

24

Fecha de presentación: octubre, 2017

Fecha de aceptación: diciembre, 2017

Fecha de publicación: febrero, 2018

USO DE SISTEMAS

DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA LIBRES PARA LA PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE. CASO DE ESTUDIO: MANIPULACIÓN DE MAPAS RÁSTER CON DATOS CLIMÁTICOS

USE OF FREE GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS FOR THE PROTECTION OF THE ENVIRONMENT. CASE STUDY: RASTER MAP MANAGEMENT WITH CLIMATE DATA

Dr. C. Romel Vázquez Rodríguez¹

E-mail: vromel@umet.edu.ec

¹ Universidad Metropolitana del Ecuador. República del Ecuador.

Cita sugerida (APA, sexta edición)

Vázquez Rodríguez, R. (2017). Uso de sistemas de información geográfica libres para la protección del medio ambiente. Caso de estudio: manipulación de mapas ráster con datos climáticos. *Universidad y Sociedad*, 10(2), 158-164. Recuperado de <http://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus>

RESUMEN

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se han convertido en una herramienta esencial en muchas áreas relacionadas con la gestión del territorio, incluyendo los procesos de análisis demográfico, protección del medio ambiente, y aplicaciones de urbanismo y gestión de recursos. La visualización y análisis de datos científicos reviste asimismo vital importancia en la organización y planificación del territorio. En este trabajo se presentan las principales características de algunos SIG basados en software libre, se muestran las posibilidades que poseen para el cálculo de estadísticos simples en secuencias temporales de mapas ráster. Se presenta un caso de estudio con datos climáticos de Cataluña, España. Se desarrolló un módulo para Sextante que de conjunto con gvSIG facilitan el cálculo de estadísticos simples sobre secuencias de mapas ráster.

Palabras clave: Sistemas de información geográfica, software libre, código abierto, meteorología, sextante, geovisualización.

ABSTRACT

Geographic Information Systems (GIS) have become an essential tool in many areas related to land management, including the processes of demographic analysis, environmental protection, planning applications and resource management. Visualization and analysis of scientific data is also of vital importance in the organization and planning of the land. This paper presents the main characteristics of some free software-based GIS, the potential they have for the simple statistical calculation of temporal sequences of rástermaps is showed. We present a case study with weather data from Catalonia, Spain. We developed a module for Sextante which together with gvSIG facilitate the calculation of simple statistics on sequences of rástermaps.

Keywords: Geographic Information Systems, free software, open source, meteorology, sextante, geovisualization.

INTRODUCCIÓN

Aproximadamente un setenta por ciento de la información que se maneja en cualquier tipo de disciplina está georreferenciada. Es decir, que se trata de información que puede asignársele una posición geográfica, y por tanto es información que viene acompañada de otra información adicional relativa a su localización. Esto demuestra que la situación es muy favorable para desarrollar aplicaciones que hagan uso de toda esta información. En una sociedad donde la información y la tecnología son dos de los pilares fundamentales, los SIGs constituyen la tecnología más relevante para el manejo de información geográfica, así como los elementos básicos que conlleva la gestión de todo aquello que presente una componente geográfica que pueda ser aprovechada.

Existen muchas definiciones de SIG. En Bolstad (2005), se define como un *“sistema computacional que ayuda en la recolección, mantenimiento, almacenamiento, análisis, visualización y distribución de información y datos espaciales”*. Otra definición es la de (Jacobson, Booch, & Rumbaugh, 2000), para quien un SIG es un elemento que permite “analizar, representar e interpretar hechos relativos a la superficie terrestre”. El mismo autor, sin embargo, argumenta que “esta es una definición muy amplia, y habitualmente se emplea una más concreta”.

Según (Chorley, 1987) es un sistema para capturar, almacenar, comprobar, manipular y visualizar datos que estén espacialmente referenciados a la tierra. A juicio de (Clarke, 1990) es un sistema automatizado para la captura, almacenamiento, composición, análisis y visualización de datos espaciales. Otra definición es en la que se considera como *“un sistema de hardware, software y procesamiento diseñado para la captura, gestión, manipulación, análisis, modelado y visualización de datos espacialmente referenciados para resolver problemas complejos de planeamiento y gestión”*. (Cowen, 1989)

De manera similar, Star & Estes (1990), definen un SIG como un *“sistema de información diseñado para trabajar con datos referenciados mediante coordenadas espaciales o geográficas”*. En otras palabras, un SIG es tanto un sistema de base de datos con capacidades específicas para datos georreferenciados, como un conjunto de operaciones para trabajar con esos datos.

Todas estas definiciones recogen el concepto fundamental de los SIGs en el momento en que fueron escritas, pero hoy día se hace necesario recoger otras ideas. La definición actual de un SIG debe fundamentarse sobre todo en el concepto de *sistema*, como elemento integrador que engloba un conjunto de componentes interrelacionados. Por todo lo antes expuesto, en esta investigación se

asume la definición siguiente: un SIG es un sistema conformado por tecnología informática, personas e información geográfica, que está especialmente diseñado para la captura, análisis, almacenamiento, edición y representación de datos georreferenciados (Korte, 2001; Olaya, 2011a).

El acelerado desarrollo de los SIG, provocado en parte por la revolución de las nuevas tecnologías, los ha convertido en una herramienta de trabajo esencial para el análisis y resolución de diversos problemas que se presentan en empresas, industrias e instituciones sociales y gubernamentales. Su versatilidad ha permitido que puedan ser empleados en casi todas las actividades que poseen una componente espacial, convirtiéndose en una herramienta esencial en muchas áreas relacionadas con la gestión estratégica, incluidos también los procesos de análisis demográfico, protección del medio ambiente, y aplicaciones de urbanismo y gestión de recursos.

Los SIG analizados en este artículo son GRASS GIS, Quantum GIS, gvSIG, Open JUMP, uDIG y la biblioteca de algoritmos Sextante.

El nuevo modelo de desarrollo de software llamado software de código abierto (OSS, por sus siglas en inglés *Open Source Software*) gana cada vez mayor aceptación. La característica principal de este modelo es que el código fuente está libremente disponible para todo aquel que lo necesite. Esto contrasta con el software comercial, *freeware* y *shareware*, todos los cuales son distribuidos normalmente solo en formato binario.

Por otra parte, el software libre (SL), que gana cada vez más terreno en el mercado del software, ofrece otras ventajas. Con este tipo de software el usuario tiene la libertad de ejecutar, copiar, distribuir, estudiar, cambiar y mejorar el código del software cada vez que lo desee (Feller, Fitzgerald, Hissam & Lakhani, 2005). Un programa es considerado *libre* si ofrece todas estas libertades.

En la actualidad existen varios proyectos serios de software libre, que constituyen una alternativa viable a programas comerciales como ArcGIS y MapInfo. Muchos de estos proyectos están avalados por instituciones gubernamentales o universidades, a las que se suman miles de desarrolladores de todo el mundo, que contribuyen con sus mejoras a la evolución de los proyectos.

En el epígrafe 2 se presentan las principales características de algunos SIG basados en SL y se muestran las posibilidades que poseen para el almacenamiento, gestión y visualización de mapas climáticos. Se presentan también otras herramientas para la gestión y operaciones con secuencias de mapas raster.

Existen varias áreas de aplicación donde se requiere realizar análisis sobre secuencias de series temporales de mapas ráster, por ejemplo, para usar series de mapas climatológicos. No se cuenta con una herramienta que facilite el cálculo de estadísticos en este tipo de secuencias, por lo tanto, en el epígrafe 3 se muestra una extensión de Sextante que permite resolver este tipo de problemas.

Finalmente, en el epígrafe 4 se exponen las conclusiones. Las herramientas de software libre tratadas en este artículo también se pueden vincular con herramientas para el análisis exploratorio de datos (Vázquez, Pérez & Torres, 2015).

DESARROLLO

En esta sección se describen las principales características de algunos SIG basados en SL, evidenciándose que poseen muchas de las funcionalidades de los sistemas comerciales que existen en el mercado mundial. Esto convierte a los SIG basados en SL en una buena alternativa frente los sistemas comerciales, que por lo general poseen altos precios, prohibitivos para muchas pequeñas y medianas empresas. Otro grupo de sistemas importantes, relacionados con este tipo de información son los servidores de datos geográficos como Mapserver y Geoserver, o las geodatabases como PostGIS y MySQL Spatial.

GRASS (*Geographic Resources Analysis Support System*) es un SIG de propósito general de código abierto con una estructura en constante perfeccionamiento con el fin de adaptarse a las nuevas necesidades. Fue inicialmente concebido y desarrollado en 1982 por el laboratorio de investigación del cuerpo de ingenieros del ejército de los Estados Unidos (USA-CERL) para la gestión del territorio y la gestión medioambiental (GRASS, 2008). GRASS comenzó a difundirse en ámbitos educativos e instituciones públicas donde se desarrollaron numerosas aplicaciones alrededor de dicho sistema, hasta que en 1999 pasó a tener licencia del tipo GNU GPL.

Está escrito en forma modular completamente por lo que se minimiza la sobrecarga, esto permite que los usuarios puedan ejecutar el sistema, o parte de este, en pequeños dispositivos portátiles con limitada RAM (Neteler, Bowman, Landa & Metz, 2012). Diversos estudios han demostrado que GRASS es una poderosa herramienta en muchas áreas de estudios y para resolver determinadas tareas dentro del ámbito científico.

GRASS dispone de un gran número de herramientas y utilidades. Originalmente estuvo más orientado al aspecto matricial (ráster) de la información, aunque contaba con un potente editor de topología vectorial. Sin embargo, en

las últimas versiones se ha potenciado el aspecto vectorial, y sobre todo la conexión externa a bases de datos. También ha experimentado una gran evolución en su interfaz de usuario, teniendo en cuenta que en las primeras versiones todo el control se hacía por medio de comandos tipo UNIX.

Para la reciente versión 6.4 se incluye una nueva y moderna Interfaz Gráfica de Usuario la cual permite definir proyectos con bases de datos y toda su configuración a través de asistentes, construir consultas SQL, editar atributos, vistas en 3D, así como herramientas de georreferenciación (Neteler, et al., 2012). Esta nueva Interfaz Gráfica de Usuario fue escrita en Python. Otro gran avance ha sido la herramienta de visualización 3D (NVIZ), que se destaca por su potencia gráfica y las opciones de generación de salidas gráficas que permite. En la actualidad GRASS presenta más de 300 comandos que le dan una gran funcionalidad (Esparza Gil, 2014); además puede enlazarse directamente a varios software incluidos Quantum GIS y Sextante (una extensión de análisis para gvSIG), MATLAB y otros.

GRASS está escrito en el lenguaje C con algunas funciones implementadas en los lenguajes C++ y Python. Es portable, dado que puede ser ejecutado en varios Sistemas Operativos (GNU/Linux, MacOSX, y MS-Windows son los sistemas soportados oficialmente), además puede ser descargado libremente desde Internet. Debido a que fue inicialmente diseñado para sistemas UNIX, tiene gran difusión en centros universitarios y de investigación. El proyecto GRASS representa un buen ejemplo de un modelo de desarrollo colaborativo entre comunidades de usuarios.

Quantum GIS (o QGIS) es un Sistema de Información Geográfica (SIG) tipo escritorio, muy intuitivo y fácil de utilizar que pretende ofrecer a usuarios con necesidades básicas un entorno sencillo y agradable. Su licencia es GNU, y por tanto se trata de código libre (Gray, 2008). Es multiplataforma y se pueden encontrar versiones para diferentes sistemas operativos: GNU/Linux, Unix, Mac OS y Microsoft Windows. Salió oficialmente como producto de la fundación OSGeo en 2008. Permite manipular formatos ráster y vectoriales a través de las bibliotecas GDAL y OGR, así como bases de datos. Hasta no hace mucho, era uno de los pocos editores de PostGIS para la plataforma Windows y se destaca por su sencillez y velocidad.

Una de sus mayores ventajas es la posibilidad de usar Quantum GIS como GUI del SIG GRASS. Con la integración de estos dos software, se pueden explotar las capacidades de ambos para la visualización y el acceso a datos, así como también para el análisis ráster y

vectorial. Se utilizan como base las propias capacidades de GRASS, pero en un entorno de trabajo más amigable (Olaya, 2011b). QGIS está desarrollado en C++, usando la biblioteca Qt para su interfaz gráfica de usuario, actualmente permite la incorporación de nuevos módulos y funcionalidades implementadas en C++ y Python (Neteler, 2010).

gvSIG (Generalitat Valenciana SIG) surge como un proyecto amparado por la Generalitat Valenciana de España que, a finales de 2003, promocionó un concurso para el desarrollo de un SIG con una serie de características propias que incluía entre otras, que fuera operable en múltiples plataformas, de código abierto, que permitiera extenderse mediante módulos, y fuera interoperable con formatos de otros programas (Autocad, Microstation, Arcview). Otro aspecto importante es que estuviera basado en estándares de la OGC (*Open Geospatial Consortium*) (Anguix & Carrión, 2005). El resultado ha sido una aplicación que ya tiene disponibles varias versiones al público y gran parte de las funcionalidades propias de los SIGs cubiertas, aunque se desarrolla constantemente. Las funciones básicas que cualquier usuario desearía como diseño de impresión o soporte de formatos de imagen típicos están incorporadas sin necesidad de ningún módulo adicional.

gvSIG posee una jerarquía de clases bien estructurada para la incorporación de nuevas funcionalidades. Permite la lectura de varios formatos de datos geográficos y no geográficos en forma de tablas, así como la conexión con varias bases de datos. Este SIG posee las aplicaciones traducidas a veinte idiomas; toda la documentación está disponible en 5 idiomas, incluyendo español e inglés, por lo que se ha convertido en un SIG muy popular en el mundo hispano (Anguix, 2009). Se ha reportado su utilización en varios países europeos como Francia, Italia, Suiza, Austria, Reino Unido y Alemania, donde se encuentra la mayor comunidad de usuarios de gvSIG no hispanohablantes. Varias instituciones y universidades prestigiosas han utilizado esta aplicación, tal es el caso de la Agencia Espacial Europea y Oxford Archaeology. Varios países africanos también han realizado trabajos con gvSIG, pero su mayor uso se ha reportado en Iberoamérica.

Entre las funcionalidades que se encuentran en gvSIG están: acceso a formatos vectoriales, ráster, servicios remotos, bases de datos y tablas; consultas, geoprosesos; representación vectorial y ráster; redes.

JUMP fue uno de los primeros SIGs gratuitos y por lo tanto ha servido de base a otros SIGs desarrollados, tanto libres como propietarios. Su origen está en Canadá, ya

que nace como un proyecto patrocinado por una serie de instituciones canadienses (Steiniger & Hunter, 2012).

JUMP es un SIG modular escrito en Java y que basa su funcionalidad en módulos (plugins). De esta forma si queremos cargar cualquier tipo de imagen o dato vectorial sólo tenemos que encontrar o programar el módulo necesario. Lo mismo ocurre con cualquier funcionalidad adicional que se desee implementar: consultas, ediciones avanzadas, etc.

La interfaz de usuario es similar a la que proporciona ArcView, con una tabla de contenidos a la izquierda y una ventana central para el mapa. Es posible conectarse a servidores de cartografía WMS y existen *plugins* para numerosos formatos tanto de archivo como de servidores. Uno de los aspectos más interesantes son las herramientas de edición de que dispone para modificar datos vectoriales, así como herramientas básicas de geoprosesamiento (como zonas de influencia, intersecciones, uniones, etc). Existe también una versión muy prometedora para la edición y corrección de topología (*Jump Conflation Suite*) que se aproxima a funcionalidades de ArcMap en su versión de ArcINFO.

Actualmente han aparecido versiones internacionalizadas y varias páginas que albergan proyectos relativos a Jump, tanto para la creación de nuevas extensiones, como proyectos que basados en Jump procuran generar nuevos programas con funcionalidades más específicas.

Se puede considerar uDIG como el sucesor de OpenJump en muchos aspectos. Conceptualmente uDIG utiliza OpenJump como base de algoritmos para el manejo y manipulación de datos espaciales y Geotools como librería para la entrada y salida de datos, con lo que se asegura un buen número de formatos soportados (Sherman, 2008).

uDIG tiene su origen en la empresa Refractions (creadores de PostGIS), y uno de sus objetivos es basarse firmemente en estándares del OGC (Ramsey, 2003). Está programado en Java y aunque actualmente está en una fase inicial de desarrollo, por la evolución y las declaraciones de intenciones del proyecto parece ser muy prometedor. El punto más importante a destacar es que permite la conexión a servidores WFS en modo lectura y escritura, algo que no soportan muchos de los SIG libres.

Sus principales puntos fuertes son:

- Soporte del estándar WFS tanto en lectura como escritura.
- Soporte para servidores WMS.

- Soporte de acceso a todos los datos soportados por Geotools, tanto de archivos como de servidores de bases de datos PostGIS o MySQL.
- Capacidad de impresión y salidas gráficas en diversos formatos.
- Diseño modular orientado a la reutilización en otros proyectos o programas.

Actualmente uDIG no posee muchas opciones de visualización y edición.

Sextante es un conjunto de algoritmos de análisis geoespacial de código libre desarrollado para la Junta de Extremadura, al cual se le pueden implementar y añadir nuevos algoritmos; este desarrollo se lleva a cabo tomando como base otro *software* existente, e implementándole un grupo de nuevas capacidades (Olaya, 2008).

En la actualidad Sextante está integrado en algunos de los SIGs más populares escritos en Java y también se puede acoplar a otros no desarrollados en este lenguaje de programación, lo cual muestra su aceptación dentro de las comunidades SIGs. Sextante inicialmente tuvo como base el SIG alemán Saga, para el cual se desarrolló una gran cantidad de extensiones y modificaciones en su núcleo base (Olaya, 2011). Desde la versión 1.10 de gvSIG este ha sustituido a Saga como software base, principalmente por contar con una estructura de apoyo más sólida y con un mayor potencial futuro.

Caso de estudio: cálculo de estadísticos en secuencias de mapas ráster climáticos

A partir del estudio realizado sobre los SIG basados en SL, se determinó que los requerimientos funcionales del software necesario para resolver el problema planteado estuviera resuelto completamente con software libre. Como herramienta de trabajo principal se utilizó Sextante de conjunto con gvSIG.

Las tareas desarrolladas en el transcurso de esta investigación, y que sirven como referencia para el desarrollo de futuras investigaciones similares fueron:

- Preparación de los datos ráster.
- Desarrollo del *plugin* para Sextante.

Preparación de los datos ráster

Se utilizó como punto de partida una secuencia de 60 mapas ráster que contienen información de 5 variables climáticas de la zona de Cataluña, España. Cada una de las variables está dada por 12 mapas que representan la variable en un mes del año.

Cada uno de los mapas de las secuencias de mapas de las variables climáticas utilizadas para este análisis son mapas ráster con información en una sola banda y no en 3 bandas como suele ocurrir con mapas ráster tomados de imágenes aéreas o satelitales (normalmente incluyen los componentes rojo verde y azul). Es decir el valor que hay almacenado en cada pixel es exactamente el valor de la banda que corresponde a la variable en ese punto.

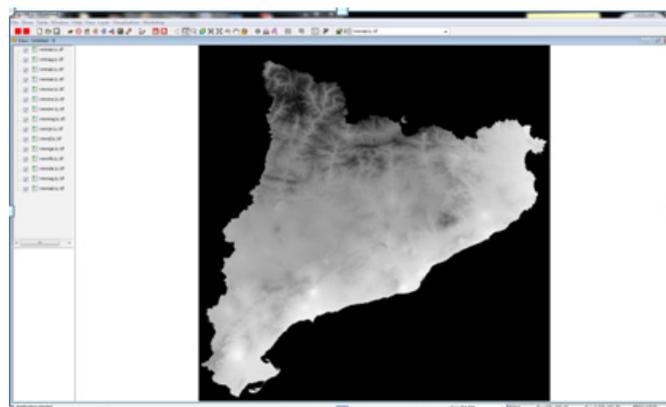


Figura 1. Muestra de las secuencias de mapas ráster para una variable climática.

Las variables 5 climáticas son: Temperatura mínima, media y máxima, precipitaciones e insolación.

La idea es calcular por variables algunos estadísticos básicos sobre las secuencias que se muestran en la figura 1 y poder brindar mapas resúmenes con los valores calculados en cada una de las celdas de información.

Desarrollo del plugin para Sextante

Todos los algoritmos que se desarrollen en Sextante deben extender de la clase `GeoAlgorithm` que provee la base para todas las operaciones. Al extender de esta clase se implementan los dos métodos a través de los cuales definen las características del algoritmo, `defineCharacteristics()`.

En este método se define la entrada y la de salida, se especifica el nombre que va a tener el algoritmo y el grupo al que va a pertenecer.

Los parámetros de entrada se definen teniendo en cuenta con qué tipo de mapas se piensa trabajar, ráster, vectoriales o tablas. Es posible trabajar con listas de múltiples mapas. Para cada tipo de entrada se debe especificar su parámetro de entrada, nombre por el que será identificado y en el caso de conjunto de mapas múltiples un tercero que indica si se requiere o no.

Hay otras entradas que pueden definirse como valores de selección en el caso de poder trabajar con varias

opciones de cálculo, cadenas de texto, valores booleanos ,etc.

En el método *processAlgorithm()* es donde se debe programar el algoritmo en sí, creando todos los procesos y cálculos que se deban realizar.

Hay tres tareas fundamentales que deben realizarse para que el algoritmo cumpla su objetivo:

- Leer los parámetros de entrada. Los valores deben ser leídos y guardados en variables para hacer más fácil su uso en el algoritmo.
- Trabajar con las variables.
- Crear resultados de salida. La salida es lo más importante del algoritmo y deben ser correctamente definidas para permitir que sea usada por otros algoritmos de Sextante.

Para resolver el problema planteado anteriormente se desarrolló el algoritmo que se agregó a un grupo propio para diferenciarlo de los ya existentes.

Fue necesario definir un listado de mapas ráster y un variable de salida de tipo ráster. Se le permite al usuario especificar cuál es el cálculo que desea realizar sobre la secuencia de mapas, es decir si desea el mínimo, máximo o promedio de toda la secuencia.

La entrada de datos múltiples definida en el método *defineCharacteristics()* permite seleccionar de los mapas cargados en una vista de gvSIG, los que van a usarse para el cálculo. La variable de salida coloca el mapa resultante en la vista de gvSIG, permitiendo ver el resultado.

En el método *processAlgorithm()* fue donde se definió como se haría el cálculo de los máximos mínimos o el promedio según la elección del usuario.

El módulo desarrollado fue especialmente desarrollado para mapas ráster. Permite seleccionar un grupo de mapas y recorrerlos celda a celda, para crear como resultado, un mapa con los mínimos máximos o el promedio de la variable que se desee.

Al seleccionar el algoritmo desarrollado aparece la siguiente ventana que permite seleccionar los mapas con que se desea trabajar. Estos mapas pueden estar previamente cargados en memoria sobre una vista gvSIG.

Existe la posibilidad de correr el algoritmo sin tener cargados los mapas en una vista y guardar el resultado para su posterior uso, esto se puede realizar mediante el proceso de ejecución por lotes. Esta opción hace visible una ventana como la que se muestra en la figura.

En la primera columna se pasan los nombres de los mapas con los que se quiere tratar. En la segunda columna

se selecciona cuál es la operación a realizar y por último está la columna donde se especifica donde se guardarán los resultados obtenidos, obsérvese la figura 2.



Figura 2. Ejecución por lotes del algoritmo desarrollado



Figura 3. Resultado de la visualización del mapa máximo para la variable temperatura máxima.

La Figura 3 muestra el resultado de ejecutar el algoritmo a 12 mapas de la variable temperatura máxima de la zona de Cataluña. El mapa puede ser visto como la temperatura máxima global de toda la zona y ser utilizado para varias aplicaciones que requieran este tipo de información ya calculada.

CONCLUSIONES

Los SIG basados en software libre que existen en la actualidad han ganado en robustez y profesionalidad, y poseen funcionalidades que son suficientes en muchos casos para el trabajo en diversas ramas de las ciencias, especialmente en la meteorología y la protección del medio ambiente. Esto los ha convertido en herramientas de amplio uso, imprescindibles en muchas pequeñas y medianas empresas.

En este trabajo se presentaron los principales SIG libres y se mostraron las posibilidades que poseen para el cálculo de estadísticos simples sobre secuencias de mapas raster.

Se desarrolló un caso de estudio con algunas de las herramientas discutidas en este trabajo, que muestra su utilidad para resolver un problema real. Los resultados obtenidos demuestran la viabilidad del uso de los SIG basados en software libre para este tipo de proyectos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anguix, A. (2009). gvSIG: un proyecto global Casos de éxito. *Primera jornada de Latinoamérica y el caribe de usuarios de gvSIG*.
- Anguix, A., & Carrión, G. (2005). *gvSIG: Soluciones Open Source en las tecnologías espaciales*. GISPLANET 2005.
- Bolstad, P. (2005). *GIS Fundamentals: A first text on Geographic Information Systems* (Second Edition ed.). White Bear Lake: Eider Press.
- Clarke, K. (1990). *Analytical and Computer Cartography*. Englewood Cliffs: Prentice Hall Professional Technical Reference.
- Cowen, D. (1989). NCGIA lecture. South Carolina: University of South Carolina.
- Chorley, L. R. (1987). *Handling geographic information: report to the secretary of state for the environment of the committee of enquiry into the handling of geographic information*. London: HM Stationery Office.
- Esparza Gil, J. (2014). Contraste espacio-temporal de indicadores de interés hidrológico derivados desde teledetección. Proyecto fin de carrera Ingeniería Técnica de Obras Públicas, Especialidad en Hidrología. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena.
- Feller, J., Fitzgerald, B., Hissam, S. A., & Lakhani, K. R. (2005). *Perspectives on free and open source software*. Cambridge: MIT Press.
- Geographic Resources Analysis Support System. (2008). GRASS Development Team. Recuperado de <https://grass.osgeo.org/>
- Gray, J. (2008). Quantum GIS: the open-source geographic information system. *Linux Journal*, (172), 8. Recuperado de <http://www.linuxjournal.com/magazine/quantum-gis-open-source-geographic-information-system>
- Jacobson, I., Booch, G., & Rumbaugh, J. (2000). *El proceso unificado de desarrollo de software* (Vol. 7). Reading: Addison Wesley Reading.
- Korte, G. (2001). *The GIS book*. Massachusetts: Cengage Learning.
- Neteler, M. (2010). *Open source GIS*. London: SAGE Publications.
- Neteler, M., Bowman, M. H., Landa, M., & Metz, M. (2012). GRASS GIS: A multi-purpose open source GIS. *Environmental Modelling & Software*, 31, 124-130.
- Olaya, V. (2008). SEXTANTE, a free platform for geospatial analysis. *OSGeo Journal*, 6. Recuperado de https://svn.osgeo.org/osgeo/journal/volume_6/en-us/project-spotlight/olaya/159-250-1-ED-1.pdf
- Olaya, V. (2011). Introduction to SEXTANTE. Recuperado de <https://www.eweb.unex.es/eweb/sextantegis/IntroductionToSEXTANTE.pdf>
- Olaya, V. (2011a). Sistemas de Información Geográfica. *Cuadernos Internacionales de Tecnología para el Desarrollo Humano*, 8. Recuperado de <http://upcommons.upc.edu/handle/2099/7584>
- Olaya, V. (2011b). Sistemas de Información Geográfica. *Libro SIG*. Recuperado de <http://volaya.github.io/libro-sig/>
- Ramsey, P. (2003). *User Friendly Desktop Internet GIS (uDig) for OpenGIS Spatial Data Infrastructures: Refractions*. Recuperado de <http://udig.refractions.net/docs/udig-summary.pdf>.
- Sherman, G. (2008). *Desktop GIS: Mapping the Planet with Open Source Tools*. Los Angeles: Pragmatic Bookshelf.
- Star, J., & Estes, J. (1990). *Geographic information systems*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall.
- Steiniger, S., & Hunter, A. J. (2012). Free and open source GIS software for building a spatial data infrastructure *Geospatial free and open source software in the 21st century* (pp. 247-261). Berlin: Springer.
- Vázquez, R., Pérez, C., & Torres, J. (2015). Análisis exploratorio de datos mediante la integración de técnicas de visualización en sistemas de información geográfica. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería*. Recuperado de http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0254-07702015000100010&script=sci_arttext&tlng=es