



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Centro de Estudios de Postgrado

Trabajo Fin de Máster

IMPORTANCIA DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN LA LOGÍSTICA EXTERNA

Alumna: Ana María Múnera Campuzano

Tutor: Prof. D. Francisco Ramón Feito Higuera

Dpto: Informática

Octubre, 2017

AGRADECIMIENTOS

Doy gracias a Dios por la oportunidad de vivir y aprender de las experiencias vividas a lo largo del desarrollo de este trabajo; por colocar en el camino mi tutor, Francisco Feito H. quien se ha encargado de guiarme y enseñarme, pero no solo en mi parte académica, en aspectos profesionales también ha sido una excelente luz para mi vida.

Además también doy gracias a mis padres, hermanos y a toda mi familia, que desde la distancia siempre han puesto en mí, la confianza para llevar a cabo el desarrollo de este trabajo; a mis amigos, que han estado a mi lado para brindarme una palabra de aliento en momentos de angustia.

“Ponte de frente al sol y las sombras quedarán detrás de ti”.
Proverbio Mahorí

PALABRAS CLAVES: logística externa, transporte, geoespacial, archivos vectoriales, información georreferenciada, GIS, QGIS, pgRouting, PostgreSQL, PostGIS

SIG (Sistema de Información Geográfico): un software que usa mapas sobre los que se pueden capturar, guardar, visualizar y analizar capas de información, para resolver problemas de planificación y gestión. [1]

RESUMEN

El desarrollo de este trabajo fin de máster estudia el uso de los sistemas de información geográfica como herramienta de análisis y toma de decisiones dentro de las organizaciones, ya que estos se pueden emplear en diferentes áreas; en este caso se tendrá en cuenta, la aplicación en la logística externa de las empresas, ya que en la actualidad el software que es empleado para actividades del ámbito geoespacial cuentan con extensiones y funciones que lo hacen una herramienta de ayuda para otras áreas; es el caso de pgRouting, la cual permite realizar el cálculo de rutas: distancia optima entre dos o más puntos, pero es necesario para su visualización utilizar un software, en este caso se hace uso de QGIS, el cual es compatible con pgRouting y permite ver la información gestionada por pgRouting y dentro del mismo QGIS realizar cálculos por medio del complemento que este dispone para integrarse con pgRouting.

KEYWORDS: external logistic, transport, geospatial, vector files, georeferenced information, GIS, QGIS, pgRouting, PostgreSQL, PostGIS.

GIS (Geographic Information Systems): software that uses maps, on which it is possible to capture, save, view and analyze layers of information to solve planning and management. [1]

ABSTRACT

The development of this master's thesis, studies the use of geographic information systems as a tool for analysis and decision-making within organizations, since these can be used in different areas. In this case, the application in extern logistic of companies will be taken into account, since currently, the software that is being used for activities of the geospatial scope, has extensions and functions that make it a helpful tool for other areas. This is the case of pgRouting, which allows the calculation of routes, optimum distance between two or more points, but for visualization, is necessary to use a software, in this case, QGIS is used because of the compatibility with pg Routing and also because it allows to show the information which is managed by pgRouting. Another important point is that QGIS make calculations through the complement which has for integrating with pgRouting in this case, the use of QGIS, which is compatible with pgRouting and allows seeing the information managed by pgRouting and performing calculations within QGIS through the complement it has for integrating with pgRouting.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	8
2. CADENA DE SUMINISTRO.....	11
2.1 LOGÍSTICA.....	13
2.2 LOGÍSTICA EXTERNA.....	14
2.3 TRANSPORTE.....	15
3. SIG.....	19
3.1 GENERALIDADES.....	19
3.2 COMPONENTES.....	20
3.3. INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.....	24
3.4 FUENTES DE DATOS ESPACIALES.....	31
3.5 ANÁLISIS ESPACIAL.....	32
3.6 CONSULTAS EN UN SIG.....	35
4. SOFTWARE SIG.....	37
4.1 GRASS.....	37
4.2 GVSIG DESKTOP.....	39
4.3 OPENJUMP.....	39
4.4 WHITEBOX GAT.....	40
4.5 ARCGIS.....	41
4.6 MAPINFO.....	42
4.7 AUTOCAD MAP 3D.....	43
5. SIMPOSIO GIS-T.....	45
6. QGIS.....	49
6.1 CARACTERÍSTICAS.....	49
6.2 HERRAMIENTAS.....	50
7. PGROUTING.....	53
8. CASO DE USO.....	55
9. CONCLUSIONES.....	62
10. REFERENCIAS.....	64

TABLA DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1. Cadena de suministro con sus eslabones.....</i>	<i>11</i>
<i>Ilustración 2. Conexión de logística con otras áreas de la empresa.....</i>	<i>14</i>
<i>Ilustración 3. Cadena logística y cadena de transporte.....</i>	<i>16</i>
<i>Ilustración 4. Elementos del sistema SIG.....</i>	<i>21</i>
<i>Ilustración 5. Elementos del sistema de coordenadas geográficas.....</i>	<i>24</i>
<i>Ilustración 6. Representación parcial de la cuadrícula UTM en América del Sur.....</i>	<i>25</i>
<i>Ilustración 7. Formas de representar información altitudinal en una capa.....</i>	<i>28</i>

<i>Ilustración 8. Representación de datos.</i>	29
<i>Ilustración 9. Ejemplo consulta espacial.</i>	32
<i>Ilustración 10. Ejemplo análisis topológico</i>	33
<i>Ilustración 11. Ejemplo de medición.</i>	33
<i>Ilustración 12. Ejemplo de combinación.</i>	34
<i>Ilustración 13. Ejemplo de transformaciones.</i>	34
<i>Ilustración 14. Ejemplo análisis de superficie</i>	34
<i>Ilustración 15. Interfaz del software Grass.</i>	38
<i>Ilustración 16. Interfaz de geoprocementos, simbología vectorial y mapas.</i>	39
<i>Ilustración 17. Interfaz en OpenJUMP.</i>	40
<i>Ilustración 18. Interfaz SIG Whitebox GAT</i>	41
<i>Ilustración 19. Aspecto de ArcGIS Pro.</i>	42
<i>Ilustración 20. Interfaz de MapInfo y caja de herramientas.</i>	43
<i>Ilustración 21. Interfaz de AutoCAD Map 3D.</i>	44
<i>Ilustración 22. Listado de mapas del portal</i>	47
<i>Ilustración 23. Mapas históricos.</i>	47
<i>Ilustración 24. Portal de Carolina del Norte</i>	47
<i>Ilustración 25. Administrador de complementos</i>	51
<i>Ilustración 26. Ventana de calculadora de campos.</i>	52
<i>Ilustración 27. Mapa de Medellín en OpenStreetMap</i>	55
<i>Ilustración 28. Inicio de OpenStreetMap</i>	56
<i>Ilustración 29. Cuadros de instalación.</i>	56
<i>Ilustración 30. A: Conexión de PostGis y pgAdmin para agregar datos. B: Importación de datos y asignación de parámetros</i>	57
<i>Ilustración 31. Consulta SQL.</i>	58
<i>Ilustración 32. Tabla de datos generada con la consulta de creación de vista.</i>	58
<i>Ilustración 33. Entorno grafico QGIS con datos gestionados por pgRouting</i>	59
<i>Ilustración 34. Complemento pgRouting en QGIS</i>	59
<i>Ilustración 35. Visualización de ruta más corta.</i>	60
<i>Ilustración 36. Vista de ruta entre dos puntos.</i>	60

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente las ciudades buscan una mayor conexión con sus alrededores, posibles puntos de interacción entre países, por eso para el transporte es importante conocer las diferentes rutas en las cuales se pueden movilizar las personas o las mercancías, debido a que es una actividad socioeconómica indispensable entre ciudades, departamentos y países.

Mediante el uso de un SIG (*Sistemas de Información Geográfica*), el cual permite la manipulación de datos geográficos de forma digital, se logra generar nuevas ideas con respecto a determinadas acciones; también es útil como mecanismo de análisis para la toma de decisiones. Cuando se analizan los usos en tema de transporte, se aprecian un sinnúmero de usos, pues permite determinar las rutas, las cercanías, los kilómetros y muchos otros aspectos en dicho ámbito.

Actualmente el avance en tecnología permite grandes innovaciones, así lo puede ver evidenciado el sector del transporte, ya que es un sector que permite la realización de grandes cambios, en lo que cabe rescatar los aportes generados al sector por medio de los SIG. Así mismo dan beneficios ante un factor importante, como lo son los costes, pues los mapas inteligentes como también son llamados, al ser cada vez retroalimentados con información de los mismos usuarios, permite que se proporcionen mejoras en el sistema, que puedan ser acordes a la exactitud que presentan con respecto a un punto en concreto o diferentes puntos, permitiéndoles ser más precisos y que se acerquen a respuestas más óptimas a quienes interactúan con estos.

Cuando se habla de transporte, se presenta una relación directa con la logística, ya que son conceptos afines; como se puede evidenciar dentro de una empresa el movimiento no solo de materia prima, sino también de producto semi-terminado y producto terminado, con lo anterior entonces se entiende que el transporte va implícito en las actividades de logística presentes en una empresa.

Ahora, para entender la relación transporte-logística, es necesario primero definir ambos términos. Se puede definir *Logística* como: “*el conjunto de actividades que se encargan de la planificación, implementación y control del transporte y almacenamiento de los productos de manera eficaz y eficiente, incluidos los servicios, e información desde el punto de origen hasta el punto del consumidor final, todo esto enfocado a las necesidades del cliente*”. [2]

En relación al transporte, este representa entre un tercio y dos tercios del total de los costos logísticos; es un elemento fundamental en los costes logísticos, por eso se busca reducir las actividades que no generen valor para el cliente, para que la percepción del cliente al momento de adquirir el producto, le parezca razonable el valor por el cual va a pagar. Además no solo será la utilidad y satisfacción que el producto genere para el cliente, también será un factor importante el que sea entregado en el lugar y en el tiempo adecuado al cliente, lo que actualmente representa una problemática por la falta de capilaridad, medios informáticos de visualización, gestión de rutas y ubicación precisa y en tiempo real de los clientes que desean adquirir sus productos.[2]

Pero también, es de importancia tener en cuenta los retornos de productos, ya sea por insatisfacción o por averías, para lo cual se trataría de *Logística Inversa*, la cual hace referencia a un fragmento de logística, que se especializa en el movimiento y gestión de productos y recursos después de la venta, que han sido entregados al cliente.

Así mismo se debe tener en cuenta que para este trabajo se tomara en cuenta los flujos externos, lo que comprende la *Logística Externa*, la cual gestiona y planifica los flujos de materiales, productos e información entre la empresa y lo demás agentes externos a ella como los proveedores, clientes, distribuidores y operadores logísticos. De esta manera se haría uso de los SIG, que dan respuesta a las problemáticas que enfrentan las empresas con respecto a estos flujos y que mediante la integración con la tecnología podrían verse representados en competitividad para la empresa y ahorro en costos logísticos en especial de transporte.[3]

Este trabajo se estructura de la siguiente forma: inicialmente como capítulo 1 se presenta la introducción del mismo, en la cual se hace una definición de algunos conceptos a tratar en el desarrollo de los siguientes capítulos, en el capítulo 2 se realiza una descripción de los términos que serán de relevancia para el trabajo con respecto a la cadena de suministro, como lo es: logística, logística externa y transporte; en el capítulo 3, se abordará lo relacionado con los SIG, como sus generalidades, componentes y sus demás elementos, después en el capítulo 4 se hablará de los SIG actualmente comercializados, tanto libres como de pago; en el capítulo 5, se hablará del simposio GIS-T, el cual recoge la importancia de la unión entre los SIG y el transporte, para después continuar hablando en el capítulo 6, lo referente al software QGIS elegido para el desarrollo del trabajo; para el capítulo 7 se realizará una identificación de la herramienta pgRouting, que mediante el entorno de QGIS permite la integración de ambas, y así ponerlas en uso en el capítulo 8, donde se realiza un caso de uso usando ambos software

para descubrir todas las opciones con las que cuentan y aportan a sus usuarios, y por último en el capítulo 9, se tiene las conclusiones que se logran dar por medio del desarrollo de este trabajo; como capítulo 10 se tienen las referencias de las cuales se hizo uso a lo largo del desarrollo del informe, para adquirir mayor conocimiento y tener en cuenta lo que se ha realizado en el momento para las temáticas tratadas.

2. CADENA DE SUMINISTRO

Como se ha dicho, en este capítulo se hará una explicación de los términos en relación a la cadena de suministro, dentro de los cuales el transporte es parte fundamental y de gran importancia.

Se entenderá como cadena de suministro a todos los intercambios de materiales o información en el proceso logístico, desde el proceso de obtener la materia prima, hasta el proceso de entrega al cliente, esta cadena hace referencia a la integración entre los proveedores, distribuidores, fabricantes, clientes y proveedor de servicios, que permiten que se genere coordinación entre empresas-clientes y se establezcan flujos, para así, dar lugar a un proceso económico para ambas partes y la sociedad.

También se establecen relaciones de coordinación y colaboración con los diferentes socios que intervienen en el proceso, proveedores de proveedores, clientes e intermediarios, lo que hace fundamental establecer confianza entre todos. De igual forma es fundamental lograr una integración de la cadena de suministro, permitiendo los flujos más rápidos y siempre buscando la calidad de los procesos, Las diferentes cadenas de suministro cuando se interrelacionan generan fuertes obligaciones a lo largo y ancho de los agentes que componen su estructura, Pero todo esto se hace con el fin de generar ventajas competitivas mediante la generación de vínculos entre ellas y poder mantener la interrelación entre todas, lo que permite además desarrollar nuevos avances y generar nueva ideas de productos o servicios que los clientes soliciten o que no estén en el mercado, lo que hace que se aproveche la carencia de estos productos o servicios identificados en el mercado.

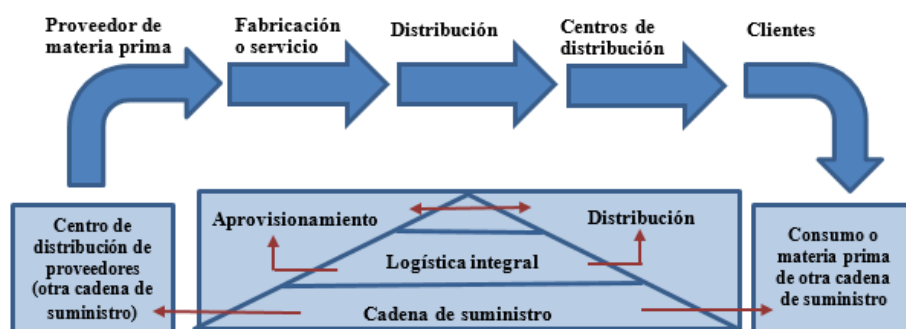


Ilustración 1. Cadena de suministro con sus eslabones

Dentro de la cadena de suministro los proveedores mayoristas y minoristas crean vínculos como “socios”, que les permite entre ellos compartir información, establecer negocios y determinar la demanda, que está presente en el mercado y poder dar cobertura a esta. Las

interrelaciones son importantes para las empresas, pues para ellos es importante también crear vínculos de “socios claves” con sus proveedores o clientes, lo que permite para todos una información más certera de las necesidades de la empresa.

El objetivo de la cadena de suministro es generar valor en los procesos, siempre maximizando este valor a lo largo de la cadena, con esto se permite que al final, cuando el cliente decida pagar por el producto, el importe suministrado por el cliente genere dicha rentabilidad a lo largo de toda la cadena de suministro. Es decir, el valor que el cliente paga por el producto tenga contemplados todos los gastos en los que se incurre para su fabricación, pero aun así el cliente se siente satisfecho y dicho valor no es elevado y estar dispuesto a pagarlo.

Todas las cadenas de suministro deben ser dinámicas, que se ajusten con facilidad a los requisitos del cliente, esto se hace mediante un flujo de productos e información constante, normalmente la información parte del cliente hacia los proveedores, y el flujo de productos en sentido contrario.

Cuando se logra una gestión de la cadena de suministro con buen desempeño, es cuando las empresas en su día a día al momento de tomar decisiones, siempre tendrán que ver con los flujos involucrados en su cadena, estas decisiones deben ser analizadas y deberán cumplir con el mayor objetivo y es que en todo momento se debe agregar valor al producto, esto es determinante, pues cada cadena cuenta con una secuencia de flujos y procesos, que en todo momento deben ser combinados entre sí para responder a las necesidades del cliente.

Entre los procesos que se sostienen dentro de la cadena de suministro, la logística juega un papel fundamental, ya que se encarga de proveer los productos o servicios necesarios para el proceso productivo, con el fin de satisfacer las necesidades de los clientes, puesto que las empresas realizan continuamente actividades de transporte e inventario, se hace necesario para la logística llevar a cabo un proceso coordinado de las actividades relacionadas, dado que es la encargada de planear, llevar a cabo y controlar los flujos de bienes e información, eficaz y eficientemente para satisfacer las necesidades de los clientes.

Aunque es difícil definir el límite entre cadena de suministro y logística, debido a que comparten diferentes actividades y la principal misión de ambas está dada por llevar los bienes o servicios en el lugar determinado, en momento oportuno y en las condiciones esperadas por el cliente, todo esto bajo un mínimo coste y que se consiga un mayor beneficio para la empresa. Dentro del canal directo establecido por la logística, también se puede presentar un canal

inverso, de tal manera que la cadena de suministro tiene como punto final, la eliminación del producto, en ocasiones el canal inverso puede ser gestionado por el mismo canal directo, pero en otras oportunidades debe tener un canal diferente, lo que es una tarea para logística de prever los medios para garantizar el retorno del producto, ya sea por imperfectos, averías o por obsolescencia. [4]

Mediante la descripción hecha antes de cadena de suministro se da a conocer la interrelación que tiene con la logística, haciendo relevantes los aspectos importantes entre ambas, ahora se describirá, logística como parte fundamental de la cadena de suministro.

2.1 Logística.

Como ya se ha mencionado, cuando se hace referencia a *logística* se trata del proceso de planeación, implementación y control eficiente, efectivo del almacenamiento de bienes, servicios e información relacionada, desde el punto de origen hasta el consumidor final, y todo este proceso debe cumplir con los requisitos esperados de los clientes.[2]

Es importante tener presente que la logística es parte de la cadena de suministro, donde la cadena de suministro plantea la integración de los procesos de negocio, y la logística es el medio por el cual se logra la integración de determinados procesos de la empresa. Dentro de los procesos que se destacan por parte de la logística se encuentran: aprovisionamiento, almacenamiento, servicio al cliente, transporte, distribución, gestión de inventarios, procesamiento de pedidos, entre otras, dentro de la logística se toman como actividades todas aquellas que involucran los movimientos de materias primas, materiales, productos en tránsito, producto semi-terminado y terminado, además de las actividades que proporcionan soporte para la transformación de los productos.

Por otro lado, se debe tomar la logística como un proceso coordinado entre sus actividades, para garantizar la generación de valor para el cliente, además dando una respuesta con mayor velocidad al mercado y siempre buscando que sea al menor costo. El proceso que realiza la logística dentro de una empresa se considera como un proceso que atraviesa horizontalmente las funciones y tareas que esta desarrolla, por lo que es necesario disponer de un flujo de información adecuado para que todas las áreas, departamentos y procesos que están interrelacionados, cuente con un sistema integrado y coordinado, para lo cual su propósito es el mejoramiento en el proceso de negocio, la fidelización de los clientes, la captación de nuevos

mercados, pensado en el menor costo y hacer los procesos más amigables con el medio ambiente.



Ilustración 2. Conexión de logística con otras áreas de la empresa.[5]

Dentro de las actividades que desarrolla la logística, se encuentra el permitir que el producto llegue en óptimas condiciones al consumidor final, es indispensable que se presente en el lugar indicado, el tiempo acordado y todo al menor costo; pero no solo se enfoca en dar respuesta a los clientes, busca interrelacionar aspectos de abastecimiento de materias primas, compras, gestión de inventarios, distribución, servicio al cliente y es fundamental establecer los canales de información que permitan la interrelación que genere una ventaja competitiva en el mercado, mediante la coordinación de la empresa misma como con sus empresas socias. [4]

2.2 Logística externa.

En relación con lo explicado anteriormente, se tratará ahora de entender lo correspondiente a la logística externa, como parte fundamental dentro de las empresas.

De manera que cuando se trata de los movimientos de los productos, información y materias que involucra la comercialización de los mismos, se hace referencia a la *logística externa*, que con el tiempo ha evolucionado en gran medida puesto que bajo los pilares en los cuales se apoya son las tecnologías de la información y el internet, los continuos cambios que han estado teniendo las empresas por la incorporación de mecanismos que faciliten sus procesos los ha hecho ser más visibles en un entorno global, aportando grandes cambios a la realización de las tareas de esta área. A diario se enfrentan con problemas como cuales, el lote exigido por el cliente es pequeño y presenta una frecuencia alta, el transporte debe ser rentable y esto se puede ver condicionado al volumen de mercancías que se requieran mover, al ser pequeñas cantidades no será el volumen esperado para los costos en los que se deba incurrir. [6]

Como ya se ha dicho, mediante la coordinación de todos los flujos de materiales e información se puede hablar de que se tiene un sistema logístico, el cual dará respuesta a las necesidades

del cliente o consumidor final, mediante el apoyo en tres subsistemas que permiten una gestión de los procesos. Como subsistemas se tiene: logística de almacenamiento, logística de planta y logística de distribución, esta última tiene un papel importante en la logística externa, ya que abarca el desarrollo de sus funciones, y es la logística de distribución la que se encarga de las actividades de expedición y distribución y donde el transporte es fundamental para llevar a cabo estas actividades. [4]

2.3 Transporte

Ahora se hablará de una de las actividades más importantes dentro de la logística y en concreto para este caso, para la logística externa.

Considerando ahora que para la dinámica industrial de los países, el transporte representa un pilar fundamental, teniendo en cuenta que dentro de la logística cumple la función de dinamizar el flujo de los productos, y esta a su vez representa entre el 45% al 50% de los costos logísticos totales de las empresas, es por esto que el transporte es una clave de éxito en la entrega oportuna, tanto de materias primas como productos terminados, generando valor en cada flujo de transporte que este realice. [7]

El transporte representa como elemento individual el mayor costo logístico dentro de las empresas. Pero a pesar de ser una actividad de gran importancia, al dar respuesta a las necesidades del cliente o del mercado, es importante un desarrollo del sistema de transporte en aquellos lugares donde aún no se tenga, también factores como un mercado limitado, hacen que el enfoque sea en determinados sectores, pero de igual forma no se pierde de vista lograr la satisfacción del cliente, que se obtiene mediante la puntualidad de la entrega, calidad en la manipulación de los productos y disminuir de los costos en la gestión del transporte, esto es fundamental para que de trascendencia a lo largo de la cadena de suministro, y agregar valor en todas las actividades que se desarrollan.[4]

El transporte con su mecanismo de unir y dar respuesta a los clientes, cuenta con unos componentes relevantes que son:

- **Infraestructura:** es toda la red compuesta por vías férreas, vías de carreteras, rutas aéreas, canales, mares, en las que se tienen en cuenta los nodos o terminales en los que se hacen transbordos o cambios de modo de transporte.

- **Vehículos:** representa el medio por el cual se realiza el transporte, los automóviles, camiones, aviones, trenes, bicicletas, barcos, entre otros medios empleados para este fin.
- **Operaciones:** todas las acciones de control de tráfico del sistema, las políticas, mecanismos de financiación y la regulación del transporte son consideradas en las operaciones.

El transporte para algunos lugares del mundo es un factor de relevancia, teniendo en cuenta diferentes zonas para las cuales en determinadas temporadas del año, ciertos productos no se encuentran disponibles, debido a patrones estacionales del cultivo; pero para otros lugares esto no es un problema, de modo que tienen a disposición toda una oferta de productos sin importar la temporada en la que se encuentren, para lo cual hace que se deban realizar envíos a estas zonas donde se presenta ausencia de estos productos, pero esto debe ser siempre a un precio razonable, en el tiempo correcto de entrega y bajo unos criterios de calidad que lo hagan atractivo para el cliente y que no atente contra su integridad. [4] [7]

Cuando se tiene un servicio de transporte, éste cuenta con una variedad de servicios de transportación, en los que se tienen diferentes modalidades (aéreo, marítimo, ferroviario, por carretera, otros), que pueden ser combinadas entre sí para dar respuesta y facilitar los servicios al cliente, se tiene que algunos podrán ser más rápidos, pero su costo será mayor, por que el cliente es quien deberá determinar qué precio está dispuesto a pagar por el producto y así determinar cuál modo sería el más conveniente para llevar la actividad.



Ilustración 3. Cadena logística y cadena de transporte[8]

Las diferentes combinaciones que se llevan a cabo entre las modalidades de transporte, permiten el intercambio libre entre las modalidades, esto se ha incrementado debido al aumento de envíos internacionales, que han permitido el uso de varios modos de transporte, permitiendo ofrecer a los clientes un servicio puerta-puerta, pero de igual forma es indispensable la interrelación entre las partes encargadas de prestar el servicio y el cliente, ya que para los consumidores finales conocer las condiciones de transporte, el tiempo de duración del transporte y la localización del envío en todo momento, son condiciones que con los avances de la tecnología se logra dar respuesta a estos requerimientos, pero no solo son útiles para los consumidores finales, lo es también para las empresas que están de fondo en este proceso, porque permite tener la trazabilidad de sus productos, para que en momentos de requerir dicha información para validación, pueda servir como apoyo.[7]

3. SIG

(Geographic Information Systems - Sistemas de Información Geográfica)

En relación a lo propuesto para este trabajo, ahora se tratarán los conceptos en relación al SIG, como conocer su funcionamiento y componentes que lo constituyen, haciéndolo una herramienta de gran envergadura para la logística, la siguiente información es un resumen realizado mediante la información proporcionada por [9], [10] y [11] .

3.1 Generalidades

Se debe entender un SIG como un sistema de hardware, software y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, representación y salida de datos espaciales georreferenciados, para resolver problemas complejos de planificación y gestión. [12]

Un SIG integra información espacial y de otro tipo dentro de un único sistema, ofrece un análisis de datos geográficos, colocando mapas e información espacial en forma digital para facilitar la manipulación de los datos geográficos y permitir la toma de decisiones con respecto a los análisis que se pueden desarrollar.

En la actualidad se habla de los SIG como una "tecnología habilitadora" debido al potencial que ofrece, para la amplia variedad de disciplinas que deben ocuparse de los datos espaciales es importante que cada campo proporcione alguna de las técnicas que componen el SIG, pues estos serán los que reúnan y permitan la integración, la modelización y el análisis como el campo integrador, se puede decir que a menudo los SIG pretenden ser la ciencia de la información espacial, ya que una interacción con ellos, se logra realizar consultas, analizar y representar cualquier información relevante con respecto a algún territorio, y todo esto asociado a la información geográfica compuesta por los mapas con bases de datos.

Aunque durante años se hizo uso de los mapas de papel, con la integración de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la tecnología asociada a ellos, se ha permitido un gran avance en las diferentes áreas de trabajo, la planificación, análisis y gestión del territorio. Los SIG almacenan la información geográfica, que hace referencia a todos los elementos relacionados con determinada superficie de la tierra, lo que indica que elementos se encuentran o donde se encuentran de un lugar específico, esta información es almacenada de acuerdo a una capa específica, lo que permite que sea más sencillo el proceso de búsqueda al momento de requerir extraer los resultados.

Los sistemas SIG deben cumplir con tres funciones básicas:

- **Representar y visualizar los datos:** Dentro de las funciones que deben realizar los SIG, está el permitir superponer distintos datos, para que de forma conjunta se pueda visualizar el comportamiento que presentan los distintos datos de determinadas variables.
- **Administrar datos geográficos:** Los SIG deben permitir la creación o modificación de los datos geográficos, esto con el fin de mantener los datos geográficos actualizados y proporcionar mayor información a los usuarios, debido a que se puedan presentar cambios dentro de las diferentes capas.
- **Análisis espacial:** Por medio de las diferentes fuentes consultadas, los usuarios pueden generar nuevos conocimientos, esto haciendo uso de técnicas cuantitativas, cualitativas y gráfica para cumplir con la identificación de los componentes del espacio y poder comprender la funcionalidad de estos componentes identificados.[13]

Para los SIG es fundamental basarse en el concepto de *sistema* como un elemento integrador que enmarca a todos los componentes interrelacionados entre ellos. Tiene elementos como mapas, que suelen ser un conjunto de datos espaciales de bastante importancia para el SIG, pero solo es un elemento, ya que el SIG contiene datos y representación de ellos, además de las operaciones que se pueden desarrollar sobre los mapas las cuales son parte de todo el sistema del SIG, en cual cada elemento conectado con otros elementos desarrolla una función particular, hacen del SIG un sistema complejo, pero sin lugar a duda de gran ayuda para las diferentes ciencias, su integración como sistema se basa en la tecnología informática, personas e información geográfica, con una función que es capturar, analizar, almacenar, editar y representar datos georreferenciados.

El SIG se emplea para la creación de cartografía, almacenarla, gestionarla y consultarla, asimismo se realizan análisis complejos con respecto a ella, para obtener resultados que podrán ser empleados en la toma de decisiones dentro de cualquier organización. [9]

3.2 Componentes

Los SIG se componen de subsistemas que tienen funciones particulares que le permiten el desarrollo de sus actividades, dándole la posibilidad de ser considerado una herramienta útil y valida. Estos elementos interrelacionados de los SIG, que lo hacen un sistema complejo son:

- **Subsistema de datos:** la entrada y salida de datos, la gestión en el SIG de estos datos, el acceso de otros subsistemas a estos datos y utilizarlos, son las funciones de este subsistema.
- **Subsistema de visualización y creación cartográfica:** es por medio del cual se realiza la representación a partir de los datos, lo que da lugar a la interacción con ellos.
- **Subsistema de análisis:** para el análisis de datos geográficos cuenta con una serie de métodos y procesos que permiten dar lugar al análisis de ellos.[9]

No solo se pueden ver los SIG compuestos por subsistemas, sino que también pueden ser vistos bajo sus elementos principales que son:

- **Datos:** son considerados la materia prima para el funcionamiento del SIG, ya que contienen la información para la existencia de este.
- **Métodos:** metodologías y fórmulas que se aplican sobre los datos a analizar.
- **Software:** para poder aplicar los métodos y trabajar con los datos, es necesaria una aplicación informática que permita desarrollar estas funciones.
- **Hardware:** para poner en marcha el software es necesario contar con un equipo.
- **Personas:** son las que deben diseñar y utilizar el software, el cual será el motor del sistema SIG. [9]

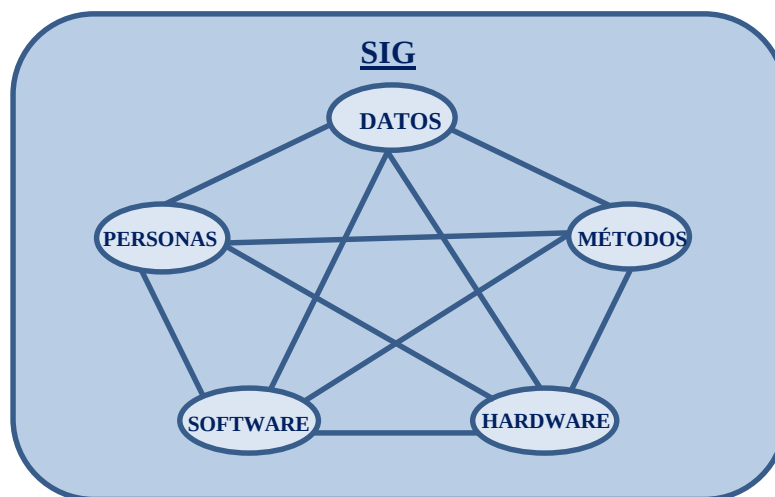


Ilustración 4. Elementos del sistema SIG. [9]

Los SIG son herramientas que integran bajo un marco común sus elementos y disciplinas, otras herramientas se pueden asemejar a estos, pero no cumplen con todos sus requisitos, entre esas se encuentran los CAD (Diseño asistido por computadora), mediante el cual su propósito es diseñar algo que aún no existe, la parte visual para estos es muy importante, dentro de las

diferencias que se tienen, es que los datos son almacenados como dibujos, en cambio para los SIG, los datos se almacenan como un dato geográfico complejo.

Aunque los CAD pueden ser utilizados para realizar tareas de diseño cartográfico, por lo que es importante no tener esta similitud entre un SIG, ya que mediante el uso del CAD se puede completar partes necesarias para el SIG. Todos los conocimientos bajo los cuales se hace el fundamento de los SIG se denomina la Ciencia de la información Geográfica.

Desde sus inicios los SIG, se podría decir que solo eran elementos de cartografía cuantitativa, que eran conectados bajo los sistemas informáticos que contaban para ese tiempo, a medida que los sistemas informáticos avanzaban, los SIG también lo hacían, pues en su comienzo era necesario de un computador de gran envergadura y no era de fácil adquisición para todos los interesados, ya se cuenta con software de dominio público que pueden ser utilizados en computadores personales, lo que quiere decir que los SIG han evolucionado con el tiempo y lo han hecho acorde a las posibilidades informáticas que se cuentan, aunque todo su estudio e investigación está a cargo de la geografía, esto debido a la denominación que se hace a estos sistemas de información, bajo el termino *Geográfico*. Aunque es totalmente multidisciplinario el uso de los SIG, su estudio es desarrollado por la geografía, pero no ha sido impedimento para otras ciencias usarlo e integrar nuevos avances a estos.

Un navegador como los GPS (Global Positioning System) que hace uso de elementos y análisis desarrollados por los SIG, es la muestra hoy en día de un gran avance a los cuales han llegado, puesto que desde los más avanzados GPS, hasta los incorporados en los teléfonos móviles, son un claro ejemplo de este gran avance y para lo cual los SIG han sido parte fundamental de su desarrollo.

Como se mencionó anteriormente, los SIG han evolucionado a lo largo del tiempo, por eso es importante conocer la tecnología en la cual se soporta, para determinar todo lo que está relacionado con ellos, su desarrollo informático, se determina en gran medida por tres bloques principales:

- **Salidas graficas:** los procesos de análisis y definición dentro de un SIG son fundamentales, pero la capacidad de visualizar y de la representación gráfica son un factor importante para estos, aunque en los primeros SIG no se hacía uso de gráficos propiamente, sino que se lograban dar las representaciones con el uso de caracteres. Las grandes capacidades graficas que se han adquirido con el tiempo se ven reflejadas en

las representaciones en pantalla y en la impresión de mapas. En los cuales se evidencian grandes avances que proporcionan mayor facilidad para el usuario.

- **Almacenamiento y acceso de datos:** siempre se han presentado problemas con respecto a los grandes volúmenes de información, pero esto al igual va ligado al almacenamiento de los datos, en el cual se debe partir de que deberá permitir la lectura fluida de los datos almacenados, por eso en cuanto se incrementa el almacenamiento, el volumen de datos aumenta, puesto que es un crecimiento directamente proporcional que deberá mantenerse para la forma en la cual operan los SIG.
- **Entrada de datos:** en comparación a los primeros datos geográficos utilizados, los cuales eran datos en papel, hoy se cuenta con sistemas más avanzados y automatizados con mejores características en cuanto a precisión y rapidez, permitiendo la entrada de datos a los SIG totalmente diferente a lo correspondiente a años anteriores.

Es importante tener presente que cuando se trabaja con información georreferenciada se deben conocer algunos conceptos, entre ellos *la geodesia*, ciencia que estudia la forma de la Tierra, haciendo necesario conocer sus fundamentos debido a que son una base de los SIG.

La información georreferenciada está dada bajo coordenadas, lo que proporciona una localización en el espacio terrestre de una forma adecuada, ya que el establecimiento de estas coordenadas requiere de un estudio avanzado y con métodos que analiza la geodesia, debido a que la Tierra es redonda.

Los programas CAD tienen limitaciones como es la zona de trabajo, que no puede ser muy extensa, aunque también trabajan mediante información georreferenciada, solo son aptos para dimensiones reducidas. Pero antes de trabajar y estudiar la información georreferenciada se debe tener claridad con los elementos básicos de geodesia y las proyecciones cartográficas, pues así será posible manipular con facilidad esta información, aunque se deben también tener claro algunos elementos de cartografía como lo es *la escala*, la cual determina una relación de lo que se representa con respecto al tamaño real que se tiene, además según la escala en la cual se agrega información esta será visible o no, de acuerdo al nivel de detalle que se permita visualizar al momento de acceder a la información, así es como se permite que cada escala contenga la información de la forma adecuada.

Para la definición del sistema de coordenadas es conveniente tener presente que la superficie de la Tierra no es plana, se considera una elipsoide, por lo que se deben aplicar los elementos geométricos correspondientes para definir el sistema de referencia, de esto se tiene la latitud y

longitud, lo que son empleados para determinar un punto geométrico bajo las coordenadas geográficas.

Cuando se tiene un sistema de coordenadas geográfica, se habla de que es un sistema de coordenadas esféricas, para lo cual es necesario utilizar dos valores angulares que localizaran el punto correspondiente.

La *Latitud*, es el ángulo formado mediante la línea que une el centro de la esfera con un punto se la superficie y el plano ecuatorial; las líneas que son formadas por puntos de la misma latitud se les denomina *paralelos*, la latitud de grado 0, se define en el ecuador, este determina si se encuentra al Norte o al Sur.

La *Longitud*, es el ángulo entre la línea que une el centro de la esfera con un punto en la superficie y el plano en el que se encuentra la línea que une los polos que sirve como referencia; las líneas formadas de igual longitud y que convergen en los polos son llamadas *meridianos*, el meridiano que divide en dos hemisferios es el de Greenwich en el Reino Unido, en el cual se toma el Este y el Oeste.

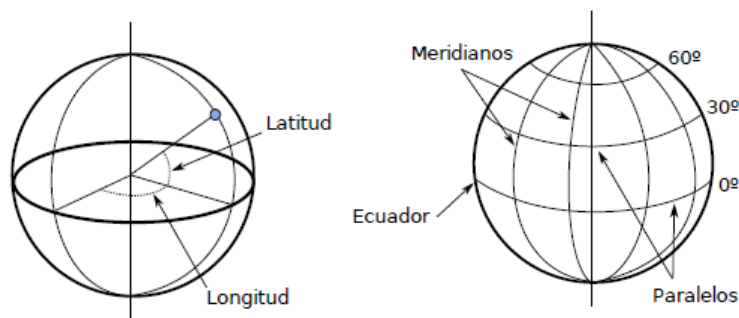


Ilustración 5. Elementos del sistema de coordenadas geográficas [9]

3.3. Información geográfica

Teniendo ya las coordenadas geográficas que son de gran utilidad, surgen otros inconvenientes como lo es la medición de áreas. Para lograr esto se hace necesario hacer uso de las proyecciones cartográficas, para que sea fácil determinar un punto mediante dos medidas expresadas en X e Y puesto que es lo habitualmente usado y permite mayor facilidad al momento de realizar operaciones. Bajo las proyecciones se hace una correspondencia, una transformación de los puntos del elipsoide a un plano, es decir, mediante una función se hace corresponder a un par de coordenadas geográficas su par de coordenadas cartesianas.

Se tienen diferentes tipos de proyecciones, esto varía de acuerdo al tipo de superficie en la que se proyectan los puntos, para los SIG usualmente el tipo de proyección utilizada son UTM

(Universal Transversal de Mercator, en inglés Universal Transverse Mercator), esta se puede considerar como un sistema de coordenadas que sirve para cartografiar la Tierra en su totalidad, este sistema fue desarrollado por el ejército de los Estados Unidos, consiste en hacer una división de la Tierra en una serie de zonas rectangulares mediante una cuadrícula, en al cual se aplican parámetros geodésicos.

Para definir la localización de las zonas UTM, se emplea un número y una letra, y mediante cada zona es como se determina la localización de un punto, que esta expresada en metros, que son el valor correspondiente entre el punto y el origen de la zona UTM, para determinar el origen de la zona, basta con observar el punto en el cual corta el meridiano central y la línea del ecuador, con esto definido se podrán expresar las coordenadas. En cuanto a las zonas polares, el sistema UTM es inapropiado para determinar las coordenadas, por lo que es empleado el sistema UPS (Universal Polar Stereographic - Proyección estereográfica polar), con el cual se evitan las distorsiones producidas por el sistema UTM.

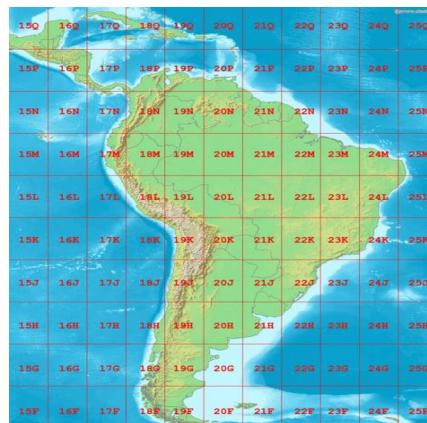


Ilustración 6. Representación parcial de la cuadrícula UTM en América del Sur[14]

Para logra expresar los datos correspondientes a los puntos determinados, es importante tener presente el concepto de *generalización cartográfica* en el cual implica resumir la información para que esta pueda ser comprendida, este concepto va muy relacionado con la escala, puesto que un dato geográfico se representará a un escala menor y su información deberá tener el detalle correspondiente a dicha escala. Además para llevar a cabo el proceso de generalización y determinar los aspectos más importantes, de acuerdo a la escala en la cual se esté representando la información y se determinarán los datos a representar. Algunas operaciones que se realizan en el proceso de generalización son: simplificación, suavizado, agregación, exageración, desplazamiento, entre otras; con el uso de estas operaciones se logra una cartografía más útil, con información accesible en sus diferentes escalas. Dentro del SIG, el

concepto de generalización es importante por las diferentes escalas en las que se encuentran los datos, este proceso es llevado a cabo cuando el usuario hace uso de la información y cuando este mismo lo necesite, se podría decir que el único problema visto para los SIG es el nivel de precisión que sea necesario tener para algunos datos y cuando estos son de gran volumen, es por esto que la generalización en un SIG se maneja bajo una perspectiva multi-escalar, lo que significa tener la información de una zona en diferentes escalas, para lo cual se determinará en el momento de trabajar con alguna la más apropiada en su momento. La generalización es de gran importancia y es un proceso determinante al momento de llevar a cabo la información en el momento en el que se haga también uso de las diferentes capas, en las cuales se tendrá más información de una zona en concreto.

A medida que se va profundizando en los aspectos que enmarcan la cartografía y la geodesia que es aplicada en un SIG, se deberá entender la diferencia que se tiene entre dato e información, puesto que como su nombre lo dice un Sistema de información geográfica, aplica datos, donde estos son unos valores, letras o elementos con los cuales se nombra o representa algo, dicho código no tiene un significado en concreto, solo cuando se realiza la interpretación de estos es cuando el dato suministra la información correspondiente de lo que significa, y es en ese momento en el cual se pueden realizar las operaciones sobre él.

El resultado de un dato y su interpretación arrojan la información pertinente que este dato tendrá asociado, ya que la gran mayoría de información que este dato presenta se debe interpretar para poder obtenerla. Además se debe distinguir que no siempre el volumen entre datos e información es constante, ya que se puede contar con gran cantidad de formas para nombrar un dato, pero su información siempre será la misma, sin importar si el dato es más extenso o no.

Para la incorporación de la información geográfica dentro del SIG, es necesario comprenderla y hacer una división entre los componentes de la información geográfica que son: espacial y temática, cuando se hace referencia al componente espacial, es cuando se habla de la posición dentro de un sistema de referencia, por ello es que se considera geográfica, en cambio la componente temática considera los procesos o fenómenos que ocurran en un lugar determinado, por esto la componente temática va unida a la espacial, ya que por medio de esta completa su significado.

No solo se hace una división en componentes, también es importante hacer una división en el sentido espacial, permitiendo así una reducción de su tamaño para hacerlos más manipulables,

adicional a esto la reducción en unidades más pequeñas también se debe a los distintos orígenes de los mapas. Para el trabajo con los SIG no es relevante el tamaño de los mapas, pues estos no ocupan un espacio físico, pero al contrario de esto se debe contar con suficiente volumen de almacenamiento, pero al igual que el inconveniente de tenerlos físicos, también es indispensable realizar divisiones para facilitar el manejo de la información.

Dentro del SIG es importante tener presente que los datos se emplean para obtener la visualización, lo que permite combinar datos y después realizar la representación de estos, aunque los datos son la base de esta visualización, se logra visualizar la información de cuatro o más bloques, como si fueran los datos de un solo bloque, esto no se podría llevar a cabo con mapas impresos pues no se logra un empalme de la información como lo hacen los SIG. Los usuarios son los que determinan la escala en la cual se presentará la información y en esta misma es en la cual se visualizarán los datos, para los SIG no es impedimento el trabajo de diferentes zonas bajo diferentes escalas, ya que este podrá trabajar con todas las zonas en conjunto.

No solo se logra una división horizontal, sino también vertical, la cual es vista por medio de capas, lo cual es un concepto imprescindible para los SIG, ya que esta permite lograr una estructuración de la información y un fácil manejo al momento de trabajar con ella. Esta división permite hacer referencia a aspectos concretos de una zona y en la cual se puede realizar un juego de datos, y así visualizar datos específicos ubicados en capas diferentes, además se logra una combinación de estos datos, pero ya no de manera contigua, sino que serán variables diferentes de una misma zona. Mediante el uso de capas se permite eliminar redundancia de los datos, esto mediante la separación de datos que se logra dar en cada capa, pues en cada una de ellas se almacenara la información referente a la variable que corresponda para ella.

3.3.1 Modelos para la información geográfica

Teniendo en cuenta que en la naturaleza se encuentran detalles infinitos, pero su representación y almacenamiento es finita, se hace indispensable extraer ciertos elementos que los representen y por ultimo llevarlos a valores numéricos dentro del SIG, los cuales serán manipulados, lo que permitirá la realización de las operaciones para el análisis y representación de los datos, el proceso que se debe llevar a cabo para la obtención de los valores numéricos, a partir de la realidad cuenta con tres niveles: 1 establecer un modelo geográfico, 2 establecer un modelo de representación y 3 establecer un modelo de almacenamiento.

1. Modelo geográfico

Para este modelo, que permite interpretar la realidad geográfica y determinar la variable tratada, este se entiende como un acercamiento mental para comprender el hecho geográfico, pero en este nivel no se incorporan elementos para su representación o almacenamiento. Para hacer la comprensión de los elementos se establecen diferentes modelos, entre los que se encuentra el modelo *campos y entidades discretas*. Para el modelo de *campos* se tiene que a cada punto se le asigna un valor de la variable estudiada, en otros términos, para cada punto vectorial se asigna un valor escalar, ya que por medio de este modelo se permite representar valores con variaciones continuas en el espacio; en cambio, cuando se habla de *entidades discretas*, ya no se establece un valor para cada punto, es decir ya se establecen diferentes elementos en un espacio, en el cual estos elementos tienen características propias y constantes entre todas ellas, en este modelo no se trabaja con variables continuas, ya que no asigna un valor específico a cada punto, sino que para un determinado espacio, los elementos pueden ser cualquier cantidad objetos existentes en el mismo.

2. Modelos de representación

Mediante el modelo geográfico se logra una percepción de los elementos y atributos en un determinado espacio geográfico, por lo tanto el *modelo de representación* es el encargado de reducir las propiedades de estos elementos y hacer que estos elementos puedan ser almacenados y presenten una descripción de la realidad en los modelos geográficos, a estos modelos de representación también son denominados *modelos de datos*.

Cuando se pretende realizar la representación de elevación se tienen distintas formas para representarla:

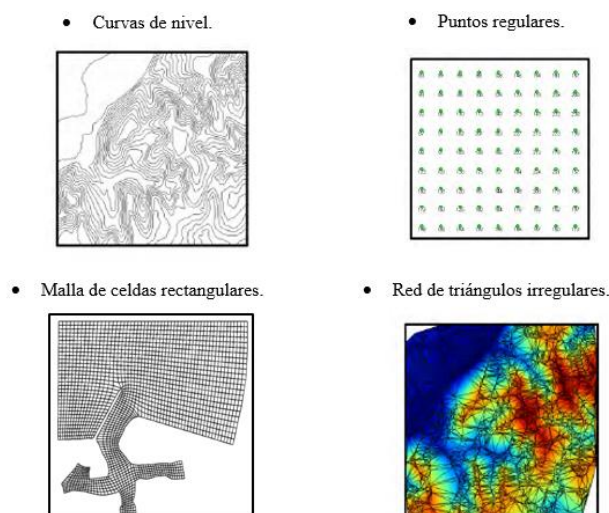


Ilustración 7. Formas de representar información altitudinal en una capa [15][9]

Para la representación de vías, se utilizan dos tipos de formas, la malla o por medio de un conjunto de líneas que permiten realizar los trazados de vías.

Cabe resaltar que existen diferentes modelos que permiten plasmar la realidad, por lo tanto la información podrá ser representada en cualquiera de estas alternativas, lo que permitirá que la realidad que enmarca el modelo geográfico sea representada y su información tenga relevancia a la hora de llevarse a cabo, para esto también se tienen dos clasificaciones, ya que se puede hacer un modelo de representación ráster o vectorial.

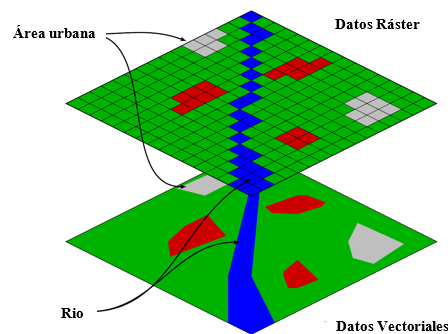


Ilustración 8. Representación de datos.[16]

- **Modelo ráster:** Consiste en hacer una división sistemática de la zona de estudio, esta división se hace en unidades mínimas, a las cuales se les conoce como celdas, y a cada una se le asigna la información que se está representando en la celda. Para el análisis, este modelo por realizar una división sistemática, hace que al tener celdas contiguas no se presente un ocultamiento de la información, estas divisiones de unidades mínimas se pueden realizar de forma cuadrada, rectangular, triangular o hexagonal, pero la forma más habitual para limitar en los SIG es mediante cuadrados; normalmente todas las capas ráster establecidas tienen una orientación Norte-Sur, lo que permite hacer un trabajo más simple para los SIG.
- **Modelo vectorial:** Para este modelo no se tienen unidades de división sistemática de la zona, en ese caso se hace mediante entidades geométricas la recolección de variables y características, para las cuales estas son constantes, este modelo se asemeja al de entidades discretas, pues mediante la representación de puntos, líneas y polígonos se logra hacer visibles los elementos contenidos en determinado espacio; a cada uno se asocia la información correspondiente, no solo es utilizado para los elementos que coincidan con la forma de punto, línea o polígono, también permite realizar cualquier otro tipo de representación tales como elevación. Para este modelo la recolección de la información correspondiente a cada elemento, se hace de manera individual, por lo que es importante hacer el determinado registro, porque de no ser así, no se muestra información sobre estas al momento que sean consultadas.

Estos modelos son de gran utilidad para los SIG, pero ambos cuentan con algunos inconvenientes al momento de ser usados, como en el caso del modelo *ráster*, el cual con su división en forma de cuadrados, presenta restricciones para llevar a cabo algunas representaciones, ya que todo se hará coincidir con ángulos rectos; en cambio el modelo *vectorial* tiene ilimitadas formas de asemejar el espacio y hacer su representación, haciéndolo más preciso en comparación a el modelo *ráster*; además para el modelo *ráster* se tiene una gran cantidad de datos, razón por la cual presenta mayor volumen de almacenamiento y esto también ocasionado por realizar la división de la superficie en las unidades sistemáticas. No obstante, no solo es importante el modelo a elegir para trabajar con un SIG, además se deben tener presentes factores como el tipo de variable a recoger, los análisis que se deseen realizar, así como el contexto en el que se desea trabajar.

3. Modelos de almacenamiento

Teniendo los datos en unidades básicas por medio de los modelos de representación, se emplean los modelos de almacenamiento que permiten convertir estas unidades en valores numéricos, con el fin de dar soporte de estas unidades de manera digital y facilitar su trabajo en los ordenadores.

- **Modelos para representaciones ráster:** este modelo almacena las mallas de datos ráster mediante una matriz de datos, la cual aporta grandes beneficios, dado que mediante esta se pueden realizar operaciones matriciales, permitiendo de forma sencilla recorrer la matriz e iterar sobre ella, así como hacer cualquier tipo de proceso. Pero como fue dicho anteriormente, para la malla ráster se complica su almacenamiento debido a la redundancia que se pueda presentar, por eso para evitarlo, se deben codificar los valores idénticos, por lo tanto se representará por dos valores, uno será el valor que se repite, y el otro la cantidad de veces que se repite, con lo que se logra optimizar el almacenamiento de estas capas, en el momento que el sistema deba recorrer la matriz, lo hará por filas, partiendo de la derecha superior hacia la izquierda. Para las capas ráster, a causa de su gran volumen, presentan problemas de almacenamiento, pero se tienen diferentes alternativas que permiten al rendimiento en cuanto al acceso a los datos, además de las operaciones que se realicen en la capa, esto relacionado con los píxeles que permitirán la resolución de los datos almacenados.
- **Modelos para representaciones vectoriales:** tanto para datos ráster como vectoriales, se busca tener un rendimiento en las operaciones que se realizan con estos datos, no se trata de reducir el volumen para datos vectoriales, sino de simplificar las operaciones sobre ellos y disminuir el grado de complejidad que se presenta en la implementación de algoritmos, para

mejorar el rendimiento en cuanto a las operaciones que se hacen con los datos, se debe mejorar el acceso a estos, de tal manera que se pueda realizar una búsqueda y encontrar con facilidad, por esto es importante hablar sobre los índices vectoriales los cuales son importantes cuando se habla de datos vectoriales, los cuales permiten crear una estructura espacial para dar un orden a los datos, estos índices espaciales hacen que bajo la estructura creada, que contiene los objetos de forma más simple y en la que se recogen sus coordenadas, mediante el índice se logra optimizar el proceso de búsqueda de la información y además complementa los datos de forma más rápida y sencilla.

3.4 Fuentes de datos espaciales

Antiguamente se tenían datos en mapas, cartas de navegación y entre otros, pero todos estos eran datos físicos, no se tenían datos digitales y para los SIG es fundamental el trabajo en ordenadores bajo aplicaciones, lo que hace necesario tener los datos de manera digital, con el paso del tiempo se lograron encontrar diversos medios para la obtención de estos datos de forma digital, pero adicional a esto también se cuenta con metodologías que permiten la transformación de los datos no digitales para ser trabajados por los SIG.

En la actualidad la gran mayoría de datos que se obtienen son digitales, permitiendo el trabajo a lo SIG, esto datos de forma digital dan sencillez a los procesos, puesto que los cambios o corrección que se deban realizar sobre el mapa, no implica grandes costos, ya que será suficiente hacer los cambios digitales, en cambio para los medios analógicos, se debe rehacer el mapa. Los datos digitales presentan mayor precisión y su distribución es más simple, en vista de que por internet se puede realizar rápidamente.

Cuando se habla de fuentes primarias y fuentes secundarias, se refiere al origen del cual provienen los datos, siendo las fuentes primarias las que aportan datos totalmente manipulables por los SIG, sin necesidad de ser transformados y que permiten ser tratados y realizar sus operaciones, en cambio las fuentes secundarias, los cuales contienen datos que no son aptos para el empleo de un SIG, puesto que derivan de algún otro dato, deben ser transformados para así poder ser manipulados por los SIG.

Mediante las diferentes fuentes con las cuales se logra la recolección de los datos, también se encuentran otros formatos asignados a los datos, puesto que se desarrollan propios formatos para almacenar los datos, la mayoría de los SIG pueden leer los formatos, y además formatos de otros SIG. Para los datos ráster se tienen como formatos de imagen: Tagged Image File Format (tif), Joint Photographic Experts Group (jpg o jpeg); para formatos específicos:

Enhanced Compression Wavelet (ecw), Multi-resolution Seamless Image Database (MrSID) (sid) y para datos que no son imágenes se tiene el formato ArcInfo ASCII (asc).

Cuando se tienen datos vectoriales, se tienen como formatos para SIG: Shapefile (shp) y MapInfo TAB, cuando se trata de aplicaciones CAD, se tienen los datos en formatos DraWinG (DWG), Drawing eXchange File (DXF) y Desing (DGN)

3.5 Análisis espacial

Cuando se realiza un determinado análisis de los datos para dar respuesta a interrogantes planteados con respecto a algunos datos, se tienen diferentes tipos de análisis que se pueden realizar, estos análisis se llevan a cabo con el fin de saber la información que se obtiene por medio de algún dato espacial, pero estos diferentes tipos de análisis se complementan entre ellos mismos, permitiendo complementar la información entre estos.

3.5.1 Consulta espacial

Es un análisis simple, en el cual se da respuesta con solo observar el mapa, por ejemplo se determina el tipo de suelo dado en una coordenada, o la ubicación de un lugar específico; además se puede completar la información geográfica con elementos en forma de valores.

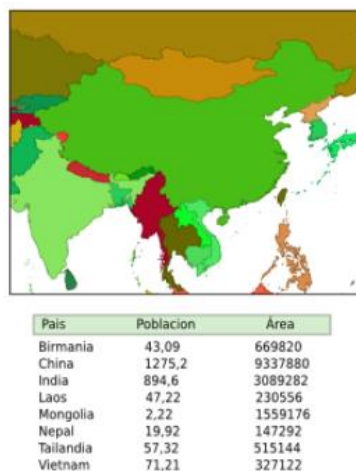


Ilustración 9. Ejemplo consulta espacial.[17]

3.5.2 Análisis topológico

Mediantes este tipo de análisis se permite realizar consultas no solo de la posición definida, sino con otros elementos presentes sobre la misma capa, determinar distancias entre coordenadas o características semejantes que estén presentes en varios datos.

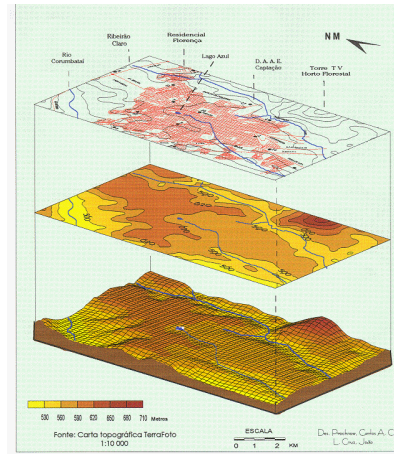


Ilustración 10. Ejemplo análisis topológico[17]

3.5.3 Medición

Con esta se permite realizar una cuantificación de los parámetros, no solo de distancia, también de área, perímetro, longitud de recorridos no lineales y entre otros, en términos de distancia se tiene en cuenta entre puntos o entre elementos como polígonos o líneas.

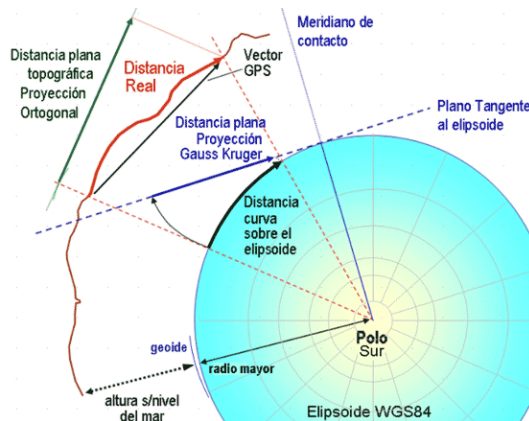


Ilustración 11. Ejemplo de medición.[18]

3.5.4 Combinación

Mediante la combinación o superposición de varias capas de información, se permite una visualización sencilla para realizar cualquier análisis, todo esto admite una integración de la información disponible en determinada región específica.

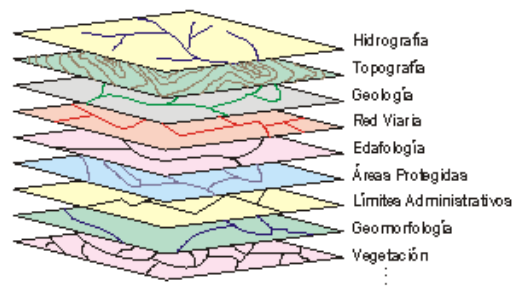


Ilustración 12. Ejemplo de combinación.[18]

3.5.5 Transformaciones

Se realizan procedimientos los cuales convierten los elementos geográficos, y así determinar si se presenta alguna influencia por determinado parámetro, además también se evidencia la transformación de datos para ser combinados, ya que es importante realizar las transformaciones pertinentes para lograr un manejo óptimo de los datos.

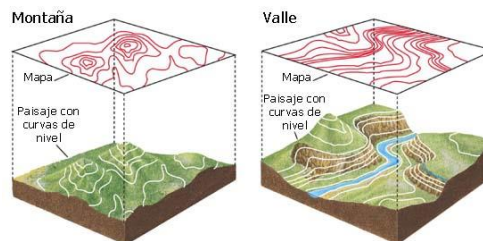


Ilustración 13. Ejemplo de transformaciones.[19]

3.5.6 Análisis de superficies

Es un análisis de gran importancia, que se trabaja en los SIG, no solo se trata de la superficie terrestre, también se puede realizar este análisis en cualquier otra superficie, pero entendiendo dicha superficie como un sistema matemático.

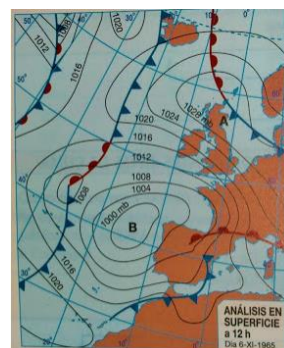


Ilustración 14. Ejemplo análisis de superficie.[17]

3.5.7 Estadística descriptiva

Mediante análisis estadísticos que permiten calificar cuantitativamente los datos, se logra un estudio de parámetros de centralidad y dispersión, de dependencia espacial o de patrones espaciales, con lo que se logra dar respuesta a algunas hipótesis que se plantean y son desarrolladas con parámetros estadísticos aplicados a los datos.

3.5.8 Inferencia

Este también bajo un análisis estadístico, permite realizar una predicción de posibles valores que pueden tomar las variables sometidas a distintos cambios, y que alteren su comportamiento con el paso del tiempo.

3.5.9 Toma de decisiones y optimización

La combinación de capas y la superposición de estas, permite el estudio de factores que son claves al momento de tomar decisiones, en dado caso que se tenga una influencia de estos factores sobre una actividad determinada, llevando a un límite (maximizar o minimizar) las variables que permiten posteriormente la tomar decisiones.

3.6 Consultas en un SIG

Cuando se ejecuta una búsqueda de información, lo que hace el sistema es dar respuesta a dicha búsqueda con los datos que se encuentran en el la base de datos, la respuesta contiene un conjunto de elementos que corresponde a los puntos señalados, los cuales son una parte de la información que se encuentra en determinado mapa, que es en el cual se realiza la consulta.

Cuando se realizan consultas no solo se puede hacer con el fin de conocer la información contenida en la base de datos, sino que con ella también se pueden desarrollar nuevas capas con la información hallada por la búsqueda, esto puede ocurrir en dado caso que la base de datos sea de gran volumen, lo que permite la extracción de la información relevante y de interés, para esto se pueden emplear consulta telemáticas o consulta espacial.

3.6.1 Consulta telemática

Cuando se realizan consultas telemáticas es precisamente cuando se tiene una gran cantidad de información sobre cada entidad, pero de la cual no es necesaria toda esta, sino determinados campos, estas consultas se deben hacer en forma condicional para que el ordenador entienda la información que se pretende extraer, ya que una pregunta que no sea formulada de dicha manera no será de facilidad para el ordenador encontrar la respuesta en su base de datos. Se conocen con el nombre de predicado a estas expresiones, se pueden formular tanto numérica

como con texto, puesto que según los campos requeridos el sistema realiza la consulta en la base de datos y muestra los campos correspondientes.

3.6.2 Consultas espaciales

Así como la consulta telemática, esta consulta espacial también se permite en datos vectoriales y datos ráster, en este caso se accede a una gran base de datos de la cual se obtiene un subconjunto de esta con los elementos correspondientes a los criterios de búsqueda seleccionados, pero esto se hace mediante los índices espaciales, puesto que recorrer toda la base de datos tardaría mucho tiempo, por lo cual se emplean los índices espaciales para encontrar el subconjunto de información requerido, considerando que mediante el índice se conoce cómo se encuentran dispuestos los datos.

4. SOFTWARE SIG

En este capítulo se hablará algunos productos software SIG que actualmente se tienen en el mercado, tanto los que son de código libre, como los comerciales que se distribuyen mediante una licencia de pago, además se dará una breve descripción de algunos, para después desarrollar una descripción más completa de QGIS como software elegido para el trabajo fin de máster.

El software de escritorio permite llevar a cabo las tareas planteadas, para las cuales es necesario hacer uso de los datos geográficos, tanto para la creación, edición, manejo y análisis dentro de los SIG y considerando que se emplea esta herramienta para el análisis y tratamiento de estos datos. Con la creación de los SIG, se dio un avance al campo de la investigación en las diferentes áreas del conocimiento, es así como se pueden encontrar software libres, en los cuales los usuarios pueden hacer aportes o posibles mejoras, mediante el código ya establecido para los SIG; plantear nuevas herramientas o funcionalidades, con el fin de que se integren usuarios de diferentes áreas de conocimientos.

Hay que mencionar además, que se cuenta con software libre como: Grass, Kosmo, gvSIG, OpenJUMP, QGIS, SAGA, uDig, Whitebox GAT, PostGIS; como software distribuidos con licencia de pago se tienen: ArcGIS, MapInfo, Map3d, TerrSet, MapPoint, Global Mapper.

4.1 Grass

Sistema de Soporte de Análisis de Recursos Geográficos, este es un SIG de software de código abierto y gratuito, se utiliza en ámbitos académicos y comerciales, en algunas empresas de consultoría y agencias gubernamentales como NASA y la oficina de Censo de los Estados Unidos. Además es usada para la gestión de datos, procesamiento de imágenes, producción de gráficos, modelado espacial y visualización de muchos tipos de datos.

Este software es desarrollado por Ingenieros del Ejército de los EE.UU. pero ahora se ha convertido en un equipo multinacional formado por desarrolladores en diversos lugares del mundo.

Gass cuenta con más de 350 módulos para hacer mapas e imágenes, manipular datos ráster y vectoriales, procesar datos de imágenes multiespectrales; y crear, administrar y almacenar datos especiales. Este software ofrece una interfaz gráfica y una sintaxis de línea de comandos que facilitan las operaciones que se realizan en este, además interactúa con impresoras, trazadores, digitalizadores y bases de datos que permite el desarrollo de nuevos datos y la administración de los actuales.

Dentro de las capacidades con las que cuenta Grass están:

- Análisis de correlación/covarianza, análisis de sistema experto, calculadora de mapas, interpolación de datos, análisis de ráster, la conversión automática de dato ráster a vector, revaloración de celdas, análisis estadístico de células y generación de superficie por medio de líneas vectoriales.
- Análisis de 3D- Ráster, importación y exportación de datos 3D, algebra de mapas 3D, interpolación 3D, visualización 3D.
- Generación de contornos por medio de superficies ráster, conversión a formato de datos ráster y punto, reclasificación de etiquetas vectoriales, superposición de capas vectoriales, análisis de datos puntuales, análisis topográfico e interpolación de superficie de cotas de altura.
- Procesamiento de imágenes, datos de satélite (radar, ópticos, térmicos), análisis de componentes canónicas, rectificación de imágenes, análisis de componentes principales.
- Generación de contornos, análisis de coste – trayectoria, generación de superficies a partir de alturas o contornos y geocodificación de mapas ráster y vectoriales que contienen nubes de puntos (LiDAR).
- Cuenta con interfaz de bases de datos como DBF, SQLite, PostgreSQL, mySQL, ODBC.

Este SIG dentro de todas las grandes capacidades con las que cuenta, esta combinado con subsistemas integrados de procesamiento de imágenes y visualización de datos. GRASS permite el acceso a su estructura interna y algoritmos, lo que permite a usuarios con mayores conocimientos escribir sus propios módulos SIG.[20]

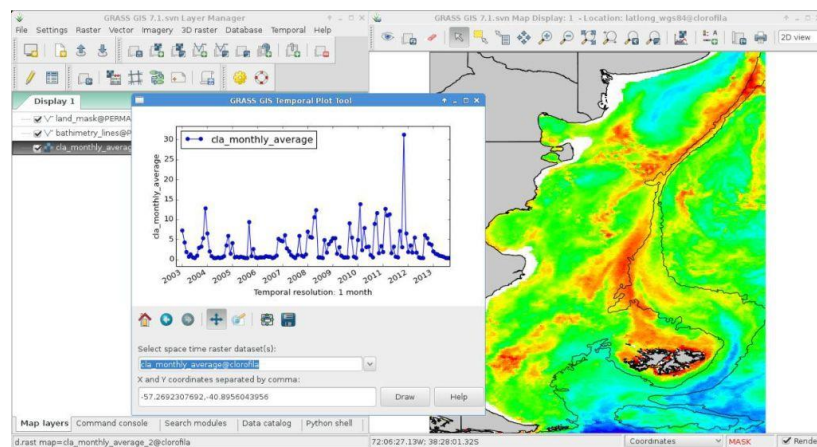


Ilustración 15. Interfaz del software Grass. [20]

4.2 gvSIG Desktop

Es un SIG que presenta características como la interoperabilidad, facilidad de uso y la potencia que tiene el mismo, es utilizado en todas partes del mundo, además permite trabajar con diferentes formatos, vectoriales y ráster, ficheros, bases de datos y servicios remotos. Cuenta con herramientas para realizar análisis y gestión de la información geográfica. Este software es libre, por lo tanto no se deberá realizar ningún pago para adquirirlo y de igual forma se permite el estudio y mejora del SIG por los usuarios.

Este software permite una gestión integral de la información geográfica, cuenta con visor para la información geográfica en formatos ráster y vector, geoprocenos, vistas planas y en 3D, utiliza librerías GIS, compatible con Linux, Windows y Mac. Además permite la integración con otros proyectos libres. [21]

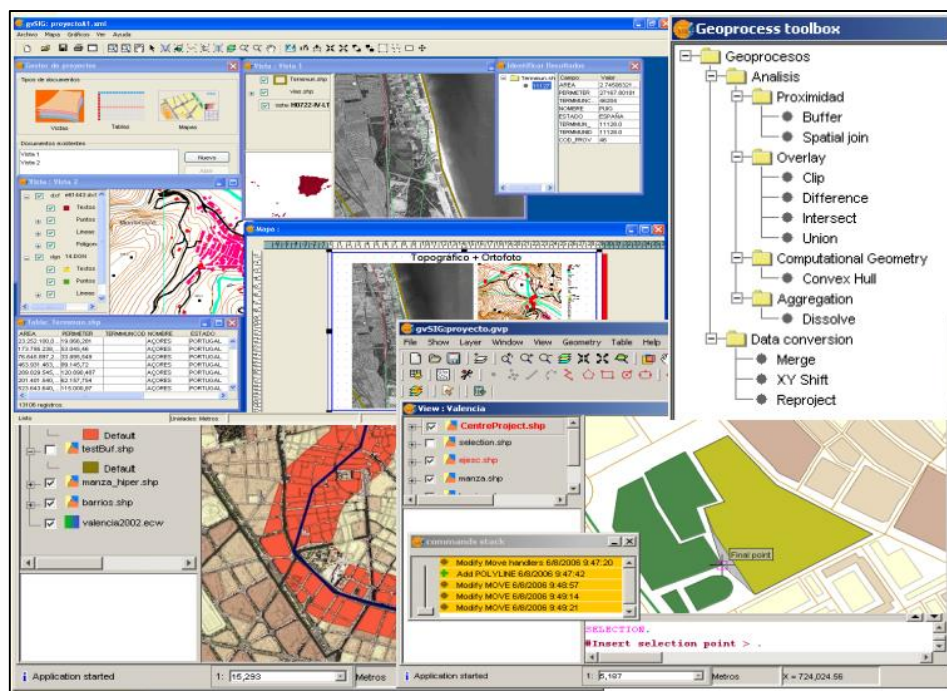


Ilustración 16. Interfaz de geoprocenamientos, simbología vectorial y mapas.[22]

4.3 OpenJump

Este SIG de código abierto, en lenguaje de programación Java, permite leer y escribir archivos shapefiles GML simple y también otros formatos, permite hacer lectura de diferentes bases de datos espaciales y hacer la edición de datos de geometría y atributo. OpenJUMP cuenta con herramientas de análisis vectorial y operaciones de superposición.

Este es un vector SIG que también lee ráster, es soportado por los sistemas operativos de Windows, Linux y Mac, funciona con conjuntos de datos de tamaño mediano, los usuarios pueden realizar aportes al software.[23]

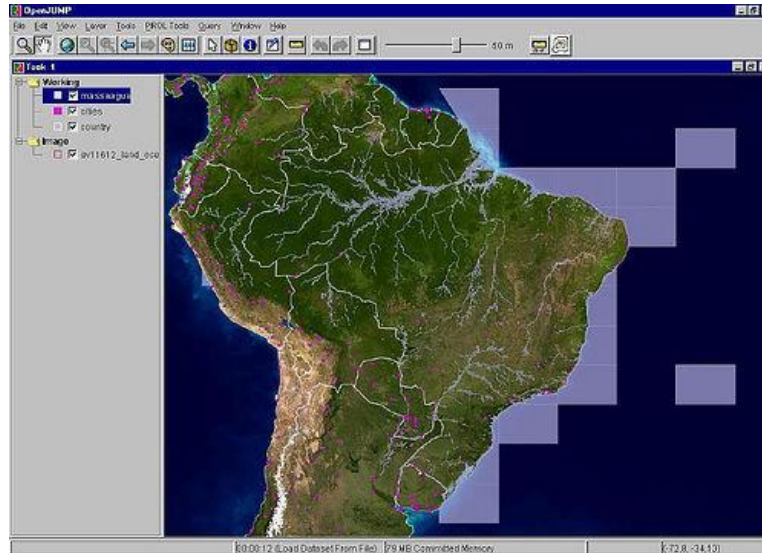


Ilustración 17. Interfaz en OpenJUMP. [23]

4.4 Whitebox GAT

Es una aplicación SIG de código abierto, en la cual se busca tener un enfoque amplio en su procesador, haciendo de este un SIG de escritorio de acceso rápido que permite un análisis avanzado de datos geospaciales, con un software potente de teledetección.

Proporciona aplicaciones para la investigación del medio ambiente y la industria de la geomántica, además de ser una plataforma utilizada como herramienta para la educación.

Las herramientas con las que cuenta, permite importar y exportar los datos, realizar conversiones de ráster a vector o viceversa, cambiar la escala, transformar sistemas de coordenadas, convertir polígonos a líneas, entre otras. Se puede realizar análisis SIG, análisis matemático, análisis estadístico y crear un ráster.

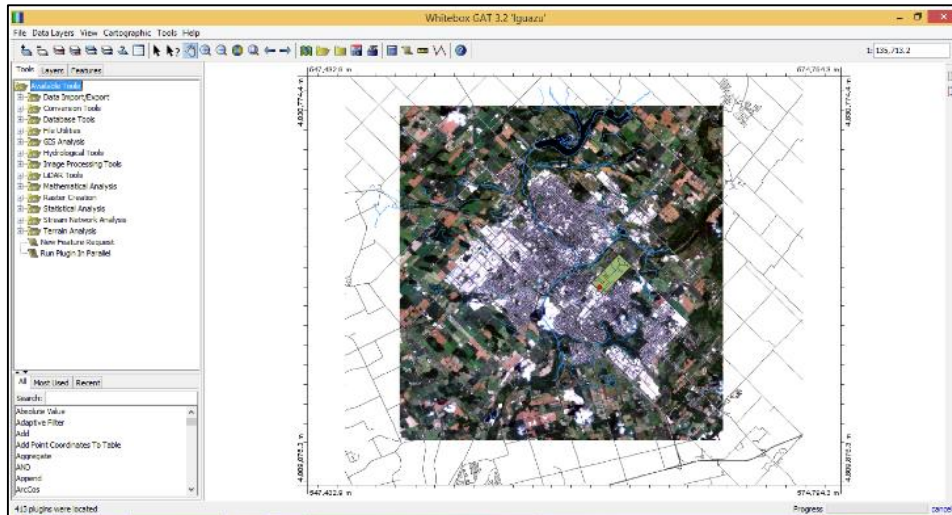


Ilustración 18. Interfaz SIG Whitebox GAT

Ahora se hará una breve descripción de algún software para los cuales es necesario hacer un pago para adquirir la licencia de distribución.

4.5 ArcGIS

Es un sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica. Dentro de las funcionalidades que ArcGIS permite, cuenta con crear, compartir y utilizar mapas inteligentes, estos mapas que permite crear ArcGIS tienen una gran variedad, además que se puede acceder a ellos desde un navegador y dispositivos móviles. No solo permite la visualización de estos mapas, sino que también muestra la información relacionada al mapa, con lo que se puede realizar cualquier tipo de análisis. ArcGIS pensando en dar soluciones a sus usuarios, tiene un conjunto de mapas base de todo tipo, con lo que la creación de mapas es más sencilla para usuario, además que una vez creado el mapa base, se pueden insertar en él herramientas para completarlo, así como los atributos y las capas de datos operacionales, que permitan la realización de cálculos y análisis con el mapa.

Continuando con las características de este SIG, que además permite compilar información geográfica, es decir, cualquier información con referencia geográfica se podrá localizar y hacerla disponible en un mapa, a estos puntos identificados se pueden incluir datos proporcionados por Esri o por cualquier otro proveedor de datos; pero no solo se pueden tener datos suministrados por bases de datos, ArcGIS permite crear datos geográficos, que son dibujados directamente en el mapa, esta es una más de las ventajas con las que cuenta, puesto que se puede realizar un empalme con facilidad de las diferentes fuentes de información, y posibles cambios que se presenten en estas. Las bases de datos geográficas son un pilar

fundamental para el trabajo con SIG, es por esto que ArcGIS permite diseñarlas, crearlas, mantenerlas y utilizarlas; considerando que estas bases de datos son el lugar en el cual se almacena la información de las capas necesarias para el SIG, es importante rescatar que estas presentan un gran volumen y son indispensables, por lo cual se permite el acceso de varios usuarios y que además puedan ser editadas, para lograr mantener la información actualizada en todo momento. Con toda la información almacenada en las bases de datos, con funciones de actualización de datos y visualización de mapas, se cuenta con una herramienta de análisis espacial, permitiendo resolver problemas, mediante el análisis de atributos que se logran identificar relaciones, que pueden estar ocultos y mediante dicho análisis se permite la identificación de estas relaciones, con lo que se puede dar origen a nuevas capas que comprenden el resultado de la operación generada para identificar esta información.

Dentro de todo lo que se expuesto de ArcGIS, es importante rescatar que permite la creación de información en 3D y también puede ser compartida, mediante esta herramienta se puede visualizar los cambios que van ocurriendo con el tiempo mientras el sistema recorre los datos, esto mediante un video que muestra la información más semejante a la realidad. [24]

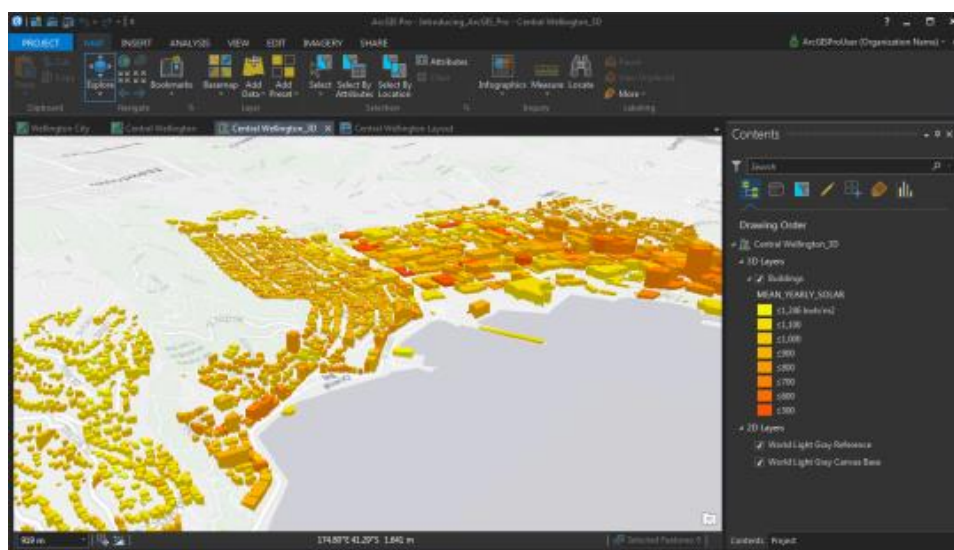


Ilustración 19. Aspecto de ArcGIS Pro. [24]

4.6 MapInfo

Esta herramienta permite la creación de mapas, análisis geográficos sencillos y complejos, acceso a bases de datos, visualización de datos como puntos; además los usuarios pueden analizar, editar e interpretar los datos.

MapInfo fue el primer SIG de escritorio y es utilizado desde ingenieros hasta analistas de negocio, puesto que permite gestionar la información como un sistema de tablas, en las cuales cada tabla es un archivo de mapa o un archivo de base de datos, los cuales MapInfo mostrará como mapas. El análisis vectorial basado en coordenadas X e Y, permiten al usuario crear y editar los datos, mediten las herramientas de dibujo y edición se incorporan tablas como superposiciones temporales.

Se pueden leer y escribir otros formatos de sistemas de software externos, además de que se puede integrar con otros sistemas y plataformas en los que se almacenen los datos. Este SIG es producido y desarrollado por Pitney Bowes Software.

MapInfo es compatible con todos los sistemas operativos y con bases de datos relacionales y espaciales, su interfaz es muy familiar, ya que es basada en cinta y se asemeja a las aplicaciones normalmente usadas, por lo que no se hace necesario ser experto para interactuar con el software; permite la creación de informes y cuenta con múltiples funciones de publicación. [25]

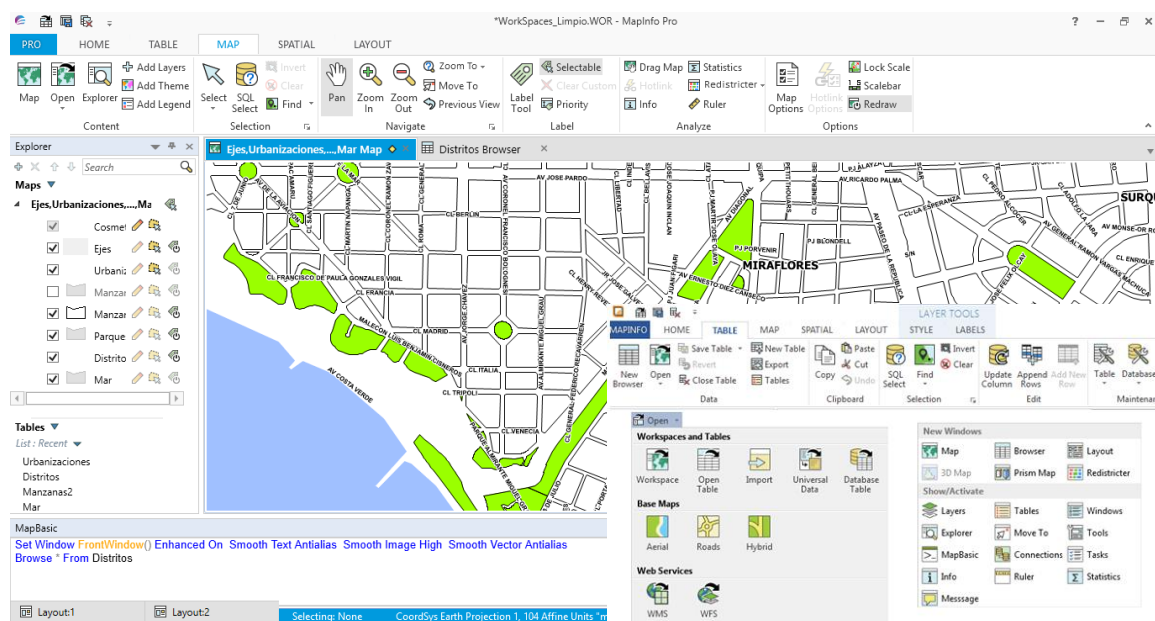


Ilustración 20. Interfaz de MapInfo y caja de herramientas. [25]

4.7 AutoCad Map 3D

Es un software de cartografía y SIG basado en modelos, es desarrollado por Autodesk, con el cual se tiene acceso a datos CAD y SIG permitiendo la planificación, diseño y gestión de los datos. Dentro de las herramientas con las que cuenta se encuentra la conversión de datos en modelos verticales, herramientas de superficie y de nube de puntos y herramientas de análisis.

Cuenta con funciones como son la creación de mapas telemáticos, consultas de datos, creación de topologías, uso de imágenes con referencias geográficas y conexión a varios orígenes de datos externos.

Es un software en el cual se pueden ejecutar proyectos CAD y SIG, ya que cuenta con todas las funciones de AutoCAD y además se puede emplear para el análisis de la información geográfica, su potente motor de edición son una de las grandes ventajas con las que cuenta, su compatibilidad con formatos CAD, 3D y SIG lo hacen un software muy completo y potente. [26]

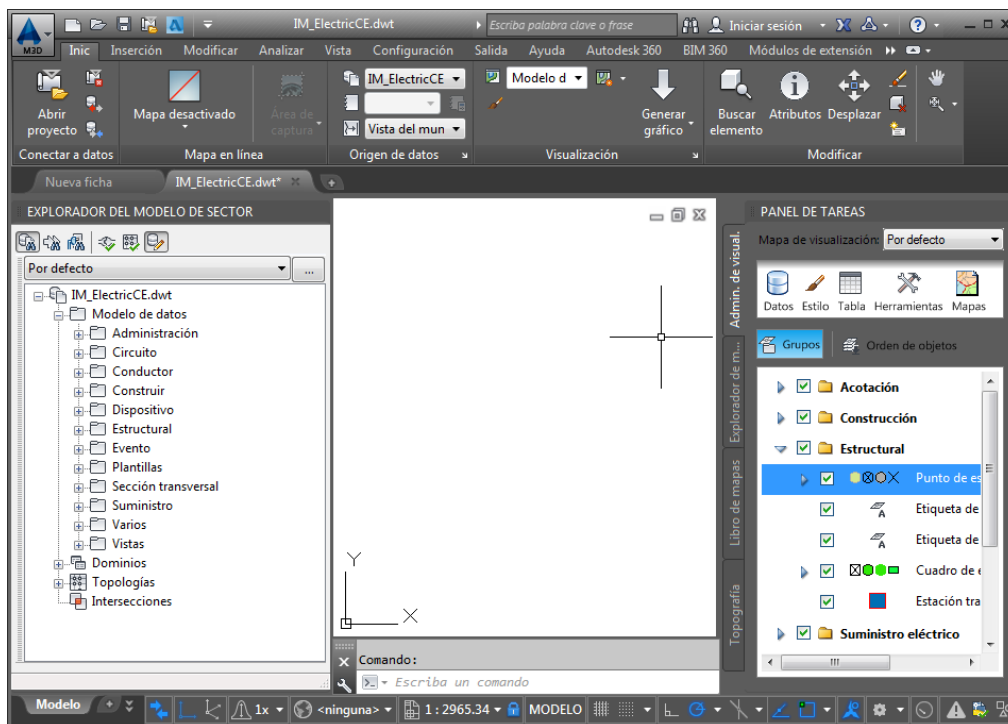


Ilustración 21. Interfaz de AutoCAD Map 3D.[26]

5. SIMPOSIO GIS-T

La Asociación Americana de Carreteras y Transporte es quién financia anualmente el Simposio de SIG para el transporte. En el que se reúnen personas de todos los ámbitos, como personas del gobierno y la industria privada que estén interesados en el uso de SIG en el transporte, este espacio permite enriquecer y compartir experiencias, además mediante las conferencias desarrolladas durante el simposio, se logra dar a conocer software de última generación, y mejoras realizados en los existentes, por lo tanto los asistentes pueden conocer más sobre el campo de los SIG en el transporte.

El Simposio ofrece oradores principales, foros de discusión, talleres, presentaciones y un salón de la tecnología donde los expositores tienen la oportunidad de presentar sus servicios y darse a conocer entre el público asistente. Se anima a las organizaciones e individuos con información relacionada con los SIG en el transporte, para compartir su experiencia y conocer avances mediante la realización del simposio.

En la página del GIS-T, se tiene la recolección de todos los simposios, organizados por año de realización y en cada uno se agrupan las presentaciones de los oradores, para que el público interesado pueda investigarlas, estas conferencias son guardadas además en el orden en que se presentaron, tanto en horario como en el día de realización.

El simposio aunque pueda ser poco conocido, tiene una trayectoria de 30 años, en los cuales ha dado a conocer diferentes aplicaciones de los SIG en relación al transporte, como ejemplo de lo presentado, la Administración Federal de Carreteras, muestra su proyecto con el nombre *Every day counts*, en el cual plantea usar y compartir datos geoespaciales que permitan obtener una mejor información, así mismo usar y compartir herramientas geoespaciales para que al momento de tomar decisiones, se realice un proceso más eficiente. Este proyecto lo que hace, es un estudio de los programas implantados en diferentes Estados, en los cuales se unifican y logran tener la información compartida, la cual puede ser usada por los diferentes organismo o por usuarios a los cuales les interesa la información, y la adquieren para conseguir mejoras en los sistemas.

Cuando se habla de compartir datos, se busca obtener beneficio de esto, pues se logran comunicaciones más fuertes en la que los usuarios permiten hacer uso de los datos en el momento que son publicados y serán visualizados en un marco común, mejora la calidad de los datos, permite la identificación de posibles errores, se logra una comunicación más ágil, lo

que logra una coordinación antes y durante el proyecto en desarrollo, también se consigue una toma de decisiones más estratégica, con una planificación de las necesidades y de las Directrices de Ordenación Territorial (DOT).

Dentro de algunas de las conferencias llevadas a cabo en el Simposio se tiene memoria de las presentaciones realizadas por distintos organismos, algunas de ellas en relación a la colaboración de datos con la que se busca obtener beneficio, pues se están logrando comunicaciones más fuertes en la que los usuarios logran hacer uso de los datos al momento en el que son publicados y son visualizados en un marco común, mejora la calidad de los datos, permite la identificación de posibles errores, permite una comunicación más ágil por lo que se logra una coordinación antes y durante el proyecto en desarrollo, también se logra una toma de decisiones más estratégica, con una planificación de las necesidades y de las directrices de ordenación territorial (DOT).

A continuación, se presentan algunos ejemplos de herramientas que soportan la colaboración de datos geoespaciales con lo que se hace una visión de los factores de éxitos entre los oradores.

Arizona DOT (ADOT)

Se desarrolló el Portal de Preservación Histórica, que agrega información sobre recursos, lugares históricos, cartas de consulta y más; el portal es accesible al personal de ADOT, consultores y profesionales de recursos culturales, así mismo el portal ayuda a ADOT a evaluar los impactos ambientales del proyecto de transporte que se estén llevando a cabo en Arizona.

A continuación en la ilustración 1, se puede apreciar el portal donde se pueden visualizar los diferentes mapas con los sistemas de carreteras, adicional también en el portal se presentan medidas de seguridad en el momento de transitar por las vías, y si se presentan en labores en ellas para tener en cuenta los tiempos de dichas obras para poder hacer una gestión de los tiempos al momento de hacer un proyecto que sea necesario el uso de dicha vía.

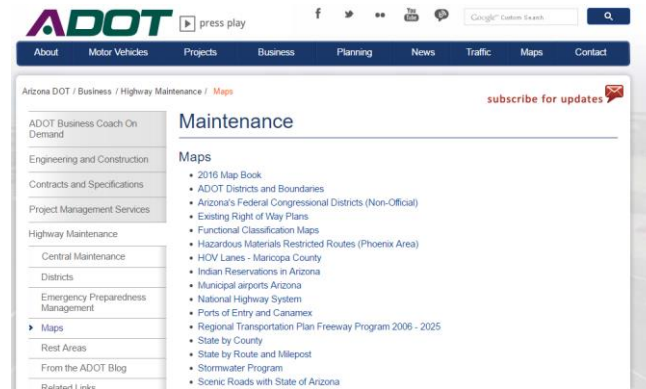


Ilustración 22. Listado de mapas del portal[27]

También se tienen mapas históricos de las autopistas de Arizona, disponibles para cualquier usuario que desee investigarlo.

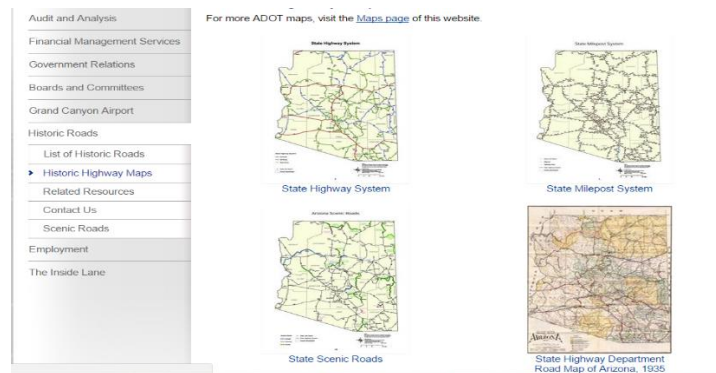


Ilustración 23. Mapas históricos.[27]

Carolina del Norte DOT (NCDOT)

Desarrolló para agregar y compartir la información geoespacial de con usuarios dentro y fuera de la agencia, en este se utiliza tecnología basada en la nube para ayudar a participar más eficazmente, participó en un grupo interinstitucional para compartir las lecciones aprendidas para el uso de la nube.



Ilustración 24. Portal de Carolina del Norte.[28]

6. QGIS

“Es un Sistema de Información Geográfica (SIG) de Código Abierto licenciado bajo GNU - General Public License. QGIS es un proyecto oficial de Open Source Geospatial Foundation (OSGeo). Corre sobre Linux, Unix, Mac OSX, Windows y Android. Soporta numerosos formatos y funcionalidades de datos vector, datos ráster y bases de datos. Proporciona una creciente gama de capacidades a través de sus funciones básicas y complementos. Puede visualizar, gestionar, editar y analizar datos y diseñar mapas imprimibles”. Tomado de [29]

6.1 Características

Este software libre permite a los usuarios un fácil acceso a los elementos, una interfaz gráfica cómoda de usar, además admite una visualización de formatos vectoriales y ráster; se puede crear, editar y exportar los datos, así mismo, se realizan análisis espaciales usando los complementos con los que cuenta: SAGA, OTB, MMGIS, fTools y GRASS; además se pueden realizar publicaciones en internet, compatible con estándares OGC (WMS, WFS, entre otros).

Para ver o sobreponer los datos vectoriales y ráster de diferentes formatos, no es necesario realizar una conversión a un formato del sistema, puesto que QGIS admite formatos como:

- Tablas para operaciones en PostGIS, SpatiaLite y MS SQL Spatial, Oracle Spatial, formatos vectoriales OGR, archivos shape de ESRI, MapInfo, SDTS, GML.
- Ráster y formatos de imágenes GDAL (Geospatial Data Abstraction Library), GeoTIFF, ESDAS IMG, ArcInfo ASCII GRID, JPEG, PNG, entre otros.
- Ráster Grass y datos vectoriales de base de datos Grass (location/mapset).

Con QGIS se exploran datos y se crean mapas, para esto cuenta con herramientas de navegación, reproyección al vuelo, gestor de bases de datos, diseño de mapas, panel de vista general, marcadores espaciales, herramientas para anotaciones, identificar o seleccionar objetos espaciales, editar, ver o buscar atributos, etiquetar elementos definidos por datos, vectores definidos por datos, herramienta para simbología ráster, composición del atlas y mapa con capa de cuadrícula.

Cuando se desean crear, editar, administrar o exportar capas vectoriales y ráster, se hace uso de las herramientas de digitalización para formatos OGR y capas vectoriales Grass, además se crean y editan archivos shape y capas vectoriales Grass; cuenta con un complemento

georreferenciador que permite geocodificar imágenes, así mismo, tiene para visualizar y editar datos de OpenStreetMap y crear tablas de bases de datos espaciales desde archivos shape, por otra parte, un buen manejo de tablas de bases de datos espaciales y herramientas para la gestión de tablas de atributos vectoriales, además de la opción para guardar capturas de pantalla como imágenes georreferenciadas. QGIS tiene herramienta para exportar DXF con capacidades aumentadas con funciones parecidas de CAD; este también tiene la herramienta GPS para importar y exportar formato GPX y hacer la conversión de formatos GPS a GPX.

Cuando se desea realizar el análisis de datos espaciales, se puede hacer por medio de bases de datos espaciales y otros formatos, cuenta con análisis de vectores, muestras, geometría, geoprocesamiento y herramientas de manejo de bases de datos, además de las herramientas Grass que tiene integradas y mediante todas sus herramientas con las que cuenta, además permite publicar datos en internet utilizando servidores web con UMN MapServer o GeoServer previamente instalado.

Por ser un software libre, permite extender funcionalidades a través de complementos creados de acuerdo a las necesidades del usuario, estas aplicaciones se pueden crear con C++ o Python; además cuenta con un número creciente complementos Python que aporta la comunidad externa.

6.2 Herramientas

Con respecto al primer punto, la cantidad de herramientas con las que cuenta el software son diversas, ahora se hablará de las herramientas generales.

- Se tienen teclas de acceso rápido, estos atajos con teclado ya están predeterminados, pero además se pueden agregar otros de acuerdo a las características que se deseen.
- Cuando se desea crear un entorno 3D, QGIS procesa todas las capas visibles y permite añadir capas o cambiar la visibilidad, además se puede hacer zoom y acoplar las dimensiones de la ventana para controlar las representaciones
- Mediante el selector de color se realizan los cambios requeridos, así como también se puede visualizar la tonalidad, saturación y valor del color elegido, esto con el fin de que sean seleccionados los colores de acuerdo a las capas representadas.
- Proporciona medios diferentes para la medición de la geometría, se puede realizar a través de la herramienta de medición interactiva, mediciones por medio de la calculadora de campo, la herramienta de identificación de objetos espaciales y mediante una herramienta de análisis vectorial.

- Se pueden anidar proyectos, lo que hace que si en determinado momento se tienen proyectos independientes y se desean colocar como uno solo, QGIS permite unificar ambos como uno solo.

El lenguaje en el cual está desarrollado, permite a sus usuarios realizar aplicaciones que pueden usar mediante el software, y compartir con la comunidad, además de la creación o instalación de plugins que se encuentran en su administrador de complementos, dentro del cual se pueden ver los instalados, no instalados y los nuevos que han sido desarrollados por la comunidad, los cuales son puestos a disposición de todos los usuarios que interactúan con el software.

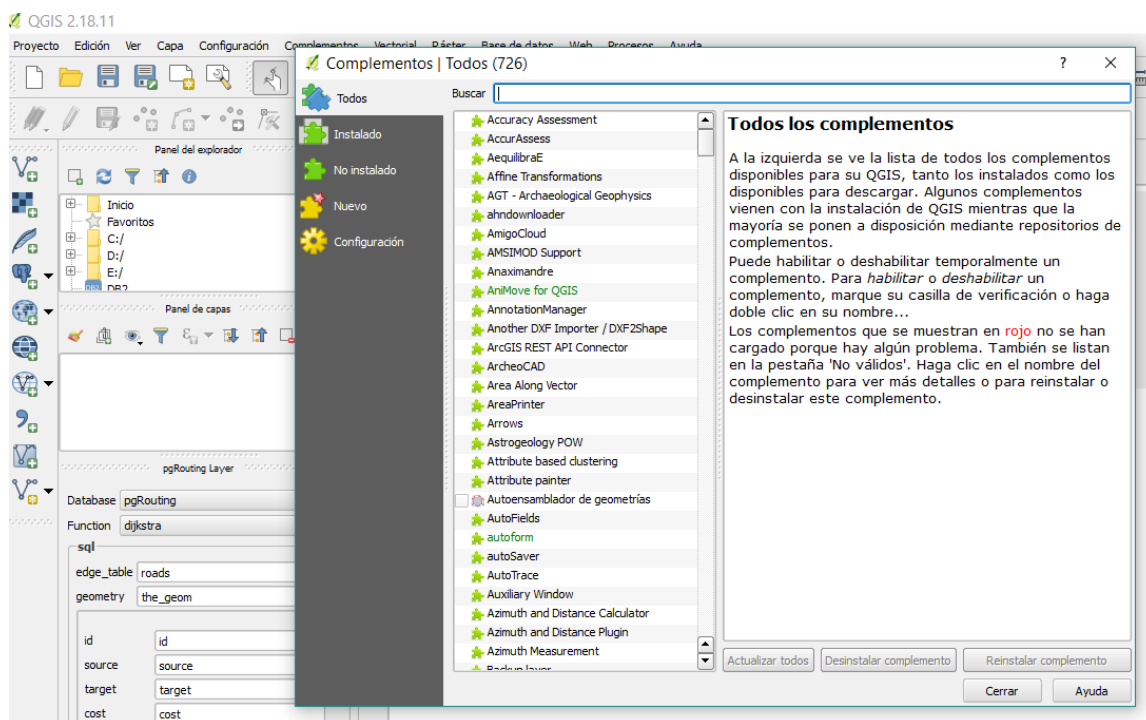


Ilustración 25. Administrador de complementos

Dentro de muchas de las ventajas con las que cuenta QGIS, se tiene que al ser un software Open Source, no se limitan sus funciones, este potente sistema integra herramientas *Grass* y *SAGA*, haciendo de este un software potente para encontrar solución a cualquier problema geoespacial. Su conexión con las diferentes infraestructuras de datos espaciales es bastante simple, puesto que tiene desarrolladas herramientas para administrar cualquier capa que sea insertada en la interfaz.

Para convertir datos, cuenta con una caja de herramientas de procesamiento, mediante la cual se pueden realizar cualquier tipo de conversión de datos, esto también, ayuda al usuario ya que mediante todas estas funciones se logra realizar un trabajo ágil y preciso, ya que la conversión

de cualquier tipo de geometría es importante, ya sea de un punto a un polígono, polígono a punto, punto a línea, entre otras más con las que cuenta el software.

Para realizar cualquier tipo de cálculo sobre los valores almacenados en los campos, se cuenta con la calculadora de campos, mediante la cual se permite la creación y cálculo del campo, haciendo el proceso mucho más simple para realizar este tipo de funciones en el sistema.

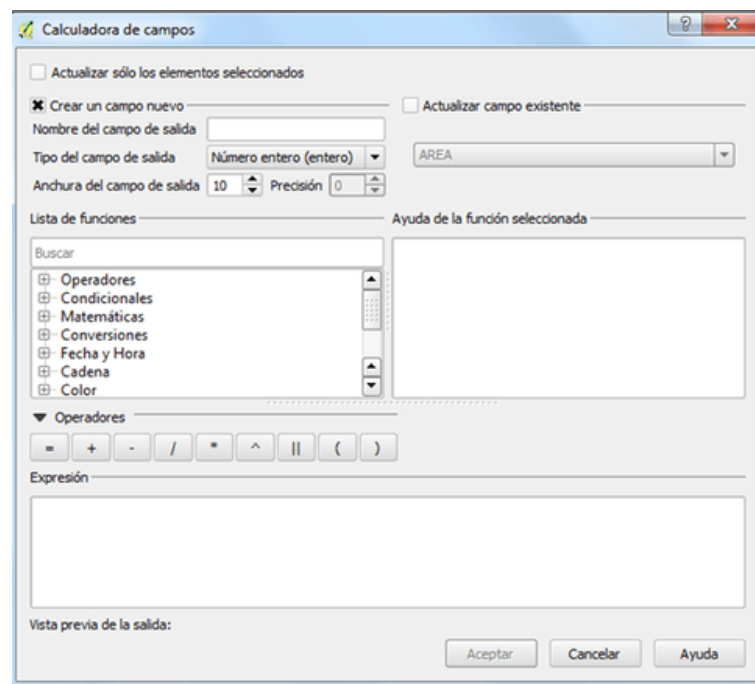


Ilustración 26. Ventana de calculadora de campos.

Por otra parte, para la realizar una edición, se emplean funciones de tipo CAD, para las cuales se tiene acceso desde el plugin CADTools, con lo que también es posible realizar la conversión de datos a shapefile, para ser usados por el software y realizar los cálculos pertinentes.

7. PGROUTING

Es una extensión de PostgreSQL/PostGIS que añade la funcionalidad del cálculo de rutas, en concreto se puede utilizar para resolver problemas como el camino o los n caminos más cortos o el camino más corto entre dos nodos o ejes de una red lineal, para esto dispone varios algoritmos diferentes.

Como antes dicho, con esta extensión se puede dar solución al problema del viajante, el cual consiste en un comerciante que debe visitar una serie de ciudades distintas, el problema a resolver, radica en encontrar una ruta óptima que pase una única vez por cada una de las ciudades, minimizando la distancia total recorrida por el comerciante; otra posibilidad es de encontrar la distancia de conducción, y además permite resolver el problema para encontrar el camino más corto para llegar a un determinado punto entre dos nodos o ejes de la red lineal [30].

PgRouting amplía la base de datos geoespacial PostGIS / PostgreSQL para proporcionar funcionalidad de enrutamiento geoespacial. Los datos y atributos pueden ser modificados por los clientes, los cuales pueden acceder desde un PC o dispositivo móvil, otras ventajas son:

- Cambios de datos que se reflejan al instante a través del motor de enrutamiento.
- No es necesario realizar precalculación.
- PgRouting es código abierto, disponible bajo la licencia GPLv2 y cuenta con el apoyo de una creciente comunidad de individuos, empresas y organizaciones.

Es importante tener en cuenta que al momento de realizar la instalación, se debe hacer una preparación adecuada de la base de datos, en la cual se debe primero instalar el PostgreSQL que además al instalarlo se agrega el PostGIS, después se asigna una contraseña para la base de datos y el puerto, con lo que después que crea la base de datos para pgRouting, y así ya se podrá administrar en ella los datos que se desean manipular.

8. CASO DE USO

Ahora bien, conociendo algunas funciones del software QGIS y de la extensión pgRouting, estos son los elegidos para llevar a cabo el desarrollo de un caso de uso, el cual se realizará con información de Colombia, específicamente con datos de la ciudad de Medellín. Para la obtención de estos, se usó la base de datos OpenStreetMap, la cual es libre y permite a los usuarios añadir información y alimentar esta base de datos, con el fin de mantener el sistema actualizado. Para realizar la instalación de QGIS y pgRouting, en primer lugar se debe contar con un sistema de gestión de bases de datos, que en este caso será PostgreSQL, el cual en el momento de su instalación, permite agregar los gestores de bases de datos espaciales, en este caso, PostGis, el encargado de realizar la conversión de las bases de datos PostgreSQL a bases de datos espaciales. Además se debe realizar la instalación de pgAdmin, ya que por medio de este, se realiza la gestión en el gestor de bases de datos espaciales.

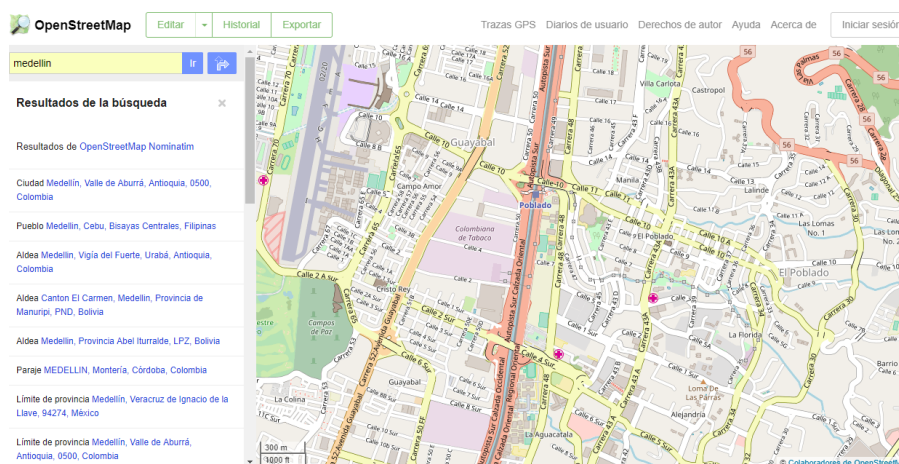


Ilustración 27. Mapa de Medellín en OpenStreetMap

Ahora en la Ilustración 28 podemos ver la interfaz de OPM, el cual permite la exportación de los datos que se requieran, además permite elegir el formato que se desea para utilizar los datos

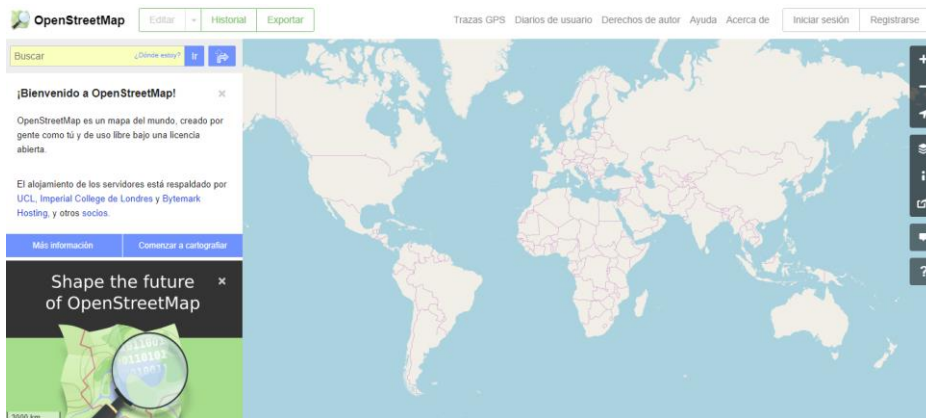


Ilustración 28. Inicio de OpenStreetMap

Como se puede ver en la Ilustración 29, donde se muestran los cuadros mediante los cuales se realiza la respectiva instalación, donde al momento de terminar de instalar postgresSQL, nos permite abrir la aplicación Stack Builder, con la cual se agrega PostGis y después pgAdmin, con el cual se realiza la gestión de los datos. Es importante tener presente, que antes de utilizar la extensión pgRouting, se debe realizar una preparación de los datos, mediante la cual se le agrega enrutamiento y funcionalidad para permitir ejecutar el análisis de redes. Inicialmente, se debe crear una base de datos, a la cual se le asignan características espaciales, mediante dos consultas, la primera es con postgres y la siguiente es con pgrouting.

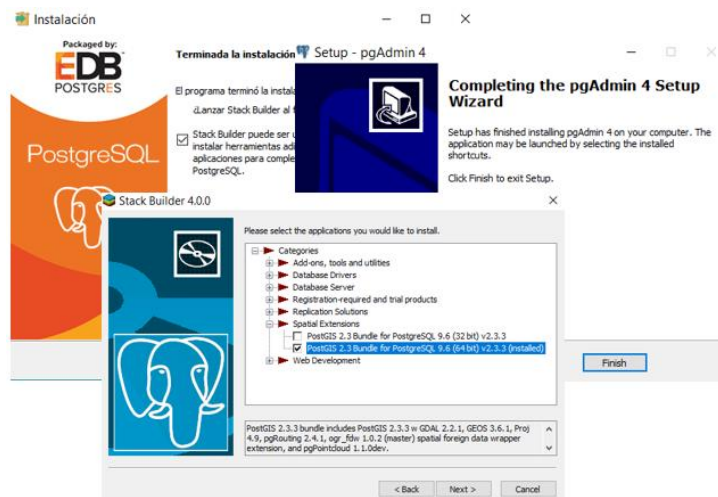


Ilustración 29. Cuadros de instalación.

Con la base de datos ya creada y con sus características espaciales asignadas; por medio del complemento PostGis, que permite una conexión con la base de datos, se crea la tabla de datos, para lo cual, la información deberá ser descargada con anterioridad y en un formato shapefile. Cuando se ingresa a PostGis, para realizar la conexión, es necesario insertar los datos como se muestra en la Ilustración 30 parte A, donde se pide el usuario, la contraseña, la base de datos en la que se agregarán los datos y además, validar el servidor y el puerto donde se cargará la

información; así mismo, es necesario conocer el tipo de coordenadas en las que se presenta la información, puesto que cuando esta se está cargando en PostGis, es necesario determinar el SRID (Spatial Reference System Identifier), que es el identificador de referencia espacial, para sistemas PostGis, pero en el SIG como QGIS, se conoce como EPSG (European Petroleum Survey Group), por lo tanto se puede decir que son equivalentes. Como se puede en la Ilustración 30 parte B, en la que ya se ha creado la conexión y se ha cargado el fichero, se le asigna el SRID y se cambia el nombre de la columna de geometría por el nombre de *the_geom*, ya que pgRouting la identifica con dicho nombre.

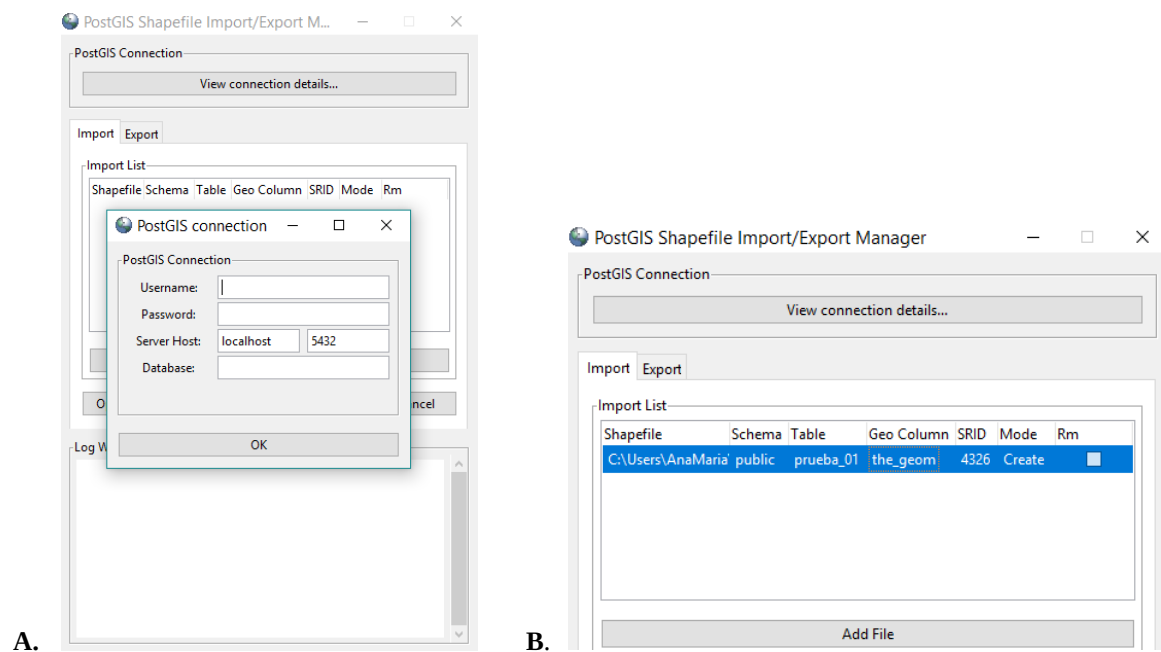
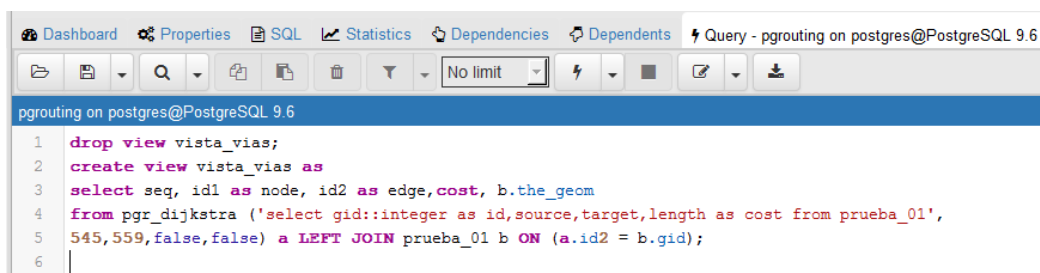


Ilustración 30. **A:** Conexión de PostGis y pgAdmin para agregar datos. **B:** Importación de datos y asignación de parámetros.

Con los datos ya exportados, se deben crear dos columnas en la tabla, las cuales son usadas al momento de generar la topología de los datos, ya que por medio de estas se asigna un valor inicial y final a cada vértice de la red, para que al momento de cargar la tabla en QGIS, el complemento de pgRouting pueda realizar los cálculos y mostrar la información en el entorno gráfico y así mismo si se realizarán los cálculos por medio de consultas en pgAdmin, también es necesario conocer los valores de *source* y *target*, y en algunos casos para realizar algunas funciones se deberá también conocer las coordenadas X,Y de los puntos en los cuales se lleva a cabo los análisis.



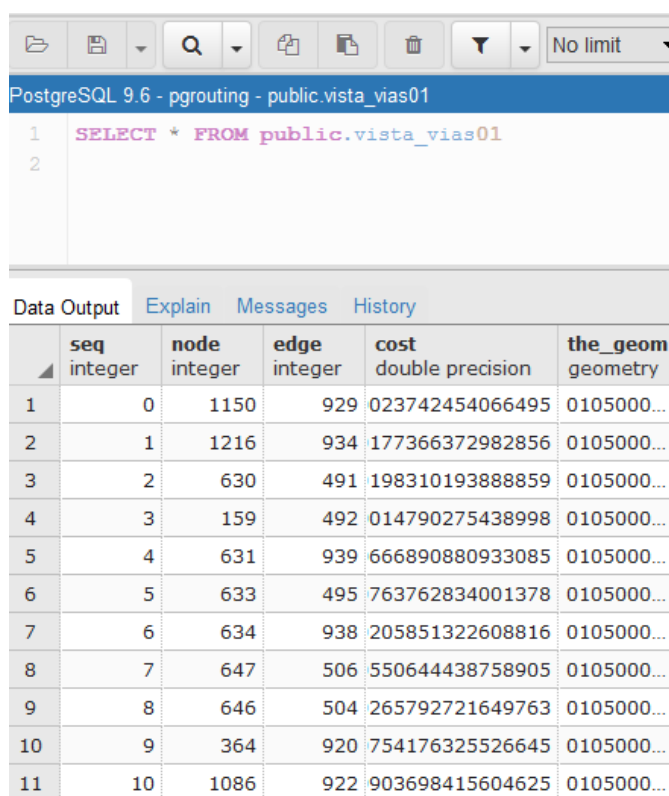
```

1 drop view vista_vias;
2 create view vista_vias as
3 select seq, id1 as node, id2 as edge, cost, b.the_geom
4 from pgr_dijkstra ('select gid::integer as id, source, target, length as cost from prueba_01',
5 545, 559, false, false) a LEFT JOIN prueba_01 b ON (a.id2 = b.gid);
6

```

Ilustración 31. Consulta SQL.

Como se aprecia en la Ilustración 31, mediante una consulta se crea una vista de la ruta más corta para llegar de un punto a otro, esta vista mediante QGIS se puede visualizar como una capa. Para pgRouting llevar a cabo los cálculos correspondientes, hace uso además de otra variable, por esto, al momento de la creación de columnas, se deberá crear a *length*, en la que se determinará la distancia y en otra el costo; bajo las condiciones que se le asignen al costo se desarrollan los análisis de ruta.



```

1 SELECT * FROM public.vista_vias01
2

```

	seq integer	node integer	edge integer	cost double precision	the_geom geometry
1	0	1150	929	023742454066495	0105000...
2	1	1216	934	177366372982856	0105000...
3	2	630	491	198310193888859	0105000...
4	3	159	492	014790275438998	0105000...
5	4	631	939	666890880933085	0105000...
6	5	633	495	763762834001378	0105000...
7	6	634	938	205851322608816	0105000...
8	7	647	506	550644438758905	0105000...
9	8	646	504	265792721649763	0105000...
10	9	364	920	754176325526645	0105000...
11	10	1086	922	903698415604625	0105000...

Ilustración 32. Tabla de datos generada con la consulta de creación de vista.

Mediante la conexión con QGIS, se permite visualizar la capa de líneas y nodos, los cuales tendrán adjunta la información correspondiente a las rutas (Ilustración 33), lo que permite obtener la información correspondiente a la solución encontrada con el software.

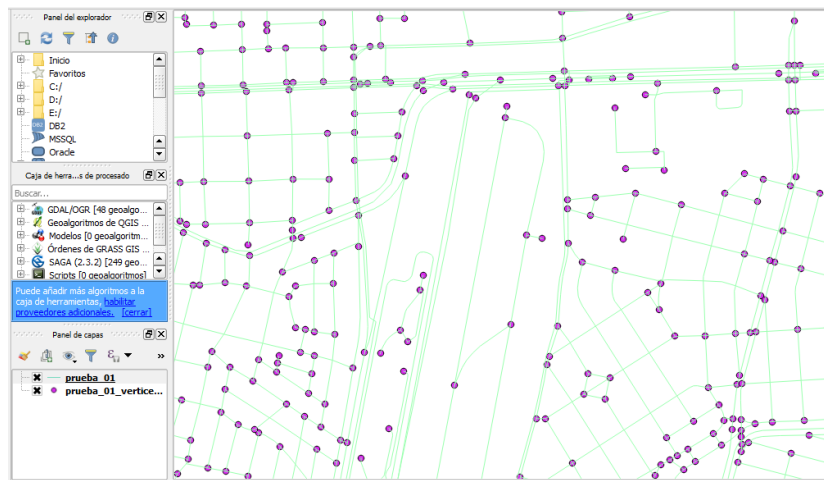


Ilustración 33. Entorno gráfico QGIS con datos gestionados por pgRouting.

Sin embargo, cuando se hace uso del complemento que dispone QGIS para usar pgRouting, se cuenta con diferentes campos para ingresar los parámetros, como se muestra en la Ilustración 34 bajo los cuales se desean realizar los cálculos, además este integra un campo con el nombre función (Ilustración 34), en el cual se despliegan todas las funciones que permite realizar este complemento con los datos previamente gestionados por pgAdmin.

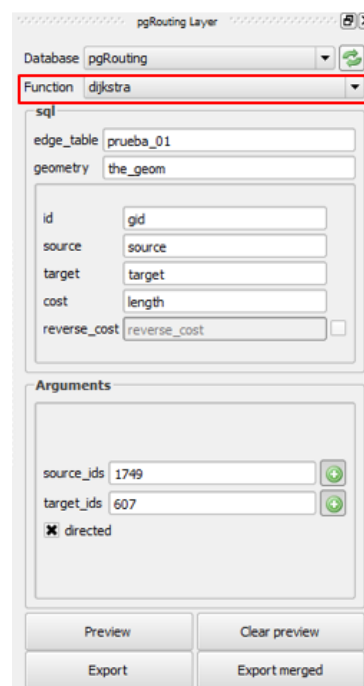


Ilustración 34. Complemento pgRouting en QGIS

Ahora, ya con la vista creada por medio de una consulta en pgAdmin, por medio de QGIS se muestra la ruta más corta entre dos puntos, como se ve en la Ilustración 35, además, permite cambiar el estilo y el formato de la línea que representa la vista, así mismo, mediante nuevas consultas en pgAdmin se podrá variar esta vista, condicionando la ruta de acuerdo a los

parámetros que se establezcan a la variable costo, o también, integrando a la consulta otra de las funciones con las que cuenta pgRouting.

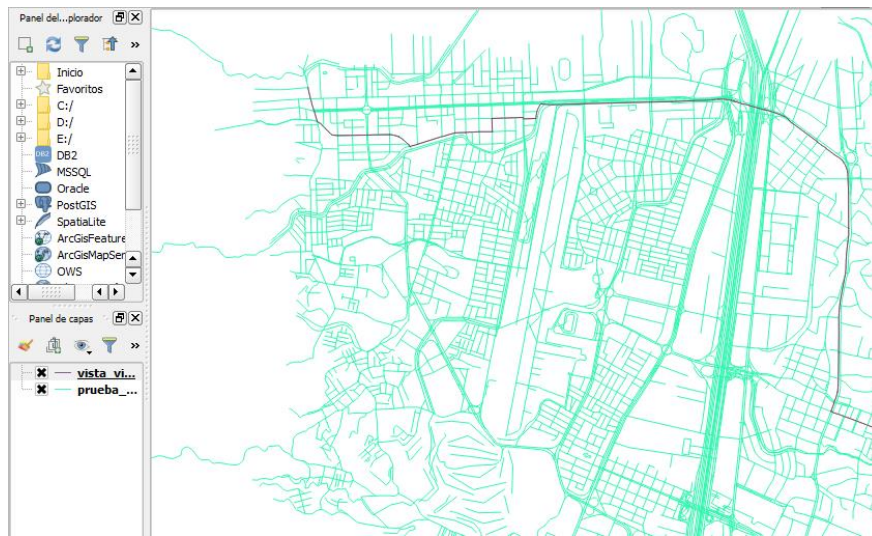


Ilustración 35. Visualización de ruta más corta.

Teniendo en cuenta que, ya como los datos gestionados, se permite la exportación de estos, con el fin que se pueda desarrollar cualquier otro tipo de análisis por fuera del gestor de bases de datos.

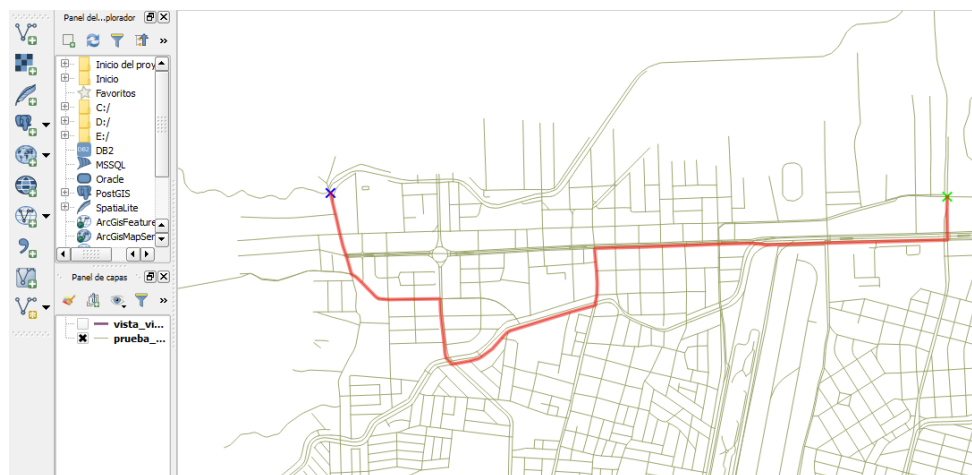


Ilustración 36. Vista de ruta entre dos puntos.

No solo permite visualizar los datos por código, también QGIS con su complemento permite utilizar las funciones con las que se logra realizar todos los cálculos correspondientes, en la Ilustración 36 se puede visualizar la vista de la ruta entre dos puntos realizando el cálculo directamente en QGIS.

9. CONCLUSIONES

Después de realizar las consultas requeridas para aprender a utilizar el software y plasmar el caso de uso, se logra adquirir nuevos conocimientos al respecto con lo cual se obtienen algunos resultados que permiten concluir:

- En la actualidad, se ofertan software libres que permiten el uso de la información georreferenciada, logrando dar solución a cualquier problema que se presente en las compañías, dentro de estos software se encuentran SIG muy estructurados, donde los usuarios desarrollan complementos y así mismo, se comparten con las demás usuarios del software, se podría decir que la cantidad de aplicaciones que se llevan a cabo con esto y los elementos con los que cuentan, están dando lugar a nuevos avances en diferentes sectores, haciendo de estos una tendencia de investigación y desarrollo no solo en ciencias aplicadas a la geodesia, se habla de un aporte de los SIG en diferentes ciencias.
- Dentro de las grandes funciones con las que cuenta pgRouting, es importante además conocer una de su desventaja al momento de usar la extensión, ya que podríamos decir que lo único que es capaz de realizar, es un cambio de la líneas almacenadas en una tabla, por una red topológica, a la cual le asigna un vértice a cada intersección, pero podría también decirse, que para realizar cálculos de distancia, elección entre diferentes rutas hacia un punto, es suficiente con esta transformación que realiza esta, ya que bajo este cambio de tabla de línea a una red, es como logra dar solución a las problemáticas que los usuarios se plantean mediante el uso de esta extensión.
- Como resultado, se encuentra una enorme oportunidad de investigación en temas relacionados con los SIG en las industrias, en especial para temas afines con la logística externa, donde estos son un gran aporte, pero actualmente se podría decir que no se termina de explotar las ventajas que estos aportan, además de su uso para la toma de decisiones.
- El simposio GIS-T es una herramienta de intercambio de ideas y de puesta en marcha de novedosas investigaciones sobre el tema, ya cuenta con una amplia trayectoria, que permite tener una visión, de la importancia de los sistemas de información geográfica en relación al transporte, un acercamiento de ambas partes, la investigación y las empresas, donde se logra una conexión de ambos conocimientos y dar lugar a nuevas ideas que permitan el uso eficiente de estas herramientas.

- Como software libre, QGIS, cuenta con gran cantidad de funciones y herramienta que permiten el desarrollo de diferentes análisis, con respecto a otro software, QGIS admite que se integren extensiones y además, el ser de código abierto hace que se puedan desarrollar nuevas aplicaciones de acuerdo a lo requerido por el usuario.

10. REFERENCIAS

- [1] J. Godin, “Ahorran costos los mapas inteligentes,” *Global Network Content Services LLC*, Miami, 02-Oct-2011.
- [2] Council of Logistics Management, “Terms and Glossary,” *Supply Chain Manag.*, no. August, pp. 1–222, 2013.
- [3] R. Zanjirani, R. Shabnam, and L. Kardar, *Logistics operations and management*, 1st ed. Elsevier, 2011.
- [4] R. H. Ballou, *Logística. Administración de la cadena de suministro*, 5th ed., vol. 1. 2004.
- [5] E. Monterroso, “El proceso logístico y la gestión de la cadena de abastecimiento,” *Organ. Mund. del Comer.*, p. 33, 2000.
- [6] J. L. Méndez and J. Oubiña, “Logística: la asigantura pendiente en materia de gestión,” *Distrib. y Consum.*, pp. 53–67, 2002.
- [7] L. A. Mora, *Logística del transporte y distribución de carga*. Bogotá: Ecoe Ediciones, 2010.
- [8] Consejo Nacional de Política Económica y Social., “Política Nacional Logística,” p. 66, 2008.
- [9] V. Olaya, *Sistemas de Información Geográfica*, 1st ed. España, 2012.
- [10] F. Harvey, *A primer of GIS : fundamental geographic and cartographic concepts*, 2nd ed. 2016.
- [11] G. Korte, *The GIS book*, 5th ed. Onword Press, 2001.
- [12] D. Cowen, “Unit 1 - What Is Gis ?,” in *NCGIA Core Curriculum in GIS*, M. Goodchild and K. Kemp, Eds. 2014, pp. 1–8.
- [13] S. Wise, *GIS Fundamentals*, 2nd ed. CRC Press, 2013.
- [14] G. Greta, “South America,” *Animal and the Partner*. [Online]. Available: <http://animals-partner.blogspot.com.es/2015/01/south-america.html>.
- [15] A. Mendoza and M. Berezowsky, “Generación de mallas curvilíneas compuestas para el cálculo de flujos bidimensionales,” *Tecnol. y ciencias del agua*, vol. V, no. 2, pp. 111–122, 2014.
- [16] Y. Vazquez, “Técnicas de recolección de información geográfica,” 2015. [Online]. Available: <https://yamilivazquezmonzon.wordpress.com/2015/07/07/tecnicas-de-recoleccion-de-informacion-geografica/>.
- [17] V. Olaya, “Sistemas de información geográfica.” [Online]. Available: <http://volaya.github.io/libro-sig/chapters/Consultas.html>. [Accessed: 21-Oct-2017].
- [18] MundoGEO, “Propuesta de normas y especificaciones técnicas para mediciones topográficas y geodésicas en las obras públicas.” [Online]. Available: <http://mundogeo.com/blog/2000/01/01/propuesta-de-normas-y-especificaciones-tecnicas-para-mediciones-topograficas-y-geodesicas-en-las-obras-publicas/>. [Accessed: 21-Oct-2017].
- [19] Asociación Geoinnova, “La topografía, mostrando la superficie en un plano.” [Online]. Available: <https://geoinnova.org/blog-territorio/la-topografia/>. [Accessed: 21-Oct-2017].
- [20] GRASS, “GRASS GIS.” [Online]. Available: <https://grass.osgeo.org/>.
- [21] Asociación gvSIG, “Portal gvSIG.” [Online]. Available: <http://www.gvsig.com/es>.
- [22] C. Medina, “Demostración Técnica gvSIG Funciones básicas,” Chile, 2012.
- [23] “OpenJUMP GIS.” [Online]. Available: <http://www.openjump.org/>. [Accessed: 19-Aug-2017].
- [24] Esri, “ArcGIS,” 2017. [Online]. Available:

- <https://www.arcgis.com/features/index.html>.
- [25] Pitney Bowes, “MapInfo Pro - Desktop GIS.” [Online]. Available: <http://www.pitneybowes.com/us/location-intelligence/geographic-information-systems/mapinfo-pro.html>.
- [26] Autodesk, “AutoCAD Map 3D - Software de cartografía GIS 3D.” [Online]. Available: <https://www.autodesk.es/products/autocad-map-3d/overview>.
- [27] “ADOT.” [Online]. Available: <https://www.azdot.gov/business/environmental-services-andplanning/>. Obtenido de www.azdot.gov/business/environmental-services-andplanning/. [Accessed: 21-Oct-2017].
- [28] “CDOT-OTIS Online Transportation Information System.” [Online]. Available: <http://dtdapps.coloradodot.info/otis>. [Accessed: 21-Oct-2017].
- [29] qgis-community-team, “Bienvenido al proyecto QGIS,” 2015. [Online]. Available: <http://www.qgis.org/es/site/>.
- [30] pgRouting Community, “Proyecto pgRouting - Open Source Routing Library.” [Online]. Available: <http://pgrouting.org/>.