

Empleo de Sistemas de Información Geográfica para el Análisis de Problemas Espaciales

Use of Geographic Information Systems for Analysis of Spatial Problems

Daniel Esteban Medina Bernal

Grupo de investigación Ingenium Civilibus, Facultad de Ingeniería/ Escuela de ingeniería Civil/ Fundación Universitaria Juan de Castellanos, Tunja, Colombia.

demedina@jdc.edu.co

Recibido / Received: 01-10/2016 – Aceptado / Accepted: 10-03-2017

Resumen

El presente artículo dará a conocer posibles usos Sistemas de Información Geográfica y sus capacidades, e ilustrará acerca de los problemas de carácter espacial que se pueden abordar con ellos. Asimismo, se presenta una recopilación de investigaciones relacionadas con Sistemas de Información Geográfica (SIG), obtenidas a partir de una exhaustiva revisión bibliográfica. Se hace referencia a investigaciones llevadas a cabo durante la última década con ayuda de estas herramientas, para conocer los avances y posibilidades que ofrece el uso de las mismas. Las investigaciones citadas se han llevado a cabo tanto en Colombia como en otros países a lo largo del mundo, a partir de lo cual se evidencia la universalidad en cuanto al empleo de los sistemas de información geográfica para el análisis de problemas espaciales; por otro lado, se abarca una amplia gama de trabajos realizados en distintas áreas, como geotecnia, agricultura, gestión del riesgo, hidrología, entre otras, con lo cual será evidente la versatilidad de los SIG's.

Palabras clave: SIG, teledetección, modelación de escenarios, revisión bibliográfica.

Abstract

This article will release possibles uses uses of the Geographic Information Systems and its capabilities, and it will illustrate about the spatial character issues that can be addressed with them. Likewise, a compilation of researches related to Geographic Information Systems (GIS), obtained from an extensive literature review is presented. References are done to researches carried out over the past decade with the help of these tools, to know the progress and possibilities ofered by the use of this. The mentioned researches has been carried out both in Colombia and in other countries throughout the world, regarding the universality of the use of geographic information systems for the analysis of spatial problems; on the other hand, it covers a wide range of work in different areas such as geotechnical engineering, agriculture, risk management, hydrology among others, whereby the versatility of SIG's is evident.

Keywords: GIS, remote sensing, scenes modelation, bibliographical review.

I. INTRODUCCIÓN

Los Sistemas de Información Geográfica (en adelante “SIG”), desde su creación, han constituido una eficiente herramienta para el análisis de datos espaciales y la toma de decisiones relacionadas con el territorio; si bien en algunos campos se ha visto limitada su utilidad, ya sea por falta de capacitación o por desconocimiento de estos, no se puede negar que con el pasar del tiempo, esta herramienta se ha venido convirtiendo en un aliado fundamental para la resolución de problemas relacionados, de algún modo, con la ingeniería, la economía y la planeación territorial. De esta manera, los problemas que se han venido abordando con la ayuda de un SIG, abarcan un espectro muy amplio, y van desde el ordenamiento, la gestión del riesgo, la evaluación del potencial económico de ciertas zonas, hasta el monitoreo de variables ambientales, cambios en los usos y coberturas de suelos, entre otros.

Con el fin de compartir conceptos fundamentales sobre qué son, e ilustrar los diferentes problemas que se pueden abordar con los SIG, así como dar cuenta de sus bondades como herramienta de apoyo, se realizó una revisión bibliográfica exhaustiva, sobre investigaciones llevadas a cabo durante la última década con la ayuda de SIG's, para mostrar con base en esto, los diversos problemas a los que se les han podido dar solución por medio de estos, ilustrar avances y propuestas metodológicas que han hecho posible el abordaje de problemas de distinta naturaleza, relacionados con el espacio. El objetivo de dicha revisión, es brindar un panorama general sobre los SIG, e ilustrar a las personas que tengan algún tipo de conocimiento en sistemas de información geográfica, sobre los usos y respuestas que se pueden obtener mediante su implementación, con el fin de incentivar nuevas investigaciones relacionadas con el tema. No sobra aclarar, que los estudios citados en el presente texto, corresponden a problemas de interés para la ingeniería o para la economía, como pueden ser, el ordenamiento territorial, la gestión del riesgo, la evaluación del potencial económico de determinadas zonas, entre otros; se excluyen de esta revisión, los trabajos adelantados en campos para los cuales se pueden emplear sistemas de información geográfica, pero que no muestran una

relación estrecha con la ingeniería, como son la antropología y la medicina.

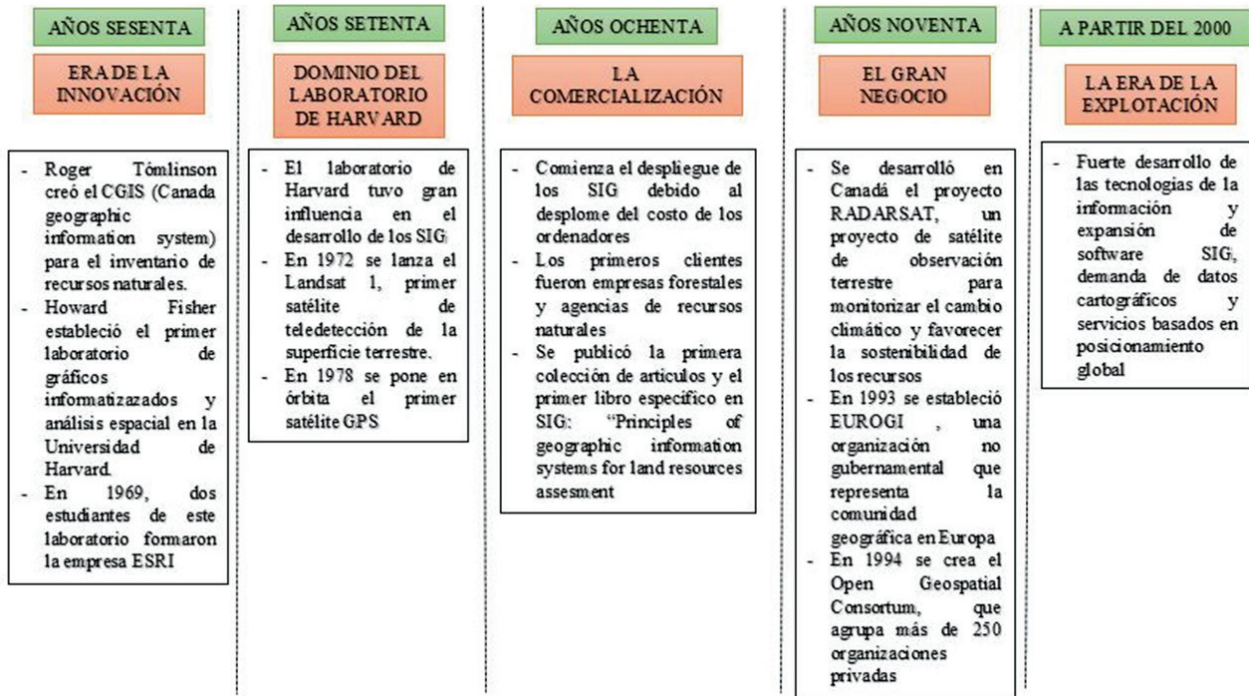
Del mismo modo, se presentan trabajos apoyados en el uso de la teledetección, cuyo empleo con frecuencia viene ligado al uso de los SIG. En primer lugar, se brindan unas nociones básicas sobre los SIG, su origen y evolución a lo largo de la historia y se ilustran algunos conceptos fundamentales sobre su uso; posteriormente, se hace una reseña sobre trabajos realizados durante la última década en los que, con la ayuda de un SIG, se han propuesto soluciones a problemáticas de distinto tipo; finalmente, se hace un breve comentario final sobre los retos a afrontar en lo relativo al uso de los sistemas de información geográfica, y las perspectivas a futuro. Se espera con esto, dar unas nociones básicas sobre los SIG y su empleo, junto con ejemplos de aplicación, para motivar su uso y la realización de nuevas investigaciones con estas herramientas. Desde un inicio, cabe anotar que los SIG, como todo programa o herramienta, son un medio mas no un fin, y que nada puede remplazar el criterio ingenieril de quien los utiliza.

II. MARCO CONCEPTUAL E HISTÓRICO

Es difícil establecer un consenso respecto a la definición concreta de “SIG” [1], debido a los múltiples aspectos que esto involucra, lo cual hace que muchas definiciones se centren en alguno de ellos; quizás la definición más adecuada es la que se explica en [2]: “Los SIG comprenden un conjunto de hardware y software integrados que permiten introducir, almacenar, manipular y presentar datos geográficos”. Como lo señala el autor, “por ser geográfico contiene datos y conceptos que se relacionan con las distribuciones espaciales; información implica alguna forma de transmisión de datos, ideas o análisis, en general como ayuda para la adopción de decisiones; por ser un sistema, entraña una secuencia de entradas, procedimientos y salidas” i.e. los SIG comprenden una serie de entradas (Mapas, cuadros, reconocimiento de campo, ficheros digitales, teledetección, otros SIG), unos procesos (adquisición, codificación, edición, almacenamiento y recuperación, manipulación y análisis, presentación visual), y unas salidas (informes escritos, mapas, produc-

tos fotográficos, estadísticas y cuadros, datos para modelos). De todas las definiciones que se puedan consultar sobre sistemas de información geográfica, se puede observar que, en todas son considerados como herramientas para la toma de decisiones, de ahí su importancia y utilidad.

El surgimiento de los Sistemas de Información Geográfica se remonta a los años sesenta. La Fig. 1 ilustra el desarrollo de los SIG a lo largo de las distintas décadas desde su creación.



Fuente: Referencia [3]
Fig. 1. Historia de los SIG.

La investigación con Sistemas de Información Geográfica, comprende cinco fases [4]: conceptual, conceptual-metodológica, metodológica-técnica, validación y elaboración teórica, y, por último, transferencia.

Como se ha mencionado, los SIG permiten visualizar y analizar variables en conjunto con su localización geográfica, así como la modelación de escenarios actuales y futuros por medio de la superposición de mapas, lo cual permite, a través de un proceso comprendido por las fases citadas anteriormente, llevar a cabo análisis en distintas áreas técnicas relacionadas con la agricultura, el medio ambiente, la administración del recurso hídrico, entre

otras. Se mencionan a continuación diferentes áreas en las que se han llevado a cabo investigaciones con SIG, con lo cual se busca ilustrar la versatilidad que presentan, lo cual les permite ser aplicados en distintos campos.

III. APLICACIONES DE LOS SIG EN EL CAMPO DE LA INGENIERÍA

Una de las áreas de desempeño de los SIG, es la planeación y ordenamiento territorial, creando bases de datos con información territorial, que pueda ser visualizada; y, a partir de su representación gráfica, tomar decisiones sobre la planeación territorial de

una ciudad. Es así como en [5] se crean modelos espaciales urbanos con ayuda de SIG que permiten la simulación de escenarios hipotéticos en una ciudad, con el fin de medir el impacto esperado debido a los cambios de la infraestructura en una ciudad; lo anterior se hace con el empleo de diagramas de Voronoi. Del mismo modo, se han creado herramientas para el control de proyectos empleando SIG [6]; estas constituyen importantes recursos para los urbanizadores a la hora de evaluar la rentabilidad y eficiencia de un proyecto, permitiendo el análisis de diferentes indicadores relacionados con el rendimiento del mismo, e incluyendo su dimensión espacial, lo cual permite un proceso de toma de decisiones mejor fundamentado para el desarrollo de proyectos de construcción.

Importantes desarrollos se han generado en el campo de la meteorología [7], en donde se han usado los SIG en conjunto con un radar meteorológico para determinar la precipitación diaria con base en la reflectividad de la imagen mostrada por el radar, y a partir de esto, con la ayuda del SIG, integrar la imagen tomada por el radar y mostrar la distribución espacial de la intensidad de precipitación; esto constituye un aporte importante para la determinación de zonas susceptibles a sufrir inundaciones y demás calamidades desencadenadas por las fuertes precipitaciones.

No se puede dejar de lado la importancia de los SIG en el sector económico. Se han llevado a cabo estudios con ayuda de estos para determinar zonas económicamente productivas y susceptibles de explotación; a partir de una base de datos espacial, y la superposición de mapas temáticos, es posible analizar variables de distinto tipo para evaluar el potencial económico de zonas determinadas. Ejemplos de estos usos se pueden ver en [8], en donde se integra la teledetección y los SIG para hacer una evaluación del potencial de aguas subterráneas en el altiplano nariñense, por medio del análisis de diferentes variables obtenidas a partir de correlaciones con datos de reflectancia extraídos de imágenes LANDSAT, y en [9], en donde se utilizan las mismas herramientas (imágenes satelitales) para identificar afloramientos de notronita, aptos para la explotación económica en el departamento de Santander. Del mismo modo,

en [10], por medio de la superposición de mapas de 10 índices, se elaboró un mapa final de áreas aptas para el cultivo de tejo común (*Taxus Bacatá*).

También se han podido identificar los trabajos en agricultura; los SIG han servido de ayuda para el monitoreo y análisis espacio-temporal de variables como el clima, el suelo, la topografía, el estado de los nutrientes en el suelo, los cuales ejercen una fuerte influencia sobre los cultivos [11], [12]; el monitoreo de estas variables permite un mayor control sobre los cultivos, permitiendo estimaciones sobre factores como el crecimiento de los cultivos, estimación de la humedad del suelo, estimación de la evapotranspiración, caracterización y zonificación agronómica, entre otros, mejorando así, la administración de los mismos. Del mismo modo, como se mencionó en el párrafo anterior, se ha determinado el potencial agrícola de zonas específicas con la ayuda de SIG y evaluaciones multicriterio [13].

Uno de los usos recurrentes y de gran impacto y relevancia, ha sido en la gestión ambiental. En [14] y [15] se proponen metodologías usando SIG, para la localización de rellenos sanitarios, basados en la evaluación de los diferentes factores a tener en cuenta. Los SIG permiten una rápida visualización y respectivo análisis de estas variables, así como su evaluación en conjunto, de acuerdo con su distribución espacial. De igual manera, con la ayuda de datos multitemporales, se han empleado para determinar cambios en los usos de suelo y áreas deforestadas con el paso del tiempo [16], así como los efectos que estos producen sobre el clima [17] con base en imágenes obtenidas por sensores remotos; a partir de los datos estimados, se aplican técnicas de regresión multivariantes para determinar los factores que influyen en este proceso de deforestación. También se observan trabajos para determinar impactos producidos por la actividad agrícola [18]. Otros aportes importantes se han visto en [19], en donde se utilizan los SIG para mapear la cobertura de líquenes en áreas de la ciudad de San José, en Costa Rica, como indicador de la contaminación del aire en esta ciudad. Por último, se ha podido constatar que los SIG constituyen una herramienta para la toma de decisiones, la gestión y protección de los recursos naturales, al hacer posible la identificación

y delimitación de zonas de protección a lo largo de cursos de agua [20].

La erosión es un tema de estudio que también cuenta con metodologías para su abordaje mediante SIG. Por un lado, se han estimado tasas de erosión en laderas por medio de la ecuación universal de pérdidas de suelo revisada (RUSLE) [21] y [22], a partir de mapas de índice de erosión pluvial, factor de erosionabilidad de suelo, pendientes, cobertura y usos de suelos y prácticas de preservación. Los Sistemas de Información Geográfica no solo permiten el análisis de estos mapas, sino que también se pueden realizar operaciones matemáticas entre ellos, obteniendo como resultado la tasa de erosión o pérdidas de suelo en un área determinada. Estas operaciones matemáticas se hacen teniendo en cuenta que los mapas estudiados cuentan con celdas que presentan un valor numérico (formato ráster), lo cual simboliza el valor de una variable en un espacio determinado (celda). Del mismo modo, en [23], un modelo más moderno como el modelo WEPP (Water Erosion Prediction Project), capaz de predecir la erosión en el suelo a escalas temporales y espaciales, han sido aplicados mediante la ayuda de SIG e imágenes captadas por el satélite Landsat 7, de donde son obtenidos mapas de divisoria de aguas, red de drenajes, suelos y modelos de elevación digital y cobertura vegetal, y se aplica el modelo propuesto a partir de dichos mapas. Por último, la identificación y delimitación de superficies de erosión, ha sido llevada a cabo en [24] comparando modelos digitales del terreno con información previamente establecida sobre delimitación de superficies de erosión; allí se combinan e intersectan modelos del terreno en 3D con estudios hipsométricos, a partir de lo cual se identifican áreas de erosión superficial, basados en la resta de las dos imágenes.

En geotecnia, los Sistemas de Información Geográfica se han empleado para la elaboración de mapas de susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa; no existe un procedimiento estandarizado para la preparación de mapas de susceptibilidad a deslizamientos [25]; una de las metodologías para la elaboración de estos mapas es descrita en [26], en donde ilustra cómo, para la zonificación de la susceptibilidad a la generación de fenómenos de remoción en masa, se

integran mapas de material, el relieve, la hipsometría de las cuencas, la erosión, la vegetación, sismicidad y las evidencias de inestabilidad; se asigna un valor en cada uno de los píxeles que conforman la imagen y se suman los mapas que representan la distribución espacial de las variables; el resultado es un valor con base en el cual se determina si la zona cubierta por el píxel tiene una susceptibilidad, desde muy baja hasta muy alta. Por su parte, [27] y [28] describen y emplean una metodología similar, basada en la ponderación de las variables intervinientes y la superposición de mapas para la ejecución de operaciones matemáticas, pero distintas en cuanto a las variables consideradas, que en estos casos son: geología de superficie, geomorfología, pendiente media del terreno y conflicto de uso; es evidente que tener en consideración distintas variables, dará como resultado distintos criterios, y a su vez, distintos mapas y niveles de susceptibilidad.

La gestión del riesgo de desastres también se puede ver fortalecida por la implementación de Sistemas de Información Geográfica; así lo demuestran trabajos realizados para monitorear los niveles de amenaza en distintas zonas, como lo expuesto en [29], en donde se levantaron datos de campo constituidos por encuestas socioeconómicas e inventarios de infraestructura de drenaje, se llevaron los datos a un SIG para su visualización y administración, y se obtuvieron mapas de vulnerabilidad social y de la infraestructura. En el municipio de Paz del Río, Boyacá, se ha aplicado una metodología para determinar zonas susceptibles a inundación con la ayuda de un modelo digital de elevación (MDE) y de mapas obtenidos por sensores remotos, usando la técnica de la teledetección; principalmente, se busca delimitar áreas afectadas después de una inundación teniendo en cuenta que la reflectancia de la superficie varía luego de ocurrir un evento de este tipo, por lo tanto, la teledetección puede ayudar a identificar estas zonas al encontrar zonas con variaciones en su reflectancia; por otro lado, el modelo digital de elevaciones se emplea para crear un contorno a lo largo de una curva de nivel específica; dicho contorno referencia el límite de la altitud afectada por las inundaciones, es decir, que de la cota señalada hacia abajo es donde se obtendrán áreas afectadas por este fenómeno[30].

Por medio del tratamiento estadístico de bases de datos de registros históricos de ciclones en Cuba, se caracteriza el nivel de peligro de los ciclones a lo largo del país, obteniendo mapas de velocidad media de los vientos, índice de peligro por ciclones, que ilustran la probabilidad de ocurrencia de un evento, mapas donde se señala el mes más frecuente para la ocurrencia de estos eventos, y azimut de la trayectoria media de los ciclones [31].

Reyna [32] señala las aplicaciones de los SIG en situaciones de desastre y las divide en tres: aplicaciones relativas a la identificación y definición de perfiles de las poblaciones en riesgo (identificación de poblaciones vulnerables), aplicaciones relativas a la identificación del impacto demográfico del desastre (características y dinámica de la población), y aplicaciones relativas a la atención y prevención de desastres (planificación de recursos materiales, técnico y humanos).

Otras aplicaciones de los SIG en la gestión del riesgo de desastres se ilustran en [33].

Uno de los temas más recurrentes abordados con SIG, es el relacionado con la gestión del recurso hídrico y la caracterización de micro cuencas. En [34], se puede ver cómo se emplean SIG's para obtener características físicas de la cuenca Arroyo La India- Laguna Palomas, en México; allí se obtienen parámetros de forma, como la relación de circularidad, coeficiente de elongación y factor de forma; del mismo modo, se pudo identificar el sistema de drenaje, la pendiente media del cauce principal, tiempo de concentración, el orden de las corrientes y la densidad de drenaje; aquí se puede observar cómo los SIG sirven para determinar las propiedades físicas de una micro cuenca y poder caracterizarla morfológicamente. Paralelamente, en [35] se hace un estudio para determinar las formas dominantes de microcuencas en el Estado de Miranda – Venezuela; allí se identifican aspectos relevantes relacionados con el aspecto morfológico, como lo es la distribución del cauce principal, y a partir de modelos digitales de elevación se realizan aspectos relacionados con el relieve de la cuenca, a partir de lo cual se identifica cómo la intervención antrópica, reflejada en la construcción

de carreteras, a través de cortes en laderas, modifica el terreno formando planicies muy suaves. Por medio del modelo digital de elevación, se identifican divisorias de aguas, pendientes, orientación de las pendientes, planicies aluviales formadas por la deposición de sedimentos y superficies afectadas por la erosión.

En [36], se muestra un método basado en SIG para determinar la demanda del recurso hídrico en México; se emplean datos de entrada constituidos por mapas que representan variables como manzanas urbanas, zonas de servicio, servicios públicos, entre otras; de acuerdo con la información contenida en los datos de entrada, y por medio de superposición de mapas, se determina la dotación o demanda para uso doméstico y servicios públicos urbanos; posteriormente, estos mapas se combinan con mapas de estimación de porcentajes de pérdidas para obtener, de esta manera, mapas de demanda de agua en zonas urbanas.

En [37], se emplean SIG en conjunto con datos obtenidos de muestras de agua subterránea tomadas en campo, en las cuales se determinaron parámetros como la concentración de fluoruros, pH y conductividad eléctrica para determinar la calidad del agua subterránea en los puntos monitoreados. Cada punto donde se levantó la información cuenta, por lo tanto, con una información geográfica caracterizada por las coordenadas de dicho punto y una información temática, caracterizada por el valor de los datos medidos. Estos datos fueron representados en un SIG, se interpolaron con ayuda de las herramientas del *software*, y a partir de esto se obtuvieron mapas con la distribución espacial de los valores de las propiedades estimadas relacionadas con la calidad del agua. En el embalse río tercero, en Argentina, se instalaron veintiséis estaciones para la medición de parámetros de calidad del agua, como pH, oxígeno disuelto, nitrógeno total, fósforo total y clorofila-a. De acuerdo con la localización geográfica de las estaciones, los valores de clorofila-a muestreados se relacionaron con los datos de reflectancia de las bandas 2 y 4 de las imágenes captadas por el satélite LANDSAT 5TM, por medio de regresiones lineales simples y múltiples. A partir de estas regresiones, se estimó la concentración de clorofila-a en el agua a

partir de los valores de reflectancia encontrados en la imagen satelital [38], lo cual permite un monitoreo continuo y extensivo de la calidad del agua en una zona determinada.

En [39] y [40], se obtienen mapas de vulnerabilidad a la contaminación de aguas subterráneas con ayuda de SIG; estos mapas se obtienen empleando la metodología DRASTIC, para evaluar la susceptibilidad del agua a sufrir contaminación. La metodología DRASTIC involucra siete variables, y su aplicación mediante SIG, requiere el monitoreo mediante pozos, de variables como el nivel freático, recarga neta, tipo de acuífero, suelo, topografía y conductividad del acuífero. Con los datos levantados y la ayuda de un SIG, se creó una base de datos geoespacial, en la que se representaron espacialmente las variables involucradas; estos mapas fueron superpuestos, asignando un índice a cada valor de cada variable de acuerdo con el potencial relativo de contaminación del agua, y a cada variable específica una ponderación de acuerdo con su importancia relativa. Los mapas obtenidos indican la distribución espacial del nivel de amenaza por contaminación de aguas subterráneas en una zona determinada.

Metodologías para la estimación de la recarga hídrica en acuíferos se encontraron en [41], [42] y [43]; el principio empleado es el mismo: superposición aplicando álgebra de mapas, de mapas temáticos que representan la distribución espacial de variables relacionadas con la infiltración y almacenamiento de agua como la topografía, velocidad de infiltración, punto de marchitez, profundidad promedio de raíces, usos de suelos, entre otras, en conjunto con mapas de variables climatológicas como precipitación y temperatura; el resultado final es la obtención de un mapa de distribución de la recarga acuífera en cuencas hidrográficas.

Del mismo modo, se han encontrado importantes propuestas en las que se crean Sistemas de Información Geográfica para la gestión y el ordenamiento del recurso hídrico [44], [45] y [46]; estas propuestas constituyen notables avances en la creación de herramientas útiles para la toma de decisiones y la planeación de la administración del recurso hídrico, tanto para su conservación como su suministro.

IV. OTRAS OBSERVACIONES

Bello y Pérez [47] abordan de manera muy completa el aspecto de la interoperabilidad entre la arquitectura, ingeniería, construcción y SIG, para integrar modelos de edificaciones en 3D, con datos geográficos de la ubicación de las edificaciones, analizando los factores relativos a la construcción, también en un contexto espacial, haciendo la modelación de edificaciones más extensiva y eficiente, al permitir, no solo la visualización de las edificaciones, sino que también sea capaz de representar las variables relacionadas con el proyecto en un marco espacial; la interoperabilidad entre estas disciplinas y los SIG, constituye un reto en la actualidad, así como la representación en 3D de los datos espaciales. También se ha encontrado que, es necesario unificar los criterios, formatos y lenguajes de trabajo con los SIG, ya que, como lo indica Durango [48], el intercambio de datos espacio-temporales resulta problemático en algunas ocasiones debido a que no se cuenta con una estructura unificada, por lo tanto, algunos SIG no soportan ciertos formatos espacio-temporales.

No se puede omitir la utilidad que tienen los SIG en la planeación y ordenamiento del territorio, sin embargo, estos son empleados por la administración pública, solo como bases de datos espaciales gráficas y alfanuméricas, útiles solo para la realización y visualización de cartografías temáticas, pero no se emplean para la realización de modelos y análisis espaciales que permitan la evaluación de escenarios actuales y a futuro [49]. Es evidente, por lo tanto, que el desconocer la infinidad de posibilidades y herramientas que pueden ofrecer los SIG's, hace que sus potencialidades sean ignoradas, y no sean bien aprovechadas. Por último, es importante replicar las reflexiones hechas por Barrera [50], sobre la importancia de la democratización de los SIG, a través de la participación de las comunidades locales, que permitan la elaboración de una cartografía social que involucre a todos los actores relacionados con el espacio a tratar, ya que en la actualidad, los análisis con este tipo de herramientas son hechos por expertos pertenecientes a las instituciones del Estado.

V. CONCLUSIONES

De acuerdo con la revisión bibliográfica realizada, se pudo observar la amplia gama de ramas en las cuales pueden ser empleados los Sistemas de Información Geográfica, como herramienta para el análisis de variables espacio-temporales y la modelación de escenarios presentes y futuros; lo anterior es de suma importancia, teniendo en cuenta que estas funciones sirven como base para la toma de decisiones y la gestión de factores de importancia económica y ambiental. Se pudo observar, por ejemplo, cómo estas modelaciones pueden definir mapas de susceptibilidad a la materialización de amenazas como fenómenos de remoción en masa o contaminación de las fuentes hídricas; del mismo modo, puede servir como base para la toma de decisiones y la proposición de estrategias de prevención para el control de los escenarios previstos.

Se pudo observar que un importante número de trabajos emplearon técnicas de teledetección para la identificación de propiedades del terreno a lo largo del espacio; de esto se puede identificar los potenciales usos de las imágenes tomadas por los satélites, y al mismo tiempo, la importancia de desarrollar técnicas para identificar la relación entre los valores de reflectancia capturados y las distintas propiedades presentes en el terreno.

REFERENCIAS

- [1] J. Peña, *Sistemas de información geográfica aplicados a la gestión del territorio: entrada, manejo, análisis y salida de datos espaciales: teoría general y práctica para ESRI ArcGIS 9*, San Vicente, España: Ed Club Universitario, 2006.
- [2] J. Kapetsky y G. Meaden, *Los sistemas de información geográfica y la telepercepción en la pesca continental y la agricultura*, Roma, Italia: Org. De La Naciones Unidas Para la Agricultura y la Alimentación, 1992.
- [3] A. Botella, A. Muñoz, R. Olivella, J. Olmedillas, J. Rodríguez y A. Pérez (Coords.), *Introducción a los Sistemas de información geográfica y geotelemática*, Barcelona, España: Ed. UOC, 2011.
- [4] D. Ponvert y A. Lau Quan, "Uso de las imágenes de satélites y los SIG en el campo de la ingeniería agrícola", *Rev. Ciencias Técnicas Agropecuarias*, vol. 22, no. 4, pp. 75-80, dic. 2013.
- [5] S.A. Ordoñez, J.A Triana, A.F Padilla y J.T Hernández, "Methodology for automatic generation of models for large urban spaces based on GID data", *Revista de ingeniería*, no. 36, pp. 20-24, jun. 2008.
- [6] G.E. Jiménez, A.L Companioni, P.Y. Piñero y A. Romillo, "SIGESPRO: Sistemas de Información Geográfica para controlar proyectos", *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, vol. 10, no. 2, pp. 181-195, mar. 2016.
- [7] I. Vilchis-Mata, E. Quentin, K. Bâ y C. Díaz-Delgado, "Estimación de precipitación diaria a través de in SIG con imágenes de radar meteorológico", *Tecnología y Ciencias del Agua*, vol 2, no. 4, pp. 167-174, dic. 2011.
- [8] B. Rodríguez-Ramos, F. Velandia y R. Cárdenas, "Teldetección y SIG aplicados a la exploración geológico-geofísica en el Altiplano Nariñense-Colombia", *Geología Colombiana*, no. 33, pp. 79-90, dic. 2008.
- [9] A. Camacho-Velasco, C.A. Vargas-García, F.A. Rojas-Morales, S.f. Castillo-Castelblanco y H. Arguello-Fuentes, "Aplicaciones y retos del sensado remoto hiperespectral en la geología colombiana", *Fac. Ing.*, vol. 24, no. 40, pp.17-29, Sep.-Dic. 2015.
- [10] A. Alami, A. Eslami and S. Hashemi, "The Query of Suitable Areas for plantation and development of *Taxus baccata* L Species by Using GIS in Northern Iran", *Ana. Da Aca. Bras. De Ciênc.*, vol. 86, no. 3, pp. 1497-1505, ene.-sep. 2014.

- [11] P.K. Kingra, D. Majumder and S.P. Singh, "Application of Remote Sensing and GIS in Agriculture and Natural Resource Management under Changing Climatic Conditions", *Agric Res*, vol. 53, no. 3, pp. 295-302, sep. 2016.
- [12] S.O. Oshunsanya and O.O. Aliku, "GIS Applications in Agronomy", *Geospatial Technology - Environmental and Social Applications*, Dr. Pasquale Imperatore, Ed. In-Tech, DOI: 10.5772/64528. Available from: <http://www.intechopen.com/books/geospatial-technology-environmental-and-social-applications/gis-applications-in-agronomy>
- [13] F. Ahmad, "GIS, gps and remote sensing application to investigate agricultural potential in cholistan", *Soc. & Nat.*, vol. 19, no. 1, pp. 55-64, jun. 2007.
- [14] C. Mena, Y. Morales, Y. Ormazábal y J. Gajardo, "Localización de un relleno sanitario en la comuna de Parral, Chile, a través de evaluación multicriterio", *interc.*, vol. 35, no. 9, pp. 684-689, sep. 2010.
- [15] C.A. Zafra, F.A. Mendoza and P.A. Montoya, "A methodology for landfill location using geographic information systems: a Colombian regional case", *Ing. e Inv.*, vol. 32, no. 1, pp. 64-70, abr. 2012
- [16] N.B. Pineda, J.Bosque, M. Gómez y W. Plata, "Análisis de cambio del uso del suelo en el Estado de México mediante sistemas de información geográfica y técnicas de regresión multivariantes. Una aproximación a los procesos de deforestación", *investigaciones geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, no. 69, pp 33-52, ago. 2008
- [17] J. Amanollahi, C.Tazaqnis, M. Firuz and A. Makmom, "Urban heat evolution in a tropical area utilizang Lansat imagery", *atm. res.*, vol. 167, pp. 175-182, Ene. 2016.
- [18] G. Buzai, *Sistemas de información geográfica SIG: teoría y aplicación*, 1era. Ed. Luján, Argentina: Univ. Nacional de Luján, 2013.
- [19] E.N. Bustamante, J. Monge-Nájera and V.H. Méndez-Estrada, "Use of a geographic information system and linches to map air pollution in a tropical city: San José, Costa Rica", *Rev. Biol. Trop.*, vol. 61, no. 2, pp. 557-563, jun. 2012.
- [20] J. Barista de Jesus and B. Barros, "Methodology for automatically delimiting permanent preservation areas along water courses - the use of gis in the hydrological Basin of the sergipe river, brazil", *Rev. Árv.*, vol. 40, no. 2, pp 229-234, Mar.-abr. 2016.
- [21] O. Andrade, M. Kappas and S. Erasmi, "Assessment of erosion hazard in Torres municipality of Lara state (Venezuela) based on GIS", *Interc.* vol. 35, no. 5, pp. 348-356, may. 2010.
- [22] O. El Aroussi, A. El Garouani and R.Jabrane, "Modelling and mapping of soil erosion on the oued el alleh catchment using remote sensing and GIS", *Jour. of Urb. and Env. Eng.*, vol. 7, no. 2, pp. 302-307, jul. 2013.
- [23] R. Marques da Silva, C. Santos and L.Pereira e Silva, "Evaluation of soil loss in guaraira basin by gis and remote sensing based model", *Jou. of Urb. and Env. Eng.*, vol. 1, no. 2, pp. 44-52, ago. 2007.
- [24] M.J. Domínguez-Cuesta, M. Jiménez-Sánchez, J.A. González-Fernández, L. Quintana, G. Flor and G. flor-blanco, "GIS as a tool to detect flat erosional surfaces in coastal areas: a case study in north", *Sp. Geol. Act.: an int. ear. Sci. jou.*, vol. 13, no. 2, pp. 97- 106, jun. 2015.
- [25] J. Suárez, "Zonificación de susceptibilidad amenaza y riesgo", en *Deslizamientos: Análisis geotécnico*, 1era. Ed., Bucaramanga, Colombia: Ed. U. Ind. De Sant., 2009, cap. 13,

- pp. 527-582. [En línea]. Disponible: www.erosion.com.co
- [26] J. A. Soto Monroy and N.I Rojas Gamba, (2015). “Evaluación de susceptibilidad de fenómenos de remoción en masa y uso de sistemas de información geográfica”, *Ing. Mag.*, vol. 6, no. 2, pp. 22-38, mar. 2015.
- [27] A. Marcano, “Metodología para la zonificación de la amenaza por movimientos en masa desencadenados por la sismicidad”, *Rev. Inv.*, vol. 40, no. 87, pp. 149-174, ene. 2016.
- [28] S. Cartaya, W. Méndez y H. Pacheco, “Modelo de zonificación de la susceptibilidad a los procesos de remoción en masa a través de un sistema de información geográfica”, *Inverc.*, vol. 31, no. 9, pp. 638-646, sep. 2006.
- [29] M. E. López y L. A Sánchez, “Vulnerabilidad ante inundaciones en un sector de la ciudad de Coro sobre Sistema de Información Geográfica”, *Ing. Hidr. Amb.*, vol. 32, no. 2, pp. 69-74, may.-ago. 2011.
- [30] J.F. Ardila y O.Y . Quintero, “Aplicación de la teledetección y los sistemas de información geográfica en la interpretación de zonas inundables. Caso de estudio: Río Soapaga, sector Paz de Río, Boyacá”, *Cienc. Ing. Neog.*, vol. 23, no. 2, pp. 55-76, dic. 2013.
- [31] C. Sacasas, “Peligro de ciclones en Cuba en un sistema de información geográfica”, *Ing. Hidr. Amb.*, vol. 34, no. 3, pp. 95-104, sep.-dic. 2013.
- [32] A. Reyna, “El uso de los sistemas de información geográfica (SIG) en el análisis demográfico de situaciones de desastre”, en *Notas de población*, vol. 32, no. 81, Santiago de Chile, Chile: CEPAL, 2006, cap. 5, pp. 129-162. [En línea]. Disponible: <http://repositorio.cepal.org/>
- [33] A. Marcano y S. Cartaya, “La Gestión de Riesgos de Desastres y el Uso de los Sistemas de información Geográfica (SIG): Algunas Consideraciones”, *CONH., Rev. Univ. Arb. Inv. Dial. Aca.*, vol. 6, no. 3, 2010.
- [35] J. A. Rosales y A. Marcano, “Análisis geomorfológico de las microcuencas de drenajes Monroy y Zumba, Municipio Sucre-Estado Miranda, Venezuela; empleando sistema de información geográfica”, *CONH., Rev. Univ. Arb. Inv. Dial. Aca.*, vol. 9, no. 1, 2013.
- [36] C. R. Fonseca, C. Díaz, M. Hernández y M.V. Esteller, “Demanda hídrica urbana en México: Modelado espacial con base en sistemas de información geográfica”, *Rev. Inv.*, vol. 38, no. 1, pp. 17-25, ene. 2013.
- [37] R. Andrade, “Integrated use of geophysical, hydrological and geographic information system (SIG) methods in enhancing the groundwater quality in a fluoride – endemic terrain (Andhra Pradesh, India)”, *Hid. Jour.*, vol. 20, no. 8, pp. 1589-1597, dic. 2012.
- [38] C. Ledesma, M. Bonansea, C. Rodríguez y A.R. Sánchez, “Calidad del agua en el embalse Río Tercero (Argentina) utilizando sistemas de información geográfica y modelos lineales de regresión”, *Rev. Ambi-Agua*, vol. 8, no. 2, pp. 67-76, 2013.
- [39] N. Hammouri and A. El-Naqa, “GIS based Hydrogeological Vulnerability Mapping of Groundwater Resources in Jerash Area”, *Jord. Geof. Inter.*, vol. 47, no. 2, pp. 85-97, abr.-jun. 2008.
- [40] A. El Naqa, N. Hammouri and M. Kuisi, “GIS- based evaluation of groundwater vulnerability in the Russeifa área, Jordan”, *Rev. Mex. Cienc. Geol.*, vol. 23, no. 3, pp. 277-287, jun. 2006.
- [41] M. Al Kuisi and A. El Naqa, “GIS based Spatial G
- [42] P. Ramírez, “Determinación de la recarga acuífera potencial mediante un Sistema De Información Geográfica para la cuenca del río

- frío, Costa Rica” Rev. Geog. Am. Cen., vol. 2, no. 51, pp. 15-35, jul.-dic. 2013.
- [43] M. Quiroz, J. Escobar, D. Martínez, T. Betancur y H. Massone, “Los sistemas de información geográfica como herramienta de apoyo en los estudios hidrogeológicos dos casos de estudio en América Latina”, Rev. Ing. Univ. Med., vol. 6, no. 11, pp. 23-41, jul.-dic. 2007.
- [44] E. Giménez-Frontín, I. Cabezón González y R. Rendas da Silva, “Sistema de información geográfica para la gestión de recursos hídricos”, Rev. Geog. Am. Cen., vol. 2, no. 45, pp. 175-190, jul.-dic. 2010.
- [45] P.L. Correa y J.I. Vélez, “Sistema de información geográfica para apoyar la gestión del recurso hídrico en cuencas rurales”, Gest. Amb. Med., vol. 25, no. 2, pp. 53-62, dic. 2002.
- [46] M. Ortiz, “Generación de un sistema de información geográfica como Instrumento para la gestión del agua en la ciudad de San Luis Potosí”, Rev. Geog. Am. Cen., vol. 2, pp. 1-15, jul.-dic. 2011.
- [47] F.O. Bello-Pérez y J.N. Pérez-Castillo, “Interoperabilidad entre los dominios de la arquitectura, la ingeniería y la construcción y los sistemas de información geográfica”, Ing. Univ. Bogotá, Vol. 16, no. 1, pp. 183-200, ene.-jun. 2012.
- [48] C.E. Durango, “Caracterización de datos espacio-temporales en Sistemas de Información Geográfica”, Tesis de maestría, Dep. Cienc. Comp. Dec., Univ. Nal Col, Med., Colombia, 2013.
- [49] C. Baxendale, “Cartografía, organización del territorio y Sistemas de Información Geográfica”, en Sistemas de Información Geográfica en la investigación científica actual, Buenos Aires, Argentina: Edic. UNGS, 2015, cap. 1, pp 21-32.
- [50] S. Barrera, “Reflexiones sobre Sistemas de Información Geográfica Participativos (sigp) y cartografía social”, Cuad. Geog. – Rev. Col. Geog., no. 18, pp. 9-23, 2009.