

ANÁLISIS DEL ESTADO SUPERFICIAL DE LOS PAVIMENTOS UTILIZANDO SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Felipe Ángeles Puc Hernández¹

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Recibido: 18/12/2018 Aceptado: 16/04/2019 Publicado: 03/12/2019

Resumen.- El proyecto se desarrolla en el contexto de la optimización de la gestión de proyectos de conservación de carreteras en México con la pregunta de investigación: ¿Es posible optimizar la gestión de la conservación de tramos carreteros, a través de incorporar en una plataforma en internet, mapas del estado físico de la red de carreteras y autopistas de Quintana Roo?. La problemática anterior surge ante la falta de disponibilidad de datos abiertos para la gestión de la red de carreteras en cuanto a sus necesidades de conservación, información que están por lo general en archivos electrónicos, dispersos en diferentes sitios u organizaciones, lo cual dificulta su uso integral y automatizado. Con este trabajo fue factible subir a una plataforma, capas de información, aprovechando las ventajas que ofrecen los Sistemas de Información Geográfica (SIG). En la realización de este se utilizó el QGIS y el Mapa Digital de Escritorio (MDE) del INEGI, ambos con software de código abierto. Como caso de estudio se utilizó la información básica del año 2017 de la red de carreteras del estado de Quintana Roo, proporcionada por la Dependencia encargada, mismos que se convirtieron en las variables de la investigación, y se refieren a las condiciones superficiales de los pavimentos: Índice de rugosidad internacional (IRI) con unidades de medición de m/km, Deterioros (DET) con unidades de medición de m²/100m, Profundidad de roderas (PR), con unidades de medición en mm, Coeficiente de fricción (CF), adimensional y Macrotextura (MAC) con unidades de medición en mm.

Palabras clave: Conservación de carreteras, sistemas de información geográfica, QGIS, mapa digital de escritorio.

ANALYSIS OF PAVEMENTS SURFACE STATE USING GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS

Abstract.- The present project is developed in the context of optimizing the management of highway maintenance projects in Mexico with the research question: Is it possible to optimize the maintenance management of highway sections through incorporating into an Internet platform maps of the physical state of the road network and highways of Quintana Roo? The latter issue arises from the lack of open data for the management of the highway network in terms of their maintenance. This information is usually in electronic files scattered in different sites or organizations, which hinders their comprehensive and automated use. With this work it was possible to upload information layers to a platform, taking advantage of the features offered by Geographic Information Systems (GIS). For these purposes, the QGIS and the Digital Desktop Map (MDE, in spanish) of the National Institute of Statistics and Geography (INEGI, in spanish) were used, both with open source software. As a case study, the basic information of the year 2017 of the highway network of the state of Quintana Roo provided by the governmental organization in charge was used, from which the variables for this research were derived and refer to the surface conditions of the pavements, such as: International roughness index (IRI, in spanish) with units of measurement of m/km, Deterioration (DET, in spanish) with units of measurement of m²/100m, Depth of ruts (PR, in spanish), with units of measurement in mm, Coefficient of friction (CF) adimensional and Macrotexture (MAC, in spanish) with units of measurement in mm.

Keywords: Road conservation, geographic information systems, QGIS, digital desktop map.

Introducción

La implantación de sistemas de información geográfica (SIG de aquí en adelante) resulta vital para el desarrollo económico y facilitan la toma de decisiones acertadas a escala local, regional y global; ante este panorama los Centros SCT realizan cada año evaluaciones del estado físico de la red de carreteras y autopistas utilizando equipos de monitoreo de última tecnología, que nos arrojan valores georreferenciados de las condiciones superficiales, de los pavimentos de la red carretera de todo México, quedando la información procesada en archivos Excel, resguardados en cada Centro SCT. Con la información anterior se ha identificado el área de oportunidad para optimizar la gestión de proyectos de conservación de carreteras, tomando como muestra toda la red de carreteras pavimentadas de jurisdicción federal del estado de Quintana Roo, México, planteándose los desafíos en su implementación en un mapa

¹ Dr. Felipe Angeles Puc Hernández. Ex Profesor de Asignatura en Ingeniería Civil. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Chetumal. Alumno del Programa de Doctorado en Proyectos por la UNINI. Email: fp525419@gmail.com (**Autor correspondiente**).

digital georreferenciado, que permita su análisis en conjunto para la toma de decisiones más integral.

Se ha notado como tendencia general que mucha de la información que se procesa está desagregada y dispersa, por lo cual es necesario integrar datos en formatos electrónicos, así como crear visualización y de la misma forma y combinar los datos más importantes para la gestión de la conservación de la red básica libre de peaje y las autopistas de cuota, en esto se destaca el uso de los SIG para observar gráficamente la información, por lo que se hará uso del QGIS con software de Código Abierto, se utilizará también el Mapa Digital de Escritorio (MDE de aquí en adelante), versión 6.1; desarrollado por el Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI).

Los resultados de este trabajo permitirán visualizar rápidamente el estado físico de cada tramo y determinar sus niveles de atención. Con base en lo anterior las áreas responsables de la SCT, pueden determinar las acciones de conservación de la red, para asegurar condiciones óptimas de funcionamiento en cuanto a servicio y seguridad para los usuarios y se tendrá información resguardada en un solo sitio para su uso dentro del QGIS o del MDE.

Para situar adecuadamente el problema, la investigación se desarrolla en el contexto de la optimización de la gestión de la conservación de tramos carreteros en México. Con la pregunta de investigación: ¿Es posible optimizar la gestión de la conservación de tramos carreteros, a través de incorporar mapas SIG del estado físico de la red de carreteras y autopistas de Quintana Roo? La problemática anterior tiene sus orígenes en que no hay disponibilidad de archivos o de datos abiertos para la gestión de la red de la red de carreteras en cuanto a sus necesidades de conservación. La información actual de las variables una vez procesadas en Excel, son resguardadas en archivos electrónicos en cada Centro SCT, lo cual dificulta su uso integral y automatizado.

En el caso de la red de carreteras es más fácil gestionar adecuadamente pequeños tramos de carretera, pero en una extensa red de carreteras, su administración puede estar comprometida, ya que el inventario de los daños en la red de carreteras es un aspecto crítico donde se necesita automatizar ciertos procesos para agilizar la recogida y gestión de la información de campo (Días et al., Thenoux y Halles citados por Macea, Morales, & Márquez, 2016). El caso de México se enmarca en esta vasta red de carreteras, donde la automatización es parcial, suscitándose limitaciones similares a la de Perú, donde la gestión de la conservación presenta varias deficiencias por estas causas de escasa automatización en los procesos involucrados (Cabrera & Ynga, 2017).

Por lo anterior se remarca la idoneidad de las herramientas SIG para justificar la investigación al caso y con el fin de contribuir a resolver este problema, se realiza este trabajo de investigación con el cual se pretende subir a la nube de internet, capas de información, aprovechando las ventajas que ofrecen las tecnologías y los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Para la realización de los trabajos se propuso el uso de QGIS y el Mapa Digital de Escritorio (MDE), ambos como optativos, en virtud que es la primera vez que se desarrolla estos tipos de trabajos de gestión, empleando softwares de código abierto. Se espera que con el uso de estas herramientas propuestas se facilitará y/o mejorará la gestión de los proyectos carreteros.

El desarrollo de la presente investigación es de un enfoque Mixto, que resulta de una combinación del enfoque cuantitativo y el cualitativo, aunque prevalecerá más el paradigma cualitativo, el enfoque cuantitativo corresponde a la recolección de los datos que son de naturaleza numérica y secundario (recolectado por profesionales de la SCT).

Resulta importante recalcar en cómo las nuevas tendencias y su impacto en el proceso de desarrollo e implementación de SIG ha jugado un papel importante la industria informática y ha sido de mayor crecimiento en la última década provocando cambios sustantivos en otras ciencias como es la Cartografía. En tal sentido a Confederación de Empresarios de Andalucía (2010), reconocida por la Junta de Andalucía de la Consejería de Economía, Innovación y Ciencia de España, destaca que las tecnologías de los SIG pueden ser utilizada para investigaciones científicas, en arqueología, en evaluación del impacto ambiental, planificación urbana, cartografía, sociología, geografía histórica, marketing o logística. Así, la tecnología de los SIG que es utilizada para las investigaciones científicas puede también ser utilizada como en este caso en la gestión de proyectos carreteros con un gran campo de aplicación; Ante estos cambios Del Bosque, Fernández, Forero & Pérez (2012), sostienen que “Sólo recientemente se ha empezado a considerar el uso potencial de los SIG para otros campos y disciplinas relativamente inéditos...” (p.13), vinculados con las ciencias de la tierra.

Con este trabajo de investigación se pretende dar una visión sobre cómo aprovechar estos SIG para la gestión de proyectos de infraestructura carretera especialmente en el ámbito de la conservación, donde año con año se invierten

importantes recursos para modernizar y mantener la infraestructura vial que es el principal sistema de transporte de personas y bienes en México.

Se pretende igualmente utilizar los SIG disponibles en la red de código abierto donde el software es distribuido y desarrollado libremente enfocándose más en los beneficios prácticos (acceso al código fuente), que nos da la libertad de poder trabajar con la fuente del programa sin restricciones de licencia, con esto la investigación disminuye a este nivel los costos de la adquisición de SIG que no cuentan con esta opción de código abierto.

Existen sistemas desarrollados por especialistas en el área de infraestructura del Instituto Mexicano del Transporte donde se han aprovechado los sistemas de información geográfica para el análisis de los costos de operación vehicular del transporte de carga como son los mapas cartográficos y las condiciones físicas de las carreteras que inciden de manera importante en el costo final del transporte de carga en México (Pérez, Mendoza y García, 2001). No obstante, lo anterior los SIG todavía no constituyen una herramienta generalizada en los estudios de este campo de la gestión de proyectos carreteros, aunque con verdadero potencial, debido a las propias características espaciales y a la capacidad de los SIG para analizar las complejas relaciones espaciales que caracterizan a la integración de estas fuentes de información. En el ámbito internacional existen softwares desarrollados de exprofeso entre administraciones públicas y desarrolladores de softwares como los que se describen a continuación:

TEREX-SIG desarrolló la investigación “La Conservación Ordinaria por Indicadores (GSM)”, plasmado en un software que ha sido concebida para facilitar la gestión del inventario de elementos, desarrollado por la unidad de carreteras de Teruel del Estado en Aragón, España, en colaboración con el estudio de ingeniería Perfil 7; posee una versión SIG, denominada *Terex-SIG*, con funcionalidades que enlazan el SIG con la base de datos *Terex*, permitiendo la representación espacial de todos los elementos del inventario. La aplicación incluye el inventario de elementos de conservación de carreteras, reconocimientos y análisis de los índices de estado de los pavimentos (*Terex GSM*, 2013).

La empresa Rastertech en España desarrolló desde 1996 un Sistema de Conservación Integral para la Conservación y Explotación de Carreteras, como apoyo a los contratistas de conservación de carreteras para disponer de una herramienta informática que gestione las tareas de conservación y explotación con base a un conjunto de elementos de las carreteras y por otra establecer con las administraciones públicas, un criterio de homologar y normalizar la información que se reciben de los diferentes contratistas de conservación. Dispone en esta creación de un módulo SIG para la gestión de carreteras que permite controlar el inventario y generar mapas temáticos diversos; así mismo dispone de módulos para: Gestión de partes de trabajo, mantenimiento de equipos eléctricos, derecho de vía y explotación, inspecciones, SIG e inventario gráfico, defectos de firmes, planificación operativa, gestión de recursos, asistente para la importación de datos, asistente para la exportación de datos y administración del sistema (*Rasviet-GCvial*, Versión 5, 2018)

Álvarez, López, Canito, Moral, & Camacho (2007) desarrollaron una metodología, basada en la formulación del modelo de Rasch, que permite obtener una medida objetiva de las condiciones de la carretera y luego evaluar cada uno de los indicadores que describen la condición de la carretera, procesado datos relacionados con la red de carreteras locales y regionales en la provincia de Badajoz, España. Hay muchas facetas que influyen en la calidad de las carreteras, como las características de diseño (ancho, zanjas, etc.) o su mantenimiento (carteles, señalización, etc.). Todos ellos deben ser considerados con una serie de indicadores al analizar diferentes caminos. Finalmente, los resultados se implementaron en un sistema de información geográfica (SIG) para visualizar la distribución de todas las vías en función de su condición y, además, hacer diagnósticos individuales de cada tramo con el objetivo de optimizar asignación de recursos.

Zapata & Cardona (2012) en su trabajo denominado “Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica para la Gestión de la Malla Vial de la Ciudad de Medellín”, resumen que el estado de la malla vial implica componentes como el tránsito vehicular, condiciones estructurales y funcionales del pavimento, factores climáticos y el propio mantenimiento de la carretera. Denotan la implementación del sistema de gestión de pavimentos de la ciudad con el desarrollo en una plataforma SIG, integrada por una geodatabase corporativa con un inventario y diagnóstico, así como un software de modelación del deterioro del pavimento, el cual arroja recomendaciones de intervención en cada segmento de carretera. Mediante la aplicación de este SIG caracterizaron y analizaron los elementos más importantes de su infraestructura carretera y se identificaron los parámetros técnicos y geométricos que la conforman.

De los trabajos anteriores se nota un gran aporte de los SIG en el ámbito de la gestión de los proyectos de conservación

de carreteras y de formas muy diversas, sin embargo las variables son diferentes al de este trabajo, ya que en estos desarrollos predomina el software SIG de uso privado, no se comentan el uso de las plataformas Cloud Computing, vislumbrándose que estos desarrollos son para tareas específicas en ciudades con menor magnitud de datos con diferencias notables al de esta investigación donde se trabajó con software de SIG de código abierto, con la generación de metadatos al involucrarse todos los datos de las cinco variables de toda la red pavimentada del estado de Quintana Roo, en los softwares de QGIS y del MDE.

Por lo anterior el propósito fundamental de esta investigación será el de caracterizar los tramos carreteros más importantes del estado de Quintana Roo, utilizando los datos georreferenciados de los daños superficiales (variables) obtenidos de la base de datos del Centro SCT Quintana Roo, del año 2007 y con los mismos elaborar un mapa digital georreferenciado (SIG) de la red de carretera federal libre y de autopistas de cuota que nos permita visualizar su estado físico para diagnosticar su estado actual y poder establecer rangos de prioridad y proponer zonas críticas para inversión a corto plazo. Esta información pudiera ser útil para la SCT quienes gestionan recursos para la rehabilitación y conservación de las carreteras y de esta forma optimizar la gestión de los proyectos de conservación de carreteras.

Materiales y métodos

La herramienta técnica por utilizar en el análisis espacial se define como un instrumento gráfico tipo, cuantitativo, cualitativo y / o mixto, cuyo uso implica una serie de procedimientos en que se trabaja con una o más variables, a fin de hacer un fenómeno más comprensible y visible. Las herramientas técnicas atienden a los dos objetivos del análisis espacial, en la medida en que sirven para identificar los componentes del espacio y enfocarse en el procesamiento de datos. La Figura 20 muestra una clasificación en cuatro grupos de herramientas técnicas usadas para el análisis espacial (Madrid & Ortiz, 2005)

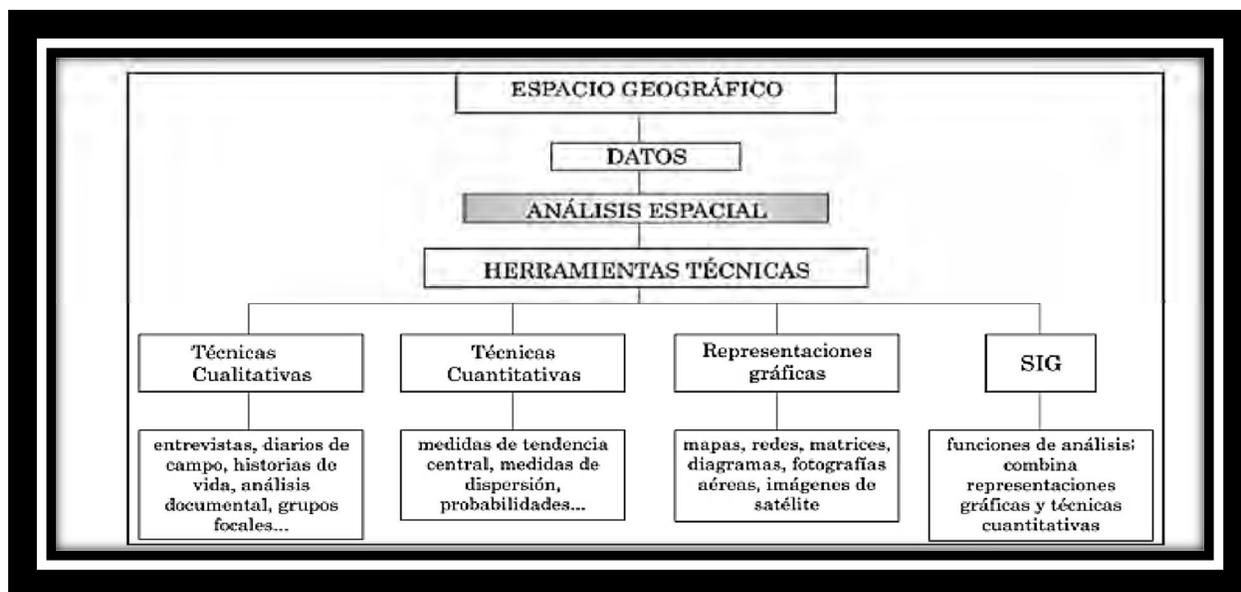


Ilustración 1. Clasificación en cuatro grupos de herramientas técnicas usadas para el análisis espacial. Adaptado de (Madrid & Ortiz, 2005).

En la figura anterior se observa que los SIG realizan las funciones de análisis que combina las técnicas de las representaciones gráficas y las técnicas cuantitativas. De este modo definen a la representación gráfica como un esquema abstracto de la realidad, que tiene como objetivo hacer más fácil e inteligible un fenómeno permitiendo la visualización de ciertas características que de otra forma son difícilmente perceptibles (Madrid & Ortiz, 2005).

Con base a esta forma de análisis de los SIG de técnicas cuantitativas y representaciones gráficas y teniendo como objetivo sintetizado el “optimizar la gestión de proyectos de conservación de tramos carreteros de Quintana Roo”, con enfoque cualitativo, se hace imprescindible, que el diseño de la investigación tenga un enfoque mixto, que abarque las técnicas cuantitativas y cualitativas por medio de representaciones gráficas de los SIG.

En esta investigación, se utilizará el enfoque mixto exploratorio, con datos cuantitativos y análisis cualitativo conocido como Diseño Explicativo Secuencial “DEXPLIS” (Hernández, Fernández, & Baptista (2010).

El trabajo se llevará a cabo en dos fases distintas interactivas; Primera etapa: Se inicia con la recolección y análisis de los datos cuantitativos que tiene la prioridad en la dirección de las preguntas de investigación; seguidamente se recogen y analizan los datos cualitativos en base a los resultados primeros de la fase cuantitativa. El investigador interpreta cómo los resultados cualitativos ayudan a explicar los resultados cuantitativos iniciales (Hernández Sampieri y Mendoza, como se citó en Hernández, et al., 2010).

Con el diseño de la investigación, las inferencias sobre las relaciones entre variables se realizan sin intervención o influencia directa y dichas relaciones se observan tal y como se han dado en su contexto natural. En estas circunstancias las variables por observar en su contexto natural, será la que se visualicen en el QGIS y en el MDE del INEGI, una vez que se hayan desplegado como Sistema mediante capas de información. Las variables como archivo deben de estar adecuadas al lenguaje que como SIG maneja ambos sistemas.

Estas variables que serán adecuadas durante la investigación a los archivos del SIG y no serán manipuladas en su contenido de información ya preconcebida en su formato de origen.

Se indican a continuación las Variables relacionadas con la investigación, que son de condiciones Superficiales:

- Índice de rugosidad internacional (IRI) con unidades de medición de m/km
- Deterioros (DET) con unidades de medición de m²/100m
- Profundidad de roderas (PR), con unidades de medición en mm
- Coeficiente de fricción (CF), adimensional
- Macrotextura (MAC) con unidades de medición en mm

De acuerdo con (Alberola, 2006) una descripción abreviada de la medición de las variables como indicadores de la calidad del pavimento para la gestión de su conservación son los siguientes:

IRI.-Perfilómetro acoplado a un vehículo con equipo de cómputo para medir el perfil longitudinal

DET.-Porcentaje de longitud fisurada y del área dañada, por cada 100 m utilizando las imágenes digitales.

PR.- Emisores de rayo láser y medición por carril de 4 m, para detectar la profundidad y el ancho de las roderas

CF.- Equipo de rueda oblicua, denominado “MuMeter”, que cual mide la resistencia a la fricción generando un parámetro numérico de la resistencia al deslizamiento de los neumáticos sobre el pavimento.

MAC.- Escáneres transversales que obtienen las desviaciones de la superficie del pavimento con respecto a una superficie plana verdadera.

Fase de recopilación de la información de los archivos del año 2017 a cargo del Centro SCT Quintana Roo. Al ser la investigación del tipo exploratorio y por la utilidad en el diseño de estudio que requiere no tanto una representatividad de elementos de una población, sino una cuidadosa y controlada elección de casos con ciertas características especificadas previamente en el planteamiento del problema, se utilizara como la muestra no probabilística (Hernández et al,2010). El Estado de la República para el cual se efectuará esta investigación corresponde a Quintana Roo, en la cual la red de carreteras lo conformará la red carretera libre de peaje que está compuesta por 767.36 kilómetros y la red de autopistas libres de cuota que la integra 87.656 km de longitud dentro del estado de Quintana Roo. Para corroborar datos de la información geográfica se tomará en cuenta lo indicado en la normativa de la infraestructura del transporte NOPR-CAL-3.2-01/12 de la SCT, norma que contiene los criterios para la obtención y presentación de datos geoespaciales de carreteras.

El instrumento seleccionado para recolectar la información secundaria es la “ficha de contenido”, misma que se diseñó como instrumento para recolectar la información; en la tabla 1 se presenta a manera de ejemplo el instrumento para recolectar datos de la variable IRI. En este caso, se acudió al Centro SCT Quintana Roo, para solicitar los datos más recientes (año 2017) relacionados con el estado físico de cada tramo carretero y de autopistas en términos de la base de datos georreferenciados y relacionadas con las variables antes indicadas.

Tabla 1. Diseño tipo del instrumento que se aplicará a la muestra determinada para recolectar la información

Clave	Carril	De Cad Carr	A Cad Carr	De Cad Geo m.	A Cad Geo m	Latitud	Longitud	X	Y	I R Iz q	I R Iz	I R Iz
tram	Sentido											
o												

Fuente: Adaptado de (Gallardo y Moreno,1999).

Cabe hacer notar que los equipos de medición de las variables están homologados por ASTM International, que es una organización de normas internacionales que desarrolla y publica acuerdos voluntarios de normas técnicas para una amplia gama de materiales, productos, sistemas y servicios; el organismo en México certificado que se encarga

de verificar el cumplimiento de esta normativa es el Instituto Mexicano del Transporte (IMT), Coordinación de Infraestructura, División de Laboratorios de Infraestructura. Este certificado es exigible a las empresas participantes como parte del proceso de selección en la adjudicación de los contratos para la medición con los equipos de alto rendimiento.

Los tramos carreteros por analizar con las variables de estudio corresponden a todos los tramos carreteros de la red Federal pavimentada, correspondiendo siete en la red libre: Reforma A.-Puerto Juárez, Lázaro Cárdenas, Polyúc, Mérida-Puerto Juárez, Valladolid-Felipe Carrillo Puerto, Escárcega-Chetumal, Entronque Teya-Felipe Carrillo-Puerto, Ramal Subteniente López y tres Autopistas de cuota: Nuevo Xcan-Playa del Carmen, Mérida – Cancún y Libramiento Felipe Carrillo Puerto.

De acuerdo con la recolección de datos de las variables en estudio, el Centro SCT Quintana Roo aportó para la presente investigación archivos electrónicos en Excel en formatos similares al del instrumento de recolección. La información resultó extensa y una vez recopilado se almacenó para la investigación en la nube de un hosting “Blue host”, cuya carátula de presentación se muestra en la tabla 2, de esta forma toda la información numérica queda alojada en una única base de datos y no en archivos aislados como se captura actualmente, siendo viable de ser compartidos a los entes interesados durante los procesos de gestión y posteriores al mismo.

Tabla 2. Ejemplo de los archivos de información de la variable IRI y almacenadas posteriormente en un hosting

Name	Size	Last Modified	Type	Perms
A-035-01-S1.xlsx	1,58 MB	20 ene. 2019 23:47	text/x-generic	0644
A-035-01-S2.xlsx	1,58 MB	21 ene. 2019 10:28	text/x-generic	0644
A-035-02-S1.xlsx	734,02 KB	21 ene. 2019 10:33	text/x-generic	0644
A-035-03-S1.xlsx	991,19 KB	21 ene. 2019 10:36	text/x-generic	0644
A-035-03-S2.xlsx	989,88 KB	21 ene. 2019 10:38	text/x-generic	0644
A-244-01-S1.xlsx	759,24 KB	21 ene. 2019 10:38	text/x-generic	0644
BD A-035-01 S1.xlsx	15,57 MB	21 ene. 2019 10:50	text/x-generic	0644
BD A-035-01 S2.xlsx	15,56 MB	21 ene. 2019 10:49	text/x-generic	0644
BD A-035-02 S1.xlsx	757,43 KB	21 ene. 2019 10:41	text/x-generic	0644
BD A-035-02 S2.xlsx	761,04 KB	21 ene. 2019 10:41	text/x-generic	0644
BD A-035-03 S1.xlsx	2,03 MB	21 ene. 2019 10:44	text/x-generic	0644
BD A-035-03 S2.xlsx	2,03 MB	21 ene. 2019 10:44	text/x-generic	0644
BD BC-050-01_S1.xlsx	11,21 MB	21 ene. 2019 14:16	text/x-generic	0644
BD BC-050-02_S1.xlsx	3,41 MB	21 ene. 2019 14:13	text/x-generic	0644
BD BC-288-01_S1.xlsx	1,1 MB	21 ene. 2019 14:09	text/x-generic	0644

Fuente: Elaboración propia con datos de la investigación

En la tabla 3 se muestra la carátula de uno de los archivos de Excel de la información desplegada, correspondiente a la variable IRI almacenada en el hosting antes mencionado.

Tabla 3. Ejemplo de los archivos de información desplegado de la variable IRI almacenada en un hosting

Fuente: Elaboración propia con datos de la investigación

Fase de Análisis de los Datos Cuantitativos.

El método para calificar el estado físico de las carreteras federales emitido por la SCT, indica que el análisis estadístico incluya cuadros de datos con presentación de resultados de promedio estadístico por sección de carretera de cada una de las variables, remarcando con colores Verde, Amarillo y Rojo, los valores con calificación de Bueno, Regular y Malo (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2014).

En la tabla 4 se muestra un ejemplo de resultados globales de segmentos, recopilados de las variables para la carretera Reforma Agraria-Puerto Juárez. Esta información es una primera aproximación del estado físico de la red donde la coloración verde, amarillo y rojo corresponde a la calificación de bueno, regular y malo de cada una de las variables. Para visualizar la información por segmentos más minúsculos de 20 m,100 m y 1000 m de carretera, se procederá a localizar los archivos en Excel para cada una de las carreteras y en las mismas se detalla las bases de datos y gráficos de comportamiento.

Tabla 4. Resultados globales de los datos recopilados de las variables para la carretera: Reforma Agraria-Puerto Juárez.

Nota: Elaboración propia con datos de la investigación. La coloración remarcada en rojo no cumple con los umbrales de aceptación. La doble numeración en resultados corresponde al promedio del sentido 1 y 2 respectivamente.

km inicial	0+000	21+0	134+	231+	254+30	302+5	320+00	322+00
km final	20+940	129+940	227+100	254+300	282+80	320+00	322+00	339+90
-Índice de Rugosidad Internacional (IRI) promedio (m/km)	1.49	1.82	1.79	1.78	1.80	1.20	1.21	1.65
-Deterioros (DET) (m ² /100 m) %	0.5	0.11	0.10	1.3	0.1	0.1	0.0	1.2
-Profundidad de Roderas (PR) (mm)	5.01	5.32	6.97	5.85	5.14	6.83	6.39	7.20
-Coeficiente de Fricción (CF) (adimensional)	0.50	0.47	0.10	0.58	0.54	0.56	0.57	0.55
-Macrotextura (MAC) (mm)	0.84	0.93	0.93	0.74	0.87	0.97	1.07	0.95
				0.73	0.78	1.05	0.56	0.46

Al ser obras lineales la información se despliega en larguillos con gran multitud de datos que imposibilita plasmarlas a formato Word, siendo esta una dificultad para su presentación por este medio, sin embargo, este primer panorama global nos denota una imagen general del estado físico de la red de carreteras que se analice.

Para este ejemplo en la carretera Reforma Agraria-Puerto Juárez, todas las variables medidas resultan con una calificación de bueno con excepción del Coeficiente de fricción que en su mayor longitud tiene una calificación de Regular y con Calificación de Malo en un segmento del km. 134+600 al km. 227+100. De igual forma la Macrotextura resultó con una calificación de Malo en el segmento del km. 231+100 al km 254 +300.

El resultado global de esta forma de análisis de resume en la tabla 5, Concentración general de datos de análisis cuantitativo, donde se aprecia que la cantidad de datos que involucra a todas las variables asciende a 225830, de los cuales 3917 que corresponde al 15 % del total de la red, no cumplen con los umbrales de aceptación. Para este porcentaje de incumplimiento, simboliza atención de prioridad y se deberá desplegar las zonas críticas para la gestión de los recursos presupuestarios a corto plazo y su atención mediante alguna estrategia de conservación periódica.

Tabla 5. Concentración general de datos del análisis cuantitativo

Datos/Archivos Tramo carretero	Cantidad y % de Datos “Malos” que no cumplen con los umbrales de aceptación	Cantidad y % de Datos “Buenos” y “Regulares”, según los niveles de aceptación	Total de datos
a. Reforma A.-Puerto Juárez	8658 12%	63698 88%	72356
b. Lázaro Cárdenas-Polyuc	3306 26%	12675 74%	15981
c. Mérida-Puerto Juárez	1545 13%	9982 87%	11527
d. Valladolid-Felipe Carrillo Puerto	1813 12%	13832 88%	15645
e. Escárcega-Chetumal	2351 12%	16596 88%	18947
f. Entronque Teya-Felipe Carrillo-Puerto	1607 10%	13972 90%	15579
g. Autopista: Nuevo Xcan-Playa del Carmen.	892 5%	16868 95%	17760
h. Autopista: Mérida – Cancún.	12992 25%	39124 75%	52116
i. Autopista: Libramiento Felipe Carrillo Puerto	283 6%	4430 94%	4713
j. Ramal Subteniente López	470 39%	736 61%	1206
Total	3917	191913	225830
%	15	85	100

Fuente: Elaboración propia con datos de la investigación

Actualmente al terminarse este proceso de análisis numérico, la Dirección técnica de la SCT(México) elabora un expediente por escrito de todos los resultados, con los tramos críticos por atender y procede a su envío a las dependencias que competan para la gestión de recursos, dando por finalizado el proceso y archivando la información en electrónico en los equipos tradicionales de cómputo; el seguimiento de la información recopilada queda a criterio pues no existe un procedimiento documentado para el análisis y confronta de estos metadatos con el paso del tiempo.

Recolección de datos cualitativos.

En seguimiento a la investigación para la recolección de los datos cualitativos, se extraerán las coordenadas geográficas de cada variable que se encuentran en los archivos de Excel en el hosting y se transformaran a los formatos que maneja QGIS, MDE, y QGIS Cloud respectivamente; el software de QGIS, permite cargar y superponer capas vectoriales y

ráster en diferentes formatos, modificar su aspecto (simbología), editar los valores, realizar análisis espaciales. Para agregar una capa de datos al proyecto, se selecciona las opciones desde el menú Capa → Añadir capa o directamente desde la barra de herramientas “Administrar capas” que por defecto aparece a la izquierda de la pantalla, como todo sistema existe un proceso para agregar archivos vectoriales shapefile en QGIS, para su visualización (Introducción a QGIS Versión 2.8,2015). El software de QGIS Cloud funciona como un gran servicio de alojamiento en la nube para QGIS Server, ya que después del registro en línea y la instalación de un complemento(experimental), los proyectos de QGIS pueden cargarse en la nube con facilidad y también cuenta con un proceso de cómo publicar mapas online (MappingGis,2018). Para la Visualización de Datos Cualitativos en Software del MDE, en la guía para importar coordenadas a formato .shp se describe el procedimiento para importar datos vectoriales a una capa de puntos en formato .shp (INEGI, 2018, p.1-3).

Análisis Cualitativo.

Este tipo de examen corresponde al análisis de la información recopilada de cada variable y su representación como fenómeno en cada uno de los SIG de QGIS, MDE y como plataforma en QGIS Cloud, al respecto los siguientes autores dan su postura sobre el significado que tiene la representación espacial:

Alonso (2006) indica que dentro de los fenómenos en el espacio encontramos las variables espaciales, binomiales y la *Semicuantitativas u ordinales*, esta tercera que compete a esta investigación la define de la siguiente forma:

Se trata de variables cualitativas pero que pueden ordenarse atendiendo a algún criterio. Por ejemplo, el tipo de carretera a la que pertenezca un tramo de la red, tipos de roca ordenados por su erosionabilidad, clases de pendiente. Suelen representarse mediante números naturales a los que se asocia una etiqueta de texto descriptiva (sección 5.1 Fenómenos en el espacio, variables, entidades y eventos).

López, Posada, & Moreno (1996) sostienen que la representación espacial en un modelo vectorial se basa en la ubicación de puntos individuales de acuerdo con ciertas coordenadas, de modo que se pueden representar puntos, líneas y polígonos, que son las unidades que contienen la información. Al administrar funciones, tiene la ventaja de que su representación gráfica siempre conserva el mismo tamaño ya que no tiene magnitud. Los elementos están representados por una función matemática y, a su vez, mantienen un enlace a una base de datos.

Teniendo en cuenta lo anterior el análisis cualitativo en cualquiera de los SIG de QGIS y del MDE, así como su concreción en la plataforma QGIS Cloud, se abordará en visualizar los puntos de la red de carreteras que estén sobre todo con los rangos de malo en cualquiera de las variables de estudio y que ameriten aplicar medidas de gestión de conservación oportuna; en la tabla 6 se muestra los rangos de aceptación y calificación cualitativa de cada variable.

Tabla 6. Rangos de aceptación y Calificación cualitativa de cada variable en análisis

Indicador (característica)	Rangos de aceptación de red libre	Calificación cualitativa	Rangos de aceptación autopistas de cuota	Calificación cualitativa
Índice de Rugosidad Internacional (IRI) (m/km)	0.0-3.0	BUENO	0-2.8	BUENO
	3.1-4.5	REGULAR	>2.8	MALO
	>4.5	MALO		
Deterioros (DET) (m ² /100 m)	<10%	BUENO	0%-10%	BUENO
	10% - 30%	REGULAR	>10%	MALO
	> 30%	MALO		
Profundidad de Roderas (PR) (mm)	0-7.0	BUENO	0-5.0	BUENO
	7.1-9.0	REGULAR	5.1-8.0	REGULAR
	>9.0	MALO	>8.0	MALO
Coeficiente de Fricción (CF) (adimensional)	0.61-0.90	BUENO	0.61-0.90	BUENO
	0.41-0.60	REGULAR	0.41-0.60	REGULAR
	0- 0.40/ >0.90	MALO	0- 0.40/ >0.90	MALO
Macrotextura (MAC) (mm)	>0.75	BUENO	>0.75	BUENO
	0-0.75	MALO	0-0.75	MALO

Nota: Reproducido de (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2014)

Las imágenes capturadas en diferentes subtramos muestran claramente el estado físico de cada una de las variables; en esta disposición se ha destacado las imágenes con resultado “Malo”, con el fin de visualizar aquellos segmentos cuyas variables se encuentran fuera de los umbrales de aceptación para la toma de decisiones que compete. En las inmediaciones de los mapas es posible observar otras fuentes de información como puede ser la misma trayectoria de la carretera con sus enlaces u accesos, poblaciones circundantes y lugares de interés turístico.

Resultados y discusión

En la ilustración 2 y 3 se presentan los mapas de zonificación de las autopistas de cuota y de la red libre, donde se han concentrado las cinco variables que no cumplen con los rangos de aceptación utilizando para esto el MDE; esta visualización general puede particularizarse haciendo Zoom hacia la zona que más interés concretarse, de igual modo en la tabla de atributos del MDE es posible extraer la relación de los subtramos que no cumple con los rangos de aceptación de todas las variables, para lo cual en las tablas 7 y 8 se han concentrado los kilometrajes de los subtramos que requieren atención a corto plazo.

Con base a lo anterior en la tabla 9 se presentan las etapas y tipos de solución que aplica la SCT para definir la conservación de pavimentos, lo más común que se ha caracterizado en los pavimentos de bajo nivel de daños como es el caso, ha sido el del mejoramiento superficial, que mediante la evaluación, estudios y dictámenes técnicos directos en los tramos priorizados se define algunas de las siguientes estrategias de conservación periódica como pudiese ser: Recuperación de pavimentos, renivelación, tratamientos superficiales, bacheo profundo, reconstrucción de terraplenes, rehabilitación de bases, reconstrucción de carpetas, riegos de sello, restitución de señalamiento horizontal y obras de prevención de derrumbes (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2014, p.5).

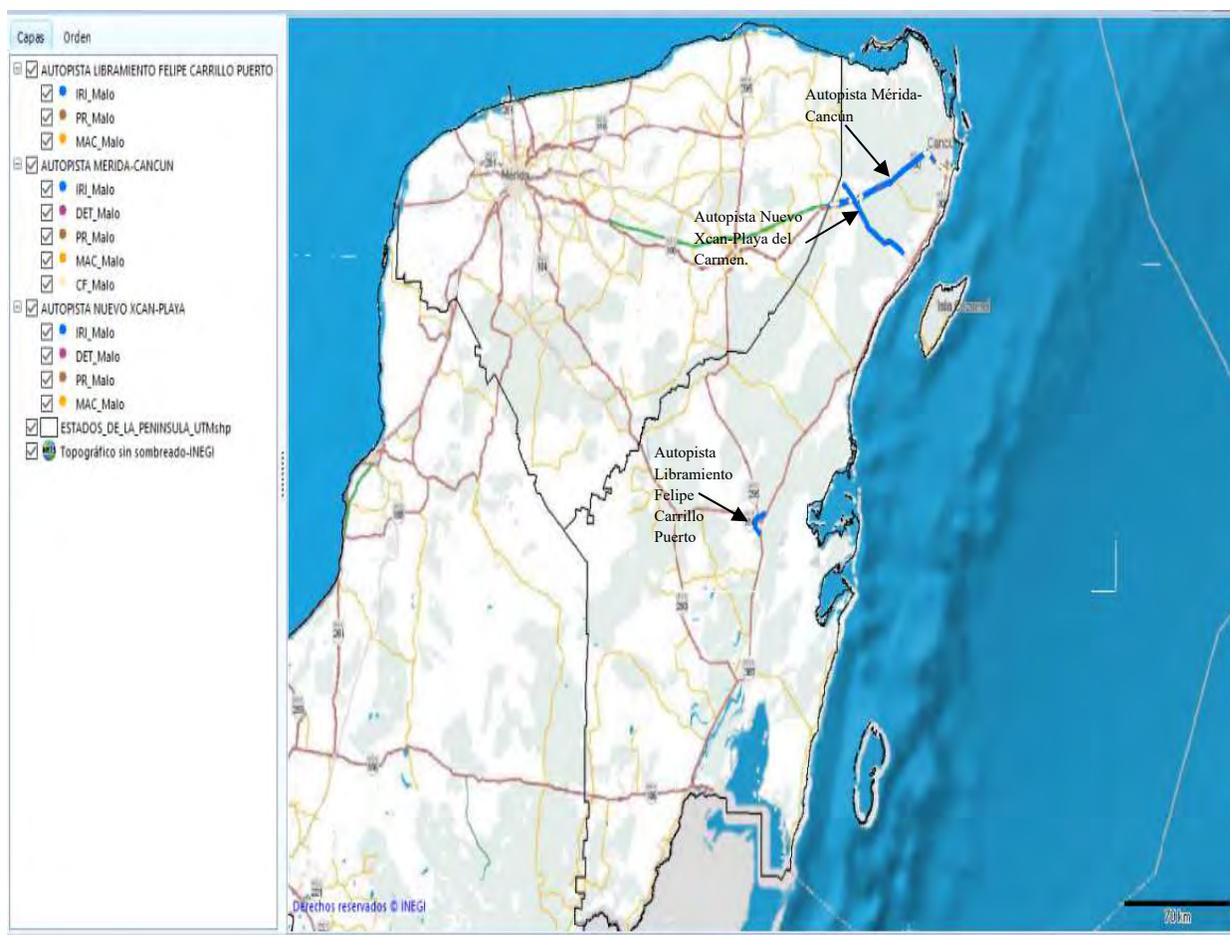


Ilustración 2. Mapa de Zonificación de autopistas donde no se cumple con los rangos de aceptación de las variables

Tabla 7. Variables que no cumple con los rangos de aceptación y tramos de prioridad urgente para la gestión de recursos (Autopistas)

Variable	Nuevo Xcan-Playa del Carmen.		Mérida – Cancún.		Libramiento Felipe Carrillo Puerto	
	Km a Km	Datos que no cumplen (%)	Km a Km	Datos que no cumplen (%)	Km a Km	Datos que no cumplen (%)
Índice de Rugosidad Internacional (IRI) promedio (m/km)	(1.08-11.52) y (17.9-28.44)	10	(222.68-233.42), (238.84-251.46) y(271.94-289.92)	11	(0.02-1.08) y (5.4-6.64)	7
Deterioros (DET) (m ² /100 m) %	Muy espaciado. No Aplica	2	-	0	-	0
Profundidad de Roderas (PR) (mm)	(6.68-9.58)y (24.06-39.0)	7	(219.88-227.96), (238.24-249.4) y(265.84-279.1)	26	(0.14-1.4) y (4.72-7.26)	11
Coefficiente de Fricción (CF) (adimensional)	-	0	(298.1-300.9)	5	-	0
Macrotextura (MAC) (mm)	-	1	(219.88 231.98), (237.74-257.2) y (275.76-289.86)	45	Muy espaciado No Aplica	2

Fuente: Elaboración propia con datos de la investigación



Ilustración 3. Mapa de ubicación de la red federal libre donde no se cumple con los rangos de aceptación de las variables.

Tabla 8. Variables que no cumple con los rangos de aceptación y tramos de prioridad urgente para la gestión de recursos(Red Federal Libre)

Variable	Reforma A.-Puerto Juárez		Lázaro Cárdenas-Polyuc		Mérida-Puerto Juárez		Valladolid-Felipe Carrillo Puerto		Escárcega-Chetumal		Entronque Felipe Carrillo Puerto		Ramal Subteniente López	
	Km a Km	Datos que no cumplen (%)	Km a Km	Datos que no cumplen (%)	Km a Km	Datos que no cumplen (%)	Km a Km	Datos que no cumplen (%)	Km a Km	Datos que no cumplen (%)	Km a Km	Datos que no cumplen (%)	Km a Km	Datos que no cumplen (%)
Índice de Rugosidad Internacional (IRI) promedio (m/km)	(17.68-20.54) y (69.36-74.98)	1	(42.46-49.6)y (92.72-99.84)	2	(238.54-245.48)	3	(136.72-144.18) y (46.62-52.86)	3	(183.56-192.22) y (265.88-270.68)	3	(161.3-174.8)	1	(3.04-3.58)	8
Deterioros (DET) (m ² /100 m) %	-	0	-	0	(230.7-238.5) y(281.9-293.8)	98	-	0	-	0	-	0	-	0
Profundidad de Roderas (PR) (mm)	(0.42-2.32) y (68.28-82.16)	11	(6.2-7.6) y (18.12-22.18)	21	(231.58-232.68) y(287.64-292.78)	15	(50.76-56.04) y(61.64-64.12)	15	(234.4-241.3) y (257.76-261.84)	21	(120.0-121.04) y (130.6-132.24)	15	(0.58-1.34) y (2.32-3.6)	36
Coefficiente de Fricción (CF) (adimensional)	(17.0-20.9) y (52.0-57.8)	9	-	Sin datos	-	0	-	Sin datos	(256.8-258.0)	3	(125.0-131.8) y(134.3-137.3)	15	-	3
Macrotextura (MAC) (mm)	(99.38-104.26) y 216.7-222.320)	27	(22.2-33.64) y (33.9-40.34)	44	(253.98-261.72)	44	(51.28-52.46)	44	(212.12-216.68) y264.54-270.1)	44	(120.42-122.28) y (125.1-126.44)	16	(0.28-1.92) y(2.16-3.56)	88

Tabla 9. Etapas y tipo de solución para la conservación de pavimentos

Nota: Reproducido de la SCT (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2014).La auscultación son los resultados de las cinco variables

Etapas para evaluar y definir la conservación de pavimentos	Tipo de solución para definir la conservación de pavimentos		
	Mejoramiento superficial	Rehabilitación	Reconstrucción
Auscultación (para Gestión de Pavimentos)	X	X	X
Evaluación	X	X	X
Estudios	X		
Dictamen Técnico	X		
Proyecto		X	X

analizadas en esta investigación, los demás estudios y dictámenes técnicos que se solicitan, corresponden a exploraciones que realiza personal técnico en los tramos preseleccionados para definir finalmente la estrategia de conservación necesaria.

Conclusiones

Estos SIG vienen a complementar la información cuantitativa de las variables que actualmente se respaldan en los archivos Excel en cada Centro SCT. Al tenerse la información base cuantitativa georreferenciada se podrá hacer el uso de estos SIG para observar los puntos malos por ejemplo que requieran atención y tomar las decisiones que competan, con base al tipo de carretera por sus condiciones geométricas, enlaces o conectividad, índice de accidentes, intensidad del tránsito vehicular e importancia de la zona adyacente al tramo en cuanto a otras variables como puede ser la actividad turística, industrial, marítima, etc., y de esta manera la toma de decisiones no sea exclusiva por las condiciones numéricas, sino más generalizada con la visualización de los mapas; además de que es posible resguardar la información en estos mismos sistemas en la nube de internet como es la plataforma QGIS Cloud para el manejo de información geográfica en cuanto a su seguimiento en cualquier momento por las áreas involucradas en la gestión de carreteras, mejorando de esta forma el proceso de resguardo y de automatización más acorde a las nuevas tecnologías de la información.

Agradecimientos

Se emite un sincero agradecimiento a la Universidad Internacional Iberoamericana quien ha estado asesorando este

trabajo desde su concepción en el Doctorado en Proyectos, así mismo un especial agradecimiento al Centro SCT Quintana Roo quien amable ha contribuido en la aportación de los datos numéricos, sin los cuales no hubiera sido posible encausar esta investigación hacia los fines deseados.

Referencias bibliográficas

- Alberola, R. (2006). *Equipos de alto rendimiento para el control de carreteras*. Ciudad de México: VII Conferencia “Rodolfo Félix Valdés”. Asociación Mexicana de Vías Terrestres, A.C.
- Alonso, F. (13 de febrero de 2006). Sistemas de Información Geográfica. Obtenido de <http://www.um.es/geograf/sigmur/temariohtml/index.html>
- Álvarez, P., López, F., Canito, J., Moral, F., & Camacho, A. (2007). Development of a measure model for optimal planning of maintenance and improvement of roads. *Computers & Industrial Engineering*, 52.Issue 3, 327-335.
- Cabrera, L., & Ynga, W. (2017). *Sistema de Gestión de Conservación Vial- SGCV*. (Tesis de Pregrado). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú.
- Confederación de Empresarios de Andalucía. (2010). Sistemas de Información Geográfica, tipos y aplicaciones empresariales. Andalucía, España. *CEA*. Obtenido de CEA: http://sig.cea.es/utilidad_SIG
- Del Bosque, I., Fernández, C., Forero, L., & Pérez, A. (2012). *Los sistemas de información geográfica y la investigación en ciencias humanas y sociales*. Madrid, España: Confederación Española de Centros Locales.
- Gallardo, Y., & Moreno, A. (1999). Módulo 3 Recolección de la Información. En Serie aprender a investigar (pp-5-151). Colombia: Arfo Editores LTDA.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2010). *Metodología de la investigación* (Quinta ed.). México: McGraw-Hill.
- Introducción a QGIS Versión 2.8. (2015). *Intendencia de Montevideo Servicio de Geomática*, 1-51.
- López, E., Posada, C., & Moreno, J. (1996). Los Sistemas de Información Geográfica. *Andalucía en el umbral del siglo XXI*. Ponencia llevada a cabo en el I Congreso de Ciencia Regional de Andalucía, Universidad de Sevilla, España.
- Macea, L., Morales, L., & Márquez, L. (Abril-Junio de 2016). Un sistema de gestión de pavimentos basado en nuevas tecnologías para países en vía de desarrollo. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, (17), 223-236. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1405774316300075?via%3Dihub>
- Madrid, S., & Ortiz, L. (2005). Análisis y síntesis en cartografía: algunos procedimientos. (C. e. Colombia, Ed.) Colombia.
- MappingGis. (26 de febrero de 2018). *¿Cómo publicar mapas online con QGIS Cloud ?* Obtenido de <https://mappinggis.com/2019/01/como-publicar-mapas-con-qgis/>
- Pérez, Mendoza y García, D. (2001). *Análisis de costo de operación vehicular del autotrasporte por la red carretera federal*. Sanfandila Querétaro: Instituto Mexicano del Transporte.
- Rasviet-GCvial, Versión 5. (2018). Obtenido de <http://www.rasviet.es/rasviet-gcvial.html>
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2014). *Método para calificar el estado físico de las carreteras federales*. México.
- Terex GSM. (2013). *La Conservación Ordinaria por Indicadores (GSM)*. Obtenido de <https://www.carreterasaragon.com/index.php?type=public&zone=static&action=default&categoryID=153&codeID=153>
- Zapata, J., & Cardona, G. (2012). *Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica para la gestión de la malla vial de la ciudad de Medellín*. Medellín, Colombia.