



COMUNICACIONES

SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA, COMUNICACIONES Y TRANSPORTES



GeoPlataforma SICT

Elsa María Morales Bautista
Miguel Ángel Backhoff Pohls

Publicación Técnica No. 819
Querétaro, México
2024

ISSN 0188-7297

Esta investigación fue realizada en la Unidad de Sistemas de Información Geoespacial (USIG) adscrita a la Coordinación de Estudios Económicos y Sociales del Transporte, por la Mtra. Elsa María Morales Bautista y el M. en Geog. Miguel Ángel Backhoff Pohls, investigadora titular y jefe de la USIG respectivamente.

Esta investigación es el producto final del proyecto de investigación interna OI-06/23: GeoPlataforma SICT.

Las opiniones expresadas en esta publicación son responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan los puntos de vista del Instituto Mexicano del Transporte.

Tabla de Contenido

	Página
Sinopsis.....	v
Abstract.....	vii
Introducción.....	1
1. Herramientas tecnológicas y soluciones geoespaciales para la gestión de infraestructura de transporte.....	3
1.1 Soluciones geoespaciales con software comercial y software de código abierto.....	5
1.1.1 Principales proveedores de software SIG comercial.....	5
1.1.2 Principales proveedores de software SIG de código abierto (open source).....	8
1.1.3 Plataforma geoespacial del IMT.....	9
1.2 Requerimientos tecnológicos.....	13
2. Determinación de la solución geoespacial idónea para implementar la GeoPlataforma SICT.....	15
3. Recopilación y procesamiento de datos e información de la SICT.....	19
3.1 Datos viales.....	20
3.2 Red carretera clasificación NOM-012.....	23
3.3 Paradores de servicio.....	25
4. Desarrollo y programación de funcionalidad.....	29
4.1 Diseño gráfico de la interfaz de usuario.....	29
4.2 Implementación de paneles para despliegue de menú y tablas de datos.....	30
4.3 Incorporación de herramienta para búsqueda.....	31

4.4	Incorporación de herramienta para realizar análisis de rutas.....	33
4.5	Incorporación de herramienta para limpiar mapa.....	35
	Conclusiones.....	37
	Bibliografía	39

Sinopsis

En este estudio se presenta la primera versión de la GeoPlataforma SICT, que constituye una propuesta de tecnología geoespacial al servicio y apoyo de la Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transportes (SICT). Para su desarrollo, se realizó un análisis comparativo entre las diferentes soluciones geoespaciales de más relevancia constituidas tanto por software comercial como por software libre o de fuente abierta. La determinación de la solución a emplear se realizó en apego a las disposiciones oficiales para preferir el uso de software libre por sobre el software comercial. En la funcionalidad de la aplicación obtenida se cuenta con la consulta a bases de datos alfanuméricas, para las que se efectuaron diferentes tareas de análisis y geoprocesamiento que permitieron su georreferenciación y despliegue cartográfico vía Web. Dicha información y datos corresponden a los que son publicados por las diferentes direcciones generales de la Subsecretaría de Infraestructura de la SICT. Se incorporaron a la interfaz de usuario herramientas que permiten realizar búsqueda de puntos de interés en el mapa, así como calcular una ruta punto a punto basada en la información de la Red Nacional de Caminos (RNC).

Abstract

This study presents the first version of the SICT GeoPlatform, which constitutes a geospatial technology proposal at the service and support of the Secretariat of Infrastructure, Communications and Transportation (SICT). For its development, a comparative analysis was carried out between the different most relevant geospatial solutions consisting of both commercial software and free or open source software. The determination of the solution to be used was carried out in accordance with the official provisions to prefer the use of free software over commercial software. The functionality of the obtained application includes consultation of alphanumeric databases for which different analysis and geoprocessing tasks were carried out that allowed their georeferencing and cartographic display via the Web. Said information and data correspond to those published by the different general directorates of the Undersecretary of Infrastructure of the SICT. Tools were incorporated into the user interface that allow searching for points of interest on the map, as well as calculating a point-to-point route based on information from the National Road Network (RNC).

Introducción

Una geoplataforma se refiere a la infraestructura tecnológica y digital que integra datos y herramientas relacionadas con la información referida espacialmente. Es un sistema que permite la recopilación, almacenamiento, análisis, visualización y distribución de datos geográficos de forma centralizada y accesible. Dentro de los principales beneficios para el usuario final, está la posibilidad de acceder a aplicaciones de tipo geoespacial desde un navegador Web sin la necesidad de adquirir licencias de software adicionales lo cual posibilita extender el uso de estas herramientas a un mayor número de usuarios.

El presente trabajo se encuentra enmarcado en la sección “Impulsa la reactivación económica, el mercado interno y el empleo del apartado III Economía del PND 2019-2024¹. En dicho apartado se establece que *El sector público fomentará la creación de empleos mediante programas sectoriales, proyectos regionales y obras de infraestructura*. En este sentido el estudio propuesto se encuentra alineado al objetivo prioritario 1 del Programa Sectorial de Comunicaciones y Transportes 2020-2024 “Contribuir al bienestar social mediante la construcción, modernización y conservación de infraestructura carretera accesible, segura, eficiente y sostenible, que conecte a las personas de cualquier condición, con visión de desarrollo regional e intermodal”, su estrategia 1.5 “Mejorar la planeación y prospectiva de la infraestructura carretera para contar con procesos sólidos y ágiles de terminación de obra y detectar oportunamente las necesidades futuras de la infraestructura carretera” y a la línea de acción 1.5.5 “Aumentar la investigación científica y capacidad tecnológica vinculadas a las necesidades del sector”.²

En el capítulo uno se describen las principales herramientas tecnológicas y soluciones geoespaciales para la gestión de infraestructura de transporte tanto las correspondientes a software comercial como de fuente abierta o mayormente conocido como software libre.

¹ DOF 12 de julio de 2018 Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024

² Programa Sectorial de Comunicaciones y Transportes 2020-2024

En el capítulo dos se realizó un análisis comparativo entre las ventajas y desventajas que representaba elegir alguna de las dos posibilidades de software identificadas como opciones viables para impulsar una propuesta de representación digital de la información geoespacial asociada a la infraestructura de transporte, en sus diferentes etapas de planeación, proyecto, construcción, operación y conservación.

En el capítulo tres se describe el proceso de recopilación de datos e información publicada por la SICT, en su mayoría almacenados en formato alfanumérico, lo que implicó diversas tareas de procesamiento para poder incorporarlos a una base de datos geoespacial y su posterior publicación como una capa de datos a través de un servidor de mapas Web. La representación cartográfica de esta información, resultó ser un proceso arduo de edición y preparación de esta para llevarla de una representación tabular simple, a un mapa con versión interactiva de consulta vía Internet.

El cuarto y último capítulo describe el desarrollo y programación de funcionalidad en la que se resalta la posibilidad que se ofrece al usuario para realizar búsqueda de elementos y realizar cálculo de rutas punto a punto, lo que representa una mayor posibilidad de análisis e interacción con capas de datos generados por una dependencia de gobierno, lo cual favorece a la veracidad de la información consultada.

1. Herramientas tecnológicas y soluciones geoespaciales para la gestión de infraestructura de transporte

De acuerdo con diversas fuentes consultadas, entre ellas la información proporcionada por los principales proveedores de software para Sistemas de Información Geográfica (SIG), las soluciones geoespaciales para la gestión de infraestructura de transporte ofrecen una amplia gama de herramientas y recursos que permiten optimizar las tareas relacionadas con la planificación, el diseño, la construcción, la operación y el mantenimiento de la infraestructura de transporte. Permiten principalmente:

1. Visualizar y analizar datos geoespaciales.
 - Integrar y visualizar datos geográficos, como redes viales, puentes, túneles, señales de tráfico, datos de sensores y condiciones climáticas, en una plataforma centralizada.
 - Realizar análisis espaciales complejos para identificar patrones, tendencias y áreas problemáticas en la infraestructura de transporte.
2. Planificar y diseñar proyectos de transporte.
 - Evaluar diferentes rutas y opciones de diseño para proyectos de infraestructura vial, considerando factores como costo, impacto ambiental y eficiencia del transporte.
 - Utilizar herramientas de modelado de transporte para simular el flujo de tráfico y predecir el impacto de los proyectos en la red vial.
3. Gestionar activos de infraestructura.
 - Crear y mantener un inventario preciso de activos de infraestructura, incluyendo información sobre su ubicación, estado, historial de mantenimiento y necesidades futuras.

- Implementar sistemas de monitoreo y diagnóstico para detectar y prevenir fallas en la infraestructura de transporte.
- Optimizar los programas de mantenimiento y reparación para prolongar la vida útil de los activos y reducir costos.

4. Mejorar la seguridad vial.

- Identificar áreas de alta accidentalidad y factores de riesgo en la red vial.
- Diseñar e implementar medidas de seguridad vial, como señalización, iluminación y cruces seguros para peatones y ciclistas.
- Monitorear y evaluar la efectividad de las medidas de seguridad vial para mejorar continuamente la seguridad en las carreteras.

5. Facilitar la gestión de tráfico.

- Implementar sistemas de gestión de tráfico inteligente (ITS) para optimizar el flujo vehicular, reducir la congestión y mejorar la seguridad en las carreteras.
- Utilizar datos de sensores y cámaras para monitorear las condiciones del tráfico en tiempo real y responder a incidentes de manera eficiente.
- Proporcionar información a los usuarios sobre las condiciones del tráfico y rutas alternativas para ayudarlos a tomar decisiones informadas sobre sus viajes.

6. Proteger el medio ambiente.

- Evaluar el impacto ambiental de proyectos de infraestructura vial y considerar alternativas sostenibles.
- Implementar medidas de mitigación para reducir el impacto ambiental de la infraestructura de transporte, como la construcción de pasos de fauna y la revegetación de áreas afectadas.
- Monitorear y evaluar el impacto ambiental de la infraestructura de transporte a lo largo del tiempo.

Algunos ejemplos de soluciones geoespaciales para la gestión de infraestructura de transporte son:

- Sistemas de información Geográfica (SIG o GIS por sus siglas en Inglés) comerciales y fuente abierta (open source): ArcGIS, QGIS, MapInfo Pro, MicroStation GeoNetwork.
- Software de modelado de transporte: TransCAD, PTV Vissim, UrbanSim.
- Herramientas de gestión de activos de infraestructura: InfraWorks Asset Management, Bentley AssetWise, IBM Maximo Asset Management.
- Sistemas de gestión de tráfico inteligente (ITS): C-ITS, DSRC, SCADA.
- Herramientas de análisis de impacto ambiental: ESRI ArcGIS GeoPlanner, Autodesk InfraWorks Green Design Extension.
- Sistemas de posicionamiento Global (GPS, Global Positioning System). El GPS se utiliza para determinar la ubicación de los objetos en la superficie de la Tierra. Los sistemas GPS pueden utilizarse para rastrear vehículos, monitorear el estado de la infraestructura y guiar a los conductores.
- Detección remota: Utiliza sensores para recopilar datos sobre la superficie de la Tierra desde el espacio o desde aviones. Los datos de detección remota pueden utilizarse para identificar cambios en la infraestructura, evaluar el impacto ambiental de los proyectos de transporte y monitorear el uso de la tierra.
- LiDAR: Tecnología de detección remota que utiliza pulsos de láser para crear mapas tridimensionales de la superficie de la Tierra. Los datos LiDAR pueden utilizarse para crear modelos precisos de la infraestructura de transporte, identificar obstáculos y planificar proyectos de construcción.
- Sensores IoT: Se refiere al *Internet de las Cosas* (IoT por *Internet of Things*) que pueden utilizarse para recopilar datos en tiempo real sobre el estado de la infraestructura de transporte. Estos datos se emplean para monitorear el tráfico, identificar problemas potenciales y responder a los incidentes de transporte.

1.1 Soluciones geospaciales con software comercial y software de código abierto

1.1.1 Principales proveedores de software SIG comercial

Varios proveedores líderes de software SIG comercial son reconocidos por sus soluciones integrales, funcionalidades avanzadas y sólidos servicios de

soporte. A continuación, se describen los principales productos de algunos de los proveedores más destacados de la industria:

1. ESRI (Environmental Systems Research Institute) (ESRI, 2024):

- **Producto:** ArcGIS
- **Descripción General:** ESRI es el líder del mercado en software SIG y ofrece una amplia gama de productos bajo la plataforma ArcGIS, la cual proporciona herramientas para mapeo, análisis espacial, gestión de datos y visualización tanto en versiones de escritorio como en línea.
- **Funciones clave:** análisis avanzado, mapeo 3D, integración de datos en tiempo real, amplios recursos en línea y un sólido soporte comunitario.
- **Casos de uso:** planificación urbana, monitoreo ambiental, transporte, respuesta a desastres y muchos más.

2. Hexagon Geospatial (Hexagon, 2024):

- **Producto:** ERDAS IMAGINE, GeoMedia
- **Descripción General:** Hexagon Geospatial ofrece un conjunto de soluciones de software SIG y de detección remota. ERDAS IMAGINE se utiliza ampliamente para el análisis de datos geoespaciales, mientras que GeoMedia es conocido por sus sólidas capacidades GIS.
- **Funciones clave:** Análisis de teledetección, fotogrametría, integración SIG empresarial y herramientas de visualización avanzadas.
- **Casos de uso:** Defensa, seguridad pública, servicios públicos, agricultura y gestión ambiental.

3. Autodesk (Autodesk, 2024):

- **Producto:** AutoCAD Map 3D, InfraWorks.
- **Descripción General:** Autodesk proporciona software de diseño de infraestructura y SIG integrado con capacidades de CAD. AutoCAD Map 3D e InfraWorks ofrecen potentes herramientas para la gestión de datos espaciales y la planificación de infraestructuras.
- **Funciones clave:** Integración CAD y GIS, diseño de infraestructura, modelado 3D y análisis geoespacial.
- **Casos de uso:** ingeniería civil, planificación urbana, servicios públicos y transporte.

4. Bentley Systems (Bentley, 2024):

- **Producto:** Mapa de Bentley, Mapa de OpenCities

- **Descripción General:** Bentley Systems ofrece software GIS diseñado para el diseño y la gestión de infraestructuras. Bentley Map y OpenCities Map proporcionan herramientas para mapeo, análisis y gestión de datos.
- **Funciones clave:** modelado de infraestructura, integración CAD, análisis geoespacial y colaboración en proyectos.
- **Casos de uso:** diseño de infraestructura, planificación urbana, transporte y servicios públicos.

5. Trimble (Trimble, 2024):

- **Producto:** Trimble Geospatial, eCognition
- **Descripción General:** Trimble ofrece una gama de soluciones geoespaciales, incluido software GPS y GIS. eCognition es conocido por su análisis avanzado de imágenes y capacidades de detección remota.
- **Funciones clave:** integración de GPS, detección remota, análisis de imágenes y recopilación de datos.
- **Casos de uso:** Agricultura, construcción, monitoreo ambiental y agrimensura.

6. MapInfo (Pitney Bowes Software) (MapInfo, 2024):

- **Producto:** MapInfo Pro
- **Descripción General:** MapInfo Pro es un potente software SIG de escritorio que se utiliza para mapeo y análisis espacial. Ofrece una amplia gama de herramientas para visualización de datos y análisis geográfico.
- **Funciones clave:** análisis espacial, visualización de datos, interfaz de usuario personalizable e integración con otro software.
- **Casos de uso:** comercio minorista, telecomunicaciones, gobierno y seguros.

El costo del software SIG comercial varía mucho dependiendo de varios factores, tales como:

- **Funcionalidades:** Los softwares SIG con más funcionalidades suelen ser más costosos.
- **Licencias:** El tipo de licencia que se requiere, por ejemplo, individual, por estación o flotante también determina el costo.
- **Soporte:** Algunos proveedores ofrecen planes de soporte que incluyen actualizaciones, capacitación y asistencia técnica.
- **Proveedor:** Diferentes proveedores tienen diferentes estructuras de precios.

En general se estima que los costos por el uso de software SIG comercial van desde entre los \$100 y \$500 USD para el nivel básico por usuario por año. Entre \$500 y \$1000 USD para el software de gama media, por usuario por año; y hasta \$1,000 y \$10,000 USD por usuario por año.

1.1.2 Principales proveedores de software SIG de código abierto (open source)

Dentro de los softwares SIG de código abierto o libre los más populares son los siguientes:

1. QGIS (QGIS, 2024):

- **Descripción General:** Es un software SIG de escritorio gratuito que ofrece una amplia gama de funciones para la creación, edición, visualización y análisis de datos geoespaciales. Es una opción popular debido a su facilidad de uso, flexibilidad y amplia comunidad de usuarios. QGIS ofrece una gran cantidad de complementos que extienden sus funcionalidades, lo que permite su adaptación a necesidades específicas.

2. GeoServer (GeoServer, 2024):

- **Descripción General:** Es un software servidor Web que permite publicar datos geoespaciales en Internet. Es compatible con una amplia gama de formatos de datos y clientes SIG. Al ser un software fácil de configurar es una opción popular entre organizaciones que requieren compartir datos geoespaciales a un público amplio.

3. GrassGIS (GrassGIS, 2024):

- **Descripción General:** Es un software potente y versátil que ofrece una amplia gama de funciones para el análisis de datos geoespaciales. Es particularmente útil para tareas de análisis complejo, como la modelación hidrológica y la evaluación del riesgo de desastres. La curva de aprendizaje es más pronunciada en comparación con QGIS, sin embargo, es una herramienta poderosa para usuarios experimentados.

4. gvSIG (gvSIG, 2024):

- **Descripción General:** Es un software SIG de escritorio gratuito similar a QGIS en cuanto a funciones y facilidad de uso. Ofrece funciones únicas en comparación con otros softwares de su tipo, como la edición en 3D y el análisis de redes. Cuenta con una gran comunidad de usuarios y recursos en español.

5. MxSIG (INEGI, 2024):

- **Descripción General:** Es una plataforma de código abierto para la Web desarrollada para implementar soluciones geomáticas que facilitan el uso, integración, interpretación, publicación y análisis de la información geográfica y estadística. Está desarrollada utilizando módulos robustos de software de código libre.
- **Módulos de software que utiliza:** PostgreSQL, PostGIS, MapServer, OpenLayers, jQuery.
- **Lenguaje de desarrollo:** HTML5 (JavaScript y CSS), Java.

1.1.3 Plataforma geoespacial del IMT

La Plataforma Geoespacial del IMT (Morales et al., 2022) es una herramienta Web que brinda acceso a una amplia gama de datos geoespaciales e información relacionada con la infraestructura del transporte, con el objetivo de aportar y proveer de mecanismos que favorezcan y faciliten tareas de planificación, análisis y toma de decisiones en este sector. Está integrada por un conjunto de herramientas de software de código abierto que permiten la configuración y los procedimientos necesarios para publicar datos geoespaciales vía Web. Esta plataforma constituye la base sobre la cual se han desarrollado aplicaciones de visualización cartográfica digital diseñadas y programadas a la medida para responder a proyectos y necesidades de despliegue e integración de información geoespacial específica.

Entre las principales características de la Plataforma Geoespacial del IMT se incluyen:

- **Acceso a diversos datos geoespaciales:** La plataforma permite el despliegue y visualización de varias capas de datos geoespaciales, entre ellos, el conjunto de datos de la Red Nacional de Caminos³ (RNC), infraestructura por modo de transporte, áreas urbanas, puntos de interés, etc.
- **Mapeo interactivo:** los usuarios pueden crear y personalizar la visualización del mapa en pantalla, con lo cual es posible obtener diferentes configuraciones de.

³ La Red Nacional de Caminos, resultado de un esfuerzo interinstitucional SICT-IMT y el INEGI, es la representación cartográfica digital y georreferenciada de la infraestructura vial del país con alta precisión y escala de gran detalle; modelada y estructurada con el fin de facilitar el cálculo de rutas está conformada bajo estándares internacionales y el riguroso marco normativo aplicable del **Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica (SNIEG)**. Instituto Mexicano del Transporte (2023)

- **Herramientas para el análisis de transporte:** en la plataforma se incluye la herramienta para realizar planificación y cálculo de rutas punto a punto, la cual utiliza el servicio Web desarrollado y proporcionado por el INEGI, SAKBÉ Sistema de Ruteo de México.
- **Descarga de datos:** los usuarios pueden realizar la descarga de las capas de información de la RNC.
- **Módulos de software que utiliza:** PostgreSQL, PostGIS, Geoserver, OpenLayers, jQuery.
- **Lenguaje de desarrollo:** HTML5 (JavaScript y CSS)

A continuación, se describen las principales aplicaciones que toman como base esta plataforma geoespacial:

- **Plataforma Geoespacial para la Gestión del Transporte [http://rnc.imt.mx/tablero] (Fig. 1.1)**
 - **Objetivo:** Facilitar la visualización y representación cartográfica de la información tanto del conjunto de datos que integran la Red Nacional de Caminos, así como de otros modos del transporte.
 - Situación actual: Activo

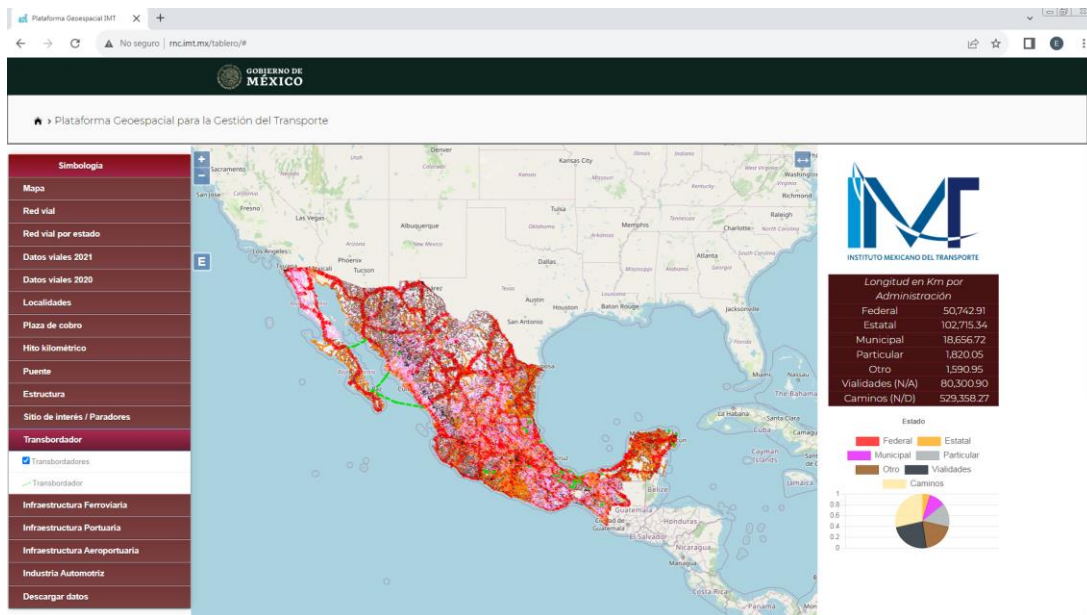


Figura 1.1 Interfaz de la aplicación “Plataforma geoespacial para la gestión del transporte”

Fuente: Elaboración propia con base en: <http://rnc.imt.mx/tablero>

- **Visualizador Geocartográfico de la Red Nacional de Caminos [http://rnc.imt.mx] (Fig. 1.2)**
 - **Objetivo:** Facilitar la visualización y representación cartográfica de la información del conjunto de datos que integran la Red Nacional de Caminos.
 - Situación actual: Activo

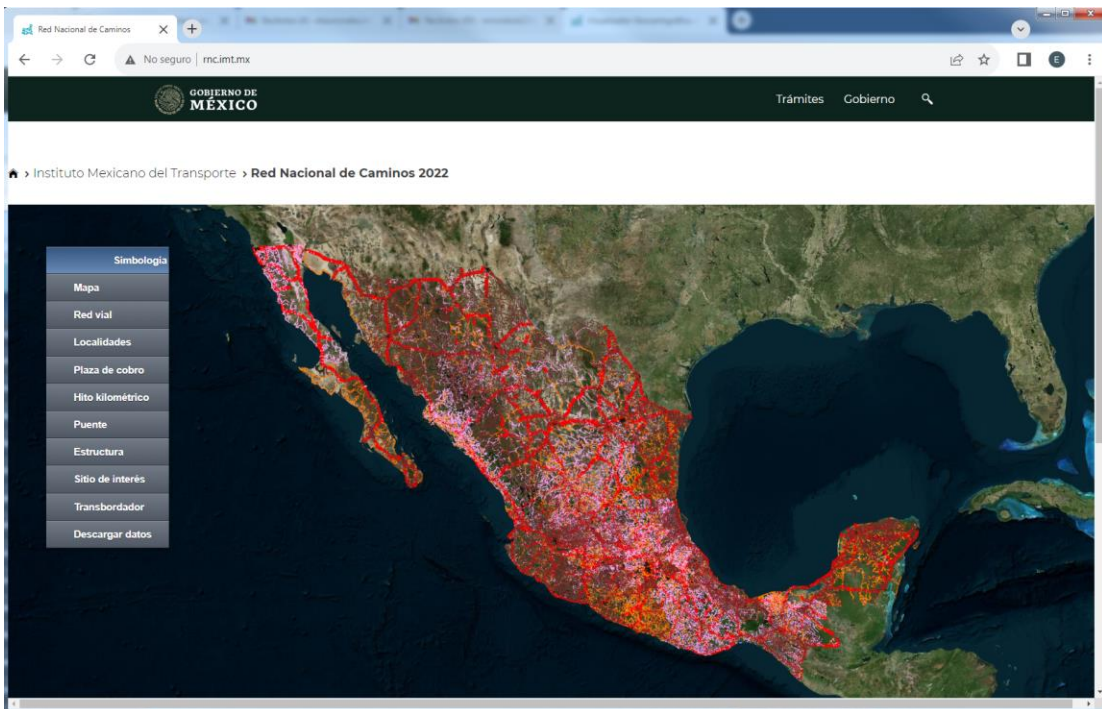


Figura 1.2 Interfaz del visualizador geocartográfico de la RNC

Fuente: Elaboración propia con base en: <http://rnc.imt.mx>

- **Visualizador Geocartográfico de la Participación de las mujeres en el programa de pavimentación de caminos rurales en Oaxaca [http://rnc.imt.mx/caminos/] (Fig. 1.3)**
 - **Objetivo:** Mostrar de forma cartográfica la ubicación geográfica de cada una de las obras del Programa de Pavimentación de Caminos a Cabeceras Municipales⁴

⁴<https://www.sct.gob.mx/carreteras/direccion-general-de-carreteras/programa-de-caminos-a-cabeceras/>

finalizadas en el periodo de 2019 a 2022, en Oaxaca; en dicha interfaz, es posible consultar la información sobre los porcentajes de participación de las mujeres, así como otra información relacionada.

- Situación actual: Activo

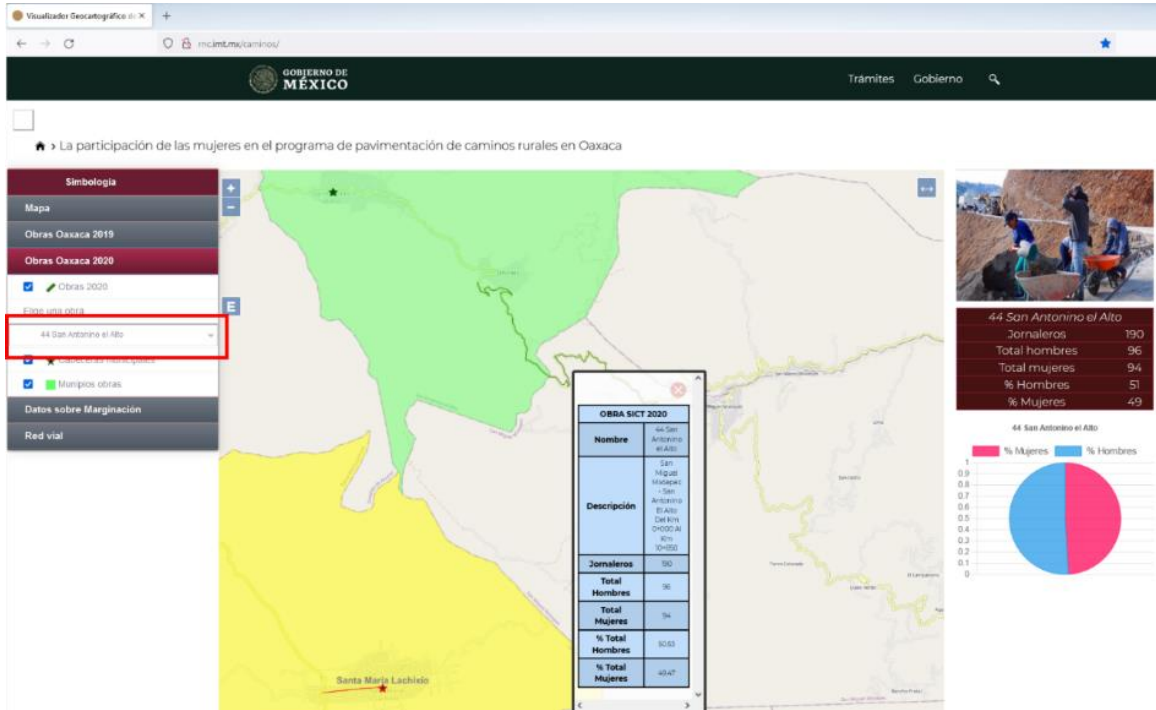


Figura 1.3 Interfaz del visualizador “Participación de las mujeres en la pavimentación de caminos rurales en Oaxaca”

Fuente: Elaboración propia con base en: <http://rnc.imt.mx/caminos>

- **GeoPlataforma M-Q [http://rnc.imt.mx/mexqro] (Fig. 1.4)**
 - **Objetivo:** Constituir una herramienta para la toma de decisiones apoyada en el acervo de datos geográficamente referenciados conjuntado como base para realizar el análisis de la problemática detectada sobre la infraestructura vial y su incidencia en la accidentalidad ocurrida en la autopista México-Querétaro.
 - Situación actual: Activo

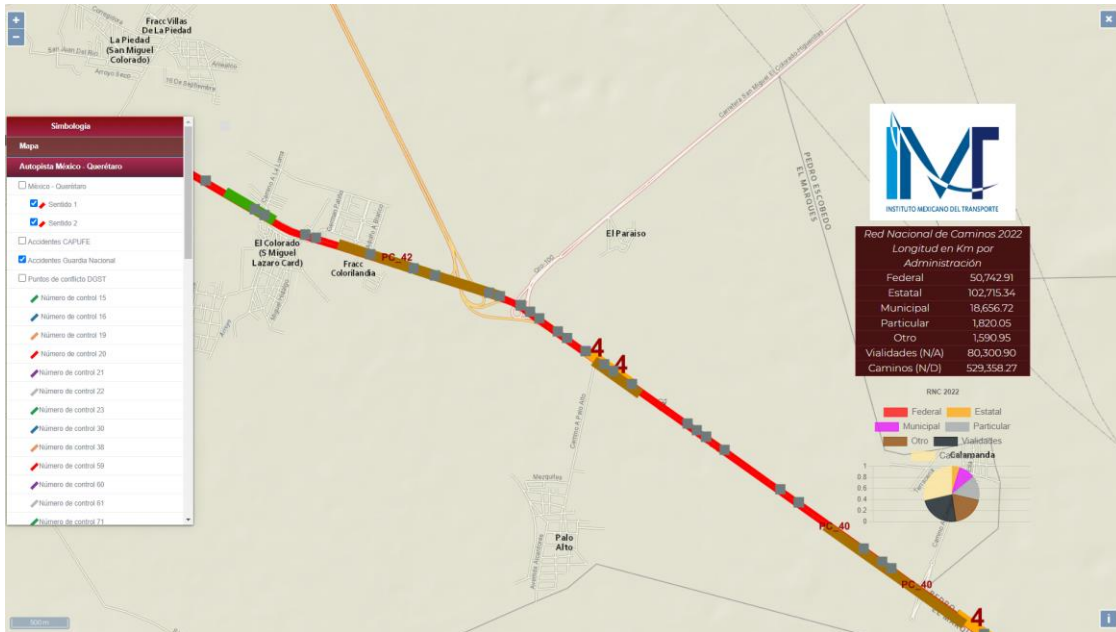


Figura 1.4 Interfaz gráfica de la GeoPlataforma M-Q

Fuente: Elaboración propia con base en: <http://rnc.imt.mx/mexqro>

1.2 Requerimientos tecnológicos

Los requerimientos tecnológicos para la implementación de cualquier solución geoespacial son variables y dependerán de diferentes factores, tales como el tamaño y complejidad de las aplicaciones a desarrollar, el volumen de datos geoespaciales que se manejarán, el número de usuarios simultáneos y el tipo de análisis que se realizará. Sin embargo, se pueden considerar los siguientes requerimientos mínimos:

Servidor:

- Procesador: Mínimo un procesador Intel Xeon E5-2620 v4 de 2.4 GHz o equivalente.
- Memoria RAM: Mínimo 16 GB de RAM, pero se recomienda 32 GB o más para un mejor rendimiento.
- Almacenamiento: Mínimo 250 GB de SSD para el sistema operativo y las aplicaciones, y adicionalmente espacio de almacenamiento para los datos geoespaciales.
- Sistema Operativo: Se recomienda un sistema operativo Linux de servidor, como Ubuntu Server o CentOS.

Software:

- Servidor Web: Se puede utilizar Apache HTTP Server o Nginx.
- Servidor de aplicaciones: Se puede utilizar Java EE o Python con un marco web como Django o Flask.
- Base de datos: Se puede utilizar PostgreSQL, MySQL o MongoDB.
- Software GIS: Se puede utilizar GeoServer, MapServer, Leaflet, OpenLayers.

Red:

- Conexión a internet: Se requiere una conexión a internet de alta velocidad para publicar los datos geoespaciales y atender a los usuarios simultáneos.
- Ancho de banda: El ancho de banda requerido dependerá del volumen de datos geoespaciales y del número de usuarios simultáneos.
- Cuando no se cuenta con experiencia en administración de servidores, se puede considerar contratar a un proveedor de hosting especializado en aplicaciones geoespaciales.

Consideraciones adicionales:

- Escalabilidad: La plataforma debe ser escalable para poder crecer en función del aumento de la demanda.
- Seguridad: La plataforma debe ser segura para proteger los datos geoespaciales y la información de los usuarios.
- Rendimiento: La plataforma debe tener un buen rendimiento para poder atender a los usuarios de manera eficiente.
- Pruebas de carga: Es importante realizar pruebas de carga para determinar los requerimientos de cómputo específicos.

Actualmente existen diversas herramientas y servicios en la nube mediante los cuales es posible crear y administrar aplicaciones Web geoespaciales, como Amazon Web Services, Google Cloud Platform o Microsoft Azure.

2. Determinación de la solución geoespacial idónea para implementar la GeoPlataforma SICT

El análisis comparativo entre las diferentes posibilidades y herramientas tecnológicas, enfocadas principalmente en la gestión de la información geoespacial, permitió establecer una guía para determinar qué solución representa una opción viable para implementar una geoplataforma en la que se integre la información estadística y geográfica asociada a la infraestructura de transporte.

Se identificaron dos posibilidades de implementación. La primera opción comprendía utilizar una solución geoespacial comercial; se propuso ArcGIS por ser la opción más sólida y de mayor reconocimiento. La segunda opción estuvo basada en la utilización y aprovechamiento de las posibilidades de personalización que ofrece la Plataforma Geoespacial del IMT.

Derivado del objetivo inicial del proyecto, en el que se plantea el diseño y desarrollo de una geoplataforma específica o particular para la SICT se analizaron siguientes consideraciones:

- **Tamaño y duración del proyecto:** De acuerdo con experiencias de desarrollo en la Unidad de Sistemas de Información Geoespacial (USIG), se ha identificado que para proyectos pequeños o de corta duración, pero, sobre todo, si se requiere una respuesta rápida, una solución comercial puede ser más adecuada. Desarrollar una geoplataforma para la SICT representa un proyecto de gran magnitud y a largo plazo, por lo que una plataforma personalizada y adaptada a las necesidades de la organización puede ofrecer mejores beneficios.
- **Presupuesto:** Es indispensable contar con los recursos monetarios disponibles tanto para la implementación inicial como para los costos de mantenimiento a largo plazo. Este punto en específico resultó decisivo, pues actualmente en la Administración Pública Federal los recursos financieros han sido cada vez más restringidos;

y realizar un Proyecto de Operación relacionado al Software⁵ que respalde un estudio de factibilidad para la compra de software, así como la gestión de autorizaciones ante el Órgano de Control Fiscalizador (OIC) toma bastante tiempo.

- **Requerimientos técnicos:** Se deben considerar las funcionalidades específicas y el nivel de personalización que se necesita.
- **Recursos humanos:** Es necesario evaluar si se cuenta con un equipo de desarrollo y soporte técnico con experiencia en el uso y manejo tanto de software como datos geoespaciales.

Tabla 2.1 Ventajas y desventajas identificadas entre las posibilidades de implementación

Opción de implementación	Ventajas	Desventajas
Solución comercial: ArcGIS	<ul style="list-style-type: none"> • Implementación rápida: Las soluciones comerciales están listas para utilizarse, lo que permite una implementación rápida. • Soporte y actualización: Acceso a soporte técnico y actualizaciones regulares proporcionadas por el proveedor por lo cual no se requiere personal especializado interno para el mantenimiento. • Funcionalidades probadas: Las soluciones comerciales suelen tener funcionalidades probadas y refinadas basadas en la experiencia de múltiples usuarios. 	<ul style="list-style-type: none"> • Menos flexibilidad: Presentan limitaciones en la personalización y adaptación a necesidades muy específicas, además del riesgo de depender de funcionalidades estandarizadas que puedan no cubrir todos los requerimientos. • Costos recurrentes: principalmente relacionados a costos de suscripción y licencias, así también, la posibilidad de incrementos en los precios de suscripción a lo largo del tiempo, lo cual pone en riesgo la permanencia de las aplicaciones desarrolladas. • Dependencia del proveedor: Dependencia de la disponibilidad y políticas del proveedor, así como riesgo de cambios en las mismas o discontinuación del servicio.
Plataforma Geoespacial del IMT	<ul style="list-style-type: none"> • Adaptabilidad: adaptable a las necesidades y especificaciones exactas del proyecto. Posibilidad de 	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo de desarrollo: El tiempo necesario para desarrollar una solución personalizada puede ser largo.

⁵ Documento que se integra en el Portafolio de Proyectos de TIC (POTIC) el cual respalda los estudios de factibilidad y la gestión de las autorizaciones correspondientes ante el Órgano de Control Fiscalizador (OIC) y la Coordinación de la Estrategia Digital Nacional (CEDN) (DOF, 2021).

Opción de implementación	Ventajas	Desventajas
	<p>integrar características específicas que no están disponibles en soluciones comerciales.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Control total: Control completo sobre la arquitectura, seguridad y funcionalidad. Flexibilidad para hacer cambios y actualizaciones sin depender de un proveedor externo. • Escalabilidad: Diseñada para escalar según el crecimiento y evolución de las necesidades específicas del proyecto. • Independencia. Sin dependencia de proveedores, lo que evita posibles problemas de discontinuación del servicio o cambios en políticas de precios. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento y soporte: Necesidad de contar con un equipo de soporte técnico interno; y los costos de mantenimiento y actualización recaen completamente en la organización. • Requerimiento de personal especializado: Se requiere la inversión en personal especializado para el desarrollo y mantenimiento.

Fuente: Elaboración propia.

Al interior de la SICT y el IMT existen los mecanismos para realizar la solicitud y justificación de la adquisición de software comercial, mismos que se encuentran fundamentados en el el Artículo 14, del ACUERDO por el que se emiten las políticas y disposiciones para impulsar el uso y aprovechamiento de la informática, el gobierno digital, las tecnologías de la información y comunicación, y la seguridad de la información en la Administración Pública Federal, publicado el 06/09/2021 en el Diario Oficial de la Federación, DOF. Sin embargo, en el mismo acuerdo se señala que “la priorización en el uso del Software Libre es una medida de austeridad republicana contemplada en la Ley Federal de Austeridad Republicana” (DOF, 2021), además de que, las políticas y disposiciones “tienen como objetivo fortalecer el uso del software libre y los estándares abiertos, fomentar el desarrollo de aplicaciones institucionales con utilidad pública, lograr la autonomía, soberanía e independencia tecnológicas dentro de la APF, consolidar una base tecnológica robusta y homogénea en las Instituciones del Estado, así como lograr una mayor eficiencia basada en la reducción de tiempos y costos en los procesos de contratación en materia de tecnologías de la información y comunicación, descartando aquellos productos o servicios que no sean estrictamente indispensables para el funcionamiento y operación de cada Institución; así como establecer las directrices para el uso y aprovechamiento de las Tecnologías

de la Información y Comunicación en las Dependencias y Entidades de la Administración Pública Federal” (DOF, 2021).

En apego a las disposiciones antes señaladas y tomando como base la experiencia obtenida durante el desarrollo de los proyectos de investigación *OI0521 Plataforma geoespacial: herramienta plurifuncional para la gestión del transporte* (Morales et al., 2022) y *OI0622 Plataforma geoespacial: herramienta plurifuncional para la gestión del transporte – fase II* (Morales et al., 2023) se determinó implementar la GeoPlataforma SICT utilizando la Plataforma Geoespacial del IMT.

3. Recopilación y procesamiento de datos e información de la SICT

La SICT es usuaria, pero también generadora de múltiples datos e información georreferenciada, que se emplea en una amplia gama de aplicaciones relacionadas con la planeación, construcción, mantenimiento y gestión de la infraestructura para el transporte en el país.

En la primera etapa del proyecto se identificaron las Direcciones Generales en las que se procesan y publican los diferentes conjuntos de datos, con viabilidad de integrarse a la GeoPlataforma a saber:

- Dirección General de Servicios Técnicos (DGST)
 - Datos viales
 - Capacidad y niveles de servicio
 - Bancos de materiales
 - Paradores de servicio
 - Ubicación de puntos de conflicto en la Red Nacional de Carreteras
 - Rampas de emergencia
- Dirección General de Carreteras
 - Obras y proyectos en construcción (Programa de Construcción y Modernización de Carreteras Federales)
 - Programa de Caminos a Cabeceras Municipales
- Dirección General de Conservación de Carreteras
 - Puentes en la Red Federal de Carreteras
 - Jurisdicción de la Red Federal Pavimentada
 - Información estadística sobre conservación
- Dirección General de Desarrollo Carretero (DGDC)
 - Autopistas, obras concesionadas

Obtener los archivos que contienen la información gestionada por cada una de las direcciones generales es relativamente sencillo cuando se realiza desde su correspondiente sección en el sitio Web de la secretaría (<https://www.gob.mx/sct/acciones-y-programas/subsecretaria-de-infraestructura>). Sin embargo, estos datos en su mayoría se encuentran publicados en formatos de archivos PDF (*Portable Document Format*), tablas de datos en formato XLSX de Excel y CSV (*Comma Separated*

Values, Valores Separados por Comas). Por lo anterior y para estar en posibilidad de integrar la información a un Sistema de Información Geográfica, fue necesario realizar diversos procesos de georreferenciación, depuración, normalización y vinculación a bases de datos georreferenciadas entre otros. Así también, mediante el contacto directo con personal de la DGST se obtuvieron los archivos de los datos viales en formato XLSX, mismos que facilitan su procesamiento e integración al SIG. En muchos casos, los registros no cuentan con coordenadas ni con algún otro dato de referencia que haga posible su ubicación o asociación a un punto georreferenciado.

La descripción de la información que fue posible integrar a la base de datos geoespacial se describe en las siguientes secciones. En etapas posteriores del proyecto se considerará la incorporación de los datos para los cuales se consiga verificar su georreferencia. Así también, se hará énfasis en la importancia de actualizar los datos que se publican año con año.

3.1 Datos viales

Los datos viales que son registrados en el libro “*Datos Viales*” editado por la Dirección General de Servicios Técnicos (DGST) se obtienen del programa de monitoreo del flujo de tránsito implementado anualmente para recopilar información de las características que adquiere el flujo vehicular en la red de carreteras del país. Dicho flujo de tránsito se refiere al movimiento o circulación de personas o mercancías mediante el uso de un automóvil, autobús o camión de carga por un camino, carretera o autopista.

La SICT publica de forma digital los datos viales de la red carretera nacional en formato PDF, Formato de Documento Portátil) en su portal de Internet⁶ (Libro Datos Viales). Para cada entidad federativa se emite un archivo PDF por separado en el que se incluye un mapa de las carreteras identificadas mediante un número (Fig. 3.1), mismo que es útil para identificarlas en los listados de información (Fig. 3.2). Así también, en la sección correspondiente a la SICT en el portal de Datos abiertos, se publica en formato CSV la información de los datos viales anuales conjuntada en un solo archivo. Contar con los datos en este formato facilita los procesos para su representación en un sistema de información geográfica ya que mediante el campo que almacena las coordenadas de posición, se logra el

⁶ <https://www.sct.gob.mx/carreteras/direccion-general-de-servicios-tecnicos/datos-viales/2023/>

despliegue gráfico de cada una de las estaciones de conteo. En la figura 3.3 se muestra un ejemplo de la representación de la información del Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA) a lo largo de la red federal de carreteras simbolizada de acuerdo con el volumen vehicular. La ventaja de este tipo de representación es que la información asociada a cada punto puede ser consultada mediante un clic en el mapa, sobre el que se muestra el resultado de la consulta sin necesidad de complejas búsquedas entre los cientos de registros que conforman la tabla de datos.

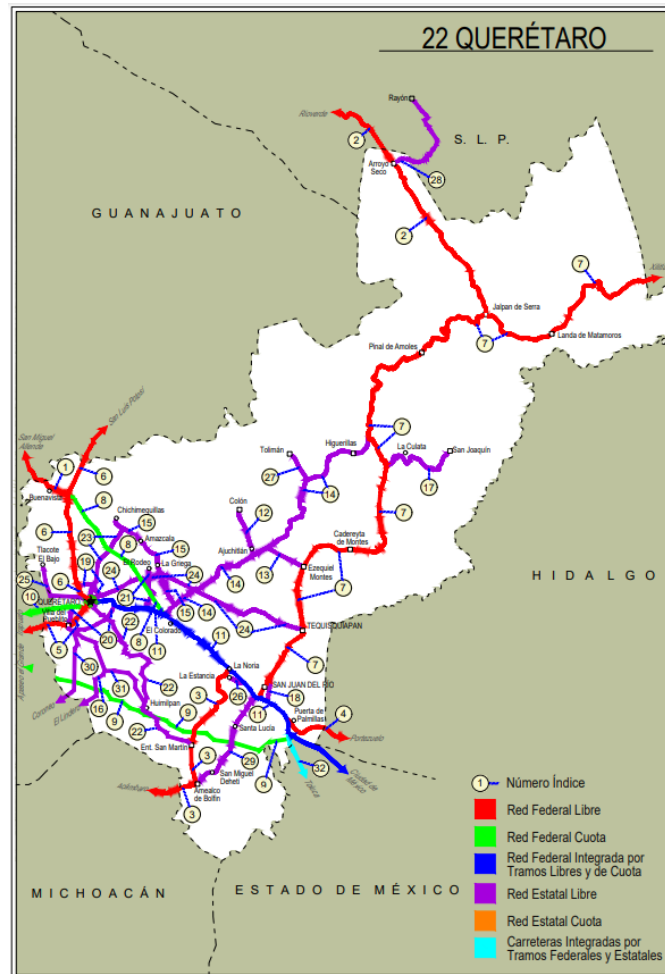


Figura 3.1 Mapa índice del documento de datos viales correspondiente al estado de Querétaro

Fuente: DGST (2023)

QUERETARO

1 CARR: Ent. Buenavista - San Miguel de Allende													CLAVE: 00111				RUTA: MEX-057				AÑO: 2022			
LUGAR	ESTACION				CLASIFICACION VEHICULAR EN PORCIENTO										COORDENADAS									
	KM	TE	SC	TDPA	M	A	B	C2	C3	T3S2	T3S3	T3S2R4	OTROS	A	B	C	K	D	LATITUD	LONGITUD				
T. C. Querétaro - San Luis Potosi	0.00	3	0	22554	2.5	86.6	1.7	5.5	1.2	1.5	0.6	0.1	0.3	89.1	1.7	9.2	0.096	0.502	20.824396	-100.462602				
Lim. Edos. Term. Qro. Ppia. Glo.	7.91	0	0																					
T. Izq. Guadalupe	12.00	1	0	12519	0.9	86.6	1.8	6.5	1.1	2.3	0.5	0.2	0.1	87.5	1.8	10.7	0.100	0.508	20.882728	-100.572702				
San Miguel de Allende	35.11	1	0	16238	3.3	89.1	1.6	3.3	1.3	0.8	0.3	0.3	0.0	92.4	1.6	6.0	0.099	0.509	20.902439	-100.710016				

2 CARR: Jalpan de Serra - Rioverde													CLAVE: 00285				RUTA: MEX-069				AÑO: 2022			
LUGAR	ESTACION				CLASIFICACION VEHICULAR EN PORCIENTO										COORDENADAS									
	KM	TE	SC	TDPA	M	A	B	C2	C3	T3S2	T3S3	T3S2R4	OTROS	A	B	C	K	D	LATITUD	LONGITUD				
Jalpan de Serra	0.00	3	0	6467	3.3	92.5	0.8	2.5	0.5	0.2	0.1	0.1	0.0	95.8	0.8	3.4	0.089	0.509	21.239586	-99.482494				
T. Izq. Conca	35.01	1	0	3033	5.3	90.2	0.3	2.4	1.1	0.4	0.2	0.0	0.1	95.5	0.3	4.2	0.096	0.504	21.449680	-99.631148				
Arroyo Seco	48.60	1	0	2083	4.1	88.3	0.5	5.2	1.1	0.4	0.3	0.0	0.1	92.4	0.5	7.1	0.082	0.525	21.541394	-99.687669				
Lim. Edos. Term. Qro. Ppia. S. L. P.	52.27	0	0																					
San Ciró de Acosta	69.42	1	0	2275	6.5	76.3	0.5	12.6	1.4	1.9	0.6	0.1	0.1	82.8	0.5	16.7	0.080	0.501	21.647981	-99.808437				
San Ciró de Acosta	69.42	3	0	3181	4.6	80.2	0.9	11.1	1.3	1.3	0.3	0.2	0.1	84.8	0.9	14.3	0.083	0.504	21.661917	-99.827612				
Rioverde	105.43	1	0	7705	2.9	76.5	0.5	15.7	0.7	2.3	0.7	0.5	0.2	79.4	0.5	20.1	0.082	0.507	21.871558	-99.972423				

3 CARR: La Noria - Acámbaro													CLAVE: 00131				RUTA: MEX-120				AÑO: 2022			
LUGAR	ESTACION				CLASIFICACION VEHICULAR EN PORCIENTO										COORDENADAS									
	KM	TE	SC	TDPA	M	A	B	C2	C3	T3S2	T3S3	T3S2R4	OTROS	A	B	C	K	D	LATITUD	LONGITUD				
La Noria	0.00	3	0	9876	1.9	86.4	1.5	5.6	2.0	1.2	0.7	0.4	0.3	88.3	1.5	10.2	0.094	0.501	20.438022	-100.074431				
Amealco	34.66	1	0	5360	2.4	87.4	2.1	6.1	1.0	0.4	0.4	0.1	0.1	89.8	2.1	8.1	0.089	0.520	20.199756	-100.150098				
Amealco	34.66	3	0	5406	2.4	88.3	0.7	6.2	0.9	0.7	0.6	0.1	0.1	90.7	0.7	8.6	0.086	0.513	20.186532	-100.158665				
Lim. Edos. Term. Qro. Ppia. Mich.	39.15	0	0																					
Lim. Edos. Term. Mich. Ppia. Glo.	55.90	0	0																					
Coroneo	59.35	3	0	2222	1.6	86.8	3.6	4.4	1.3	2.1	0.2	0.0	0.0	88.4	3.6	8.0	0.081	0.502	20.194952	-100.376061				
Jerécuaro	79.70	3	0	3080	3.9	84.8	2.8	6.9	0.9	0.5	0.2	0.0	0.0	88.7	2.8	8.5	0.093	0.510	20.144156	-100.539012				
Acámbaro	111.12	1	0	8090	4.2	86.3	1.0	7.1	0.7	0.4	0.3	0.0	0.0	90.5	1.0	8.5	0.083	0.504	20.051619	-100.697791				

4 CARR: Portezuelo - Palmillas													CLAVE: 00194				RUTA: MEX-045				AÑO: 2022			
LUGAR	ESTACION				CLASIFICACION VEHICULAR EN PORCIENTO										COORDENADAS									
	KM	TE	SC	TDPA	M	A	B	C2	C3	T3S2	T3S3	T3S2R4	OTROS	A	B	C	K	D	LATITUD	LONGITUD				
Portezuelo	0.00	3	1	4410	2.2	73.0	3.2	8.8	2.4	6.1	2.8	1.1	0.4	75.2	3.2	21.6	0.079	0.512	20.486605	-99.304276				

Figura 3.2 Formato de los datos incluidos en el archivo PDF de datos viales para el estado de Querétaro

Fuente: DGST (2023)

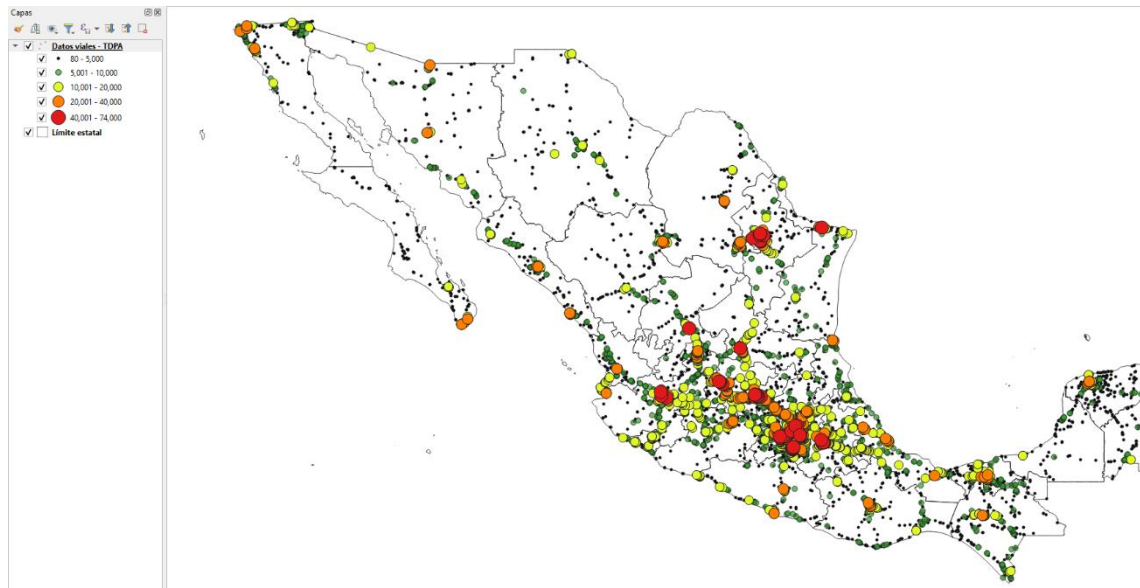


Figura 3.3 Ejemplo de la representación geográfica de los datos viales en el software SIG de escritorio QGIS

Fuente: Elaboración propia con datos de la DGST

3.2 Red carretera clasificación NOM-012

La *NORMA Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2-2017, Sobre el peso y dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte que transitan en las vías generales de comunicación de jurisdicción federal* "tiene por objeto establecer las especificaciones y capacidad de los vehículos de autotransporte federal, servicios auxiliares y transporte privado que transitan en las vías generales de comunicación de jurisdicción federal" (DOF, 2017) y se fundamenta entre otros, en el artículo 6° del Reglamento sobre el Peso, Dimensiones y Capacidad de los Vehículos de Autotransporte que Transitan en los Caminos y Puentes de Jurisdicción Federal (DOF, 2017). Así también, en el artículo 6° se hace referencia a la clasificación de caminos y puentes establecida en el Apéndice del Reglamento, mismos que se clasifican en:

- **CARRETERA TIPO A:** Cuando por sus características geométricas y estructurales permite la operación de todos los vehículos autorizados con las máximas dimensiones, capacidad y peso, excepto aquellos vehículos que por sus dimensiones y peso sólo se permitan en las carreteras tipo ET.

- CARRETERA TIPO B: Cuando conforma la red primaria y que atendiendo a sus características geométricas y estructurales presta un servicio de comunicación interestatal, además de vincular el tránsito.
- CARRETERA TIPO C: Cuando conforma la red secundaria y que atendiendo a sus características geométricas y estructurales principalmente prestan servicio dentro del ámbito estatal con longitudes medias, estableciendo conexiones con la red primaria.
- CARRETERA TIPO D: Cuando conforma la red alimentadora y que atendiendo a sus características geométricas y estructurales principalmente presta servicio dentro del ámbito municipal con longitudes relativamente cortas, estableciendo conexiones con la red secundaria.
- CARRETERA TIPO ET: Cuando forma parte de los ejes de transporte establecidos por la Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transportes (SICT), cuyas características geométricas y estructurales permiten la operación de todos los vehículos autorizados con las máximas dimensiones, capacidad y peso, así como de otros que por interés general autorice la SICT, y que su tránsito se confine a este tipo de caminos.

Así también, en cuanto a sus características geométricas y considerando su sección transversal, la clasificación de una carretera puede ser una de las que se indican en la tabla 3.1:

Tabla 3.1 Clasificación de carreteras por sus secciones transversales

Tipo de carretera	Nomenclatura
Carretera de cuatro carriles, Eje de Transporte	ET4
Carretera de dos carriles, Eje de Transporte	ET2
Carretera de cuatro carriles	A4
Carretera de dos carriles	A2
Carretera de cuatro carriles, red primaria	B4
Carretera de dos carriles, red primaria	B2
Carretera de dos carriles, red secundaria	C
Carretera de dos carriles, red alimentadora	D

Fuente: DOF (2004).

En la figura 3.4 se muestran las carreteras identificadas de acuerdo con la nomenclatura establecida en la NOM-012.



Figura 3.4 Ejemplo de la representación geográfica de la clasificación carretera por la NOM 012

Fuente: Elaboración propia con información de DOF (2017)

3.3 Paradores de servicio

De acuerdo con la Ley de Caminos, Puentes y Autotransporte Federal, los paradores son “instalaciones y construcciones adyacentes al derecho de vía de una carretera federal en las que se presten servicios de alojamiento, alimentación, servicios sanitarios, servicios a vehículos y comunicaciones, a las que se tiene acceso desde la carretera” (LCPAF, 1993).

Los datos de ubicación de los paradores de servicio en la Red Carretera Federal se obtuvieron en formato de Excel diferenciados por tipo, es decir, los que se ubican en las carreteras libres de peaje y los ubicados en la red de carreteras de cuota. Las coordenadas de ubicación se transformaron del formato grados, minutos y segundos a formato decimal para su incorporación al SIG. En la tabla 3.2 se muestra un ejemplo de los datos en su versión alfanumérica, consiste en un extracto de una tabla en formato de Excel que contiene 240 registros y 76 columnas. Posterior a los procesos de georreferenciación se obtuvo su representación espacial como se observa en la figura 3.6.

Tabla 3.2 Ejemplo del formato de origen de la información sobre paradores

Nº	Nombre	Estado	Tipo	Carretera	Ruta	Km	Clasif (RPD)	Lat	Long
1	EL NOVILLO	Baja California Sur	Parador de Servicios	Cabo San Lucas - La Paz	1	194+400	ET2	23.958326	-110.281723
2	Becal	Campeche	Parador Turístico	Campeche - Mérida	180	Km 92+300	ET4	20.4348	-90.0142
3	Sin Nombre	Michoacán	Parador de Servicios	Carapan - Playa Azul	37	63+928	B2	19.4967791	-102.070172
4	PL/7431/EXP/ES/2015	Veracruz	Parador de Servicios	Cd. Alemán - Sayula	145	86+525	A2	18.0064555	95.4014138
5	PL/5556/EXP/ES/2015	Veracruz	Parador de Servicios	Cd. Alemán - Sayula	145	113+975	A2	17.9241277	-95.1629361
6	JESUS ROBERTO DEL CASTILLO RODRIGUEZ	Chihuahua	Parador de Servicios	Cd. Juárez - Janos	2	22+500	B2	31.60863	106.685874
7	Estación Media Luna	San Luis Potosí	Parador de Servicios	Cd. Valles - San Luis Potosí	70	137+700	C	21.936051	-100.026131
8	El Paraiso	San Luis Potosí	Parador de Servicios	Cd. Valles - San Luis Potosí	70	130+300	C	21.921409	-99.959329
9	LA "Y"	Tamaulipas	Parador de Servicios	Cd. Victoria - Matamoros	101	201+500	ET2	25.066571	-98.069918
10	CAMPO ALEGRE	Chihuahua	Parador de Servicios	Chihuahua - El Sueco	45	31+000 (S1)	ET4	28.862838	106.223688

Nota: Extracto de datos de archivo en formato de Excel de 240 registros y 76 columnas de información

Fuente: Elaboración propia con información de la DGST.

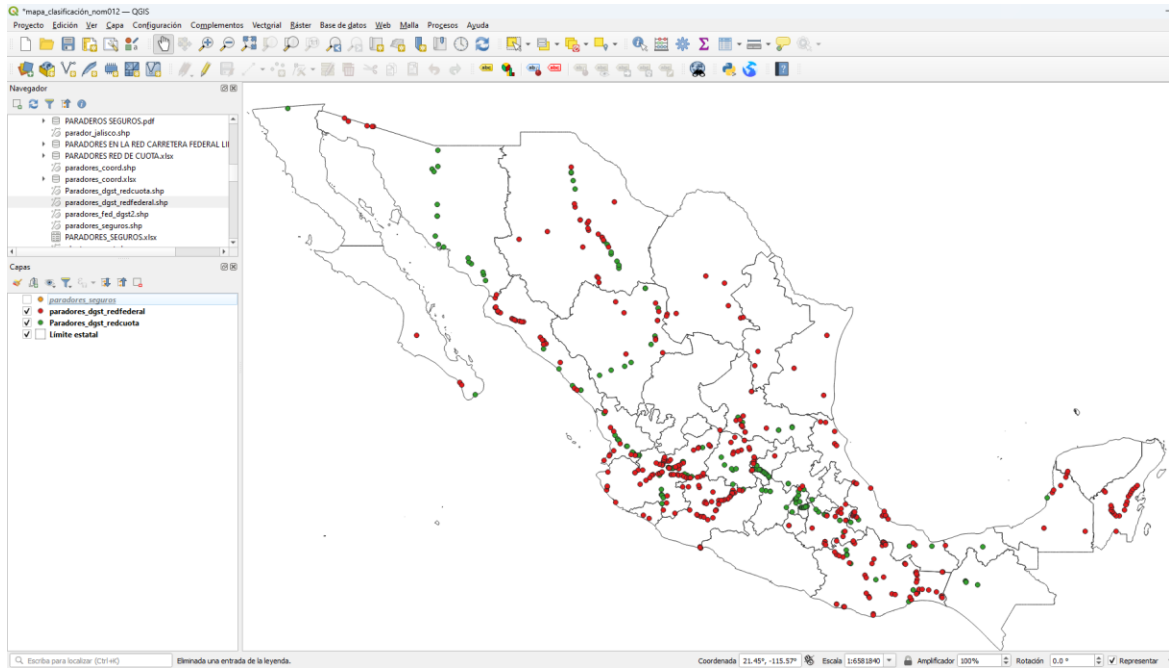


Figura 3.5 Ejemplo de la representación geográfica de la ubicación de los paradores

Fuente: Elaboración propia con información de la DGST

4. Desarrollo y programación de funcionalidad

4.1 Diseño gráfico de la interfaz de usuario

La configuración de la interfaz de usuario se realizó utilizando la librería JavaScript *OpenLayers*, desde la cual se codifica el acceso, visualización y sobreposición de las capas de datos mediante servicios WMS (*Web Map Service*). Las secciones principales que componen la interfaz gráfica de usuario son:

- Menú de capas: mediante este menú, el usuario tiene la posibilidad de habilitar y deshabilitar las capas de información sobre el mapa base. Así mismo, es posible que elija desde una lista de selección una obra determinada, y la aplicación realizará un acercamiento para centrarse sobre la información que sea de interés para el usuario.
- Área de mapa: cuenta con la configuración requerida para que, al abrir la aplicación en un navegador Web el mapa se centre y se visualice el territorio nacional. Así también la capa de datos correspondiente a la red vial del país clasificada por tipo de administración se despliega desde el inicio.
- Panel de datos: En este panel se despliegan tablas estadísticas que complementan la información de las capas de datos, mismas que son posibles de crear si en la información fuente se cuenta con información a detalle que permita integrar dichas tablas.

En la figura 4.1 se muestra la interfaz desarrollada y se señalan los principales elementos antes descritos. Al tratarse de una aplicación Web, es posible su consulta y navegación desde cualquier equipo de cómputo o dispositivo móvil con un navegador de Internet, como puede ser Chrome, Firefox, Safari, etc.

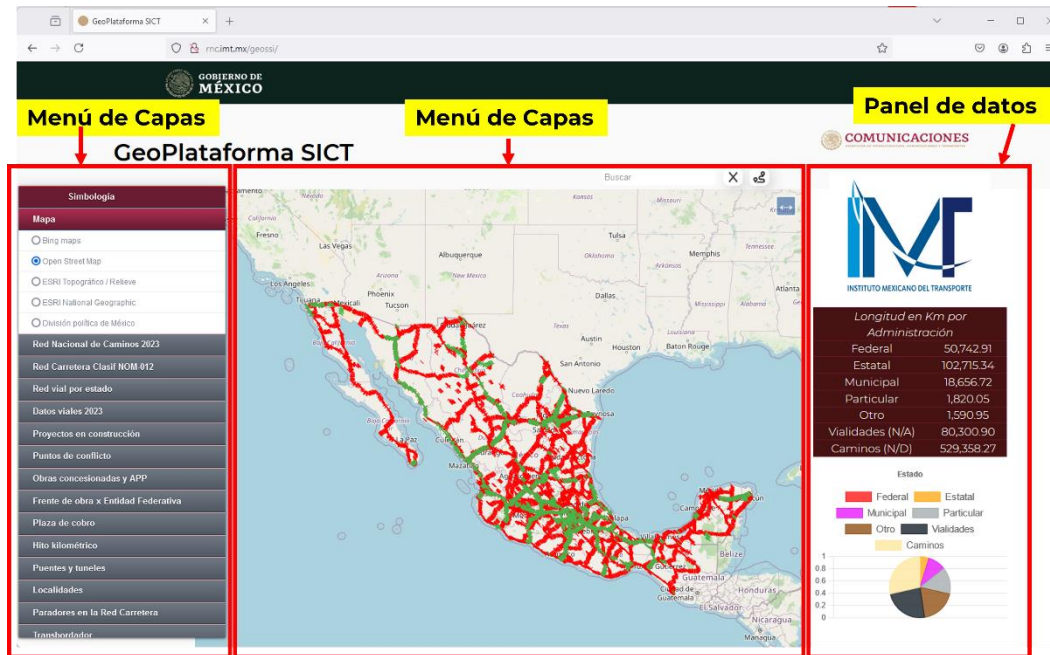


Figura 4.1 Principales elementos de la interfaz de usuario

Fuente: Elaboración propia con base en <http://rnc.imt.mx/geossi>

4.2 Implementación de paneles para despliegue de menú y tablas de datos

Para algunas capas de información que se encuentran disponibles para ser activadas desde el menú, fue posible crear una tabla resumen en la que se incluyen estadísticas sobre los elementos contenidos. Para facilitar al usuario la visualización de esta tabla, se implementó un panel en el cual, al momento que se activa la opción del menú para visualizar los datos en el mapa, se habilita también la visualización de la tabla estadística en el panel de datos. En la figura 4.2 se muestra la ubicación y un ejemplo de consulta para la capa de puentes.

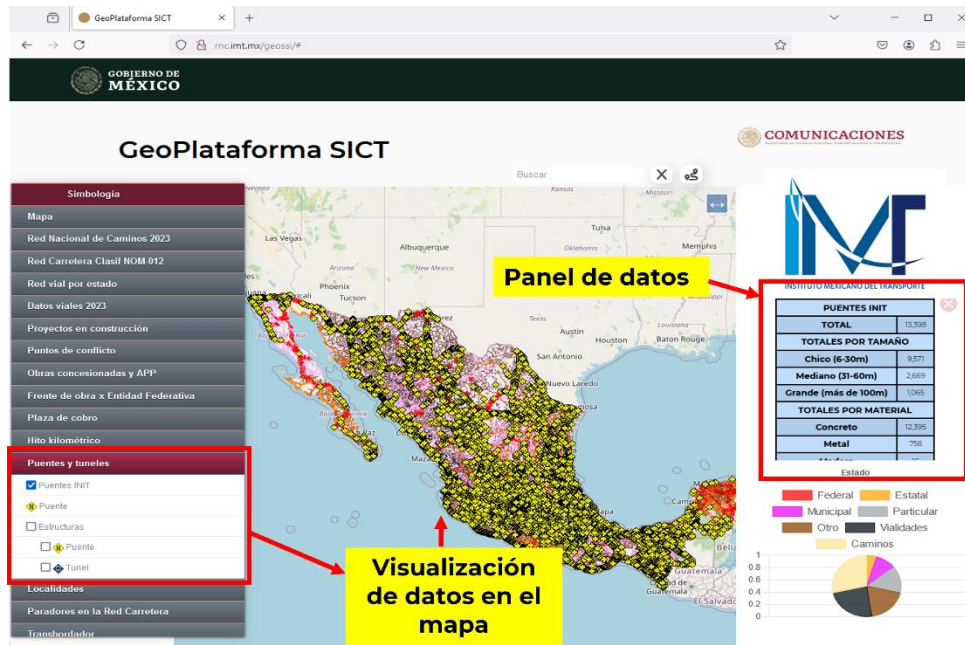


Figura 4.2 Panel para despliegue de menú y tablas de datos

Fuente: Elaboración propia con base en <http://rnc.imt.mx/geossi>

4.3 Incorporación de herramienta para búsqueda

El Servicio Web SAKBÉ (INEGI, 2017) da acceso al Sistema de Ruteo de México, el cual fue desarrollado por el INEGI y puede ser utilizado para consultar e identificar los elementos que forman parte del conjunto de datos de la RNC. De esta manera, es posible ubicar casi todas las localidades del país y diversos puntos de interés registrados en la base de datos.

En la figura 4.3 se muestra la ubicación de la herramienta de búsqueda que se implementó en la interfaz de usuario, la cual consiste en un espacio para introducir el nombre del sitio de interés o identificar un destino en el mapa. Al comenzar a escribir en el espacio señalado, se abre un cuadro en el que se enlistan los resultados que coinciden con la palabra o parte de ella. Para comenzar la búsqueda, sólo se requiere hacer clic en la tecla “Enter” o seleccionar de la lista alguno de los resultados. El mapa será centrado automáticamente para mostrar la ubicación del sitio consultado. En la figura 4.4 se muestra el resultado después de activar la búsqueda. En este ejemplo se realizó la búsqueda de la localidad de Tuxtla Gutiérrez, Chis.



Figura 4.3 Herramienta para búsqueda de elementos en el mapa

Fuente: Elaboración propia con base en <http://rnc.imt.mx/geossi>

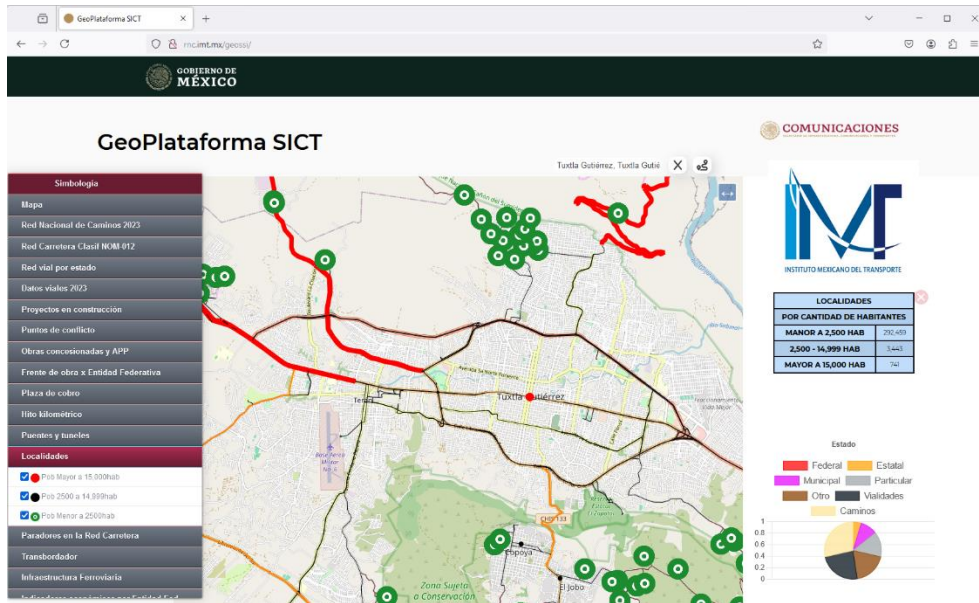


Figura 4.4 Ejemplo de visualización del resultado de una búsqueda de localidad

Fuente: Elaboración propia con base en <http://rnc.imt.mx/geossi>

4.4 Incorporación de herramienta para realizar análisis de rutas

La funcionalidad principal del Servicio Web SAKBÉ (INEGI) es el cálculo de tres tipos de rutas utilizando como insumo, la red vial de la RNC; ruta optima o sugerida, que incluye tramos de la red carretera libres y de cuota; preferentemente libre, en la que se seleccionan solo carreteras libres de peaje; preferentemente cuota, en la cual se buscará crear la ruta con la mayor cantidad de carreteras o autopistas de cuota.

Para incorporar la funcionalidad en la aplicación Web de la GeoPlataforma SICT, se realizó la configuración de los controles necesarios que permiten al usuario ingresar los parámetros requeridos por SAKBÉ. En la figura 4.5 se muestra la ubicación de la herramienta, mientras que en la figura 4.6 se identifica cada uno de los íconos que proveen de funcionalidad específica al momento de configurar un cálculo de ruta.



Figura 4.5 Herramienta para análisis de rutas

Fuente: Elaboración propia con base en <http://rnc.imt.mx/geossi>

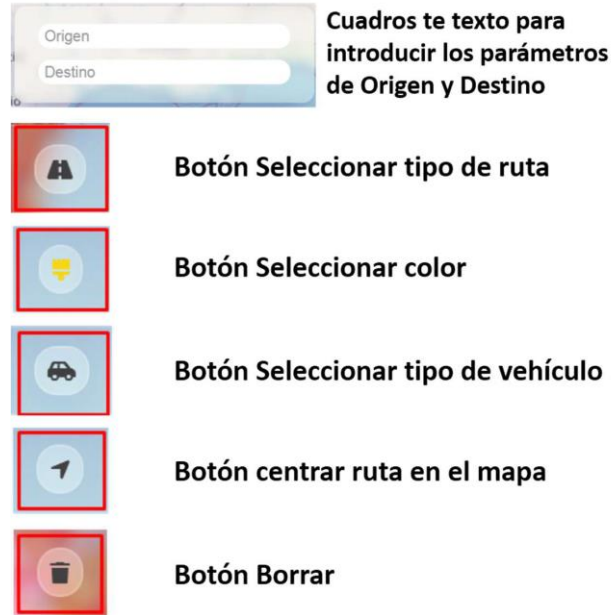


Figura 4.6 Identificación de controles

Fuente: Elaboración propia con base en <http://rnc.imt.mx/geossi>

Cuadro de texto Origen: Sirve para indicar el punto de origen para calcular la ruta. Este cuadro de texto se llena al elegir y hacer clic con el mouse de la computadora en un punto del mapa. La segunda manera para introducir el parámetro de origen es mediante el cuadro de texto “Buscar”, al escribir el origen deseado y hacer clic en el botón “Enter” del teclado el campo se llena automáticamente.

Cuadro de texto Destino: Sirve para indicar el punto de destino para calcular la ruta. Este cuadro de texto se llena al elegir y hacer clic con el mouse de la computadora en un punto del mapa. La segunda manera para introducir el parámetro destino, es mediante el cuadro de texto “Buscar”, al escribir el destino deseado y hacer clic en el botón “Enter” del teclado el campo se llena automáticamente.

Botón para seleccionar el tipo de ruta: Este botón permite seleccionar el tipo de ruta que se va a calcular. Las opciones son:

- Sugerida: Da como resultado la ruta óptima ya que no realiza ningún cálculo de ponderación en función del derecho de tránsito y se obtiene el resultado en función del tiempo de traslado.
- Preferentemente libre: Esta modalidad da prioridad a carreteras libres en aquellos casos donde existen carreteras alternas hacia el mismo destino.

- Preferentemente cuota: Esta modalidad da prioridad de transitar en carreteras de cuota.

Botón para seleccionar color: Este botón permite cambiar el color con el que se dibuja la ruta obtenida en el área del mapa, lo cual permite distinguir la línea obtenida de la simbología utilizada para representar algunas carreteras de la red vial.

Botón para seleccionar el tipo de vehículo: Mediante este botón se especifica el tipo de vehículo mismo que se considera para realizar el cálculo de la ruta, ya que dependiendo de este dato se calcula el costo de peaje en autopistas, libramientos, puentes y túneles de cuota.

Botón para centrar la ruta en el mapa: Permite centrar en el mapa la ruta obtenida.

Botón borrar: Se utiliza este botón para borrar tanto el resultado obtenido del cálculo de la ruta, así como los parámetros de origen y destino que se introdujeron en los cuadros de texto correspondientes.

4.5 Incorporación de herramienta para limpiar mapa

En el panel correspondiente al menú de capas, la penúltima opción de la lista corresponde a la herramienta “Limpiar mapa”, misma que consiste en un botón, desactivar al mismo tiempo todas las capas de datos que hayan sido activadas por el usuario, con lo que se reinicia el despliegue de las capas en el área del mapa y comenzar una sobreposición de estas en una configuración de orden distinto.

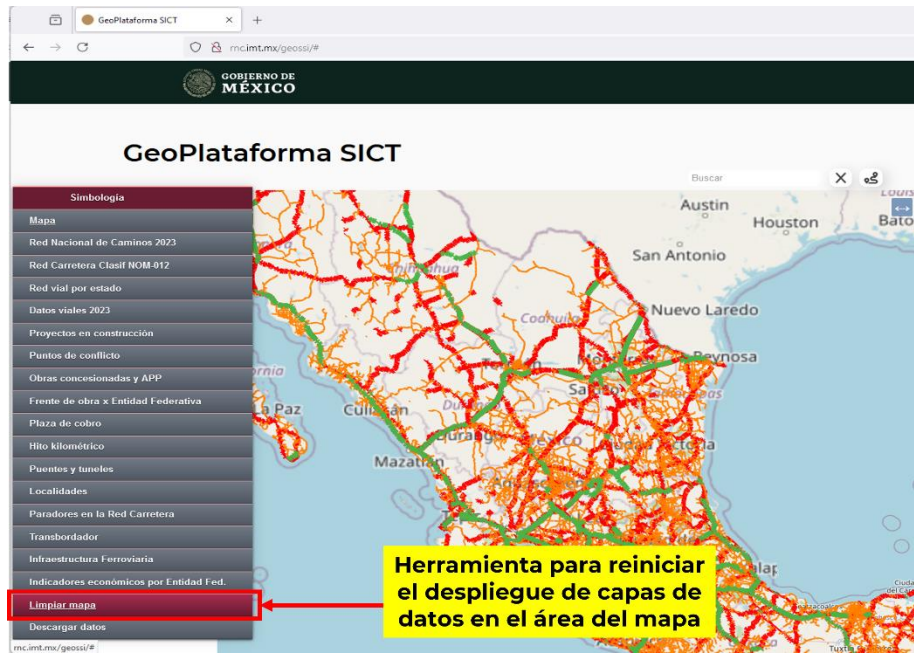


Figura 4.7 Herramienta para limpiar mapa

Fuente: Elaboración propia con base en <http://rnc.imt.mx/geossi>

Conclusiones

Contar con la primera versión de la GeoPlataforma SICT constituye un avance significativo en la consolidación de una propuesta de GeoInteligencia para la gestión de información geoespacial de la infraestructura para el transporte al interior de la SICT. Las posibilidades de visualización y análisis espacial que se ofrecen en esta herramienta coadyuvan a una mejor comprensión de la información y suma en gran medida a la mejora en procesos claves para el sector transporte, como lo son, la planeación estratégica, la eficiencia operativa y la toma de decisiones. Así también, la integración de tecnologías avanzadas favorece la competitividad y se impulsa la innovación en la manera de compartir información que es de interés público.

Para llevar a cabo este desarrollo, optar por una solución geoespacial de código abierto representó una alternativa viable y atractiva en términos de costo, flexibilidad y un mejor control del proceso; además de los beneficios derivados por facilitar la personalización de las aplicaciones a la medida y con una mejor capacidad de adaptación a los recursos tecnológicos con los que se cuenta actualmente en el IMT. Al formar parte de la Plataforma Geoespacial del IMT, para el producto final, GeoPlataforma SICT, se facilitó su configuración de salida a la Web, disponible en la dirección: <http://rnc.imt.mx/geossi>.

Después de finalizar la publicación vía Web de la aplicación, se realizaron numerosas pruebas de carga de las capas de datos, en diferentes escalas. Así también, consultas a los elementos en el mapa para verificar el correcto acceso a la tabla de la base de datos y la representación de los estilos personalizados para cada tipo de elemento.

Como parte de la funcionalidad comprobada, se encuentra la posibilidad de activar varias capas de datos en una misma visualización y, al mismo tiempo, interactuar con la información mediante clics en los elementos para obtener mayor detalle; realizar “zoom +” y “zoom –” para acercar o alejar un área determinada y realizar análisis geoespacial. Mediante estas herramientas de representación se contribuye significativamente en las actividades en las que se requiere priorizar el análisis y la planeación de obras para mejorar la infraestructura caminera. Así también, se presenta la posibilidad de identificar y crear nuevas rutas al tener una mejor

representación de la información relacionada con la operación de la infraestructura para el transporte.

Es de gran relevancia considerar fases de desarrollo subsecuentes con la finalidad de mantener actualizada la información geoespacial disponible, así como en la integración de otros conjuntos de datos de interés para el sector. Así también, derivado de los constantes cambios y evolución en el área de las Tecnologías de la Información y de geotecnologías aplicadas, principalmente en el desarrollo de software y el acceso a bases de datos masivos correlacionados, se impone el requerimiento de evaluar continuamente los aspectos de funcionalidad e interoperabilidad de la GeoPlataforma SICT. De esta forma, y en conjunto con el establecimiento de procesos mediante los cuales se agilice su integración y ejecuten pruebas de desempeño constantes, se asegurará la disponibilidad de información útil, veraz, confiable y oportuna para apoyo a la toma de decisiones en la gestión de la infraestructura del transporte en México.

Bibliografía

- Autodesk. (2024). *Soluciones de Autodesk por industria: Arquitectura, ingeniería y construcción*. [Consulta en línea]. <https://www.autodesk.com/latam/solutions#architecture-engineering-and-construction>
- Bentley. (2024). *Bentley Systems*. [Consulta en línea]. <https://es-la.bentley.com/>
- Diario Oficial de la Federación [DOF]. (1993). *Ley de Caminos, Puentes y Autotransporte Federal [LCPAF], Reformada*. (México).
- Diario Oficial de la Federación [DOF]. (2021) *ACUERDO por el que se emiten las políticas y disposiciones para impulsar el uso y aprovechamiento de la informática, el gobierno digital, las tecnologías de la información y comunicación, y la seguridad de la información en la Administración Pública Federal*. Secretaría de Gobernación. México.
- Diario Oficial de la Federación [DOF]. (2017) *NORMA Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2-2017, Sobre el peso y dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte que transitan en las vías generales de comunicación de jurisdicción federal*. Secretaría de Gobernación. México.
- Diario Oficial de la Federación [DOF]. (2004) *PROYECTO de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-034-SCT2-2003, Señalamiento horizontal y vertical de carreteras y vialidades urbanas*. Secretaría de Gobernación. México.
- Dirección General de Servicios Técnicos [DGST]. (2023) *Capacidad y Niveles de Servicio en la Red Federal de Carreteras 2023*. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. México.
- Dirección General de Servicios Técnicos [DGST]. (2023). *Datos viales 2023*. Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transportes. México.
- Dirección General de Servicios Técnicos [DGST]. (2022). *Paradores Libre Peaje 2022*. [Consulta en línea]. <https://www.sct.gob.mx/carreteras/direccion-general-de-servicios-tecnicos/paradores-de-servicio/paradores-libre-peaje-2022/>

Environmental Systems Research Institute [ESRI]. (2024) *ArcGIS: Esri's comprehensive geospatial platform*. [Consulta en línea]. <https://www.esri.com/en-us/home>

GeoServer. (2024) *Geoserver*. [Consulta en línea]. <https://geoserver.org/>

GrassGIS. (2024) *GrassGIS*. [Consulta en línea]. <https://grass.osgeo.org/>

GvSIG. (2024) *GvSIG*. [Consulta en línea]. <http://www.gvsig.com/es>

Hexagon. (2024) *Hexagon's Safety, Infrastructure & Geospatial division*. [Consulta en línea]. <https://hexagon.com/company/divisions/safety-infrastructure-geospatial>

Instituto Mexicano del Transporte [IMT]. (2023). *Red Nacional de Caminos*. [Consulta en línea]. <https://www.gob.mx/imt/acciones-y-programas/red-nacional-de-caminos>

Instituto Mexicano del Transporte [IMT]. (2023). *Visualizador Geocartográfico de la Red Nacional de Caminos*. [Consulta en línea]. <https://rnc.imt.mx>

Instituto Mexicano del Transporte [IMT]. (2023). *Visualizador Geocartográfico de la Participación de las Mujeres en el Programa de Pavimentación de Caminos Rurales en Oaxaca*. [Consulta en línea]. <https://rnc.imt.mx/caminos>

Instituto Mexicano del Transporte [IMT]. (2023). *Geoplataforma M-Q*. [Consulta en línea]. <https://rnc.imt.mx/mexqro>

Instituto Mexicano del Transporte [IMT]. (2023). *Plataforma Geoespacial para la Gestión del Transporte*. [Consulta en línea]. <https://rnc.imt.mx/tablero>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2024). *MxSIG*. [Consulta en línea]. <https://www.inegi.org.mx/servicios/mxsig.html>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2022). *Marco Geoestadístico*. [Consulta en línea]. <https://www.inegi.org.mx/temas/mg/#Descargas>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2017). *Interfaz de Programación de Aplicaciones (API), versión 3.1 Servicio Web de Ruteo*. México

-
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. *API de ruteo* [Consulta en línea]. <https://www.inegi.org.mx/servicios/Ruteo/Default.html>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2017). *Sakbé, Sistema de Ruteo de México Versión 2.0*. [Consulta en línea]. http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/PDF/SAKBE_Sistema_de_Ruteo_de_Mexico_ANT2017.pdf
- MapInfo. (2024) *MapInfo Profesional V16.0*. [Consulta en línea]. <https://www.geobis.com/es/mapinfo-gis-software/>
- Morales, E., Backhoff, M., González Moreno, J., Vázquez Paulino, J. (2023). *Plataforma geoespacial: herramienta plurifuncional para la gestión del transporte – fase II*. [Publicación técnica No. 753]. México: Instituto Mexicano del Transporte. [Archivo PDF]. <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt753.pdf>
- Morales, E., Backhoff, M., González Moreno, J., Vázquez Paulino, J. (2022). *Plataforma geoespacial: herramienta plurifuncional para la gestión del transporte*. [Publicación técnica No. 678]. México: Instituto Mexicano del Transporte. [Archivo PDF]. <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt678.pdf>
- Morales, E., Backhoff, M., González Moreno, J., Vázquez Paulino, J. (2020). *Plataforma de integración geosistémica para la gestión de la información del estado de la Red Federal de Carreteras*. [Publicación técnica No. 589]. México. Instituto Mexicano del Transporte. [Archivo PDF]. <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt589.pdf>
- QGIS. (2024) *QGIS*. [Consulta en línea]. <https://www.qgis.org/es/site/>
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes [SCT]. (2016). *Manual para obtener los volúmenes de tránsito en carreteras*. México.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes [SCT]. (2018). *Manual de proyecto geométrico de carreteras 2018*. México.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes [SCT]. (2017). *Norma Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2-2017, Sobre el peso y dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte que transitan en las vías generales de comunicación de jurisdicción federal*. [Consulta en línea]. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5508944&fecha=26/12/2017#gsc.tab=0
-

Trimble. (2024) *Trimble Technology Solutions*. [Consulta en línea].
<https://www.trimble.com/en/solutions/technologies/overview>

Waze (s.f.). *Indicaciones para llegar*. [Consulta en línea].
<https://www.waze.com/es/live-map/>



COMUNICACIONES

SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA, COMUNICACIONES Y TRANSPORTES



Km 12+000 Carretera Estatal 431 "El Colorado-Galindo"
San Fandila, Pedro Escobedo
C.P. 76703
Querétaro, México
Tel: +52 442 216 97 77 ext. 2610

publicaciones@imt.mx

<http://www.imt.mx/>