



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

Plataforma geoespacial: herramienta plurifuncional para la gestión del transporte

Elsa María Morales Bautista
Miguel Ángel Backhoff Pohls
Jonatan Omar González Moreno
Juan Carlos Vázquez Paulino

Publicación Técnica No. 678
Sanfandila, Qro.
2022

ISSN 0188-7297

Esta investigación fue realizada en la Coordinación de Estudios Económicos y Sociales del Transporte del Instituto Mexicano del Transporte, por la Mtra. Elsa María Morales Bautista, el Mtro. Miguel Ángel Backhoff Pohls, el Mtro. Jonatan Omar González Moreno y el Lic. Juan Carlos Vázquez Paulino, quienes forman parte de la Unidad de Sistemas de Información Geoespacial (USIG).

Esta investigación es el producto final del proyecto de investigación interna OI-05/21: Plataforma geoespacial: herramienta plurifuncional para la gestión del transporte.

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

Contenido

	Página
Índice de figuras.....	iii
Índice de tablas.....	v
Sinopsis.....	vii
Abstract.....	ix
Resumen Ejecutivo.....	xi
Introducción.....	1
1 Antecedentes.....	3
2 Preparación y análisis de datos geoespaciales.....	15
3 Diseño y desarrollo de la plataforma geoespacial.....	23
Conclusiones.....	35
Bibliografía.....	37

Índice de figuras

Figura 1.1	Red Nacional de Caminos 2021. Carreteras por tipo de administración.....	4
Figura 1.2	Ejemplo de la representación geográfica de los datos viales....	5
Figura 1.3	Ejemplo de la representación geográfica de los datos de capacidad y niveles de servicio.....	7
Figura 1.4	Despliegue de la capa de carreteras con administración Federal en el visualizador geocartográfico de la RNC.....	8
Figura 1.5	Diseño gráfico de distintos tipos de tableros de control.....	11
Figura 2.1	Conversión de unidades de longitud en los datos de red vial.....	16
Figura 2.2	Red vial de la RNC2021 simbolizada por estado.....	17
Figura 2.3	Estructura del administrador de bases de datos <i>PostgreSQL</i> ...	20
Figura 2.4	Visualización de los datos importados en <i>PostgreSQL</i>	21
Figura 3.1	Diseño de interfaz gráfica.....	23
Figura 3.2	Interfaz gráfica de <i>GeoServer</i>	25
Figura 3.3	Diferencia de visualización de la red vial con estilo por default y estilo personalizado.....	25
Figura 3.4	Estilos de línea asignados para representar la red vial por tipo de administración.....	26
Figura 3.5	Estilos de línea creado para representar la red ferroviaria por concesionario.....	26
Figura 3.6	Estilos de línea creado para representar la red vial clasificada por la NOM-012.....	27

Figura 3.7	Estilo creado para representar información de tipo punto contenida en la capa de datos de ubicación de paradores para el transporte de carga.....	27
Figura 3.8	Interacción entre el usuario y la aplicación.....	28
Figura 3.9	Proceso de petición o consulta de información geoespacial.....	29
Figura 3.10	Interfaz gráfica de la plataforma en su primera versión.....	29
Figura 3.11	Opciones de Mapa base.....	30
Figura 3.12	Herramienta de selección de estado.....	31
Figura 3.13	Despliegue de datos para un estado seleccionado.....	32
Figura 3.14	Controles de apoyo en la visualización del mapa.....	32
Figura 3.15	Opciones para descarga de datos.....	33

Índice de tablas

Tabla 1.1	Herramientas para desarrollo de software y desarrollo Web.....	12
Tabla 2.1	Longitud de la red vial por estado.....	18
Tabla 2.2	Estadísticas obtenidas de la red vial por estado y por tipo de administración.....	19

Sinopsis

En el presente estudio se realizó la exploración de herramientas geoinformáticas que pudieran ser implementadas en la conformación de una plataforma geoespacial disponible vía Web para facilitar el análisis y óptimo aprovechamiento de la información georreferenciada del transporte. Dicha plataforma le permite al Instituto Mexicano del Transporte (IMT) por una parte, cumplir con el mandato de publicación actualizada cada año de la Red Nacional de Caminos, establecido en el Diario Oficial de la Federación el 6 de octubre de 2014, fecha en la que fue declarada como Información de Interés Nacional, y por otro lado, ampliar sus funciones operativas para visualización, análisis y representación geocartográfica de los otros modos del transporte y de la información multitemática relacionada.

Los datos que se integran en la plataforma desarrollada corresponden a la Red Nacional de Caminos (RNC) en su versión 2021. Se realizaron los procedimientos necesarios para ofrecer al usuario final la posibilidad de realizar la consulta y descarga de los datos por entidad federativa, así como visualizar información relativa a las estadísticas de longitud de la red carretera a nivel nacional y por estado.

Abstract

In the present study, the exploration of geoinformatics tools that could be implemented in the formation of a geospatial platform available via the Web was carried out to facilitate the analysis and optimal use of georeferenced transport information. This platform allows the Mexican Transportation Institute (IMT), on the one hand, to comply with the mandate of publication updated each year of the National Road Network, established in the Official Gazette of the Federation on October 6, 2014, date on the which was declared as Information of National Interest, and on the other hand, expand its operational functions for visualization, analysis and geocartographic representation of the other modes of transport and related multi-thematic information.

The data that is integrated into the developed platform correspond to the National Road Network in its 2021 version. The necessary procedures were carried out to offer the end user the possibility of consulting and downloading the data by federal entity, as well as viewing related information to the statistics of the length of the highway network at the national level and by state.

Resumen ejecutivo

El presente trabajo de desarrollo forma parte de la línea de investigación de Sistemas de Información Geoestadística para el Transporte. Está orientado principalmente a generar utilidad a los responsables de la toma de decisiones de la Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transportes (SICT), al proveerles de las herramientas geoinformáticas que faciliten la gestión, análisis y óptimo aprovechamiento de la información georreferenciada del transporte.

En el capítulo uno se describen los antecedentes del proyecto. Entre ellos se encuentra la identificación de los principales conjuntos de datos geoespaciales y alfanuméricos que son de gran relevancia en el sector. Se describe el visualizador geocartográfico de la Red Nacional de Caminos (RNC) como interfaz de acceso y consulta de información y que constituye la base a partir de la cual se diseñó y se integraron elementos gráficos para facilitar la comprensión de los datos. Lo anterior en respuesta a la necesidad de ofrecer una mejor experiencia de uso y al mismo tiempo cumplir con el mandato de publicación de la RNC que es actualizada cada año por tratarse de información de interés nacional.

En el capítulo dos, se describe parte de la preparación y análisis de los datos que serán publicados en la plataforma geoespacial. Procesos tales como la obtención de estadísticas, conversión de formatos y unidades de medida, deben llevarse a cabo antes de que los conjuntos de datos se incorporen en un software administrador de bases de datos. Lo anterior facilita las tareas necesarias para llegar a su publicación final a través de una aplicación de visualización gráfica en Internet.

La descripción del proceso de diseño y desarrollo de la plataforma geoespacial se detalla en el capítulo tres. Esta etapa resultó de vital importancia para lograr los objetivos del proyecto, ya que un tema en el que es necesario poner énfasis es la representación cartográfica de los datos. Lograr integrar la información de manera que sea comprensible y visualmente atractiva constituye un reto a superar ya que implica realizar numerosas pruebas de despliegue de los datos, así como combinaciones de colores y generación de estilos individuales para cada tipo de geometría, de manera que la navegación por los datos pueda realizarse de forma amigable y visiblemente estética.

Se concluye que establecer un plan de actualización para cada uno de los componentes que integran la plataforma desarrollada es de vital importancia para lograr que se mantenga vigente. Las herramientas de software se mantienen en constante evolución, por lo que es necesario realizar una evaluación continua y pruebas de desempeño que permitan determinar su viabilidad para cumplir los

objetivos establecidos. Se considera de gran valor diseñar mecanismos de colaboración con las áreas generadoras de datos e información tanto al interior del IMT como de la SICT para la publicación de sus propios datos, así como para la obtención de retroalimentación que permita identificar oportunidades de mejora y ofrecer un mejor producto.

Introducción

En la época actual, cualquier actividad humana que se desarrolla en un espacio geográfico puede ser objeto de análisis a través de imágenes, bases de datos y otra información georreferenciada asociada. Dicho análisis se considera uno de los alcances de la inteligencia geoespacial y que a su vez es precursor de la toma de decisiones estratégicas en diversas áreas que van desde pequeños negocios, empresas, entidades gubernamentales, organizaciones internacionales, etc.

La geointeligencia aplicada al transporte, como parte de las líneas de investigación de la Unidad de Sistemas de Información Geoespacial (USIG), propone actividades científicas de investigación básica y aplicada que resulten de utilidad para que los responsables de la toma de decisiones de la Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transportes (SICT) tengan información, procesos y métodos para coadyuvar en administrar y operar eficientemente la infraestructura carretera. Así mismo, el presente proyecto 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

Uno de los principales instrumentos de apoyo en la geointeligencia aplicada al transporte, es la integración de un valioso conjunto de datos e información en formato digital y geográficamente referenciada, resultado de toda una historia de desarrollo de proyectos tendentes a la identificación, evaluación y adaptación de tecnologías como los Sistemas de Información Geográfica, Sistemas de Posicionamiento Global, procesamiento de imágenes de satélite, cartografía

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

² Programa Sectorial de Comunicaciones y Transportes 2020-2024

colaborativa, datos masivos geoespaciales (*Geospatial Big Data*) y vehículos aéreos no tripulados (drones).

1. Antecedentes

El Instituto Mexicano del Transporte a través de la USIG, por más de tres décadas ha tenido como uno de sus propósitos principales, generar aplicaciones que apoyen la planeación, gestión y operación del transporte. Y en la actualidad, cobra mayor relevancia, el ofrecer no solo al interior del sector transporte, sino a la sociedad en general, herramientas que permitan el fácil acceso a la información que detalla la ubicación y características de la infraestructura de los distintos modos de transporte, desde cualquier ubicación en el país y el mundo.

La integración de tecnologías de software y hardware, así como el crecimiento y gran expansión de redes de comunicaciones e Internet han fomentado el interés en la aplicación y aprovechamiento de los datos geoespaciales, así como la posibilidad de intercambiar información sin prácticamente ningún requerimiento especial, más que contar con un dispositivo con navegador Web y con acceso a Internet. El intercambio de datos de diversa índole se ha favorecido gracias al desarrollo de servicios Web, los cuales consisten en protocolos y estándares que permiten la interacción dinámica entre aplicaciones y usuarios, quienes han visto enriquecida esta interacción al tener acceso a mejores herramientas de visualización, análisis y consulta de información de carácter geográfico. Lo anterior, aunado a la posibilidad de incorporar numerosos elementos multimedia para observar distintos enfoques de la información representa una oportunidad de mejorar los procesos de análisis para una mejor toma de decisiones.

1.1 La Red Nacional de Caminos y otros datos georreferenciados del transporte

1.1.1 La Red Nacional de Caminos

La Red Nacional de Caminos (RNC), 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) mismo que le permite trascender a niveles superiores de interoperabilidad con alcances multitemático y plurisectorial. La RNC integra el total de la red pavimentada y la mayor parte de los caminos no pavimentados de México, las vialidades de las localidades urbanas y rurales con las que se conectan, vías fluviales y marítimas donde se transbordan vehículos y, adicionalmente, servicios de interconexión de transporte como aeropuertos, puertos, estaciones de ferrocarril, aduanas, puentes y túneles, sitios de esparcimiento y recreativos, sitios de interés para el turismo, entre otros.

La RNC ha sido modelada a gran detalle de acuerdo a su funcionalidad en el mundo real, con las especificaciones técnicas para Sistemas Inteligentes de Transporte, soportada con el estándar internacional ISO 14825:2011 Intelligent transport systems - Geographic Data Files (GDF) - GDF5.0, considerando elementos restrictivos para la circulación vehicular, con la característica de responder a métodos de ruteo, e información diversa como destinos, infraestructura y servicios asociados al tema de transportes, todo esto a efecto de atender los requerimientos de los diversos usuarios que demandan de esta información, así como apoyo a operativos de diversa índole que requieren establecer o planificar rutas óptimas para viajes o para fines de distribución.

En cifras, la RNC en su edición 2021 se compone por 175 526 km de carreteras pavimentadas, de las cuales 50 743 km corresponden a carreteras federales, 102 715 km a carreteras estatales y 22 067 km de otra jurisdicción (municipales o particulares). Se clasifican como carreteras de cuota, 10 845 km y se integran un total de 80 301 km de vialidades urbanas e infraestructura de enlace. También se incluyen en la RNC, caminos no pavimentados y veredas, contabilizándose 529 358 km y 21 936 km respectivamente. La longitud total consta de 807 121 km. En la figura 1.1 se muestra la representación del total de la red vial simbolizada por tipo de administración.



Fuente: Elaboración propia

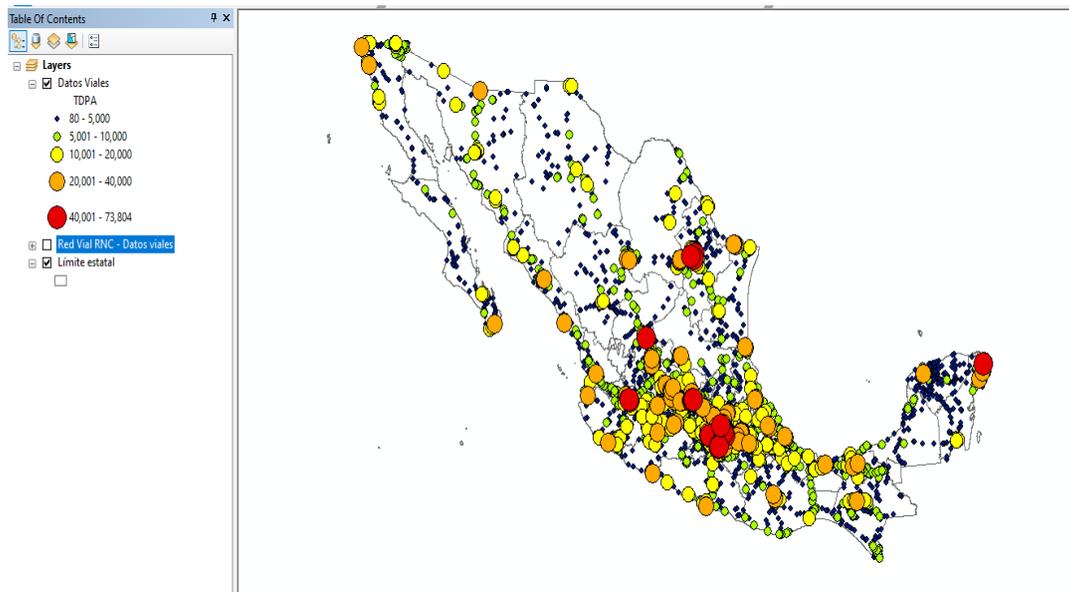
Figura 1.1 Red Nacional de Caminos 2021. Carreteras por tipo de administración

1.1.2 Datos Viales

Las actividades que realiza la Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transportes para profundizar en el conocimiento del transporte carretero nacional, incluyen la operación de un sistema de conteo vehicular, que permite conocer anualmente los volúmenes y la clasificación del tránsito que circula por la red Carretera.

El conocimiento oportuno y permanente de la situación que guarda la red nacional de carreteras, es fundamental para el análisis y toma de decisiones tendientes al desarrollo del sistema de transporte por carretera y para examinar su interrelación con los demás modos de transporte.

El valor de esta información trasciende el ámbito de trabajo de la propia Secretaría, por lo anterior, los datos recopilados se ponen a disposición de los interesados, a través del libro Datos Viales que edita la Dirección General de Servicios Técnicos (DGST). A partir de esta publicación, es posible mediante diversos procesos, obtener la información en formato tabular para posteriormente ingresarla y asociarla al sistema de información geográfica, lo cual hace posible la consulta y visualización de la información en un mapa. Un ejemplo de su representación se muestra en la figura 1.2 en la que se aprecia el TDPA (tránsito diario promedio anual) a lo largo de la red federal de carreteras.



Fuente: Elaboración propia

Figura 1.2 Ejemplo de la representación geográfica de los datos viales

1.1.3 Información sobre capacidad y niveles de servicio

El grado de calidad de servicio que prevalece en cada tramo de la red carretera, se mide cuantitativa y cualitativamente mediante el cálculo de los niveles de servicio, los cuales orientan el establecimiento de políticas acordes con las necesidades socioeconómicas para la planeación, modernización y conservación de la infraestructura carretera. Por tal motivo, la DGST realiza la preparación y publicación del documento en el que se proporciona información útil para las diversas tareas de la administración y gestión de la red carretera nacional. En la figura 1.3 se muestra un ejemplo de la representación geográfica de los datos de capacidad y niveles de servicio.

Por capacidad se entiende como el número máximo de vehículos que pueden circular por un camino durante un lapso de una hora; de esta forma, los niveles de servicio son una medida cualitativa del efecto de una serie de factores, entre los cuales se pueden citar: la velocidad, el tiempo de recorrido, las interrupciones al movimiento continuo del tránsito, la libertad de manejo, la comodidad y los costos de operación. En la práctica se manejan seis niveles de servicio para identificar las condiciones de operación de un camino, siendo estos los siguientes:

NIVEL DE SERVICIO “A”

Corresponde a una condición de flujo libre, con volúmenes de tránsito bajos; la velocidad depende del deseo de los conductores dentro de los límites impuestos y bajo las condiciones físicas de la carretera.

NIVEL DE SERVICIO “B”

Se considera como flujo estable, los conductores tienen una libertad razonable para elegir sus velocidades y el carril de operación.

NIVEL DE SERVICIO “C”

El flujo es estable, los conductores perciben restricciones tanto para elegir su velocidad, como para efectuar maniobras de cambio de carril de rebase; se obtiene una velocidad de operación satisfactoria. Es deseable que este nivel de servicio sea el más desfavorable al que operen las vialidades.

NIVEL DE SERVICIO “D”

Esta condición se aproxima al flujo inestable; la velocidad de operación aún es satisfactoria, pero resulta afectada por los cambios en las condiciones de operación. Los conductores tienen poca libertad de maniobra con la consecuente pérdida de comodidad.

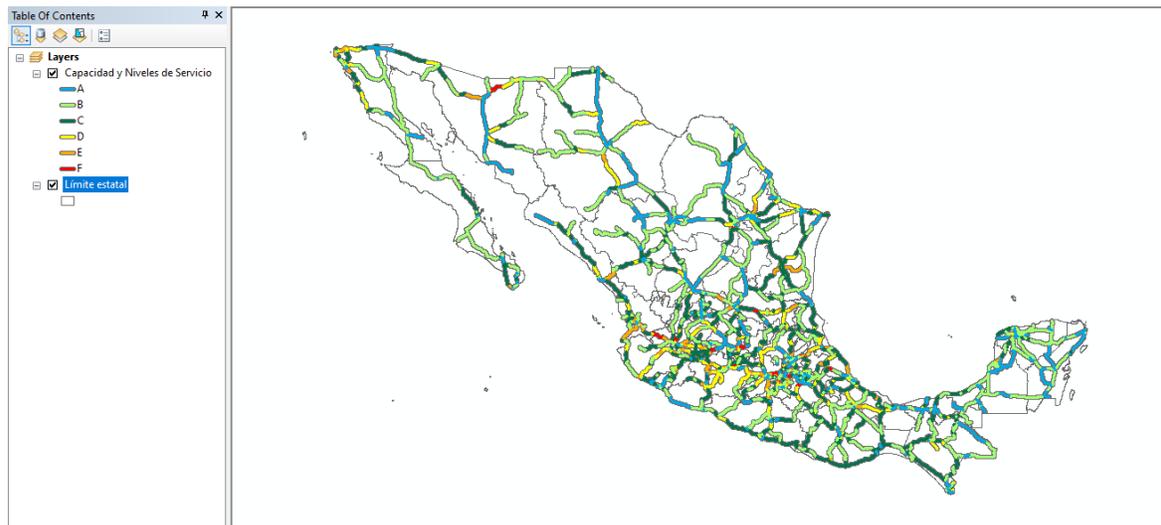
NIVEL DE SERVICIO “E”

En este nivel, los volúmenes de tránsito corresponden a la capacidad. El flujo es inestable y pueden ocurrir paradas de corta duración.

NIVEL DE SERVICIO “F”

Corresponde a los flujos forzados, en donde los volúmenes son inferiores a los de la capacidad y las velocidades se reducen pudiendo producir paradas debido al congestionamiento.

De lo anterior, se observa que el NIVEL DE SERVICIO “A” es el mejor y el NIVEL DE SERVICIO “F” es el más inconveniente, siendo el NIVEL DE SERVICIO “E” el que marca la capacidad de la vía.



Fuente: Elaboración propia

Figura 1.3 Ejemplo de la representación geográfica de los datos de capacidad y niveles de servicio

1.2 El visualizador geocartográfico de la RNC

El visualizador geocartográfico de la Red Nacional de Caminos es una aplicación Web que permite ver geográficamente la información que conforma el conjunto de datos de la RNC. El acceso a dicha herramienta se realiza desde la página Web del IMT, para ello, solo se requiere conexión a Internet y un navegador Web.

En el visualizador, la red vial integrada por las carreteras pavimentadas, así como por caminos de terracería, se despliega simbolizada por el tipo de administración registrado en su base de datos, el cual puede ser federal, estatal, municipal, y otros donde se incluyen carreteras de tipo particular y vialidades urbanas. Así mismo, es posible visualizar en forma de sobre posición de capas independientes, las distintas redes por tipo de administración, vialidades y la red carretera de cuota.



Fuente: Elaboración propia

Figura 1.4 Despliegue de la capa de carreteras con administración Federal en el visualizador geocartográfico de la RNC

Cada una de las capas de información ha sido configurada para permitir la consulta de sus atributos. Al hacer clic sobre el elemento de interés, se despliega una ventana de información con los detalles de cada registro.

En dicha aplicación se encuentra disponible la versión 2021 de la RNC y es posible acceder a ella a través de cualquier navegador Web mediante la siguiente dirección de internet: <http://rnc.imt.mx>. Así mismo, se ofrece al usuario la posibilidad para descargar el conjunto de datos completo o por capa en la última opción del menú.

El visualizador geocartográfico de la Red Nacional de Caminos, acerca al ciudadano al conocimiento y exploración de la red carretera de país, así como su interrelación con otros elementos de infraestructura para el transporte terrestre, sin embargo, se ha detectado la necesidad de una mayor desagregación de los datos, para hacer más fácil su gestión por usuarios que no tienen un nivel avanzado en manejo de software SIG.

1.3 Visualización y datos abiertos

En aras de lograr una mayor apertura de los datos que son generados por dependencias del gobierno federal, como lo es la SICT, se han establecido políticas y normativas que a nivel internacional definen buenas prácticas en cuanto a publicación de información que faciliten los procesos de búsqueda, intercambio y acceso a la sociedad en general.

La oportunidad que representan los datos abiertos consiste en la generación de una mayor interacción entre los ciudadanos y las entidades de gobierno. Así mismo, se satisface la demanda de datos que usualmente se hace desde las actividades relacionadas con la investigación, emprendimiento, sociedad civil, etc. Habilitan también el desarrollo económico, cuando los datos son utilizados para crear servicios o productos. Los datos abiertos ofrecen el potencial de mejorar la eficiencia de los gobiernos y de contribuir a la transparencia de la gestión pública.

Entre las buenas prácticas para la publicación de datos abiertos que han sido impulsadas por el Banco Interamericano de Desarrollo se encuentra la accesibilidad y disponibilidad en línea, de manera gratuita y sin que el solicitante deba realizar ningún registro como usuario. Así mismo, el formato con el que se configuren los datos debe ser procesado de una manera fácil por medio de una computadora.

Aunado al objetivo de proporcionar herramientas para que los usuarios puedan consumir y explotar los datos de manera autónoma, la visualización es la herramienta más potente para acercar los datos a cualquier usuario. La tarea de visualizar datos se encuentra vinculada al análisis de los mismos con el objetivo de representarlos gráficamente. Para lograr dicha representación se utilizan elementos que van desde elementos vectoriales (líneas, puntos, polígonos), gráficas y distintos tipos de mapas, hasta una integración de elementos con mayor complejidad configurando así un *dashboard*, cuadro de mando o tablero de control.

Actualmente, sobre todo en el área de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), existen variadas herramientas y software para analizar y visualizar de una forma eficiente los datos. Sin embargo, una forma de acercar a los nuevos usuarios es desarrollar y ofrecer aplicaciones que cualquier persona pueda ser capaz de consultar y aprovechar de forma óptima la información disponible, de manera que incluso, puedan ser parte de su proceso de toma de decisiones.

1.4 Tableros de control

Un tablero de control o *dashboard*, es una herramienta de visualización y gestión de información en diversos entornos empresariales. La representación de los datos en un tablero de control, es un tipo de resumen en el que se sintetiza la información de mayor interés y que puede tener incidencia en el proceso de toma de decisiones. Generalmente, estas herramientas son accesibles en un entorno Web, en el que dependerá de cada empresa o entidad gubernamental el acceso total o limitado para un cierto número de usuarios.

Características deseables en un *dashboard* o tablero de control:

1. Utilidad: debe presentar información que ayude a responder preguntas clave.
2. Entorno de visualización: La visualización y la manera de presentar los datos es indispensable para poder interpretar la información en una sola vista. En este sentido, actualmente se cuenta con varias formas de representación de datos como son gráficas, tablas y mapas de distintos tipos.
3. Comprensible. La información contenida en un tablero de control y la forma como se presente al usuario final, debe ser lo suficientemente clara y comprensible para poder tomar decisiones y pasar a la acción.
4. Actual. Presentar los datos actualizados, así como monitorear su vigencia es indispensable para que el tablero de control permanezca siendo útil y cumpla su objetivo.

Existen diversos tipos de tableros de control, todos ellos enfocados en atender distintos niveles de agregación de la información, así como para cumplir distintos objetivos. En el área de los SIG, un *dashboard* puede integrarse de variadas fuentes de datos, pero todos ellos enfocados en mostrar la relación entre los datos geoespaciales con sus diferentes formas de representación.

Dentro de las alternativas para implementar un tablero de control geoespacial, la adquisición de una licencia de software se considera la opción más rápida para poner en funcionamiento una aplicación con las funciones de un tablero de control, ya que por lo general, el sistema está desarrollado de manera tal que, el usuario sólo requiere cargar los datos que se publicarán y después de un proceso de configuración de la interfaz es posible tener la aplicación disponible en internet.

En el campo de los SIG una de las principales opciones para adquirir software con esta funcionalidad es ESRI (*Environmental Systems Research Institute*), la empresa líder en desarrollo de software para SIG, quien como parte de su producto *ArcGIS OnLine*, ofrece la posibilidad de configurar cuatro tipos de tableros de control: estratégico, táctico, operacional e informativo (Fig. 1.5). A continuación, se describen sus principales características:

- Estratégico: Ayudan a los ejecutivos a realizar un seguimiento de los indicadores clave de rendimiento (KPI, por sus siglas en inglés) y tomar

decisiones estratégicas mediante la evaluación del rendimiento en función de los objetivos de la organización.

- Táctico: Permiten a los analistas y gerentes de línea de negocios analizar datos históricos y visualizar tendencias para obtener una mejor comprensión.
- Operacional: Facilitan al personal de operaciones la comprensión de eventos, proyectos o activos ya que pueden monitorear su estado en tiempo real.
- Informativo: Representan un apoyo para las organizaciones al informar e involucrar a sus audiencias a través del alcance comunitario.



Fuente: ESRI

Figura 1.5 Diseño gráfico de distintos tipos de tableros de control

Es importante mencionar que adquirir y mantener licencias de software comercial requiere de una gran inversión y a la larga puede resultar bastante costoso. Por lo anterior y ante el establecimiento de políticas y disposiciones en la administración pública federal que tienen como objetivo el estricto apego a las medidas de austeridad contempladas en la Ley Federal de Austeridad Republicana, se ha hecho énfasis en fomentar el desarrollo de aplicaciones institucionales con utilidad pública, para lo cual, mediante el uso de software libre y de estándares abiertos se busca lograr la autonomía, soberanía e independencia tecnológicas dentro de las instituciones del Estado Mexicano.

Es así que la alternativa de llevar a cabo un desarrollo propio se hace necesaria para cumplir con las medidas establecidas, pero también se considera viable en tanto que actualmente se cuenta con numerosas herramientas para ejecutar cada una de las etapas implicadas en el proyecto. En la tabla 1.1 se muestran algunas de las herramientas de visualización de datos en general y datos geoespaciales que es posible integrar para realizar un desarrollo propio.

Tabla 1.1 Herramientas para desarrollo de software y desarrollo Web

Nombre	Logo	Tipo de herramienta	Extensiones	Precio
CARTO		Visualización	GDAL, PostgreSQL, Deck.gl, Python, entre otras	Gratuita/diferentes versiones de pago
OPEN LAYERS			TextPath, Animated Cluster, Canvas, GeoRSS, entre otras	Gratuita
OPEN STREET MAP			Geocoder, Kartograph, Atlas, GDAL, entre otras	
GEOCODER Y GEOPY		Librerías de geocodificación	Se pueden invocar desde Python, PostGIS, JavaScript, OpenStreetMap, entre otros	Gratuita
GDAL		Librerías de traslación	Se pueden invocar desde PostGIS, Carto, ArcGIS, R, entre otros.	
PROJ.4 Y PROJ4.JS		Librerías de transformación de coordenadas	Se pueden invocar desde JavaScript, Ruby, MySQL, Excel, entre otros	Gratuita

Google Chart Tools		API JavaScript	Java, ChartWeapper o ChartEditor
Javascript Infovis Toolkit		Librería JavaScript	RGraph, SunBurst o ForceDirected
D3.JS		Librería JavaScript	c3, d3-timeseries, plotly.js, d3-carto-map, entre otras
MAPLOTLIB		Librería Python	Basemap, brokenaxes, animatplot, mpl_interactions, entre otras
BOKEH		Librería Python	node.js, html_button.py, jsmol-bokeh-extension, entre otras

Fuente: datos.gob.es

2. Preparación y análisis de datos espaciales

La base de datos geográfica del transporte con la que cuenta el IMT se ha integrado de diversas fuentes y en distintos formatos. Los archivos que contienen información geográficamente referenciada de la infraestructura por modo de transporte pueden ser asociados a bases de datos estadísticos generados por organismos y dependencias oficiales. Así también pueden ser asociadas coberturas de información en temas como el ambiental y socioeconómico, lo anterior dependiendo del análisis que quiera realizarse.

Cuando se trata de publicar datos georreferenciados a través de aplicaciones Web, uno de los aspectos que se deben cuidar es el volumen de la tabla de datos en cuanto a la cantidad de registros que contiene. Así también, es importante depurar los campos de información de manera que en la base de datos sólo se integre la información que será de utilidad para el usuario final, quien consultará los datos y en determinadas ocasiones, sólo está interesado en conocer un valor muy específico, de manera que al momento de realizar la consulta, en el resultado le aparece una larga lista de atributos sin sentido, calificará de forma negativa su experiencia al interactuar con la herramienta que está utilizando para navegar por la información.

2.1 Pre-procesos de datos espaciales

De manera frecuente, antes de incorporar los datos a un sistema se requiere realizar tareas de pre-procesamiento ya sea en forma manual o automatizado, esto dependerá del tipo de información de que se trate. Por ejemplo, la información contenida en tablas necesita ser organizada y capturada en la base de datos del SIG para posteriormente ser relacionada a la geometría correspondiente. Así también, procedimientos para cambiar de formato entre archivos creados con software distinto se deben realizar en esta etapa, o crear nuevos datos a partir de los ya existentes para responder a la necesidad de visualización de un solo atributo o clase de información.

2.1.1 Adecuar tablas de datos

Se realizaron varios procesos para adecuar las tablas de datos para las consultas por determinado campo. Tal es el caso de la tabla de datos asociada al archivo de la red vial contenido en el conjunto de datos de la Red Nacional de Caminos. Originalmente, como atributo esta información cuenta con el campo que almacena el valor de la longitud de los tramos carreteros, pero la unidad de medida utilizada para almacenar los datos es en metros. Para mostrar y utilizar este dato, es

preferible que el valor de longitud se muestre en kilómetros por lo que se realizó un recálculo de los valores para convertir de metros a kilómetros. Esta conversión de unidades, facilita también el cálculo y lectura durante el proceso de generación de estadísticas (fig. 2.1).

ID_RED	TIPO_VIAL	NOMBRE	CODIGO	COND_PAV	LONGITUD	LONG_KM	CONDICION	NIVEL	PEAJE	ADMINISTRA	JURISD	CIRCULA	ES	VELO	UNION_INI	UNION_FIN	LONGITUD	LONG_KM
2414222	Camino	ND	ND	Sin pavimento	43864.2039	43.864204	operación	0	No	Municipal	Zac.	Dos sentidos	4	40	149915	23054	43864.2039	43.864204
1899581	Camino	ND	ND	Sin pavimento	42717.57147	42.717571	operación	0	No	Municipal	Zac.	Dos sentidos	4	30	118919	118920	42717.57147	42.717571
2474117	Camino	ND	ND	Sin pavimento	37408.99210	37.408992	operación	0	No	ND	ND	Dos sentidos	5	40	119627	241912	37408.99210	37.408992
1525363	Camino	ND	ND	Sin pavimento	36342.92669	36.342927	operación	0	No	ND	ND	Dos sentidos	5	40	105	106	37879.80064	37.879809
620450	Carretera	Ramal a Playa del Carmen	305	Con pavimento	36172.90403	36.172904	operación	0	Si	Federal	Fed.	Dos sentidos	1	90	793065	786065	37468.99210	37.468992
434965	Camino	Punta Abrejos - San José de Castro	ND	Sin pavimento	34341.30441	34.341304	operación	0	No	Estatal	B.C.S.	Dos sentidos	4	40	613326	613327	36342.92669	36.342927
374713	Camino	ND	ND	Sin pavimento	34341.30441	34.341304	operación	0	No	Municipal	Coah.	Dos sentidos	4	40	216098	216099	36172.90403	36.172904
737987	Carretera	Los Herrera - Los Altos	36	Con pavimento	33654.04893	33.654049	operación	0	No	Federal	Fed.	Dos sentidos	3	60	638885	639885	34341.30441	34.341304
386349	Carretera	Juan Eugenio - Flor de Jiménez - San Juan de Guadalupe	80	Con pavimento	33422.88457	33.422885	operación	0	No	Estatal	Coah.	Dos sentidos	3	80	554119	554120	33654.04893	33.654049
371474	Carretera	Monclova - San Pedro de las Colonias	30	Con pavimento	32428.00099	32.428001	operación	0	No	Federal	Fed.	Dos sentidos	1	110	653324	658325	33422.88457	33.422885
1556470	Camino	ND	ND	Sin pavimento	32428.00099	32.428001	operación	0	No	ND	ND	Dos sentidos	5	40	79142	79143	32428.00099	32.428001
2306283	Camino	ND	ND	Sin pavimento	32396.12372	32.396124	operación	0	No	ND	ND	Dos sentidos	4	40	169584	169585	32396.12372	32.396124
452480	Carretera	Puerto Peñasco - Golfo de Santa Clara	3	Con pavimento	32018.51803	32.018518	operación	0	No	Estatal	Son.	Dos sentidos	2	90	629265	629266	32018.51803	32.018518
802146	Camino	ND	ND	Sin pavimento	30821.11681	30.821117	operación	0	No	Municipal	Dgo.	Dos sentidos	4	40	61	62	30821.11681	30.821117
582715	Camino	ND	ND	Sin pavimento	30760.87881	30.760879	operación	0	No	Municipal	S.L.P.	Dos sentidos	4	40	746474	746516	30760.87881	30.760879
2360260	Camino	ND	ND	Sin pavimento	30760.87881	30.760879	operación	0	No	ND	ND	Dos sentidos	4	40	244775	244776	30821.11681	30.821117
1332681	Carretera	Mérida - Cancún	100	Con pavimento	30692.21044	30.692211	operación	0	Si	Federal	Fed.	Un sentido	1	90	502481	503744	30000.03995	30.000399
482992	Camino	Ramal al Arco	ND	Sin pavimento	30200.83905	30.200839	operación	0	No	Estatal	B.C.S.	Dos sentidos	4	40	638330	608757	30100.09719	30.100979
2183785	Camino	ND	ND	Sin pavimento	30100.09719	30.100979	operación	0	No	ND	ND	Dos sentidos	5	40	157334	129776	29682.26368	29.682264
296251	Carretera	Camino de Acceso a la Zona Arqueológica de Calakmul	ND	Con pavimento	28769.04518	28.769045	operación	0	Si	Estatal	Camp.	Dos sentidos	2	60	187155	106	28769.04518	28.769045
2435932	Camino	ND	ND	Sin pavimento	28482.74215	28.482742	operación	0	No	ND	ND	Dos sentidos	4	40	179670	179615	28482.74215	28.482742
810366	Camino	ND	ND	Sin pavimento	27280.10869	27.280109	operación	0	No	Municipal	Coah.	Dos sentidos	4	50	5792	38016	27280.10869	27.280109

Fuente: Elaboración propia

Figura 2.1 Conversión de unidades de longitud en los datos de red vial

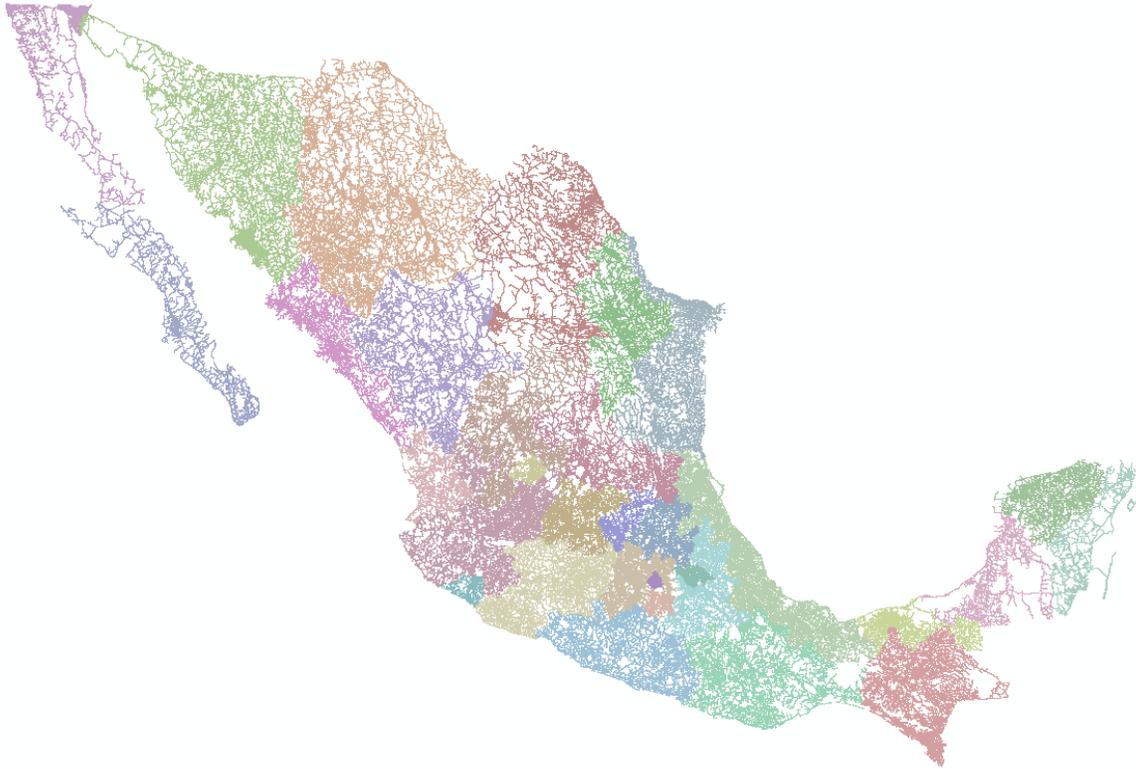
Así también, se realizaron varios procesos consistentes en la depuración de campos en las tablas de datos para hacerlas ligeras en cuanto a tamaño de archivo y facilitar la carga de datos en el software manejador de bases de datos. Gracias a lo anterior se conservan sólo los campos que contienen la información de mayor interés para el usuario. De igual manera, se unificaron valores en los campos para mostrar el contenido en un formato de texto registrado sólo con letra mayúscula o combinación de mayúsculas y minúsculas

2.1.2 Generación de red vial por estado

En el visualizador geocartográfico de la Red Nacional de Caminos, actualmente se cuenta con la opción de visualización y descarga de datos de la red vial a nivel nacional. Para realizar la navegación y consulta de los datos de un estado en particular, el usuario debe realizar manualmente, ayudado de un *mouse*, los movimientos para acercarse o alejarse. Y en el caso de requerir sólo la información de una entidad, deberá descargar la capa a nivel nacional y contar con los conocimientos necesarios para que mediante un software SIG de escritorio realice la extracción o recorte de acuerdo a su necesidad.

Para el desarrollo del presente proyecto, se contempló poner a disposición a través de la plataforma geoespacial los datos de la red vial por estado, para lo cual, previamente se realizaron los procesos geoespaciales necesarios. Primeramente, se realizó un geo-proceso de intersección entre la capa de la red vial y la capa de

áreas geoestadísticas estatales del Marco Geoestadístico 2020. El resultado de este proceso, fue un nuevo archivo de datos en el cual se tiene asociado cada registro de la red vial al estado en el que se ubica geográficamente. En la figura 2.2 se muestra la representación gráfica de la red vial simbolizada por estado.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2.2 Red vial de la RNC2021 simbolizada por estado

Después de tener la red vial con el atributo de estado, se procedió a dividir la capa para obtener un archivo individual en formato *shapefile* de la red vial individual por cada estado, lo cual posibilitará al usuario la descarga de datos sólo de la entidad que requiera.

2.2 Generación de estadísticas de la RNC

Una vez que se obtuvo la red vial nacional asociada a los datos del Marco Geoestadístico estatal, se inició el proceso de generación de estadísticas de la red vial, primero para obtener la longitud total por estado, y posteriormente realizando varios filtros o consultas. En la tabla 2.1 se muestran los valores de longitud total obtenidos para cada estado. De igual forma se realizó el cálculo de longitud por tipo de administración para cada estado, los resultados se muestran en la tabla 2.2.

Tabla 2.1 Longitud de la red vial por estado

CVE ENT	ESTADO	LONG KM TOTAL 2021
1	Aguascalientes	4 946.10
2	Baja California	20 350.17
3	Baja California Sur	16 121.33
4	Campeche	14 623.90
7	Chiapas	40 667.16
8	Chihuahua	75 698.51
9	Ciudad de México	5 194.65
5	Coahuila	32 696.90
6	Colima	5 127.49
10	Durango	35 991.22
11	Guanajuato	24 252.76
12	Guerrero	34 081.59
13	Hidalgo	19 548.66
14	Jalisco	45 014.67
15	México	27 914.48
16	Michoacán	35 651.79
17	Morelos	6 623.81
18	Nayarit	11 918.16
19	Nuevo León	27 579.70
20	Oaxaca	39 231.16
21	Puebla	26 005.67
22	Querétaro	9 472.06
23	Quintana Roo	10 516.16
24	San Luis Potosí	23 629.62
25	Sinaloa	23 273.24
26	Sonora	55 045.14
27	Tabasco	12 273.31
28	Tamaulipas	35 186.89
29	Tlaxcala	5 271.31
30	Veracruz	54 201.94
31	Yucatán	21 091.11
32	Zacatecas	29 990.44

Fuente: Elaboración propia con datos de la RNC2021

Tabla 2.2 Estadísticas obtenidas de la red vial por estado y por tipo de administración

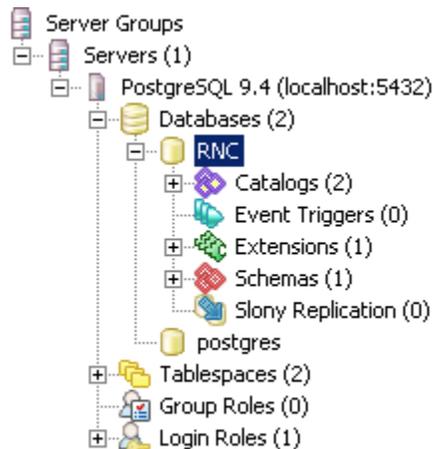
ESTADO	FEDERAL	ESTATAL	MUNICIPAL	PART	OTRO	VIALIDAD	N/D
Aguascalientes	430.98	1 104.31	1 474.63	393.68	0.02	1 174.36	368.12
Baja California	2 486.21	907.78	14 262.56	373.49	18.76	2 155.49	145.89
Baja California Sur	1 495.55	4 073.05	743.68	5.77	5.58	758.78	9 038.92
Campeche	1 473.55	3 297.51	223.21	310.90	7.37	3 477.09	5 834.26
Chiapas	2 472.88	6 535.54	17 197.90	741.96	3.64	5 244.76	8 470.48
Chihuahua	3 468.38	5 211.10	17 530.56	936.13	13.63	7 000.54	41 538.18
Ciudad de México	194.48	704.81	0.34	4.62	0.00	4 286.20	4.20
Coahuila	2 467.10	3 333.30	4 571.58	5 568.61	118.73	2 286.05	14 351.52
Colima	478.81	758.79	296.48	248.92	17.69	1 384.05	1 942.75
Durango	2 905.78	3 097.61	5 650.57	350.83	12.54	3 447.70	20 526.20
Guanajuato	2 046.29	2 987.39	11 516.16	688.99	0.06	3 892.64	3 121.23
Guerrero	2 512.92	14 634.33	1 283.59	42.06	3.49	4 041.44	11 563.76
Hidalgo	1 462.07	4 316.27	8 606.57	57.34	2.18	3 884.88	1 219.34
Jalisco	3 736.30	5 738.48	6 879.87	1 066.78	3.71	5 259.46	22 330.08
México	1 770.30	4 469.64	10 294.65	39.53	0.00	8 646.73	2 693.64
Michoacán	3 152.75	4 347.17	7 102.67	178.62	0.86	4 642.45	16 227.28
Morelos	732.68	1 124.75	396.20	20.82	2.92	2 512.25	1 834.19
Nayarit	1 498.81	1 035.45	3 567.79	146.79	0.93	2 188.65	3 479.73
Nuevo León	2 366.01	3 763.67	6 505.48	3 912.53	0.54	3 149.03	7 882.44
Oaxaca	3 304.62	4 872.89	24 174.08	93.05	3.98	5 551.35	1 231.19
Puebla	1 758.41	4 165.06	13 720.19	55.35	31.04	5 284.40	991.21
Querétaro	1 166.45	1 423.80	4 768.15	171.94	0.00	1 764.40	177.31
Quintana Roo	1 207.06	2 483.59	254.47	54.74	0.52	1 889.22	4 626.57
San Luis Potosí	2 321.80	5 139.29	10 735.92	504.40	0.00	2 476.14	2 452.07
Sinaloa	1 713.63	4 169.70	13 587.85	519.47	179.65	2 160.94	942.00
Sonora	2 979.51	5 170.60	5 412.02	107.81	1 108.82	2 579.74	37 686.64
Tabasco	1 008.54	3 681.47	4 986.23	90.75	0.24	1 945.55	560.53
Tamaulipas	2 637.65	8 107.66	348.05	5 232.46	9.38	2 320.97	16 530.72
Tlaxcala	765.54	831.87	306.84	3.98	0.45	1 264.56	2 098.07
Veracruz	4 290.29	6 276.88	15 684.26	474.96	43.75	5 732.15	21 699.64
Yucatán	1 782.71	4 451.19	190.25	56.34	0.00	2 987.03	11 623.58
Zacatecas	1 997.19	5 249.30	16 231.53	205.66	0.46	2 304.69	4 001.61

Fuente: Elaboración propia con datos de la RNC2021

2.3 Integración de la base de datos

Una vez realizados los pre-procesos necesarios en la información seleccionada para ser integrada en la plataforma geoespacial se procedió a la conformación de la base de datos en el software manejador de bases de datos *PostgreSQL*. Dicho software se encuentra instalado y configurado en un servidor que forma parte de la infraestructura de Tecnologías de Información (TI), del IMT y el acceso fue proporcionado por la División de Telemática.

En la figura 2.3 se muestra la estructura que se genera al crear un nuevo contenedor de base de datos. Es importante agregar la extensión de *PostGIS* en cada contenedor de base de datos que se crea en *PostgreSQL* ya que esta extensión de software es la que hace posible la interacción con información georreferenciada. Posterior a esta configuración, se puede realizar la importación de las capas de datos desde el formato *shapefile* mediante el componente “*PostGIS Shapefile and DBF Loader 2.1*”. La figura 2.4 muestra una tabla de datos después de ser importados en *PostgreSQL*.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2.3 Estructura del administrador de bases de datos PostgreSQL

gid	id_red	tipo_vial	nombre	codigo	cond_pav	recubri	carriles
[PK] serial	double precision	character varying(16)	character varying(254)	character varying(5)	character varying(14)	character varying(10)	character
1	1	Periférico	Periférico Canal de Garay	N/A	N/A	N/A	3
2	2	Periférico	Periférico Calle 7	N/A	N/A	N/A	2
3	3	Periférico	Periférico Calle 7	N/A	N/A	N/A	3
4	4	Periférico	Boulevard Adolfo López Mateos	N/A	N/A	N/A	2
5	5	Calle	Uhio	N/A	N/A	N/A	3
6	6	Avenida	Estrella	N/A	N/A	N/A	2
7	7	Circuito	Interior Río Mixcoac	N/A	N/A	N/A	2
8	8	Avenida	Principal	N/A	N/A	N/A	3
9	9	Viaducto	Presidente Miguel Alemán	N/A	N/A	N/A	3
10	10	Calzada	De la Virgen	N/A	N/A	N/A	3
11	11	Avenida	Rancho Grande	N/A	N/A	N/A	3
12	12	Eje vial	4 Fuente Revolución	N/A	N/A	N/A	4
13	13	Avenida	Ruiz Cortines	N/A	N/A	N/A	3
14	14	Enlace	N/A	N/A	N/A	N/A	2
15	15	Avenida	Mario Colín	N/A	N/A	N/A	2
16	16	Avenida	Lomas Verdes	N/A	N/A	N/A	3
17	17	Eje vial	2 Oriente Calzada de la Viga	N/A	N/A	N/A	4
18	18	Circuito	Interior Río Consulado	N/A	N/A	N/A	5
19	19	Viaducto	Río de la Piedad	N/A	N/A	N/A	2
20	20	Retorno	N/A	N/A	N/A	N/A	2
21	21	Avenida	Cuarta Avenida (Payito de Sol)	N/A	N/A	N/A	2
22	22	Boulevard	Manuel Ávila Camacho	N/A	N/A	N/A	3
23	23	Avenida	Insurgentes Sur	N/A	N/A	N/A	2
24	24	Boulevard	Manuel Ávila Camacho	N/A	N/A	N/A	3
25	25	Calzada	General Ignacio Zaragoza	N/A	N/A	N/A	3
26	26	Boulevard	Manuel Ávila Camacho	N/A	N/A	N/A	3

Fuente: Elaboración propia

Figura 2.4 Visualización de los datos importados en PostgreSQL

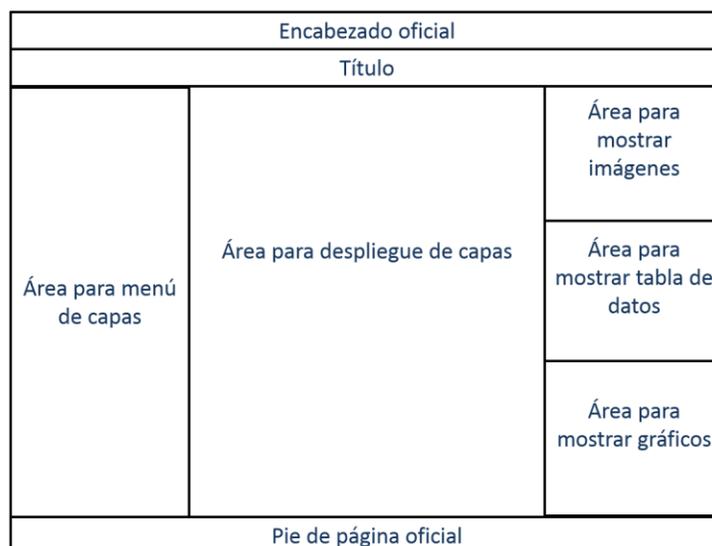
3. Diseño y desarrollo de la plataforma geoespacial

En este capítulo se describe el proceso de diseño y desarrollo de la plataforma Web geoespacial propuesta, así también los datos que se van a mostrar y la forma en la que el usuario podrá realizar la navegación entre los diferentes elementos.

3.1 Interfaz gráfica y su alcance

En el diseño de la interfaz gráfica se puso especial énfasis en la visualización de información geoespacial, principalmente del conjunto de datos de la Red Nacional de Caminos, pero también, en la correcta sobre posición de información multitemática de diferentes geometrías. Además del despliegue de los datos georreferenciados, en esta primera versión de la plataforma se proporciona la información sobre las longitudes de la red vial por tipo de administración.

La propuesta de diseño de la interfaz gráfica se realizó considerando las siguientes secciones: menú de selección y activación de capas de datos, área para despliegue de datos geoespaciales (mapa), área para mostrar imágenes, área para mostrar tabla de datos, área para gráficas. En la figura 3.1 se muestra la distribución de las secciones o áreas consideradas en el diseño.



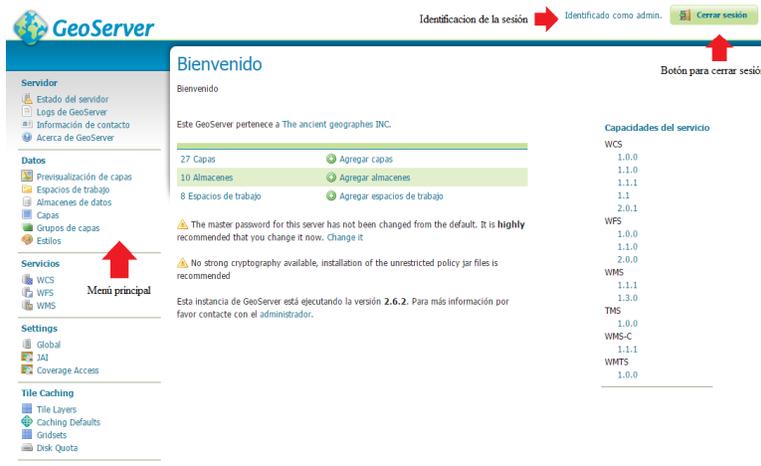
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.1 Diseño de interfaz gráfica

3.1.1 Servidor de datos geoespaciales y configuración de capas de datos para visualización

Para que la información geoespacial pueda ser publicada a través de una aplicación Web se requiere de un software servidor de datos geoespaciales. Para el desarrollo de este proyecto se utilizó *GeoServer*, el cual es un servidor de información geoespacial de código abierto que permite compartir y publicar datos desde diferentes fuentes y formatos. En la figura 3.2 se muestra la pantalla de inicio de *GeoServer*.

Todas las capas de datos seleccionadas para integrarse en la plataforma geoespacial, previamente se incorporaron en una base de datos geoespacial en *PostgreSQL*, para posteriormente configurar una conexión desde *GeoServer* y preparar cada capa para su publicación a través de un servicio Web WMS (Web Map Service). Esta conexión se realiza en la opción de *GeoServer* “Almacén de datos”, donde se establece que la información que se va a compartir se encuentra almacenada en una determinada base de datos. Una vez establecida la comunicación entre *GeoServer* y la base de datos en *PostgreSQL*, se procede a la configuración de cada una de las capas: información general, sistema de referencia de coordenadas y otros detalles de publicación tal como los estilos o simbología con el que se representará cada geometría. Los parámetros que se establecen en este procedimiento, es lo que determina que la información se muestre de forma correcta en el área de visualización de información.



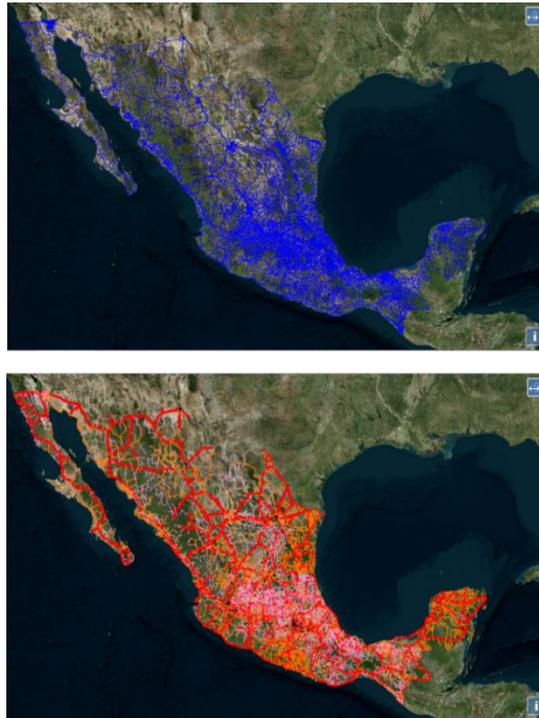
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2 Interfaz gráfica de *GeoServer*

3.1.1.1 Diseño de estilos

Al realizar el proceso de publicación de una capa, *GeoServer* asigna un estilo por default, por ello es importante que previamente se realice el diseño de los estilos

con los que se mostrarán los datos de acuerdo a la información contenida, es decir, si la información que se visualizará en el área de mapa corresponde a geometrías de tipo punto, se debe tener definido el color con el cual se dibujará o si se utilizará una imagen o figura, previamente se deberá elaborar un archivo de estilo para asociarlo a la capa correspondiente. En la figura 3.3 y 3.4 se muestra el ejemplo de estilo creado para la representación de la red vial en comparación con el estilo por default asignado por GeoServer para una capa con geometrías de tipo línea. El estilo por default, simboliza todas las líneas de un solo color sólido. Al diseñar el estilo de representación personalizado, se utiliza el campo de tipo de administración para que, dependiendo del valor para cada línea, se simbolice mediante un determinado grosor y color de línea diferente.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.3 Diferencia de visualización de la red vial con estilo por default y estilo personalizado

La configuración personalizada de estilos se realiza en lenguaje XML (*Extensible Markup Language*) y se almacena en un tipo de archivo con extensión .sld. Este archivo se importa a GeoServer lo que permite tenerlo disponible para usarlo en la asignación de estilo de una o varias capas de datos. En las figuras 3.5 y 3.6 se muestran ejemplos de los estilos creados para las capas de datos de la red ferroviaria simbolizada por concesionario y la representación de la red vial simbolizada de acuerdo a su clasificación por la NOM-012, ambas de geometría de tipo línea.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.4 Estilos de línea asignados para representar la red vial por tipo de administración

```

1 <?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1"?>
2 <slid:StyledLayerDescriptor xmlns="http://www.opengis.net/sld" xmlns:sld="http://www.opengis.net/sld"
3   xmlns:gml="http://www.opengis.net/gml" version="1.0.0">
4   <slid:UserLayer>
5     <slid:LayerFeatureConstraints>
6       <slid:FeatureTypeConstraint/>
7     </slid:LayerFeatureConstraints>
8     <slid:UserStyle>
9       <slid:Name>Red-FFCC-CONCESIONARIO</slid:Name>
10      <slid:Title/>
11      <slid:FeatureTypeStyle>
12        <slid:Name>500km</slid:Name>
13        <slid:FeatureTypeName>Feature</slid:FeatureTypeName>
14        <slid:SemanticTypeIdentifier:generic:geometry/>
15        <slid:SemanticTypeIdentifier:simple/>
16        <slid:Rule>
17          <slid:Name>FXE</slid:Name>
18          <ogc:Filter>
19            <ogc:PropertyIsEqualTo>
20              <ogc:PropertyName>c_a_2019</ogc:PropertyName>
21              <ogc:Literal>Ferrocarril Mexicano S.A. de C.V.</ogc:Literal>
22            </ogc:PropertyIsEqualTo>
23          </ogc:Filter>
24          <slid:MinScaleDenominator>2200</slid:MinScaleDenominator>
25          <slid:MaxScaleDenominator>20000000</slid:MaxScaleDenominator>

```



Fuente: Elaboración propia

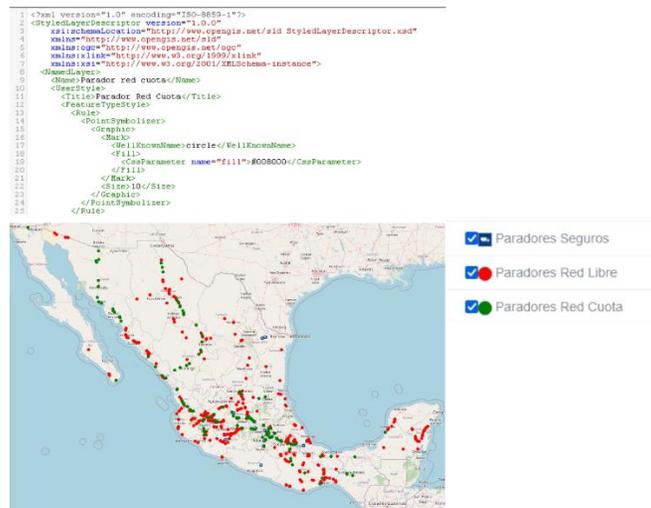
Figura 3.5 Estilos de línea creado para representar la red ferroviaria por concesionario



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.6 Estilos de línea creado para representar la red vial clasificada por la NOM-012

En la figura 3.7 se muestran los estilos creados para la simbología de la ubicación de paradores para transporte de carga sobre la red carretera libre, de cuota y los denominados como paradores seguros.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.7 Estilo creado para representar información de tipo punto contenida en la capa de datos de ubicación de paradores para el transporte de carga

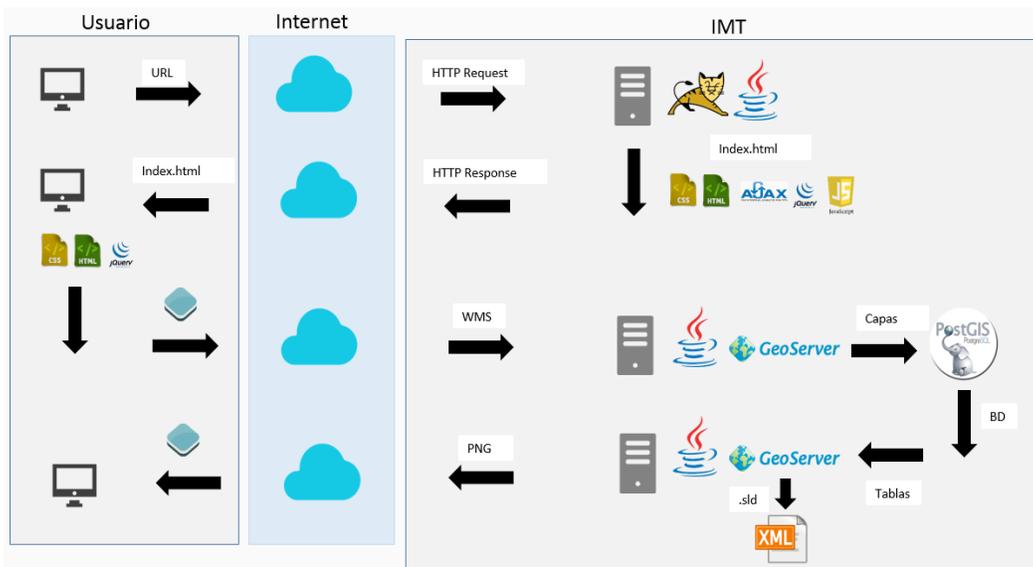
3.1.2 Diseño de aplicación Web

Cuando se finaliza la configuración y publicación de una capa de datos en *GeoServer*, ya es posible acceder ella desde cualquier navegador web utilizando la dirección o ruta que *GeoServer* define.

Una vez configuradas todas las capas de datos consideradas para ser incorporadas en la plataforma geoespacial, principalmente la información del conjunto de datos de la Red Nacional de Caminos, se procedió al diseño de la interfaz gráfica Web mediante la aplicación de las siguientes tecnologías y herramientas de desarrollo:

- Lenguaje de programación HTML (HyperText Markup Language)
- Hojas de estilo en cascada CSS (Cascading Style Sheets)
- Librería OpenLayers. Permite la configuración y visualización de las capas de datos provenientes de *GeoServer*.
- Lenguaje de programación JavaScript
- Librería JQuery

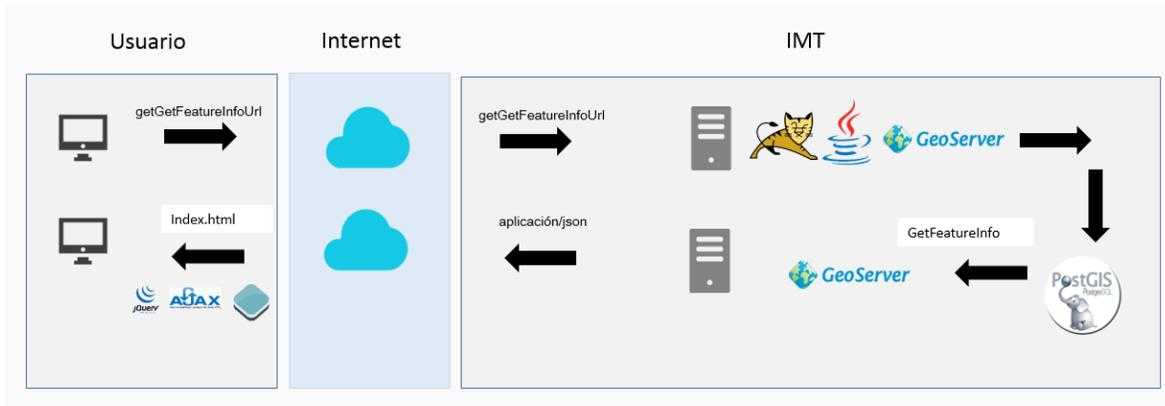
El ciclo de vida de la aplicación se puede observar en la figura 3.8 en donde se muestra el flujo de la petición del usuario desde que ingresa la URL de acceso a la plataforma en el navegador Web hasta que se visualiza la capa de datos pre configurada para el primer despliegue en el mapa.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.8 Interacción entre el usuario y la aplicación

En la figura 3.9 se muestra el proceso de consulta de información cuando el usuario hace clic en algún elemento geográfico que forme parte de alguna de las capas visibles dentro del mapa.

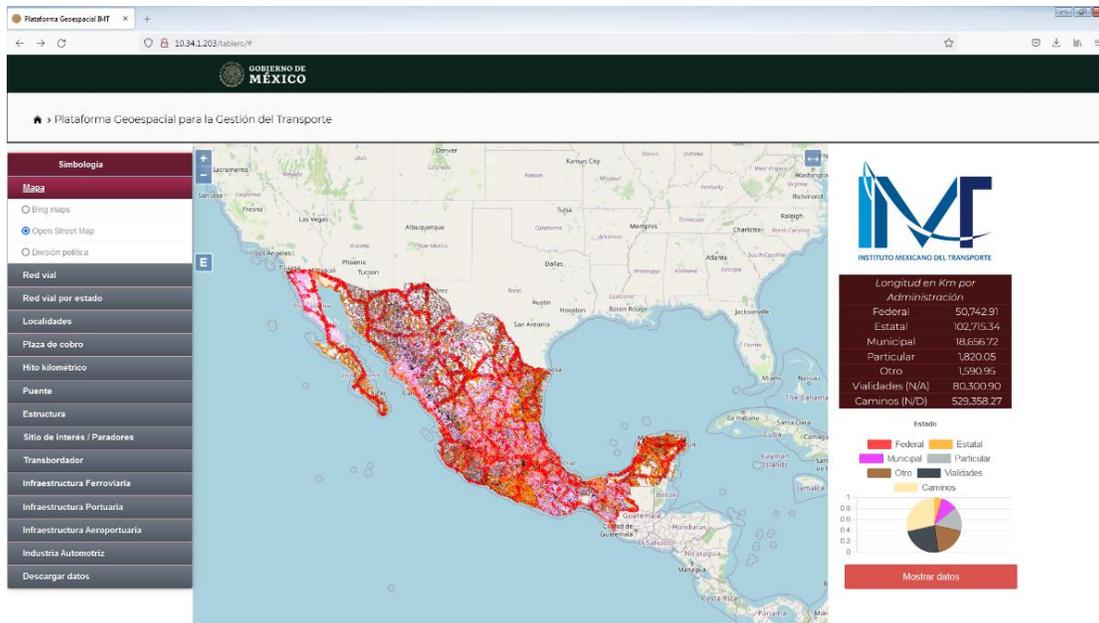


Fuente: Elaboración propia

Figura 3.9 Proceso de petición o consulta de información geoespacial

3.2 Funcionalidad

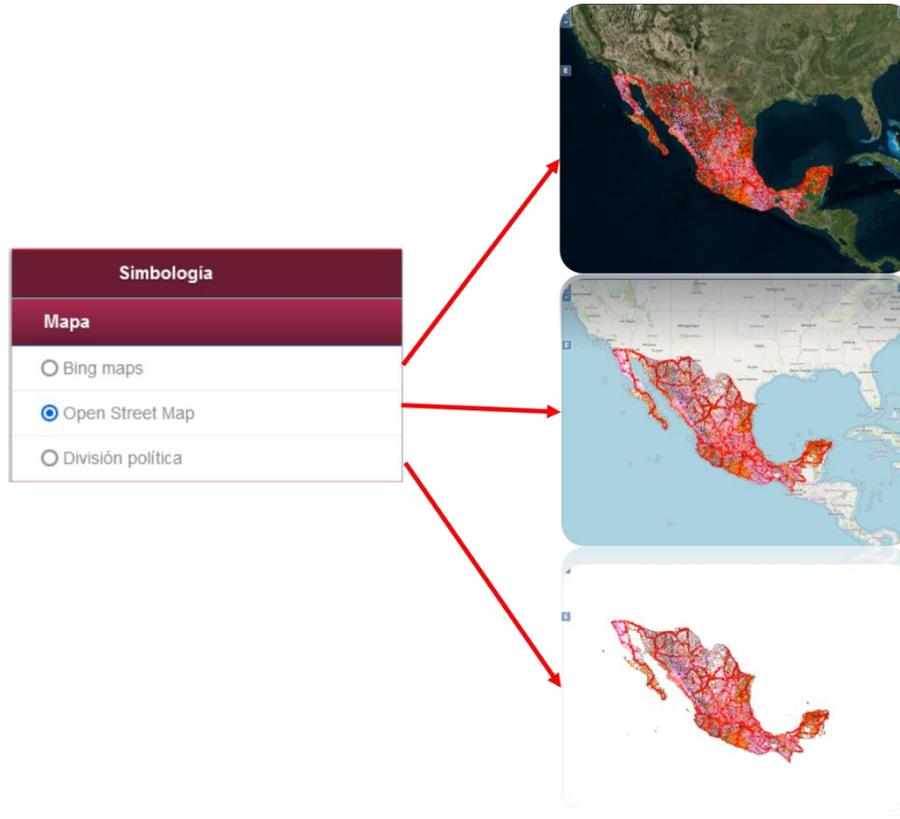
En la figura 3.10 se muestra el diseño final de la interfaz gráfica de la plataforma. Al ser una aplicación Web, es posible su navegación desde cualquier equipo de cómputo o dispositivo móvil con un navegador de internet, como puede ser Chrome, Firefox, Safari, etc. La dirección de acceso es: <http://189.254.204.50:83/tablero>.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.10 Interfaz gráfica de la plataforma en su primer versión

Mediante el menú de capas o simbología, el usuario tiene la posibilidad de habilitar y deshabilitar las capas de datos sobre el mapa base. El mapa base que se carga por default en el área del mapa es el correspondiente a *OpenStreetMap*³. También se cuenta con la opción de cambiar el mapa base por el de imágenes de satélite de Bing o un mapa de la división estatal de la república mexicana.



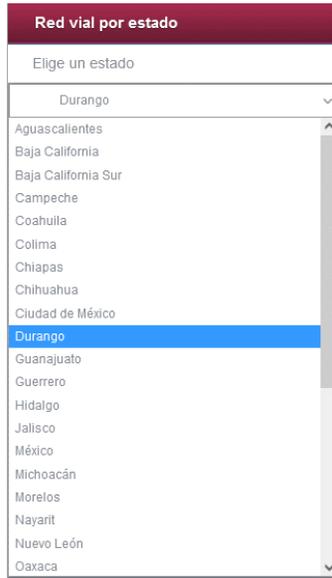
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.11 Opciones de mapa base

En el área para mostrar tabla de datos, se lista el resumen de las estadísticas de la longitud por tipo de administración. Al abrir la aplicación, se muestran las longitudes a nivel nacional y una vez que el usuario selecciona una entidad desde la opción del menú “Red vial por estado”, lo siguiente es hacer clic sobre el botón “Mostrar datos”. De forma automática, el zoom en el mapa se ajustará al área del estado seleccionado y se actualizarán los valores correspondientes para el estado elegido, así como la gráfica circular que muestra la proporción que representa la longitud por tipo de administración.

³ <https://www.openstreetmap.org>

En la figura 3.12 se muestra la herramienta de selección de estado, en la cual se listan las 32 entidades del país y en la figura 3.13 se observa un ejemplo del despliegue de datos que se obtiene después de seleccionar el estado de Durango. En esta figura también se observa el resultado de una consulta a un elemento del mapa, en este ejemplo, de la red vial. Una consulta de atributos se puede realizar sobre cualquier elemento de una capa de datos activa, y el resultado se mostrará en una ventana flotante sobre el área del mapa.



Fuente: Elaboración propia

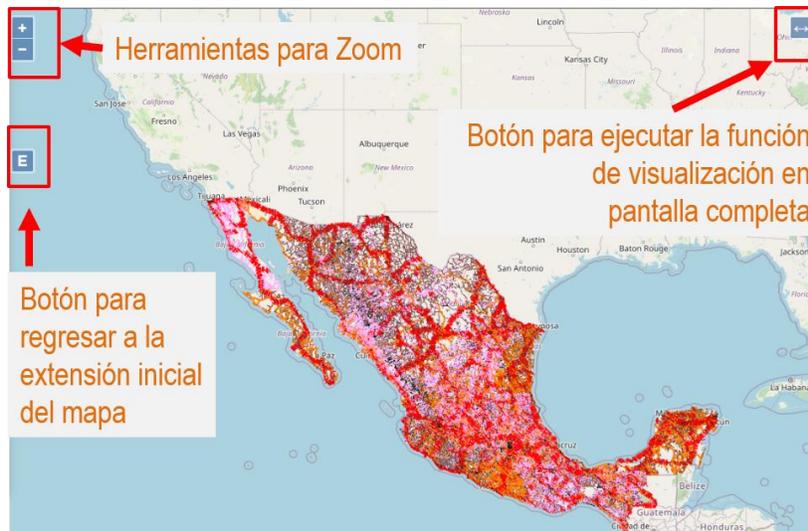
Figura 3.12 Herramienta de selección de estado



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.13 Despliegue de datos para un estado seleccionado

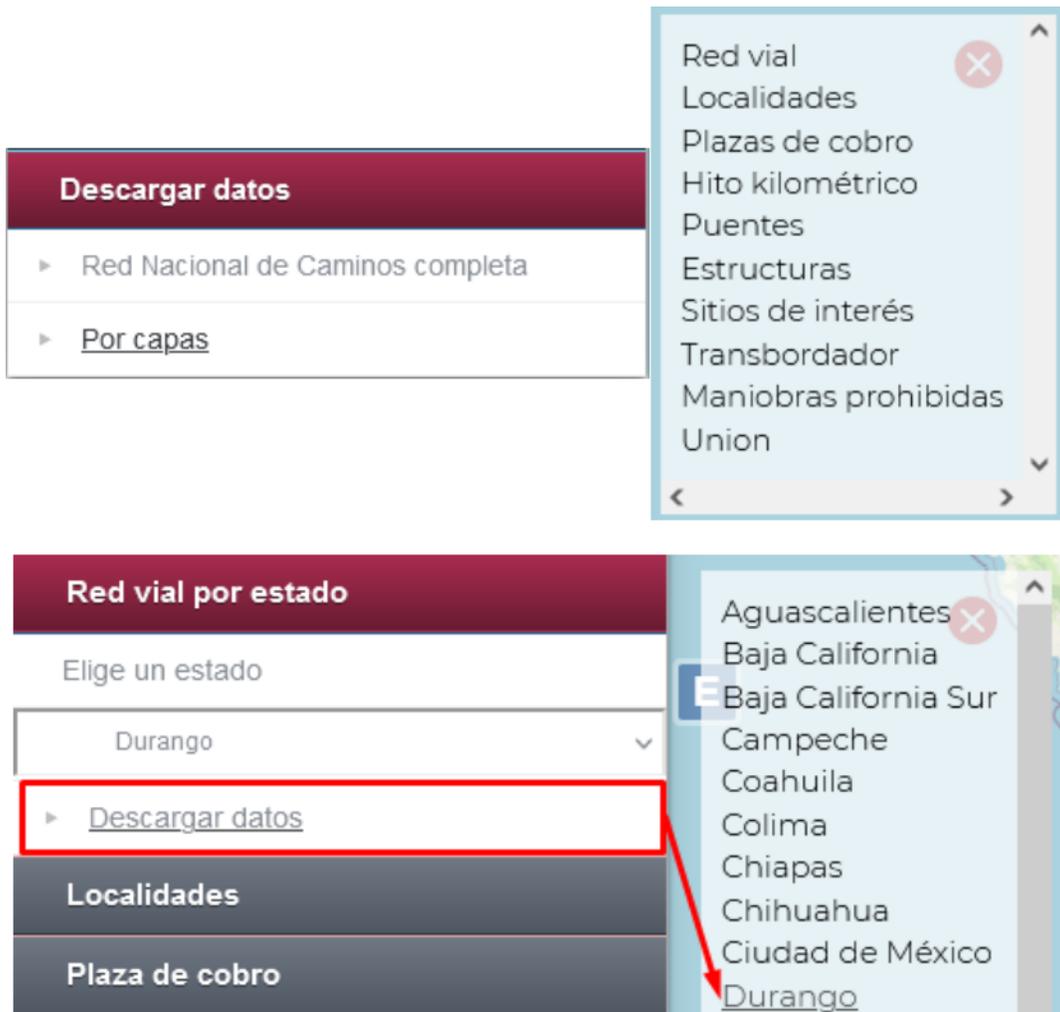
En el área del mapa se encuentran disponibles controles de zoom que le permiten al usuario realizar acercamientos a los datos o áreas de interés. Así mismo, también cuenta con un botón para activar la visualización en pantalla completa y para regresar a la extensión del mapa inicial. La ubicación de estos controles se señala en la figura 3.14. Para realizar la función de zoom también puede utilizarse la rueda de en medio (*scroll*) del *mouse* de la computadora.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.14 Controles de apoyo en la visualización del mapa

Desde el área del menú de capas también se tiene acceso a las opciones de descarga de datos de la Red Nacional de Caminos. El usuario puede elegir entre descargar todo el conjunto de datos o por capa. Así mismo, puede elegir el área de visualización por estado y descargar los datos en formato shapefile de la capa red vial para cada estado. Todos los datos se descargan comprimidos en formato .ZIP (Fig. 3.15).



Fuente: elaboración propia

Figura 3.15 Opciones para descarga de datos

Conclusiones

El proceso de desarrollo de un tablero de control, que pueda convertirse en una plataforma geoespacial para la gestión del transporte requiere tiempo y conocimiento especializado, independientemente de las tecnologías que se utilicen para diseñar y estructurar cada sección en la parte del *front-end* gráfico y que representen simplemente la 'carcasa' de la aplicación. El correcto despliegue de los datos de interés, toma la mayor parte del esfuerzo de desarrollo y depende del conjunto de software y herramientas que dan soporte e interactúan entre sí para llegar a ver los datos en pantalla a través de un navegador Web.

Siempre existe la posibilidad de realizar una comparativa en cuanto a las opciones con las que se cuenta para llevar a cabo un proyecto de desarrollo de software o aplicación de cualquier nivel de complejidad. La primera decisión es seleccionar una plataforma ya hecha y comprarla, o desarrollar una propia y ampliar las posibilidades de funcionalidad y, sobre todo, ajustar esa funcionalidad al objetivo principal de la organización.

Para el desarrollo del presente proyecto, el planteamiento inicial fue integrar un conjunto de herramientas de software de código libre y abierto para llevar a cabo las tareas de diseño y desarrollo de una plataforma que permita a la SICT, la gestión de los datos de la Red Nacional de Caminos, así como del gran acervo de los datos geoespaciales con los que cuenta el IMT para todos los modos del transporte.

Encontrar las herramientas de software que en conjunto permitieran cumplir el objetivo del proyecto fue una tarea compleja. Si bien existen numerosas tecnologías, librerías, APIs (*Application Programming Interfaces*) para desarrollo y diversos *frameworks* de software que de forma individual permiten ejecutar una función de forma eficiente, cuando se trata de integrarlos saltan a la vista diversos inconvenientes que se convierten en un reto para resolver.

Sin duda, un desarrollo de software propio tiene la gran ventaja de poder incorporar funcionalidad personalizada y mostrar los datos tal y como se planea; sin embargo, se han identificado numerosas limitantes para lograr un producto que pueda competir con los desarrollos comerciales actuales. Una de ellas es la cantidad de profesionales de diferentes disciplinas que se requieren para trabajar en equipo y cada uno en su área de experiencia sobre todo para las etapas de programación.

Se considera que el producto obtenido cumple con los objetivos propuestos al ser la plataforma o herramienta en el que la SICT y cada una de sus áreas sustantivas tendrá acceso para visualizar, analizar y representar cartográficamente los datos de los diferentes modos de transporte y principalmente, cumplir con el mandato de publicación actualizada cada año de la Red Nacional de Caminos, establecido en el

Diario Oficial de la Federación el 6 de octubre de 2014, fecha en la que fue declarada como Información de Interés Nacional.

Es importante, como todo proyecto de desarrollo de software, mantener en constante actualización cada uno de los elementos que integran el sistema, versiones de las librerías y de los diferentes servidores de datos utilizados. Más importante aún será realizar la planeación para la incorporación de nuevas herramientas y extender así la funcionalidad para ofrecer mayores beneficios en su implementación. Actualizar los datos que ya contiene, así como utilizar la plataforma para la publicación de los resultados de proyectos relacionados con infraestructura de transporte potenciará su aprovechamiento, lo cual contribuirá al avance en la inserción organizacional en la SICT de las geotecnologías principalmente en su aplicación para los procesos de toma de decisiones en el sector.

Bibliografía

Abellan, E. (2020). *Qué es un dashboard de negocios y cuáles sus beneficios*. Global Growth Agents. Recuperado de <https://www.waremarketing.com/es/blog/que-es-un-dashboard-de-negocios-y-cuales-sus-beneficios.html>

Dirección General de Servicios Técnicos (2017) *Capacidad y Niveles de Servicio en la Red Federal de Carreteras 2017*. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. México.

Dirección General de Servicios Técnicos (2019). *Datos viales 2019*. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. México.

Environmental Systems Research Institute (2021). *ArcGIS Dashboards*. Recuperado de <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-dashboards/overview>

Fu, P. y Sun, J. (2011). *Web GIS Principles and Applications*. Estados Unidos de América: ESRI Press.

Gobierno de España (2021). *Herramientas de procesado y visualización de datos*. Recuperado de <https://datos.gob.es/es/documentacion/herramientas-de-procesado-y-visualizacion-de-datos>

Instituto Mexicano del Transporte (2021). *Red Nacional de Caminos*. <https://www.gob.mx/imt/acciones-y-programas/red-nacional-de-caminos>

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; Instituto Mexicano del Transporte. México.

Muente, A. y Palomino, N. (2019). *Datos abiertos: conceptos básicos y temas claves*. Banco Interamericano de Desarrollo. Recuperado de <https://blogs.iadb.org/conocimiento-abierto/es/datos-abiertos/>

Peters, D. (2008). *Building a GIS: System Architecture Design Strategies for Managers*. Estados Unidos de América: ESRI Press.

Tomlinson R. (2007) *Pensando en SIG. Planificación del Sistema de Información Geográfica Dirigida a Gerentes*. Estados Unidos de América: ESRI Press.



COMUNICACIONES

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES



Km 12+000 Carretera Estatal 431 “El Colorado Galindo”
Parque Tecnológico San Fandila, Mpio. Pedro Escobedo,
Querétaro, México. C.P. 76703
Tel: +52 (442) 216 97 77 ext. 2610
Fax: +52 (442) 216 9671

publicaciones@imt.mx

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