, digitalizadores y escáner para la digitalización de los datos espaciales, receptores GPS (Global Positioning Systems) y dispositivos móviles, e impresoras y plotters para impresión y visualización de datos (Chang, 2010).

Según Bosque, (1992) los elementos físicos básicos son: la unidad central de proceso (CPU) y los periféricos. La primera compuesta esencialmente de un procesador electrónico, una memoria de acceso rápido y un sistema de comunicación entre estos elementos. Y los periféricos compuestos por sistemas de almacenamiento masivo, periféricos de entrada como pantalla, teclado y apuntadores electrónicos y los de salida pantalla, impresoras y trazadores o plotters.

## 8.2. Software

Es la parte lógica o inmaterial en el funcionamiento del equipo de cómputo. Es decir, "...actuá como soporte lógico que organiza, dirige y da consistencia a todo el sistema" (Sitjar, 2009).

Proporciona al ordenador, a los dispositivos físicos que lo forman, las instrucciones para realizar todas las tareas que debe desarrollar (Bosque, 1992).

El software se compone de un conjunto diverso de elementos: por un lado, el denominado sistema operativo (software de base) y por otro los programas de aplicación (Cebrián, 1988). Dentro de éste último entra el software SIG que provee las herramientas necesarias para almacenar, analizar y desplegar información geográfica. Incluye un Sistema de Gestión de Base de Datos (DBMS), para facilitar búsquedas geográficas, además de permitir visualización y una interfaz gráfica que facilite el acceso al usuario.

Chang (2010) considera que el software incluye el código fuente y la interfaz de usuario. El código puede estar escrito en C++, Visual Basic, o Python (cabe aclarar que existen otros lenguajes de programación utilizados para el desarrollo del software SIG). Las interfaces de usuario comunes son los menús, iconos gráficos, líneas de comando y scripts.

### **8.3. Datos**

Es la parte más importante de cualquier SIG. Los datos son la parte mediante la cual se representa la realidad, a la vez que permiten enlazarla a situaciones y aplicaciones específicas (Sitjar, 2009).

Una vez que se conoce un objeto en el mundo real, se identifican las propiedades que lo conforman tales como, atributos descriptivos y tipo de geometría como el elemento espacial.

De acuerdo con Maguire, (1989), en un SIG los datos de ubicación geográfica se utilizan para proporcionar una referencia espacial para los datos estadísticos.

Méndez (2003), expresa que la información es lo que da vida al propio sistema y se pueden encontrar dos tipos de ésta: los datos geográficos y los datos relacionados o referidos a esa cartografía, que son expresados tabularmente. Existen dos aspectos esenciales en el manejo de esta información y son su organización y su mantenimiento, es decir, la actualización de los eventos producidos en esa realidad.

### **8.4. Recurso humano**

Son quienes diseñan, dirigen, manejan el sistema y desarrollan planes para su aplicación a los problemas del mundo real. Es decir, son todos aquellos que

participan en la elaboración del SIG, y van desde los diseñadores y quienes dan mantenimiento, hasta los que lo utilizan para llevar a cabo su trabajo cotidiano. Se debe contar con el personal adecuado y capacitado para operar y administrar el sistema, ya que de no ser así se limita la tecnología y no se explota al máximo el potencial del hardware y software.

Chang (2010), expresa que los profesionales de SIG definen el propósito y los objetivos y esto proporciona la razón y justificación para su uso.

## **8.5. Métodos**

Los métodos se requieren para llevar a cabo las tareas de diseño, creación y funcionamiento del SIG y tienen como finalidad establecer su estructura.

Un Sistema de Información Geográfica se compone de diversos elementos que le permiten operar de acuerdo con un plan bien estructurado y con normas para la gestión de la actividad a la que está dirigido. Estos modelos y los procesos prácticos son únicos para cada empresa, organización o actividad y es lo que distingue a un SIG de otro, lo que da su carácter particular (Méndez, 2003).

## **IX. FUNCIONES DE UN SIG**

Los Sistemas de Información Geográfica realizan un gran número de diferentes funciones, las cuales se implementan de acuerdo al hardware y al software que lo conforman.

Las funciones de un SIG se dividen básicamente en cuatro grupos que son: datos de entrada, almacenamiento y administración, manipulación y análisis, y por último visualización y salida.

### **9.1. Datos de entrada**

Maguire (1989) menciona que la entrada tanto de datos geográficos como estadísticos deben ser entrada a un SIG. Su proceso de entrada implica la recopilación, verificación y edición de los datos.

La entrada de la información cartográfica debe tener un formato digital para que pueda ser usada por el SIG; a este proceso se le llama digitalización, el cuál hace uso de un digitalizador que es un dispositivo periférico requerido para la recolección de los datos. Los datos pueden ser georeferenciados o digitalizados a partir de mapas en papel, tablas de atributos, datos GPS, estudios de campo, archivos de texto con coordenadas x,y, fotografías aéreas e imágenes vía satélite.

En algunos casos los datos necesarios están disponibles en formatos compatibles con el equipo Maguire (1989) y son distribuidos por diversos suministradores de cartografía digital e incluso se pueden encontrar en internet.

Como se ha mencionado en este proceso se realiza también la verificación y edición de datos, Chang (2010) menciona como la edición, eliminar los errores de digitalización del mapa, como polígonos faltantes o polígonos no cerrados y la transformación geométrica que convierte el mapa digitalizado en un sistema de coordenadas proyectadas.

## **9.2. Almacenamiento y administración de datos**

Se requiere de un componente de gestión de datos que incluya las funciones necesarias para almacenar grandes cantidades de datos y que a su vez recupere datos de la base de datos. Existen diferentes formatos que pueden ser elegidos para almacenar los datos en función de su tipo y la aplicación que se le vaya a dar.

Para la gestión o administración de los atributos de un SIG se hace uso de un modelo de base de datos relacional, que es una colección de tablas enlazadas, que se relacionan entre sí por campos comunes, cada una de las cuáles puede ser preparada, mantenida y editada independientemente de las demás, pero que pueden ser unidas o relacionadas para una recuperación de datos.

### **9.3. Manipulación y análisis**

La manipulación de datos y las funciones de análisis determina la información que puede ser generada por el SIG (Aronoff, 1989).

Dependiendo de su aplicación para la cual fue diseñado, el SIG puede ser requerido para realizar una gran variedad de funciones. Dichas funciones pueden clasificarse en cuatro grupos (Aronoff, 1989): recuperación, superposición, vecindad y conectividad; y entre ellas se incluyen operaciones de consulta, medición de áreas o perímetros, superposición de capas de información, y álgebra de mapas o reclasificación de datos (Sitjar, 2009).

A partir de que se dispone de una información específica geográficamente referenciada y compatibilizada en cuanto a sus escalas y con herramientas que permitan su gestión, es posible efectuar consultas y/o análisis a esas informaciones. Las consultas brindan informaciones puntuales mientras que el análisis relacionará la existencia de objetos y ocurrencia de hechos con sus posibles consecuencias al coincidir ambos en un momento determinado (Méndez, 2003).

### **9.4. Visualización y salida**

La visualización es la respuesta a las consultas y al análisis de datos, puede darse por medio de mapas, tablas de valores, reportes, vistas, imágenes fotográficas,



entre otras, y que pueden ser impresas mediante impresoras o trazadores de gráficos (plotter). Dichas funciones de salida o presentación de informes se obtienen con mayor calidad, precisión y facilidad.

Es muy importante la participación del usuario, ya que éste es quien especifica los requisitos de salida, es decir, quien realiza las consultas y el análisis para la obtención de un resultado o ponderación.

## **DATOS GEOESPACIALES**

Chang (2010) menciona que para utilizar adecuadamente los datos geoespaciales en un SIG, debemos entender los sistemas de coordenadas y modelos de datos espaciales que distinguen a los datos geoespaciales de otros tipos de datos.

- **Sistema de coordenadas**

Los datos geoespaciales están geográficamente referenciados. Las características espaciales de la superficie de la tierra hacen referencia a un sistema de coordenadas geográficas en términos de valores de longitud y latitud (Chang, 2010).

Sin embargo, cuando las características se muestran en los mapas, basados en un sistema de coordenadas proyectadas x, y, los sistemas de referencia espacial están conectados por el proceso de proyección. Dicha proyección cartográfica permite representar una superficie esférica como la Tierra en una lámina de papel plana (Bugayevskiy y Snyder, 1995).

- **Modelos lógicos de datos**

El modelo lógico hace referencia a como se muestrean y organizan las variables y objetos para lograr una representación lo más adecuada posible.

En un SIG existen básicamente dos modelos lógicos que se conocen como formato raster y formato vectorial y que dan lugar a los dos grandes tipos de capas de información espacial (Sarria, 2004).

## **X. TIPOS DE SIG DE ACUERDO AL MODELO DE DATOS ESPACIALES**

### **10.1. Modelo de datos raster**

En el **formato raster** se divide el espacio en un conjunto regular de celdillas, cada una de estas celdillas contiene un número que puede ser el identificador de un objeto (si se trata de una capa que contiene objetos) o del valor de una variable (si la capa contiene esta variable). Puede considerarse por tanto que el modelo raster cubre la totalidad del espacio (Sarria, 2004).

Elementos de una capa raster:

- Matriz de datos que contiene los valores, en caso de que se trate de una variable cuantitativa, o bien un identificador numérico único para cada valor, en caso de que sea una variable cualitativa.

- Información geométrica acerca de la matriz y de su posición en el espacio:  
Número de columnas, Número de filas, Coordenadas de las esquinas de la capa (e, w, s, n), y resolución o tamaño de pixel en latitud (x) o en longitud (y).
- Tabla de colores que permita decidir de que color se pintará cada celdilla en la pantalla.
- En caso de que la variable sea cualitativa, una tabla que haga corresponder a cada identificador numérico una etiqueta de texto.

A diferencia del modelo de datos vector, el modelo de datos raster sigue siendo el mismo en términos de su concepto y estructura de datos desde el inicio de los SIG, pero los métodos para almacenar y comprimir los datos de mapa de bits han cambiado continuamente durante las últimas tres décadas (Chang, 2010).

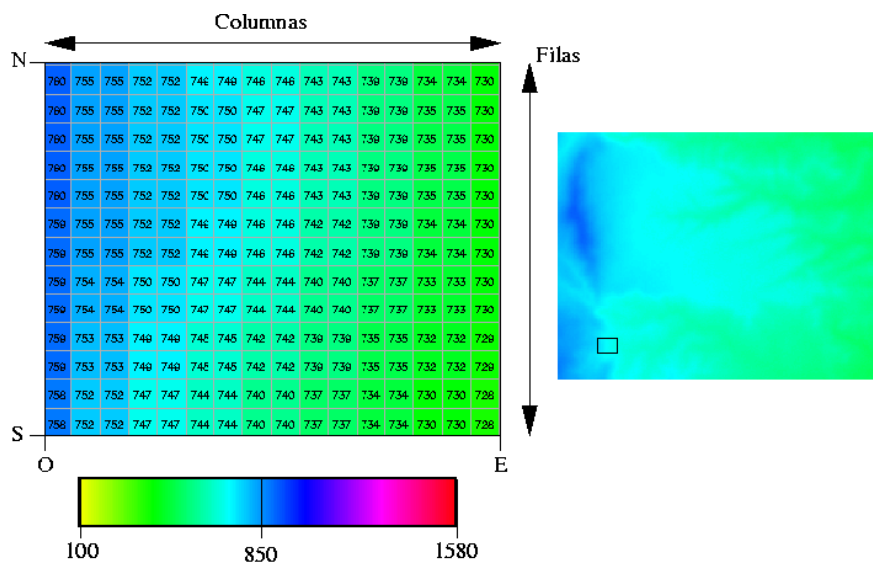


Figura 1. Representación de variable cuantitativa en formato raster (Sarria, 2004).

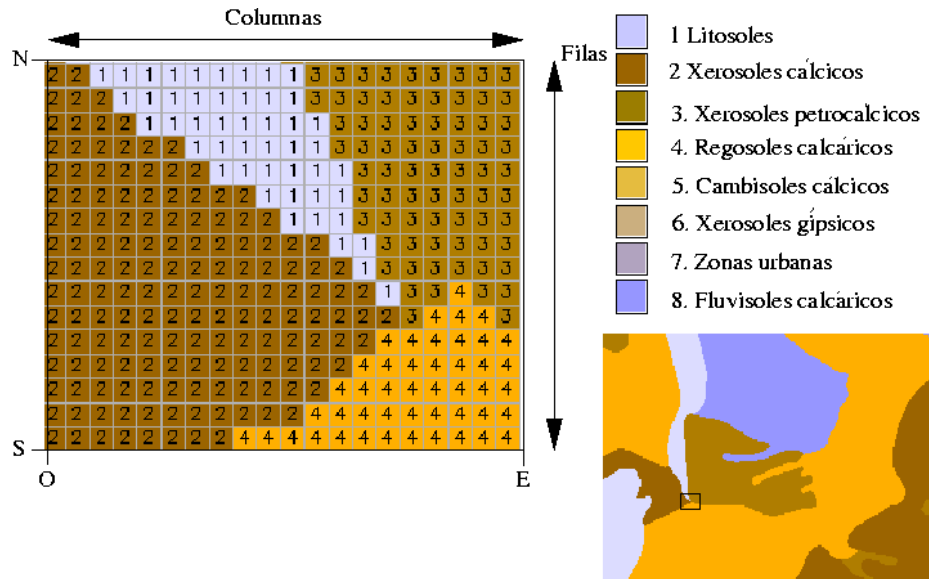


Figura 2. Representación de variable cualitativa en formato raster (Sarria, 2004).

El uso de los SIG's con formato raster es adecuado para objetos geográficos con límites difusos. En estudios que requieren la generación de capas continuas, necesarias de fenómenos no discretos y en estudios donde no se requiera una excesiva precisión espacial.

En este formato la representación de campo se realiza por medio de píxeles.

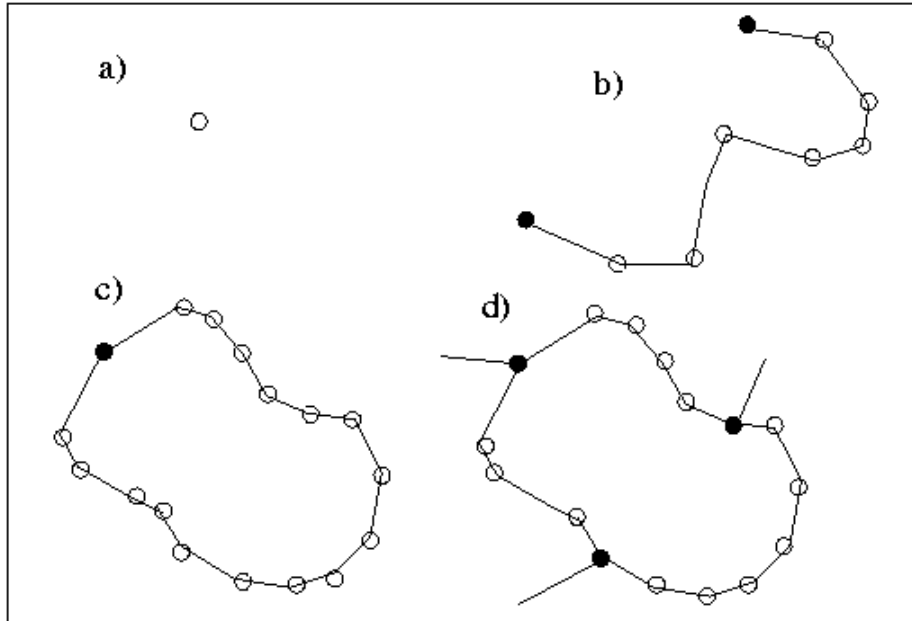
Existen diversos formatos para este tipo de datos, entre los principales se encuentran: JPEG, Modelo de elevación digital (.dem), Erdas Imagine (.img), GeoTIFF o TIFF, MrSID.

## 10.2. Modelo de datos vector

En el **formato vectorial** cualquier entidad que aparezca en el espacio (casas, carreteras, lagos, tipos de roca, etc.) puede modelizarse a la escala adecuada

como un objeto extraído de la geometría euclidiana. Pueden ser clasificados por su dimensionalidad en tres tipos: puntos, líneas o polígonos (Sarria, 2004).

- Puntos. Objetos geométricos de dimensión cero, su localización espacial se representa por un par de coordenadas (x,y).
- Líneas. Objetos geométricos de dimensión uno, su localización espacial se representa como una sucesión de pares de coordenadas llamados vértices, salvo el primero y el último que se denominan nodos.
- Polígonos. Objetos geométricos de dimensión dos. Se representan como una línea cerrada o como una sucesión de líneas denominadas arcos. La presentación de puntos o líneas es inmediata, sin embargo al representar polígonos aparecen dos situaciones diferentes:
  - Si los polígonos aparecen aislados los unos de los otros, cada polígono se codifica como una línea cerrada, se trata de un modelo *Orientado a Objetos (OO)*.
  - Si los polígonos se yuxtaponen, se codifican los polígonos como líneas cerradas, tiene el problema de que habría que repetir cada una de las líneas interiores. El formato alternativo es el modelo *Arco-Nodo* cuya mayor virtud es ahorrar memoria y facilitar algunas de las operaciones de análisis SIG. En el modelo Arco-Nodo se codifican las líneas por separado y, posteriormente, se define cada uno de los polígonos a partir del conjunto de líneas que lo componen.



**Figura 3. Formato vectorial.**

**a) Punto, b) Línea, c) Polígono en formato OO, d) Polígono en formato Arco-Nodo.**

El uso de los SIG's vectoriales es adecuado cuando los objetos geográficos con los que se trabaja tienen límites bien establecidos sobre el espacio y donde los fenómenos a representar son discretos, es decir, tienen límites bien definidos.

En este formato la representación de campo se realiza con objetos geométricos.

Existen diversos formatos para este tipo de datos, entre los principales se encuentran: Shapefiles (.shp), datos GPS (.gpx), ArcInfo (.e00), MapInfo (.tab, .mid, .mif).

### 10.3. Ventajas y desventajas de los modelos de datos

A continuación en el Cuadro 1 se mencionan algunas ventajas y desventajas de cada modelo de datos, de acuerdo a la consulta de dos autores.

**Cuadro 1. Ventajas y desventajas del modelo de datos raster y vectorial**

RASTER	VECTORIAL
<b>V</b> Estructura de datos sencilla, que facilita el análisis de imágenes raster, así como el análisis entre varias imágenes <sup>1</sup>	<b>D</b> Compleja estructura de datos, por lo cual los datos vectoriales requieren una capacidad de procesamiento mayor y más potente <sup>1</sup>
<b>V</b> Es un modelo utilizado por imágenes de satélite y fotos aéreas, por lo cual pueden ser incorporadas y tratadas en un SIG fácilmente <sup>2</sup>	
<b>D</b> El interés de las representaciones se centra en las propiedades del espacio más que en la precisión de la localización. A mayor dimensión de celdas menor es la resolución <sup>2</sup>	<b>V</b> El interés de las representaciones se centra en la precisión de localización de los elementos sobre el espacio y donde los fenómenos a representar son discretos, es decir, de límites definidos <sup>2</sup>
<b>V</b> Se utiliza en estudios que requieran la generación de capas continuas, necesarias en fenómenos no discretos y en estudios medioambientales donde no se requiera excesiva precisión espacial <sup>2</sup>	<b>D</b> Ineficiente para representar variables continuas como isolíneas <sup>2</sup>
<b>D</b> Requiere gran cantidad de espacio para el almacenamiento de los datos <sup>2</sup>	<b>V</b> Requiere de un espacio mínimo para el almacenamiento de los datos <sup>2</sup>
<b>D</b> Baja resolución <sup>1</sup>	<b>V</b> Mayor resolución <sup>1</sup>
<b>D</b> Inexacto, depende de la resolución de los datos <sup>2</sup>	<b>V</b> Se asemeja más a lo que conocemos de la cartografía tradicional <sup>2</sup>
<b>D</b> Está limitado en la presentación de puntos y líneas <sup>2</sup>	<b>V</b> El mapa de salida es más nítido <sup>2</sup>
<b>V</b> Velocidad en la ejecución de operaciones, ya que esta estructura es más rápida en cálculos matemáticos combinando mapas de distintos temas <sup>2</sup>	<b>V</b> Las estructuras lineales son continuas, lo que permite hacer análisis de redes
<b>V</b> Tiene mucho más potencial analítico en ecología que el formato vectorial	

**Fuentes:** <sup>1</sup> Galati, Stephen. (2006). *Geographic Information, Systems Demystified*. ARTECH HOUSE, INC.

<sup>2</sup> Sastre, P. (2010). *Sistemas de Información Geográfica (SIG) Técnicas básicas para estudios de biodiversidad*. Instituto Geológico y Minero de España. Recuperado de [www.gbif.es/ficheros/TallerSIG-Geolocate\\_10/cuadernillo2010.pdf](http://www.gbif.es/ficheros/TallerSIG-Geolocate_10/cuadernillo2010.pdf)

En resumen, el sistema vectorial predomina donde el objetivo es analizar movimientos a través de una red, operar con una extensa base de datos o plotear mapas en alta calidad. En cambio, el sistema ráster se orienta más a operaciones analíticas en SIG y al tratamiento de imágenes de satélite. Cada sistema tiene sus ventajas e inconvenientes, de hecho se trabaja con ambos formatos aprovechando las ventajas de los dos (Sastre, 2010).

Sin lugar a dudas, la elección del modelo de datos recae en el usuario y la disposición software / hardware (Galati, 2006).

### Ejemplificación de ambos modelos de datos

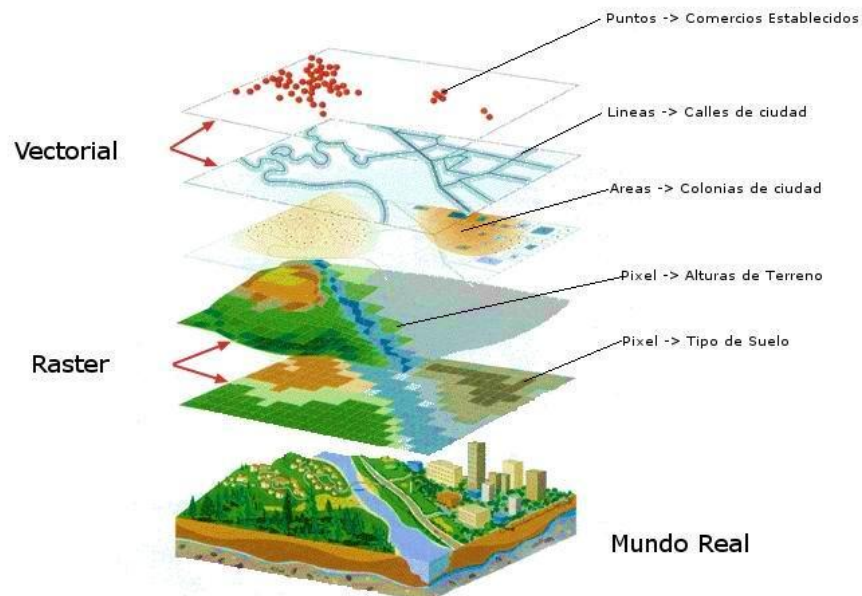


Figura 4. Modelo de datos raster y vectorial (AulaTI, 2009).



## **XI. TIPOS DE SIG DE ACUERDO AL TIPO DE LICENCIAMIENTO**

El mercado de software para SIG es amplio y cuenta con numerosas alternativas, lo cual puede resultar confuso al momento de elegir un software de acuerdo a cada necesidad, por tal motivo es importante tener una amplia visión de los existentes, así como de las características que marcan la diferencia entre uno y otro.

Los SIG`s se dividen principalmente en dos grupos: software libre y software propietario (privativo). De acuerdo a esto, existe diferencia entre las formas de licenciamiento bajo las que se distribuye los programas SIG y esto no solo afecta a la distribución y uso, sino también a sus características y otros aspectos, como interoperabilidad entre proyectos o la implementación de estándares abiertos.

Méndez (2003), menciona que seleccionar el software para la conformación del SIG que está en estudio es una tarea de gran importancia que requiere todo el tiempo que sea necesario. Además los factores eco-sistémicos, tales como los económicos, sociales, políticos y científicos-tecnológicos, son fundamentales a la hora de analizar la viabilidad de implantaciones de software de código abierto o propietario (Menchaca, 2004).

En cuanto a los factores eco-sistémicos se puede notar que el software propietario se ha impuesto en el mercado y esto ha formado un ecosistema económico y

social. Mientras que el software libre esta más enfocado a los expertos que saben donde conseguir las aplicaciones, que son autodidactas para aprender a operar y sacar provecho a las funcionalidades de dichas aplicaciones.

A continuación se presenta una visión general del software libre y propietario.

## **Software Propietario y Software Libre ¿QUÉ SON?**

### **Software propietario**

El software propietario, mejor conocido como software privativo (expresión comenzada a ser utilizada por Richard Stallman), es aquel que se distribuye bajo licencias restrictivas, que no permiten que el usuario emplee dicho software de modo que éste lo prefiera, es decir, existe restricción de derechos o libertades.

Una buena definición de lo que significa software propietario es “Una persona física o jurídica posee los derechos de autor sobre un software negando o no otorgando, al mismo tiempo, los derechos de usar el programa con cualquier propósito; de estudiar cómo funciona el programa y adaptarlo a las propias necesidades; de distribuir copias; o de mejorar el programa y hacer públicas las mejoras” (Culebro, 2006).

Dentro de éste tipo de software es indispensable saber que existe una licencia cuyo significado es “contrato entre el desarrollador de un software sometido a propiedad intelectual y a derechos de autor y el usuario, en el cual se definen con precisión los derechos y deberes de ambas partes. Es el desarrollador, o aquél a quien éste haya cedido los derechos de explotación, quien elige la licencia según la cual distribuye el software” (Gómez, 2005).

## Software libre

El software libre “es aquel que puede ser distribuido, modificado, copiado y usado; por lo tanto, debe venir acompañado del código fuente para hacer efectivas las libertades que lo caracterizan” (Culebro, 2006).

Cabe destacar que <<libre>> no significa que sea gratuito, el software libre se distribuye de tal forma que el usuario siempre tenga las libertades cruciales que son:

1. Libertad de ejecutar el programa sea cual sea el propósito.
2. Libertad para modificar el programa y ajustarlo a las necesidades. Para esto el acceso al código fuente es una condición previa.
3. Libertad de distribuir copias, ya sea de forma gratuita o a cambio de un pago.
4. Libertad de distribuir versiones modificadas del programa, de modo que la comunidad pueda aprovechar las mejoras introducidas.

Este software se distribuye bajo diversas licencias, conocidas como licencias <<libres>>, pero la más popular es la GNU General Public License (GPL).

## 11.1. Aplicaciones SIG privativas

Actualmente son empleadas en mayor medida que las soluciones libres, ya que presentan grandes avances en su desarrollo y están mejor preparadas para un uso industrial. Otra de sus principales características es, que el mismo fabricante provee una familia completa de aplicaciones, lo cual permite una integración entre los miembros de dicha familia, aunque por lógica comercial la interoperabilidad con otros fabricantes no es tan elevada.

### Ventajas

- Las compañías desarrolladoras cuentan con departamentos que controlan la calidad del producto llevando a cabo infinidad de pruebas para asegurar su correcta funcionalidad. De igual manera contratan programadores capaces y con mucha experiencia para el desarrollo de dicho software (Culebro, 2006).
- En el mercado se toma como estándar y por tal motivo mucha gente se interesa en aprender su manejo (Samaniego y Chiriboga, 2009).
- Posee mayor compatibilidad en cuanto al software, principalmente al hablar de sistemas operativos; la mayoría es compatible con Windows y UNIX (Samaniego y Chiriboga, 2009).
- Proporciona un mejor acabado de la mayoría de aplicaciones, tanto en la presentación de su interfaz como en su usabilidad (Samaniego y Chiriboga, 2009).

- Se encuentran más desarrolladas en lo que respecta a la edición y generación de cartografía impresa (Olaya, 2009).

### **Desventajas**

- Es un tanto difícil aprender a utilizar un software sin requerir de un curso de capacitación, el cual es muy costoso (Samaniego y Chiriboga, 2009).
- El soporte técnico es insuficiente y se puede demorar en obtener una respuesta (Samaniego y Chiriboga, 2009).
- Se tiene una dependencia directa hacia el proveedor.
- Las licencias son costosas, sobre todos si será usado por muchos usuarios.
- Es un tanto complicado encontrar manuales de uso en la red, debido a sus derechos reservados.

## **11.2. Aplicaciones SIG libres**

Actualmente este tipo de software ha experimentado un importante crecimiento y una de sus principales características es su modularidad, lo cual favorece las interrelaciones entre proyectos, permitiendo se conecten unos con otros y reutilicen elementos de otros proyectos.

Otra de sus grandes fortalezas es el acceso a datos, ya que presenta mayor interoperabilidad y respetan en mayor medida los estándares.

## Ventajas

- Según (Samaniego y Chiriboga, 2009); (Culebro, 2006), permite que el usuario tenga una independencia tecnológica del proveedor, permitiéndole la libertad de ejecución del programa con cualquier propósito, libertad de distribución y la posibilidad de realizar mejoras y de redistribuirlo.
- La empresa que lo usa tiene la posibilidad de utilizar la gran cantidad de herramientas libres disponibles, gracias a la interoperabilidad existente.
- El uso del SIG libre desde sus inicios implica un ahorro de dinero y evita tener que recurrir hacia la migración de una plataforma a otra (Samaniego y Chiriboga, 2009).
- Al ser un software público y estar a la inspección de muchas personas, que pueden buscar errores, solucionarlos y compartirlos, los programas libres gozan de un excelente nivel de confiabilidad y estabilidad (Samaniego y Chiriboga, 2009).
- En la actualidad los SIG libres de escritorio reúnen las capacidades principales de lectura, representación, análisis y edición de datos tanto raster como vectoriales (Olaya, 2009).
- Constituye un modelo de negocio distinto, que puede aprovecharse como herramienta para construir riqueza y oportunidades en países en vías de desarrollo (Olaya, 2009).
- Interoperabilidad orientada a estándares abiertos (OGC), o a sistemas liberados shapefile (Mesa, 2008).

## Desventajas

- La configuración del hardware no es intuitiva y se necesita dedicar recursos a la reparación de errores, aunque la mayoría de sus soportes están en los foros de la Web (Culebro, 2006).
- La instalación de algunas aplicaciones puede ser complicada (Samaniego y Chiriboga, 2009).
- Las interfaces (GUI) aun no son tan amigables con el usuario y apenas se están estabilizando (Culebro, 2006).
- Existen algunas áreas donde el software libre no alcanza el nivel de las soluciones privativas, principalmente en lo que respecta al procesado de imágenes.
- Uno de los principales problemas al momento de migrar un contexto basado en software privativo a uno libre, es que existe dificultad para encontrar aplicaciones que puedan sustituir todas las funcionalidades necesarias que sí se encuentran implementadas en el software privativo (Olaya, 2009).
- El uso de este software va mas enfocado a los expertos que saben donde conseguir las aplicaciones, que puede aprender a operar dichas aplicaciones como autodidactas y sacan todo el provecho de dichas funcionalidades (Menchaca, 2004).

### 11.3. Productos de software GIS

Un programa de aplicación contiene un conjunto de instrucciones que, interpretadas por la computadora, le permite realizar una serie de tareas que resuelven o facilitan la solución de un problema de interés práctico.

En el Cuadro 2 se encuentra una lista de algunos productores de software GIS y sus principales productos de aplicación.

De acuerdo al “*salary survey de la Urban and Regional Information Systems Association*” (URISA), realizado en el 2007 se encontró que ESRI (*Environmental Systems Research Institute*) es el productor de software más popular entre los profesionales que participaron en dicho estudio. Del mismo modo en otros informes referentes al mercado de software GIS, se muestra que ESRI e Intergraph Corporation son los líderes en dicha industria (Chang, 2010).

**Cuadro 2. Lista de Productores de Software GIS y sus principales productos (Chang, 2010)**

<ul style="list-style-type: none"><li>• Autodesk Inc. Autodesk Map</li><li>• BaylorUniversity, Texas GRASS</li><li>• BentleySystems, Inc. Microstation</li><li>• CadcorpCadcorp SIS-Spatial Information System</li><li>• Caliper Corporation TransCAD, Maptitude</li><li>• CARIS CARIS System</li><li>• Clark labs IDRISI</li><li>• Environmental Systems Research Institute (ESRI) ArcGIS, ArcView 3.x</li><li>• Intergraph Corporation MGE, GeoMedia</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences, the Netherlands ILWIS</li><li>• Keigan Systems FMworks, Keigan Grid</li><li>• Land Management Information Center at Minnesota Planning EPPL7</li><li>• Manifold.net Manifold System</li><li>• MapInfo Corporation MapInfo</li><li>• PCI GeomaticsGeomatica</li><li>• SAGA User Group SAGA GIS</li><li>• Terralink International Terraview</li></ul>
--	--



Cabe destacar que la mayoría de aplicaciones SIG cuentan con diversas versiones en el mercado creadas para distintos perfiles de usuarios y algunas con un número creciente de funcionalidades.

## **XII. DESCRIPCIÓN GENERAL DE SOFTWARE'S**

### **12.1. ARCGIS**

ArcGIS es un sistema completo de diseño y gestión de soluciones a través de la aplicación del conocimiento geográfico (ESRI, 2012).

Es producido y comercializado por la empresa ESRI (Environmental Systems Research Institute, Inc). Fundada en Redlands, California en el año de 1969 por Jack Dangermond (estudiante del laboratorio de Harvard) y su esposa Laura (Longley, et al, 2011).

### **12.2. ERDAS**

Erdas Imagine es un paquete de software geoespacial, centrado en el procesamiento de imágenes de satélite o fotografías aéreas, teledetección y SIG raster.

Es una solución de teledetección del mundo, proporcionando herramientas para crear, manipular y analizar imágenes con el fin de incrementar el valor de información geoespacial (INFOSAT, 2012).

ERDAS es un software desarrollado y actualmente distribuido por Intergraph.

### **12.3. IDRISI**

IDRISI es un SIG integrado y una solución de software de procesamiento de imágenes que proporciona módulos para el análisis y visualización de información espacial digital. Con él no hay necesidad de comprar costosos complementos para ampliar sus capacidades de investigación (CLARK, 2012).

Es un software desarrollado y comercializado por Clark Labs, dedicada a la investigación y al desarrollo de tecnologías geoespaciales para la toma de decisiones efectivas y responsables relacionadas con el manejo del medio ambiente, el desarrollo de recursos sustentables y asignación equitativa de recursos. Con base en la Escuela de Graduados de geografía de la Universidad de Clark (Graduate School of Geography at Clark University).

IDRISI es la industria líder en funcionalidad analítica raster y cubre toda la gama de los requerimientos para SIG y sensores remotos desde incertidumbre sobre las bases de datos y modelación espacial, hasta mejoramiento y clasificación de imágenes (Eastman J. R., 2006).

### **12.4. GRASS**

Es el sistema libre de Información Geográfica (SIG) utilizado para la gestión de datos geoespaciales y de análisis, procesamiento de imágenes, gráficos/producción mapas, modelado espacial y visualización. GRASS es utilizado actualmente en los ambientes académicos y comerciales en todo el mundo, así como por muchas agencias gubernamentales y empresas de consultoría ambiental (GRASS, 2012).

GRASS es un proyecto oficial de la Open Source Geospatial Foundation.

## **12.5. GVSIG**

GvSIG es un potente Sistema de Información Geográfica (SIG) libre diseñado para dar solución a todas las necesidades relacionadas con el manejo de información geográfica. Se caracteriza por ser una solución completa, fácil de usar y que se adapta a las necesidades de cualquier usuario de SIG. Es capaz de acceder a los formatos más comunes, tanto vectoriales como raster, tanto locales como remotos, integra estándares OGC, y cuenta con un amplio número de herramientas para trabajar con información de naturaleza geográfica (consulta, creación de mapas, geoprocésamiento, redes, etc.), que lo convierten en una herramienta ideal para usuarios que trabajen con la componente territorial (gvSIG, 2012).

La Asociación gvSIG, tiene como objetivo la sostenibilidad del proyecto gvSIG y el desarrollo de la Geomática Libre.

## **12.6. ILWIS**

ILWIS es una sigla que significa "Sistema de la Información Integral de Tierra y Agua". Es un Sistema de Información Geográfica (SIG) con capacidad para hacer procesamiento digital de imágenes. ILWIS ha sido desarrollado por el Instituto Internacional de Estudios Aeroespaciales y Ciencias de la Tierra (ITC) de Enschede, Holanda (Países Bajos).

Como todo paquete de SIG, ILWIS le permite entrar, manipular, analizar y presentar datos geográficos. A partir de estos datos usted puede generar información espacial, modelos espaciales y evaluar diferentes procesos de la superficie de la tierra (ITC, 2012).

## **XIII. COMPARATIVA ENTRE HERRAMIENTAS SIG LIBRES Y PROPIETARIAS**

### **13.1 ASPECTOS DESTACABLES DE UN SIG**

#### **ANÁLISIS ESPACIAL**

De acuerdo a Samaniego y Chiriboga (2009), los Sistemas de Información Geográfica permiten realizar operaciones analíticas en base a la información almacenada, mostrando desde diferentes ámbitos resultados capaces de solucionar interrogantes medulares en un proceso de toma de decisiones.

Por ello el análisis espacial es una de las funcionalidades más importantes de un SIG a la hora de generar información cualitativa... (Mesa, 2008).

Las funciones de análisis espacial son las que en definitiva atribuyen valor a los datos geográficos, al revelarnos cosas que de otra forma no conseguiríamos percibir. Conocer y comprender las operaciones espaciales es útil para planificar mejor y de forma más eficiente el trabajo con los SIG.

De acuerdo a Aronoff (1989) dichas funciones pueden clasificarse en cuatro grupos: recuperación, superposición, vecindad y conectividad; y entre ellas se

incluyen operaciones de consulta, medición de áreas o perímetros, superposición de capas de información, y álgebra de mapas o reclasificación de datos. Dependiendo del paquete de *software* de SIG que se utilice, se dispone de más o menos funciones de análisis (Sitjar, 2009).

Según Samaniego y Chiriboga (2009) las principales operaciones de análisis son:

**Análisis de Vecindad.** Consiste en procedimientos que al aplicar algoritmos y funciones especiales permiten definir áreas de influencia alrededor de un objeto además de la distancia entre ellos (Samaniego y Chiriboga, 2009).

**Análisis de proximidad.** Permite analizar localizaciones mediante herramientas de medición de distancia.

**Superposición topológica.** Se define como la integración de dos o más capas temáticas que requieren una estructura de datos topológica configurada previamente que además genera nuevas capas con elementos y relaciones entre atributos proporcionados por las capas que intervienen dentro del proceso. Los tipos básicos de operación de superposición son:

Unión, Intersección, Identidad, Fusión de polígonos, Extracción de capas y Álgebra de mapas.

**Análisis de redes.** Aprovecha la conectividad en red entre rasgos lineales que podrían ser carreteras o drenajes con el objetivo de resolver problemas suscitados en ellos.

## **CAPACIDAD RASTER**

Dentro de este apartado se encuentra el tratamiento de imágenes, el cual según Femenía (s. f.), para poder determinar o extraer elementos de una imagen requiere realizar procesos sobre ella con software específico que permita determinar áreas, punto o líneas con características específicas; la rectificación a las imágenes especificadas en la creación de los mapas, principalmente la corrección o transformación geométrica que convierte el mapa digitalizado en un sistema de coordenadas proyectadas y por último la georeferenciación, donde los objetos poseen una ubicación definida sobre la superficie terrestre basándose en un sistema de coordenadas definido.

## **CAPACIDAD 3D**

La visualización en 3d, simula la realidad espacial, lo que permite al espectador reconocer más rápidamente y entender los cambios en la elevación (Swanson, s.f.). De acuerdo con Samaniego y Chiriboga (2009), la creación de mapas en 3D permite de manera concreta visualizar fenómenos continuos. Además establece que un mapa 3D considera los aspectos de dirección, distancia y altura.

Según Swanson (s.f.) la mayoría del software SIG es capaz de manejar datos topográficos, por lo general como un modelo digital de elevación (DEM) y de la

generación de vistas isométricas y mapas de curvas de nivel. Muchos de los productos también integran los sistemas de generación de escena para la visualización 3D de los datos.

## **GENERACIÓN Y PRESENTACIÓN DE MAPAS**

Una capa de un Sistema de Información Geográfica es, simplemente un conjunto de números georeferenciados (formato raster) o grupos de coordenadas que definen la ubicación de objetos espaciales (formato vectorial), para su visualización es necesario aplicar una paleta de colores.

Sin embargo la presentación de resultados requiere la introducción de otros elementos como escalas, títulos, mallas, leyendas, etc. heredados de la cartografía tradicional. Los SIG suelen tener herramientas más o menos sofisticadas para la producción de salidas de este tipo (Sitjar, 2009).

De igual manera Samaniego y Chiriboga (2009), afirman que el objetivo fundamental de un SIG es generar mapas vistosos y entendibles al usuario final, por ello, pone a disposición del mismo un conjunto de herramientas y opciones que le hagan más sencilla esa tarea.

## **INTEROPERABILIDAD**

La interoperabilidad es la capacidad de poder emplear conjuntamente aplicaciones y datos diversos de forma que éstos se “entiendan” entres sí y no existan dificultades derivadas del empleo de distintos formatos o estructuras. Se debe disponer de una lengua común que permita realizar operaciones relacionadas con los datos geográficos (Olaya, 2009).

En este aspecto interviene la interacción de los SIG con otras fuentes de datos por ejemplo: formatos de tipo raster, formatos de tipo vector, bases de datos y estándares OGC.

### **Bases de datos (SGBD)**

Un Sistema de Gestión de Bases de Datos (SGBD) consiste en una colección de datos interrelacionados y un conjunto de programas para acceder a los mismos, cada vez es más importante el papel que tiene el uso de SGBD para la gestión de datos temáticos como apoyo al SIG.

Entre los programas que permiten trabajar con geodatabases cabe destacar los siguientes:

**Oracle Spatial.** Está considerado como el mejor programa de gestión de base de datos, siendo uno de sus inconvenientes su elevado precio.

**PostgreSQL + PostGIS.** PostgreSQL es una alternativa libre y gratuita y PostGIS es una extensión, también libre, de PostgreSQL que le permite trabajar con geodatabases.

### **Estándares OGC**

El término “estándares” hace referencia a su surgimiento a partir de acuerdos consensuados por las partes implicadas. Por su lado, el término “abiertos” indica que esos estándares están descritos de forma pública y son accesibles a todos (Olaya, 2009).



Olaya, 2009 menciona que existe una relación muy directa entre los estándares abiertos y el software libre. En el campo de los SIG, las aplicaciones libres han implementado en mayor grado los estándares a medida que éstos se han definido, haciendo énfasis en la necesidad de utilizar dichos estándares y respetarlos a la hora de crear datos y aplicaciones que trabajen en esos datos.

Un factor importante de mencionar es la fundación de instituciones encargadas de definir y velar por la aplicación de estándares independientes de los fabricantes en el ámbito de los datos geoespaciales (Jiménez, *et.al.*, 2010). Tal es el caso de Open Geospatial Consortium (OGC) fundada en 1994, encargada de la creación de estándares para información geográfica; formada por más de 360 grupos, que incluyen desde empresas privadas a centros de investigación, y cuyo fin es específicamente el desarrollo y promoción de dichos estándares (Olaya, 2009).

Entre los principales estándares creados para los SIG's se encuentran:

### **Web Coverage Service (WCS)**

El Servicio OGC Web Coverage (WCS) admite la recuperación electrónica de datos geoespaciales como "coberturas", es decir, la información geoespacial digital de representar el espacio / tiempo variable fenómenos (OGC, 2012).

Esto se refiere a contenidos del tipo imágenes de satélite, fotos aéreas digitales, datos digitales de elevación, y cualquier otro fenómeno que se pueda representar en puntos de medida.

### **Web Feature Service (WFS)**

El estándar de interface OGC Web Feature Service (WFS) define operaciones Web de interface para la consulta y edición de entidades geográficas (en inglés *features*) vectoriales, como por ejemplo carreteras o líneas de contorno de lagos (OSGeo, 2012).

### **Web Map Service (WMS)**

El estandar OGC Web Map Service (WMS) proporciona una interface HTTP para la petición de imágenes de mapas registradas desde una o más Bases de Datos Geoespaciales Distribuidas. La respuesta a la petición es una o más imágenes de mapas (devueltas como JPEG, PNG, etc) que se pueden visualizar en buscadores y aplicaciones desktop. La interfaz también permite la posibilidad de especificar si las imágenes enviadas deben ser transparentes para que las capas de varios servidores se puedan combinar o no (OGC, 2012).

### **Web Processing Service (WPS)**

El estándar WPS proporciona unas reglas para la estandarización de la entrada y salida (peticiones y respuestas) para servicios de procesamiento geoespacial, como por ejemplo, operaciones con polígonos y sus entradas y salidas.

El estándar OGC Web Processing Service (WPS) describe cómo acceder a procesos geoespaciales desde un interface Web. Los procesos abarcan cualquier

algoritmo, cálculo o modelo que operen sobre datos raster o vectoriales georeferenciados (OSGeo, 2012).

Para mayor información sobre OGC y sus principales estándares desarrollados por esta organización puede visitar su página web: [www.opengeospatial.org](http://www.opengeospatial.org).

Jiménez, 2010 menciona que la estandarización tiene numerosas ventajas, sobre todo para el usuario, ya que implica que no es necesario depender de un único fabricante y permite migrar de un fabricante a otro sin grandes problemas, o intercambiar información con otros usuarios de otras plataformas. Hoy en día los grandes fabricantes se están viendo forzados a adaptar sus programas a estos estándares ya que sobre todo por parte de instituciones públicas se está empezando a exigir que los programas se ciñan a estándares públicos y abiertos.

## **DOCUMENTACIÓN Y SOPORTE**

Este aspecto es muy importante ya que, una documentación insuficiente o un soporte inadecuado al usuario puede hacer que un usuario abandone o descarte el uso de un SIG (Mesa, 2008).

## XIV. ASPECTOS DE COSTOS A CONSIDERAR PARA ELEGIR UN SOFTWARE SIG

En cuanto al aspecto económico es necesario considerar principalmente los costos directos como son:

- ✿ Adquisición de programas, es decir, el pago que se lleva a cabo por la compra de licencia en caso de software comercial.
- ✿ Adquisición de equipo de cómputo, que cumpla con los requerimientos para la implementación del Sistema de Información Geográfica. Cabe destacar que cada software requiere de capacidades distintas para su ejecución.
- ✿ Mantenimiento y soporte de los programas y equipo de cómputo. El cual puede estar a cargo de la empresa o quizá por contratación a terceros, conocido como outsourcing.
- ✿ Mantenimiento de la información, incluyendo creación, edición y eliminación.
- ✿ Contratación de personal experto y capacitado para operar y administrar el sistema, lo que permitirá explotar al máximo el potencial del hardware y software.
- ✿ Capacitación del personal. Este aspecto, es un costo que debe ser tomado en cuenta al elegir cualquiera de los software's estudiados.

Aunque para los software's libres existe información abundante en la web, es necesario que las personas que utilizaran dicho software sean casi expertas, ya que es un tanto difícil su implementación y manejo.

## XV. ALCANCES DE APLICACIONES DE LOS SIG

Sitjar, 2009 manifiesta que los SIG se están convirtiendo en una herramienta habitual del mundo, demostrando su eficacia en numerosas aplicaciones de gestión de recursos, análisis de alternativas, herramientas de soporte para la toma de decisiones y planes de actuación frente a diversidad de situaciones.

Las áreas de aplicación de los SIG son bastante amplias en la actualidad, comprendiendo principalmente las siguientes:

**Educación:** Utilización de datos con fines de enseñanza, incluyendo el uso de demostrativos paquetes software.

**Gobierno:** Las aplicaciones involucradas en este apartado son básicamente las que se refieren a la gestión de las obras públicas (incluyen administración de acueductos, alcantarillado, energía, telefonía, entre otros); arquitectura, ingeniería y construcción; planificación urbana o territorial; localización de infraestructura (educación, salud, recreación, entre otros).

**Salud pública:** Ubicación de las personas con problemas de salud particulares e investigaciones.

**Seguridad Pública:** Manejo de desastres como incendios, sismos, terremotos, huracanes; accidentes de tráfico; evaluación de áreas de riesgo.

**Transporte:** En aviación; puertos marítimos; carreteras; logística.

**Utilidades y comunicaciones:** Instalaciones eléctricas, gas, tuberías, telefonías; servicios basados en localización; abastecimiento y tratamiento de agua.

**Negocios o empresas:** Entre algunas de las principales aplicaciones que se pueden describir en este apartado, se encuentran la planificación del transporte para buscar la ruta más corta; estrategias de distribución; localización óptima para ubicar un negocio.

**Recursos naturales:** Gestión ambiental, por ejemplo en agricultura, pesca, silvicultura, minería, extracción petrolera, deforestación, inventarios de flora y fauna; cambio climático (temperatura, presión, precipitación); recursos hídricos; uso y conservación de suelos; estudios ambientales; arqueología.

En el Cuadro 3 se exponen algunos proyectos implementados alrededor del mundo, en donde se han utilizado las grandes ventajas de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) junto con otras ciencias de aplicación.

**Cuadro 3. Ejemplos de alcances de aplicaciones de los sistemas de información geográfica**

NOMBRE DE ARTÍCULO O PROYECTO	ÁREA DE APLICACIÓN	FINALIDAD	AÑO/ PAÍS
<p><b>Incorporating fuzzy set methodologies in a DBMS repository for the application domain of GIS</b></p>	<p>Conjuntos difusos en un SGBD (Sistema gestor de bases de datos) de un SIG</p>	<p>Incorporación de la metodología de conjuntos difusos en un Sistema Gestor de Base de Datos de un SIG, para la representación y análisis de incertidumbre, relacionada con la información geográfica obtenida de las técnicas de muestreo, encargadas de asignar el valor de un atributo (Stefanakis, E., Vazirgiannis, M. y Sellis, T., 1999).</p>	<p>1999 Londres</p>
<p><b>Mapas contra delincuentes</b>  <b>IGEO o Sistema de Información Georreferenciada y Estadística Oportuna</b></p>	<p>Seguridad Pública Gobierno (Procuraduría General de la República)</p>	<p>El Sistema relaciona la información de los delitos de alto impacto social con su ubicación geográfica; además cuenta con un visor gratuito. Su objetivo es ubicar, con la mayor precisión posible, los delitos de alto impacto, como son la violación, homicidio, robo (de vehículos, bancos, comercios, etc.) y delitos contra la salud (venta y distribución de droga), entre otros. En consecuencia, se tiene un mapa del crimen para analizar patrones de comportamiento criminal, predecir tendencias y mejorar la procuración de justicia. Al asociar cada hecho delictivo con un símbolo ubicado en el mapa, se observarán manchones de comportamiento bien definidos que muestran la distribución de los delitos, su incidencia por zonas y su relación con ciertas variables (Garza, M. y Chávez C., 2004).</p>	<p>2002 México</p>
<p><b>Un procedimiento para elaborar mapas de riesgos naturales aplicado a Honduras</b></p>	<p>Riesgos naturales Seguridad</p>	<p>Elaboración de mapas de riesgo (inundación y deslizamientos) utilizando la Teoría de la Evidencia de Dempster-Shafer, con lo cual se pretende modelizar la forma con que los humanos asignan evidencia a distintas proposiciones y a su vez considerar la teoría borrosa. La TE es una teoría formal, con una base matemática bien establecida (Kohlas y Monney, 1995), que permite llevar a cabo la operación de fusión de la información, para así generar mapas de riesgos que resultan fáciles de entender y que tienen en cuenta de la mejor manera posible los datos existentes sobre los factores del riesgo, incluyendo las incertidumbres que afectan a estos datos (Ahamdanech, I., Alonso, C., Bosque, J. Malpica, J., Loeches, M., Pérez, E. y Temino, J., 2003)</p>	<p>2003 Honduras</p>

<p><b>CALSISEE</b> <b>(CALificación SISmica</b> <b>de Equipos Eléctricos)</b></p> <p><b>VBA (Visual Basic for</b> <b>Applications)</b> <b>ARCGIS</b></p>	<p>Gobierno Ingeniería Civil del IIE</p>	<p>Recomendaciones para el diseño sísmico de equipos eléctricos, con el objetivo de mejorar su desempeño.</p> <p>Su metodología utilizada fue actualizar el peligro sísmico de México, con la información sísmica hasta el año 2004; además con los mapas obtenidos se propuso un nuevo procedimiento para caracterizar el terreno de cimentación y así tomar en cuenta los efectos del sitio, a fin de proponer los espectros de diseño para el equipo (Mena, 2007).</p>	<p>2004 México</p>
<p><b>PEMEX y las</b> <b>fotografías del</b> <b>subsuelo</b></p>	<p>Extracción de petróleo Negocios</p>	<p>Sistema de Información Georreferencial e incorporación de sismología, para la exploración y producción de petróleo, mediante la obtención de “fotos” del subsuelo que ayudan a detectar petróleo y a evaluar si vale la pena perforar un pozo.</p> <p>A través de “fotos” del interior de la Tierra (complejas imágenes en tercera dimensión de las distintas capas terrestres), los ingenieros de Pemex pueden analizar información de manera visual y en formato tridimensional para explorar depósitos de hidrocarburos. Estos datos sirven para discriminar cuándo se trata de un manto de hidrocarburos o sólo de una gran acumulación de petróleo o de gas.</p> <p>En el caso de la industria petrolera, es a través de pequeñas detonaciones en el suelo que registran ondas sónicas con las cuales, posteriormente, arman las imágenes y se apoyan en simulaciones, visualizaciones y en los modelos más complejos para tomar la decisión más acertada. En estos modelos virtuales, se puede simular un pozo, inyectar agua o hidrógeno y calcular la presión y el periodo de explotación del yacimiento. Dichas imágenes requieren ser procesadas en centros de visualización de datos en tercera dimensión (3d), montados con tecnología de Silicon Graphics (PEMEX, 2004).</p>	<p>2004 México</p>




<p><b>Los mapas digitales de la marina</b></p>	<p>Transportación marítima Gobierno</p>	<p>C4i (“C4” significa <i>comunicaciones, cómputo, control y comando</i>; la “i” es <i>inteligencia</i>). C4i es una herramienta desarrollada por la Secretaría de Marina, que ubica geográficamente a todos los buques de la Marina en un mapa digital.</p> <p>“Si se requiere la presencia de la Armada, el sistema indica en qué puntos se encuentra cada una de las unidades y realiza un análisis para enviar a la más apropiada”. Para esto no sólo se toma en cuenta la proximidad, sino también la velocidad con que podría llegar. También considera factores logísticos como combustible, víveres, agua, entre otros.</p> <p>Cuando un buque está en un puerto, se actualiza su información cada 24 horas, y cuando está en operación se programa para obtenerla en un lapso de cada hora (Secretaria de Marina, 2004)</p>	<p>2004 México</p>
<p><b>SIMPA, a GRASS based tool for Hydrological Studies</b></p>	<p>Hidrología</p>	<p>SIMPA Sistema Integrado de Modelización Precipitación-Aportación), fue diseñado para analizar las variables hidrológicas espaciales y temporales (recursos hídricos, evaluación de recursos hídricos y estimación de inundaciones) y simular fases continuas del ciclo hidrológico.</p> <p>El objetivo de la elaboración de modelos en SIMPA es usar comandos de GRASS y sus capacidades espaciales y gráficos para simular los procesos hidrológicos distribuidos. Por tal motivo los autores mencionan que GRASS es adecuado y una herramienta muy apreciada para la modelización hidrológica (Álvarez, J., Sánchez, A. y Quintas, L., 2004).</p>	<p>2004 España</p>
<p><b>Integration of genetic algorithms and GIS for optimal location search</b></p>	<p>Localización optima de sitios</p>	<p>Uso de algoritmos genéticos con los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para localizar la ubicación espacial óptima en situaciones complejas; bajo múltiples objetivos o restricciones. Dicho algoritmo genético es eficaz mediante el uso de la mecánica de la selección natural en la biología.</p> <p>El estudio indica que el método propuesto GA (algoritmo genético) puede ser integrado con SIG para recuperar datos espaciales. Estos datos espaciales se utilizan para calcular los valores de aptitud. El objetivo es destinar <math>n</math> instalaciones en toda la región mediante la maximización de una serie de beneficios (Li, X. y Yeh, A., 2005).</p>	<p>2005 Londres</p>

<p><b>Integrating GIS and data warehousing in a Web environment: A case study of the US 1880 Census</b></p>	<p>Realización de un censo Gobierno</p>	<p>Ilustración de consultas detalladas y visualización de mapas, en base a la búsqueda de información obtenida de un censo, a través de la web utilizando procesamiento analítico en línea (OLAP).</p> <p>La interacción de los usuarios se logra por medio del sistema proporcionado por el paquete HTP y HTF para PL/SQL (lenguaje de programación SQL), que da la capacidad de generar HTML mediante programación y dinámica, mientras que la tecnología del servidor Web de Oracle permite a los usuarios acceder al manejo de la interfaz principal PL/SQL del SIG directamente en su URL. Por lo tanto, la información requerida por los usuarios para consultas, puede ser enviada a su navegador a través de los formularios dinámicos en HTML, hipervínculos o links adecuados (Healey, R. y Delve, J., 2007).</p>	<p>2007 Londres</p>
<p><b>Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Teoría de Percolación Aplicados al Estudio de Fenómenos de Propagación en Epidemiología</b></p> <p><b>Visual Basic ARCGIS 8.3</b></p>	<p>Salud Pública Epidemiología</p>	<p>Modelamiento de factores críticos asociados con la dinámica de fenómenos de propagación de epidemias como son la tasa de contagio (TC) y la tasa de recuperación (TR) por medio de un aplicativo computacional que simula un proceso de percolación (teoría matemática con la cual es posible estudiar los patrones que exhibe la dinámica de un sistema interconectado al azar), los resultados obtenidos ingresan como datos para la simulación de un modelo SIR (susceptible-infectado-removido) mediante funciones de análisis espacial para así obtener la visualización de patrones de propagación de un fenómeno epidemiológico (Londoño, L., Horfan, D. Arroyave, J. y Longas D., 2007).</p>	<p>2007 Medellín, Colombia</p>

## **XVI. RESULTADOS**

La comparativa entre herramientas SIG libres y propietarias, en base a los principales aspectos a considerar para la elección de un SIG, arrojan como resultado el Cuadro 4, donde se condensa toda la información obtenida para el presente estudio.

**Cuadro 4. Comparativa de herramientas SIG Propietarias y Libres**

 <b>CARACTERÍSTICAS</b> SOFTWARE	<b>ARCGIS</b>	<b>ERDAS</b>	<b>IDRISI</b>	<b>GRASS</b>	<b>GVSIG</b>	<b>ILWIS</b>
<b>Desarrollador</b>	<b>ESRI</b>	<b>INTERGRAPH</b>	<b>CLARK LABS</b>	<b>CERL</b>	<b>Generalitat Valenciana</b>	<b>ITC</b>
<b>Tipo de software</b>	PROPIETARIO	PROPIETARIO	PROPIETARIO	LIBRE	LIBRE	LIBRE
<b>Licencias bajo las que se distribuye</b>	ArcView ArcEditor ArcInfo (SIGSA, 2012)	Essentials Advantage Professional (INTERGRAPH, 2012)	Única (CLARKLABS, 2012)	GNU GPL	GNU GPL	GPL
<b>Últimas versiones</b>	ArcGIS 9.3 ArcGIS 10	ERDAS IMAGINE 2010 ERDAS IMAGINE 2011	IDRISI Taiga IDRISI Selva	GRASS 6.4.2.	gvSIG 1.11	ILWIS 3.7
<b>Imagen que maneja</b>	Raster y Vector	Raster y Vector	Raster Con capacidades para el análisis de datos vectoriales	Raster con gran cantidad de operaciones vectoriales (Jiménez, J., et. al., 2010); (Sanz, 2006)	Mas Vector, aunque soporta raster	Raster y vector
<b>Plataformas soportadas</b>	Básicamente Windows 2003, 2008, 7 Ultimate, Vista Ultimate y XP Professional (ArcGIS, 2012)	Windows Vista Business, Enterprise y Ultimate; XP Professional SP2 o superior; XP Professional x64 Edición SP1 o superior (INTERGRAPH, 2012)	Windows XP, Vista y Windows 7 (32 o 64 bit). Si utiliza un servidor; Windows Server 2003 y superior (CLARKLABS, 2012)	MS-WINDOWS LINUX MAC OSX (Jiménez, J., et. al, 2010)	MS-WINDOWS UNIX/LINUX MAC OSX	A partir de WINDOWS 98 LINUX y MAC OSX usando WINE

<b>Interfaz Amigable</b>	Buena (Samaniego y Chiriboga, 2009)	Buena	Buena (Eastman J. , 2012)	Poco (Jiménez, J., <i>et. al.</i> , 2010)	Intermedia (Jiménez, J., <i>et. al.</i> , 2010) y (Martínez, J., Coll, E. y Gaztelumendi, J., 2004)	Buena (Steiniger, S. y Bocher, E., 2008)
<b>Manejo de capas</b>	Si (Samaniego y Chiriboga, 2009)	Si	Si (Eastman J. , 2012)			Si
<b>Formatos raster</b>	BMP, JPG, TIFF, ECW, MrSID, GIF, GEOTIFF, PIX, RST, PNG	JPEG, JPEG2000, ERDAS ECW, GeoTIFF, NITF, MrSID, CADRG, TIFF, GRID, SDTS	BMP, TIFF	TIF, PNG, JPEG, GeoTIFF, ECW, ArcInfo, GRID (Steiniger, S. y Bocher, E., 2008)	ECW, TIFF, MRSid, ArcIMS raster (Steiniger, S. y Bocher, E., 2008)	JPEG, GeoTIFF, ECW, ArcInfo, GRID (Steiniger, S. y Bocher, E., 2008)
<b>Formatos vectoriales</b>	ESRI, Shapefiles, PostGIS, ESRI ArcSDE, GML, KML, SLD	Shapefiles, ESRI SDE, DXF (AutoCAD), TIGER, DLG	Shapefiles, KML, ARCINFO, DXF	ARCINFO, SHP, GML, DXF, IDRISI, TIGER	SHP, GML, DXF,	SHP, DXF
<b>Base de datos (SGBD)</b>	SQL Server, Oracle, MySQL, Informix, PostgreSQL	Oracle Spatial, SQL Server	Cualquier versión de Microsoft Access.  Y descargas a partir de conexión Microsoft OLE como: SQL Server, Oracle, ODBC, OLAP (ERDAS I. , 1999)	PostGIS	PostGIS, ArcSDE, Oracle	PostGIS, ArcSDE, Oracle
<b>Estándares OGC</b>	WMS, WFS, GML, WCS	WMS, WCS, WPS	WMS	WMS, WFS, GML, WPS (Steiniger, S. y Bocher, E., 2008)	WFS, WMS, WCS, CSW (Steiniger, S. y Bocher, E., 2008)	WFS, WCS (Steiniger, S. y Bocher, E., 2008)
<b>Análisis espacial</b>	Muy completo (Samaniego y Chiriboga, 2009)	Muy completo	Muy completo (IDRISI, 2012)	Muy completo	Muy completo	Muy completo (ILWIS, 1997)

<b>Tratamiento de imágenes (raster)</b>	Si (Samaniego y Chiriboga, 2009)	Si (ERDAS I. , 1999)	Si (Eastman J. , 2012)	Si (Steiniger, S. y Bocher, E., 2008)	Si (Martínez, J., Coll, E. y Gaztelumendi, J., 2004)	Si (ILWIS, 1997)
<b>Georeferenciación</b>	Si	Si	Si (Eastman J. , 2012)	Si (Steiniger, S. y Bocher, E., 2008)	Si (Steiniger, S. y Bocher, E., 2008)	Si (Steiniger, S. y Bocher, E., 2008)
<b>Análisis 3D</b>	Si (Samaniego y Chiriboga, 2009) y 10	Si (IDAS, 2012)	Si (CARTOGRAFÍA, 2012)	Si (Jiménez, J., <i>et. al.</i> , 2010) y (Steiniger, 2008)	Si (Martínez, J., Coll, E. y Gaztelumendi, J., 2004) y (Steiniger, S. y Bocher, E., 2008)	Si (Steiniger, S. y Bocher, E., 2008)
<b>Presentación de mapas</b>	Excelente (Samaniego y Chiriboga, 2009)	Excelente (ERDAS, s.f.)	Excelente (Eastman J. , 2012)	Avanzada (Steiniger, S. y Hay, G., 2009)	Avanzada (Montesinos, M. y Sanz, J.) y (Steiniger, S. y Bocher, E., 2008) y 22	Buena (Steiniger, S. y Bocher, E., 2008) y (Steiniger, S. y Hay, G., 2009)
<b>Estabilidad de software y su proveedor</b>	Alta	Alta	Alta (1987)	1982 (Steiniger, S. y Bocher, E., 2008)	2003 (Steiniger, S. y Bocher, E., 2008)	1985 (Steiniger, S. y Bocher, E., 2008)
<b>Documentación (manuales)</b>	Principalmente en inglés	Principalmente en inglés	Principalmente en inglés y en español en el Centro de Recursos Idrisi-México	Inglés, Español, Portugués, Italiano	Principalmente en Español. Adicionalmente Inglés, Francés, Portugués	Principalmente en Inglés
<b>Soporte del desarrollador</b>	<a href="http://support.esri.com/en/">http://support.esri.com/en/</a>	<a href="http://geospatial.interglobal.com/service/support/geospatial-support.aspx">http://geospatial.interglobal.com/service/support/geospatial-support.aspx</a>	<a href="http://clarklabs.org/support/index.cfm">http://clarklabs.org/support/index.cfm</a>	Manuales, Tutoriales y Foros en la web <a href="http://grass.fbk.eu/gdp/index.php">http://grass.fbk.eu/gdp/index.php</a>	E-mail, chat online, y a través de aplicaciones web. <a href="http://www.gvsig.com/servicios/soporte-tecnico">http://www.gvsig.com/servicios/soporte-tecnico</a>	Documentación, manuales y Blog en la web <a href="http://www.gvsig.org/web/">http://www.gvsig.org/web/</a>

## XVII. DISCUSIÓN

Tras haber identificado cuales son los aspectos más destacados para la elección de un SIG y haber investigado cada una de dichas características de los software´s elegidos, se describen los resultados contenidos en el Cuadro 4.

- ✿ En lo que respecta a los tipos de licencia se identifica que, ARCGIS y ERDAS comercializan sus productos bajo tres niveles de licencia, los cuales pueden ser considerados como, nivel básico, intermedio y experto; mientras que IDRISI se comercializa bajo un único nivel de licencia.

En lo que respecta a los software´s libres, GRASS, GVSIG e ILWIS se distribuyen bajo un solo nivel de licencia. Cabe destacar que constantemente se modifican o añaden nuevas mejoras en cada versión disponible.

- ✿ En cuanto al tipo de imagen que manejan, se puede observar que todos cuentan con capacidades tanto para tipo vectoriales como raster.

Cabe mencionar que los software´s que dominan ambos formatos sin restricciones son: ARCGIS, ERDAS e ILWIS; mientras que IDRISI y GRASS manejan principalmente imágenes de tipo raster. IDRISI cuenta con capacidad para el análisis de datos vectoriales y GRASS con gran cantidad de operaciones vectoriales. Por ultimo GVSIG soporta en mayor medida el formato vectorial, aunque también cuenta con algunas capacidades para raster.

- ✿ En lo que a plataformas soportadas se refiere, se observa que ARCGIS, ERDAS e IDRISI funcionan bajo Windows, básicamente en sus versiones, 7 Ultimate, Vista Ultimate y XP Profesional. Mientras que GRASS, GVSIG e ILWIS trabajan bajo MS-Windows, Unix/Linux Y Mac OS.
- ✿ De acuerdo a la interfaz se puede notar que los software´s que cuentan con una interfaz amigable (GUI) son ARCGIS, ERDAS, IDRISI e ILWIS; GRASS cuenta con interfaz poco amigable y GVSIG con una interfaz intermedia.
- ✿ En el manejo de capas se concluye que ARCGIS, ERDAS, IDRISI e ILWIS permiten la creación, uso y manejo de capas. Esta característica los hace muy deseables para ser utilizados.
- ✿ En lo referente a los formatos raster permitidos, se puede observar que los software´s con mayor compatibilidad de formatos de este tipo de datos son, ARCGIS y ERDAS; posteriormente se encuentran, GRASS, GVSIG e ILWIS. Y finalmente IDRISI que cuenta con muy pocos. Con estas limitaciones que tiene IDRISI lo pone en desventaja con los otros.
- ✿ En lo referente a los formatos vectoriales permitidos, se observa que los software´s con mayor compatibilidad de formatos son ARCGIS, ERDAS e IDRISI. Posteriormente se encuentran, GRASS, GVSIG e ILWIS, que cuentan con un menor número de formatos, este formato es deseable pero no determinante.
- ✿ En base de datos, se obtiene que el software que cuenta con mayor compatibilidad con gestores de base de datos es ARCGIS, que permite SQL Server, Oracle, MySQL, Informix y PostgreSQL. Posteriormente está ERDAS que permite Oracle y SQL Server. IDRISI, que permite Microsoft



Access, SQL Server, Oracle y OLAP. GVSIG e ILWIS permiten PostGIS, ArcSDE, Oracle. Y finalmente GRASS que solo permite PostGIS.

- ✿ En cuanto a estándares OGC se refiere, ARCGIS, ERDAS, GRASS, GVSIG e ILWIS cuentan con gran interoperabilidad; principalmente soportan estándares WMS, WFS, WCS. Adicionalmente ERDAS y GRASS soportan WPS; ARCGIS y GRASS GML y GVSIG soporta CSW. Con esta característica de soporte destacan entonces ERDAS y GRASS.
- ✿ Respecto al análisis espacial, todos los software's cuentan con gran capacidad para un análisis espacial muy completo.
- ✿ En cuanto al tratamiento de imágenes raster, todos los software's cuentan con ello. Aunque GVSIG es más orientado a formatos vectoriales, también se pueden tratar imágenes raster. Todos cuentan con georeferenciación y análisis 3D.
- ✿ De acuerdo a la presentación de mapas, el software comercial cuenta con mayor capacidad para presentar mapas de alta calidad, mientras que los software's libres cuentan con una capacidad avanzada, es decir, es buena pero no excelente. . Aunque esta característica no es determinante para ser mejor.
- ✿ Todos los software's tienen una estabilidad confiable, principalmente los comerciales, ya que están mayormente difundidos, además de que sus proveedores ofrecen soporte técnico por varios medios. Esta es una ventaja del software comercial, aunque los libres son más versátiles ya que pueden ser modificados y mejorados por los usuarios.

- ✿ En cuanto a la documentación existente como: manuales, tutoriales, descargas y blogs, es relativamente más fácil encontrar información para los software's libres, ya que por cuestiones de privacidad los software's comerciales están mayormente protegidos y es difícil encontrar manuales, o cualquier otro tipo de información respecto a ellos.
- ✿ ARCGIS, ERDAS, IDRISI, e ILWIS ofrecen información principalmente en inglés. GRASS Y QGIS en español e inglés.

Se encontró que ambos tipos de software cuentan con suficiente calidad y factibilidad y depende de los requerimientos que se tengan para tomar la decisión al elegir entre uno de ellos.

Entre las características a tomar en cuenta destacan: el tipo de imagen que se va a manejar, en este sentido si el objetivo es analizar movimientos a través de una red, operar con una extensa base de datos o imprimir mapas de alta calidad, lo recomendable es elegir un software cuya orientación sea vectorial como por ejemplo ARCGIS, ERDAS, QGIS o ILWIS. En cambio, si el objetivo es realizar operaciones analíticas o tratamiento de imágenes de satélite, lo recomendable es un software orientado a raster como ARCGIS, ERDAS, IDRISI, GRASS o ILWIS.

La elección del modelo de datos a utilizar recae en el usuario y la disposición de hardware y software.

Otro factor importante es considerar bajo que plataformas se esta trabajando o se trabajará, para buscar un software que pueda ejecutarse en dicho sistema operativo. Por ejemplo si el sistema operativo base será Windows, se puede optar por ARCGIS, ERDAS, IDRISI, GRASS, GVSIG O ILWIS. En cambio si el S.O. utilizado es Linux o Mac OS es necesario optar por GRASS, GVSIG o ILWIS.

Es importante buscar la interoperabilidad tanto en los formatos de tipo de datos vectoriales o raster, así como entre los estándares OGC. Es destacable que los software's que implementan en mayor medida los estándares son los libres, ya que los fabricantes de software privativo han utilizado formas no estandarizadas como estrategia comercial.

Al hablar de beneficios en cuanto al uso de ambos tipos de software, es importante mencionar que el optar por el uso de software libre puede favorecer la actividad económica de un país. Por ejemplo: generar nuevas empresas que den soporte, capacitación y desarrollo de aplicaciones seguras y funcionales; incentivar la creación de empleos; usar de manera eficiente los recursos, siendo accesible el soporte y capacitación; reducir independencia tecnológica de las grandes empresas; fomentar la creatividad y la actividad productiva.

En relación a los beneficios del software comercial, es notable que por su estrategia comercial el mismo fabricante provea una familia completa de aplicaciones, lo cual permite una interoperabilidad entre los miembros de dicha

familia, aunque por lógica la interoperabilidad con otros fabricantes no es tan elevada.

## XVIII. CONCLUSIONES

El software comercial está limitado a un sistema operativo con poca interoperabilidad y solo se puede acceder a la documentación del manejo del GIS si se compra.

El software comercial tiene altos costos para ser utilizados y requiere de capacitación.

El software comercial está limitado a las aplicaciones que los proveedores disponen a la venta sin la posibilidad de ser mejorado por los usuarios.

El software comercial se utiliza para aplicaciones ya definidas por el proveedor del software.

Los SIG libres también se utilizan para aplicaciones definidas pero en menos medida por no tener un medio de difusión masivo.

El software libre se utiliza en aplicaciones con fines de investigación, ya que se pueden modificar y/o mejorar los algoritmos iniciales.

Los Sistemas de Información Geográfica libres tienen mayor interoperabilidad entre formato raster y vectorial, así como, entre los estándares OGC.

Los software's más completos con licencia comercial son ARGIS y ERDAS.

El Software mas completo con licencia libre es el ILWIS.

## XIX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahamdanech, I., Alonso, C., Bosque, J. Malpica, J., Loeches, M., Pérez, E. y Temino, J. (2003). Un procedimiento para elaborar mapas de riesgos naturales aplicado a Honduras. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 55-73.
- Álvarez, J., Sánchez, A. y Quintas, L. (2004). CEDEX. Obtenido de Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas:  
<http://hercules.cedex.es/hidrologia/pub/doc/SIMPABangkok.pdf>
- ArcGIS. (2012). *Resource Center*. Recuperado el 18 de Octubre de 2012, de <http://resources.arcgis.com/es/content/arcgisdesktop/10.0/arcgis-desktop-system-requirements#ArcGISDesktop-HardwareRequirements>
- Aronoff, S. (1989). *Geographic Information Systems: A Management Perspective*. Canada: WDL Publications Ottawa.
- AulaTI. (2009). *Sistemas de Información Geográfica, una realidad para todos*. Recuperado el 23 de Julio de 2012, de [www.aulati.net/?tag=bases-de-datos-geograficas](http://www.aulati.net/?tag=bases-de-datos-geograficas)
- Bosque, S. J. (1992). *Sistemas de Información Geográfica*. Madrid: Ediciones Rialp, S.A.
- Bugayevskiy, L. M., Snyder, J. P. (1995). *Map Projections. A Reference Manual*. Taylor & Francis.
- Burrough, P. A. (1986). *Principles of Geographic Information Systems for Land Resources Assessment*. Oxford: Claredon Press.
- Burrough, P. A. (1988). *Principles of Geographic Information Systems for Land Resources Assessment*. Oxford: Oxford University Press.
- CARTOGRAFÍA, C. (2012). Obtenido de [http://www.cartografia.cl/beta/indez.php?option=com\\_content&view=article&id=314:manual-idrisi-andes&catid=57:manuales&Itemid=170](http://www.cartografia.cl/beta/indez.php?option=com_content&view=article&id=314:manual-idrisi-andes&catid=57:manuales&Itemid=170)
- Chang, K.-t. (2010). *Introduction to Geographic Information Systems*. Mc Graw Hill (Higher Education).

- CLARK, L. (2012). Recuperado el 21 de septiembre de 2012, de <http://clarklabs.org/products/idrisi.cfm>
- CLARKLABS. (2012). Obtenido de <http://clarklabs.org/products/index.cfm>
- CLARKLABS. (2012). Obtenido de <http://clarklabs.org/products/system-requirements.cfm>
- Culebro, J. M. (2006). *Software libre vs software propietario*. México: Creative commons.
- DeMers, M. N. (2005). *Geographic Information System, Encyclopedia Britanica*.
- Eastman, J. (2012). *IDRISI Selva, Guía para SIG y Procesamiento de Imágenes. Manual Versión 17*. Clark Labs.
- Eastman, J. R. (2006). *IDRISI Andes; Guía para SIS y Procesamiento de Imágenes*. Cordoba, Argentina: CLARK LABS.
- ERDAS. (s.f.). *ERDAS Tour Guide*. Obtenido de [http://redgeomatica.rediris.es/manuales/ERDAS\\_IMAGINE/03\\_COM.pdf](http://redgeomatica.rediris.es/manuales/ERDAS_IMAGINE/03_COM.pdf)
- ERDAS, I. (1999). *ERDAS Field Guide Fifth Edition, Revised and Expanded*. Obtenido de <http://www.gis.usu.edu/manuals/labbook/erdas/manuals/FieldGuide.pdf>
- ESRI. (2012). Recuperado el 21 de septiembre de 2012, de <http://www.esri.com/products>
- ESRI. (2012). Recuperado el 21 de Septiembre de 2012, de <http://www.esri.com/products>
- Femenía, M. (s.f.). *DIVISION GIS*. Recuperado el 14 de Septiembre de 2012, de [http://www.divisiongis.com/backup/docs/Que\\_es\\_GIS.pdf](http://www.divisiongis.com/backup/docs/Que_es_GIS.pdf)
- Garza, M. y Chávez C. (2004). Mapas contra delincuentes. *Política digital*(16), 18-20.
- Gómez, R. M. (2005). *Escuela Técnica Superior de Ingeniería informática*. Recuperado el 31 de Julio de 2012, de <http://www.informatica.us.es/~ramon/articulos/LicenciasSoftware.pdf>
- GRASS. (2012). *Welcome to GRASS GIS*. Recuperado el 21 de septiembre de 2012, de <http://grass.fbk.eu/>
- gvSIG. (2012). *association*. Recuperado el 21 de septiembre de 2012, de [www.gvsig.com/productos/gvsig-desktop](http://www.gvsig.com/productos/gvsig-desktop)



- Healey, R. y Delve, J. (2007). Integrating GIS and data warehousing in a Web environment: A case study of the US 1880 Census. *International Journal of Geographical Information Science*, 21(6), 603-624.
- IDAS. (2012). Obtenido de [http://www.idasnet.com/idas\\_site/idasnet\\_esp/productos/software\\_gis/leica\\_erdas.htm](http://www.idasnet.com/idas_site/idasnet_esp/productos/software_gis/leica_erdas.htm)
- IDRISI. (2012). *CENTRO DE RECURSOS IDRISI ESPAÑA*. Obtenido de <http://www.sigte.udg.edu/idrisi/idrisi-selva>
- ILWIS, D. (1997). *ILWIS 2.1 for Windows; The Integrated Land and Water Information System. User's Guide*.
- INFOSAT. (2012). *Geomática*. Recuperado el 21 de septiembre de 2012, de [www.erdas.com.ar/productos\\_generacion.htm](http://www.erdas.com.ar/productos_generacion.htm)
- INTERGRAPH. (2012). Obtenido de <http://geospatial.intergraph.com/products/ERDASIMAGINE/ERDASIMAGINE/Details.aspx>
- INTERGRAPH. (2012). Obtenido de [http://geospatial.intergraph.com/Libraries/Tech\\_Docs/ERDAS\\_IMAGINE\\_9\\_3\\_System\\_Specifications.sflb.ashx](http://geospatial.intergraph.com/Libraries/Tech_Docs/ERDAS_IMAGINE_9_3_System_Specifications.sflb.ashx)
- ITC. (2012). Recuperado el 21 de septiembre de 2012, de [www.itc.nl/external/unesco-rapca/Casos%20de%20estudios%20SIG/01%20Introduccion%20ILWIS/Introduccion%20ILWISl.pdf](http://www.itc.nl/external/unesco-rapca/Casos%20de%20estudios%20SIG/01%20Introduccion%20ILWIS/Introduccion%20ILWISl.pdf)
- Jiménez, J., Aguilera, Ma. y Meroño, J. (2010). *INGEGRAF*. Recuperado el 14 de Septiembre de 2012, de Asociación Española de Ingeniería Gráfica: <http://www.ingegraf.es/mesas/COMUNICACIONES%20ACEPTADAS/GIS10.pdf>
- Jiménez, J., Aguilera, Ma. y Meroño, J. (2010). *INGEGRAF*. Obtenido de Asociación Española de Ingeniería Gráfica: <http://www.ingegraf.es/mesas/COMUNICACIONES%20ACEPTADAS/GIS10.pdf>
- Li, X. y Yeh, A. (2005). Integration of genetic algorithms and GIS for optimal location search. *International Journal of Geographical Information Science*, 19(5), 581-601.

- Londoño, L., Horfan, D. Arroyave, J. y Longas D. (2007).  
Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Teoría de Percolación Aplicados al Estudio de Fenómenos de Propagación den Epidemiología. *Avances en Sistemas e Informática*, 4(1).
- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., Rhind, D. W. (2011). *Geographic Information Systems & Science*. Wiley Jonh; Wiley & Sons, Inc.
- Maguire, D. J. (1989). *Computers in Geography*. Longman Scientific & Technical.
- Martínez, J., Coll, E. y Gaztelumendi, J. (2004). *SOLUCIONES POTENCIALES DE SIG LIBRES PARA CUBRIR LAS NECESIDADES DE GESTIÓN MUNICIPAL EN AYUNTAMIENTOS MEDIANOS Y PEQUEÑOS*. Obtenido de Universitat de Girona: [administracionelectronica.gob.es/recursos/pae\\_020000319.pdf](http://administracionelectronica.gob.es/recursos/pae_020000319.pdf)
- Mena, U. (2007). *INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS*. Obtenido de <http://www.iie.org.mx/boletin022007/tend.pdf><http://www.iie.org.mx/boletin022007/tend.pdf>
- Menchaca, F. (2004). ¿Software libre o software comercial? *Política Digital*(18), 20-25.
- Méndez, A. (2003). *Arquitectura Informática y Sistemas de Información Geográfica* (Vol. 24). Arquitectura y Urbanismo, Vol. 24.
- Mesa, J. R. (2008). *Estudio comparativo entre SIG propietario y SIG libre*. Girona.
- Montesinos, M. y Sanz, J. (s.f.). *Panorama actual del ecosistema de software libre para SIG*. Obtenido de Universitat de Girona: [http://dugi-doc.udg.edu/bitstream/handle/10256/1216/Panorama\\_Com.pdf?sequence=1](http://dugi-doc.udg.edu/bitstream/handle/10256/1216/Panorama_Com.pdf?sequence=1)
- National Geospatial Intelligence Agency. (2012). Recuperado el 15 de mayo de 2012, de [www.1nga.mil/Pages/default.aspx](http://www.1nga.mil/Pages/default.aspx).
- NCGIA. (1990). *National Center for Geographical Information and Analysis Vol. 1*. Santa Bárbara: Universidad de California.
- OGC. (2012). Recuperado el 24 de septiembre de 2012, de <http://www.opengeospatial.org/standards/wcs>

- OGC. (2012). Recuperado el 24 de septiembre de 2012, de [www.opengeospatial.org/standards/wms](http://www.opengeospatial.org/standards/wms)
- Olaya, V. (Febrero de 2009). *UPCommons*. Recuperado el 14 de Septiembre de 2012, de [http://upcommons.upc.edu/revistes/bitstream/2099/7584/1/08\\_TIG\\_05\\_victor.pdf](http://upcommons.upc.edu/revistes/bitstream/2099/7584/1/08_TIG_05_victor.pdf)
- OSGeo, L. (2012). Recuperado el 24 de septiembre de 2012, de [live.osgeo.org/es/standards/wfs\\_overview.html](http://live.osgeo.org/es/standards/wfs_overview.html)
- OSGeo, L. (2012). Recuperado el 24 de septiembre de 2012, de [live.osgeo.org/es/standards/wps\\_overview.html](http://live.osgeo.org/es/standards/wps_overview.html)
- PEMEX. (2004). PEMEX y las "fotografías" del subsuelo. *Política digital*, 16, 21-22.
- Samaniego y Chiriboga. (2009). *Tesis de Grado. Comparativa entre herramientas de Sistemas de Información Geográfica libre y propietario basada en métricas de calidad desarrollando SIG para Defensa Civil*. Riobamba-Ecuador.
- Sanz, J. (2006). *Sistemas de Información Geográfica y Software Libre*.
- Sarria, F. A. (2004). *SIG Aplicados al Análisis y Cartografía de Riesgos Climáticos*. Recuperado el 16 de Julio de 2012, de [www.um.es/geograf/sigmur/cursos/SIG\\_clima.pdf](http://www.um.es/geograf/sigmur/cursos/SIG_clima.pdf)
- Secretaría de Marina. (2004). Los mapas digitales de la Marina. *Política digital*, 16, 36-37.
- SIGSA. (2012). Obtenido de SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA: <http://www.sigsa.info/Analisis>
- Sitjar, J. (2009). *UP Commons*. Recuperado el 26 de Julio de 2012, de [http://upcommons.upc.edu/revistes/bitstream/2099/7581/1/08\\_TIG\\_03\\_sitjar.pdf](http://upcommons.upc.edu/revistes/bitstream/2099/7581/1/08_TIG_03_sitjar.pdf)
- Stefanakis, E., Vazirgiannis, M. y Sellis, T. (1999). Incorporating fuzzy set methodologies in a DBMS repository for the domain of GIS. *International Journal of Geographical Information Science*, 13(7), 657-675.
- Steiniger, S. y Bocher, E. (2008). *TERRA GIS*. Obtenido de Terrestrial Environment Regional Analysis: [http://terraxis.net/docs/presentations/sstein\\_foss\\_desktop\\_gis\\_overview.pdf](http://terraxis.net/docs/presentations/sstein_foss_desktop_gis_overview.pdf)

Steiniger, S. y Hay, G. (2009). *ScienceDirect*. Obtenido de  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1574954109000363>

Swanson, J. (s.f.). *University of Nebraska Omaha*. Recuperado el 14 de Septiembre de  
2012, de  
[http://maps.unomaha.edu/Peterson/gis/Final\\_Projects/1996/Swanson/GIS\\_Paper.h  
tml](http://maps.unomaha.edu/Peterson/gis/Final_Projects/1996/Swanson/GIS_Paper.html)