

El uso de Sistemas de Información Geográfica para la planificación y gestión de infraestructura

Ing. Lil María Moya Fernández
Secretaría de Planificación Sectorial
Ministerio de Obras Públicas y Transportes
Costa Rica
Correo electrónico: lmoyafer@mopt.go.cr

Resumen

La planificación y administración de activos de transporte, requieren el uso de herramientas tecnológicas que faciliten el trabajo y garanticen una optimización del uso de recursos, así como una mayor capacidad de respuesta.

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) requiere de alto nivel de calidad, precisión y detalle en los datos, así como de un buen equipamiento en cuanto a hardware y software, además de personal que tenga el conocimiento y compromiso necesarios para el mantenimiento de dicho sistema.

En el presente artículo se hace una revisión de artículos que recopilan aspectos básicos del establecimiento de un SIG en instituciones, enfocado especialmente a las necesidades del sector transporte.

Palabras Clave

SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA, TRANSPORTE, GESTION, ACTIVOS DE CARRETERAS.

Introducción

Un elemento clave en la planificación consiste en la organización, facilidad de acceso y actualización constante de la información, para hacer de esta una herramienta útil para las personas que realizan labores orientadas a la toma de decisiones.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se han convertido en una forma muy práctica de manejar la información, debido a que se conoce su distribución y ubicación geográfica exacta (por ejemplo carreteras, líneas de transmisión, sistemas de alcantarillado, entre otros). De esta forma, dicha información se vuelve visualmente fácil de entender y se le puede asociar múltiples atributos. Esto permite

que se pueda desplegar la información por medio de mapas y que también se puedan hacer distintos tipos de análisis espaciales.

En la actualidad, es posible ver que se ha incrementado el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para labores relacionadas con la gestión de carreteras, publicación de información de temas relacionados con transportes, la planificación urbana, entre otros.

Se ha buscado establecer en la Secretaría de Planificación Sectorial del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (SPS-MOPT) un SIG que permita tener concentrada y actualizada toda la información generada en la Secretaría (a manera de plan piloto), de forma que pueda estar disponible para los distintos departamentos que la conforman, facilitando la accesibilidad a la información por parte de los usuarios meta, además de permitir un mejor control en la calidad de dicha información, así como uniformar procedimientos referentes a la metodología de recolección, almacenamiento y procesamiento de datos. Una vez establecido esto, lo que se deberá buscar es que dicho SIG abarque todo el sector transportes, que la información esté disponible para las instituciones involucradas y que pueda ser publicada por medio de visores cartográficos fáciles de acceder por parte de los usuarios de los distintos entes de la institución y a futuro, por los usuarios externos.

Para demostrar la importancia del uso de los SIG en el sector transporte, en este artículo se hace referencia a dos publicaciones que resumen aspectos relacionados con cómo se establece un SIG en empresas o instituciones, además sobre el uso y establecimiento de los SIG en distintas agencias de transporte.

Establecimiento de SIG en empresas o instituciones

En el libro *Wastewater Collection System Modeling and Design* (Walski, et. al., 2007), se dedica toda una sección al establecimiento de SIG en una empresa o institución, en este caso, orientado a la planificación, manejo y mantenimiento de alcantarillados. A continuación, se resumen los aspectos más importantes tratados en dicho documento:

Para el manejo de datos en una institución, se puede utilizar dos sistemas: centralizado y descentralizado. Un sistema centralizado posee todas las aplicaciones y datos que se utilicen en un servidor central, al cual pueden tener acceso todos los usuarios, pero requiriendo una inversión mayor en hardware y software. El sistema descentralizado implica que tanto aplicaciones como datos se encuentran aislados en diferentes computadoras conectadas a la red, lo cual implica menores costos pero, al mismo tiempo provoca que existan datos que no estén disponibles para todos los usuarios que los necesitan, además de la existencia de varias versiones de los mismos datos (lo que implica que no se conozca cuál es la correcta o definitiva) y esto provoca pérdidas de eficiencia y de calidad de los datos.

Es importante que la información contenga identificadores comunes que faciliten la integración de la información y manejo efectivo de datos. Las bases que no pueden ser asociadas mediante identificadores únicos en tablas, tienen la ventaja en el SIG de que pueden tener en común la ubicación geográfica.

Para una implementación exitosa de un SIG, hay varios elementos clave:

- El desarrollo de un SIG requiere un alto nivel de calidad, precisión y detalle en los datos.
- Se requiere la revisión del hardware y software existentes. Se deben considerar los elementos como: sistemas de información de clientes, sistemas de administración de mantenimiento y supervisión de control y adquisición de datos.
- Se requiere un alto nivel de cooperación interdepartamental, se debe compartir la misma versión del sistema. Esto puede ser más complejo que los aspectos tecnológicos.
- Se necesita un líder que guíe el proceso, debe generar puentes de comunicación entre departamentos para que la gente dialogue, coopere y comparta.
- El mayor gasto generalmente está en el desarrollo de datos, lo cual requiere una costosa conversión de papel a mapas. Si no se considera toda la cartografía para la base de datos, puede que en el futuro no se pueda suplir

la demanda para las aplicaciones o que se requiera una costosa actualización de datos.

Hay cinco pasos que deben darse para implementar de manera exitosa un SIG:

1. Conocer las necesidades: Esto debe incluir las necesidades de los usuarios, lo cual depende de quiénes lo usarán y para qué, así como el nivel de conocimiento que estos posean, la frecuencia con que van a usar el SIG y la ubicación física de estos. Deben determinarse también las fuentes de datos que van a alimentar al sistema y las necesidades de información, así como el tipo y precisión que deben tener los atributos, la cobertura geográfica, frecuencia de actualización, entre otros.
2. Diseño: Esta etapa implica el diseño de las aplicaciones que se utilizarán o la decisión de qué software comercial se adquirirá, diseñar las bases de datos (formato de capas, elementos individuales y atributos), se debe incluir "Metadatos" los cuales contienen la información de los datos para los usuarios meta. Esto último permite compartir la información vía web con otros usuarios, que pueden revisar los atributos de las capas y saber de antemano si les son de utilidad. Esta etapa también contempla la implementación de técnicas, métodos y procedimientos para convertir distintos tipos de datos a bases geográficas. Se debe también diseñar un plan de implementación, que incluya un cronograma.
3. Plan piloto: Este debe incluir la elaboración de una base de datos piloto, los prototipos de aplicaciones prioritarias a implementar, capacitación a personal clave (usuarios prioritarios y administradores), hacer sesiones de prueba y revisiones por medio de reuniones o evaluaciones que incluyan a los usuarios y documentar todo el proceso.
4. Producción: Se finaliza la elaboración e instalación del software y las técnicas para el control de calidad, la conversión de todos los datos, se debe tener todo el software y hardware necesarios, documentar los procedimientos que se aplicarán para mantenimiento del sistema y para los usuarios finales, entrenar a los usuarios.

5. Desarrollo: Instalación de todo el equipo y entrenar tanto a usuarios, como al personal que se encargará del mantenimiento, hacer pruebas para verificar el buen funcionamiento del sistema y aplicar el sistema, tomando en cuenta la transición de sistemas anteriores.

Uso de SIG en la gestión de activos de carreteras

Según el reporte NCHRP Report 800 del Transportation Research Board (TRB), se cita una revisión de más de 100 referencias de la base internacional del Transportation Research International Documentation (TRID) y bases de datos reconocidas en internet, como la del Federal Highway Administration (FHWA), referentes a aplicaciones prácticas de SIG en la gestión de activos de infraestructura de carreteras. Además de lo anterior, se revisaron 22 casos de los cuales se le hizo entrevistas a profundidad a seis agencias de transporte estatales de Estados Unidos, dos del Reino Unido y Australia. A partir de eso, se extrajeron una serie de conclusiones de los ejemplos más exitosos de aplicación del SIG. Lo anterior generó un listado de las prácticas en las cuales se ha utilizado más el SIG en dichas agencias de transporte:

Recolección de datos

- Recolección y actualización de inventario de activos espacialmente referenciados y datos de condición (incluyendo imágenes) en campo usando video, uso de tecnología LiDAR (Light Imaging Detection and Ranging), y uso de GPS “hand-held” con actualización en tiempo real o cercano, a las bases de datos maestras.
- Referenciar geográficamente los proyectos importantes conforme estos se definen y de las actividades de mantenimiento conforme son completadas.
- Recolección de datos suministrados por la población, directamente de sus teléfonos inteligentes con GPS o desde páginas web con visores diseñados para permitir a los usuarios especificar las ubicaciones.

Comunicación con clientes, desarrolladores y tomadores de decisiones

- Haciendo la información disponible por medio de aplicaciones para celular, para llevar el control de las labores de mantenimiento y del avance de solicitudes de trabajos.
- Obtener retroalimentación por parte de los desarrolladores en relación con los planes y proyectos propuestos.
- Presentar el desempeño actual e histórico del sistema a los encargados de la agencia y legisladores.
- Compartir información necesaria para la administración de activos y definición de proyectos (inventario, condición, proyectos planificados, tránsito, etc.) por medio de mapas en interfaces web para uso dentro y fuera de la agencia.
- Presentar proyectos programados o en estudio incluyendo varias capas SIG con información de retroalimentación para establecer prioridades (TPD, clasificación funcional, vida remanente, etc.)

Mejoramiento de estrategias de mantenimiento, reparación y reemplazo

- Analizar los datos históricos de mantenimiento e inspección para detectar patrones y entender tendencias.
- Dar seguimiento al valor de los activos, agregando dicha información por áreas geográficas o administrativas.
- Priorizar actividades de mantenimiento y rehabilitación a través del uso de análisis espaciales tomando en cuenta el nivel de servicio de las carreteras, datos históricos de mantenimiento, volúmenes de tránsito, rutas de vehículos de carga, niveles de congestión, accidentes, actividad sísmica, generadores de viajes, proyecciones de crecimiento, conexiones intermodales, elementos naturales y riesgos relacionados con cambio climático.
- Analizar la relación entre el clima y el deterioro de los pavimentos.

Planificación del trabajo, programación y administración.

- Utilizar aplicaciones para centros de llamadas, habilitadas para SIG, para poder localizar solicitudes de trabajos y desplegar en tiempo real dichas solicitudes y proyectos en ejecución, en mapas.
- Utilizar aplicaciones de administración de labores de mantenimiento con flujo de trabajo automatizado, que reporte por defecto utilizando aplicaciones móviles, programación del trabajo, despliegue de recursos disponibles, seguimiento de finalizaciones de trabajos, actualización del inventario y seguimiento financiero.
- Desarrollar programas de mantenimiento preventivo de forma que se abarque múltiples activos, basándose en su ubicación geográfica.
- Coordinar la programación de intervención en activos de carretera, a lo largo de corredores específicos.
- Dar seguimiento en tiempo real a los vehículos de mantenimiento, para optimizar la entrega, almacenamiento de materiales y eficiencia en la velocidad de respuesta.

Recuperación a partir de desastres

- Identificar activos dañados o destruidos como resultado de desastres naturales, para la ejecución de planes de rehabilitación y reconstrucción.

Además de la identificación de los usos más frecuentes del SIG en distintas agencias de transporte, en el estudio se identificaron siete ingredientes clave para el éxito en la implementación de SIG:

1. Apoyo constante de las autoridades: es necesario para que se puedan llevar a cabo iniciativas que requieren varios años de ejecución, además de llenar los vacíos existentes en la implementación de herramientas y datos de SIG.
2. Compromiso de la unidad administrativa: los administradores que responden por el mantenimiento de los activos de las carreteras, deben reconocer las

oportunidades de usar SIG y servir como el principal apoyo para su implementación.

3. Dominio del SIG y sus herramientas: la unidad encargada debe tener acceso a las herramientas de SIG, además del apropiado dominio para utilizarlas, así como tener acceso a los datos que necesitan para ejecutar los análisis.
4. Datos geoespaciales base precisos: Debe existir un muy preciso mapa base con la línea centro de las vías, los límites jurisdiccionales y debe estar administrado por un Sistema de Referencia Lineal, para servir de base a la recolección de datos, su almacenamiento, análisis y visualización.
5. Grupos de datos que pueden ser integrados geoespacialmente y compartidos: Se deben utilizar referencias, unidades y estándares consistentes, para poder integrar y analizar los datos de manera consistente.
6. Sistema de administración ligado con el SIG: se debe implementar procesos que permitan integrar la información espacial, para los sistemas de mantenimiento de activos y administración de sistemas financieros. Además debe poderse sincronizar los cambios en la red vial.
7. Integración coordinada de datos tomados en campo: se debe coordinar con los equipos que toman datos en campo, para facilitar la integración de estos y aprovechar economías de escala.

Finalmente, en dicho reporte se incluye una guía de implementación, de la cual se extrae la siguiente lista de chequeo con los aspectos más importantes que debe tener una agencia para establecer un SIG de manera exitosa:

Cuadro 1. Lista de chequeo

<p>Funciones de la agencia a nivel de SIG</p> <p>Apoyo de la administración, desarrollo de políticas, marco de implementación estratégico y protocolos de estándares para toma de decisiones y comunicación, en relación con los datos geoespaciales:</p> <ul style="list-style-type: none"><input type="checkbox"/> Entendimiento de parte del nivel ejecutivo, en cuanto al valor del SIG y apoyo de su uso en la agencia.<input type="checkbox"/> Unidad designada con responsabilidades de planificación y soporte para el SIG.<input type="checkbox"/> Mecanismos de coordinación y comunicación entre las unidades de la agencia que son responsables del manejo de datos espaciales (por ejemplo, reuniones regulares, sitio web, protocolos estándar para agregar nuevos datos).<input type="checkbox"/> Mecanismos de comunicación y coordinación entre la organización que lidera el SIG dentro de la agencia y las organizaciones externas.<input type="checkbox"/> Plan estratégico de SIG para guiar las inversiones que se deben hacer, como la actualización regular de acuerdo con los avances de la tecnología (ejemplo, SIG móvil, soluciones en la nube, etc.).
<p>Datos geoespaciales y estándares</p> <p>Bases para los datos geoespaciales y marco para su construcción:</p> <ul style="list-style-type: none"><input type="checkbox"/> Datos de línea centro de las vías, que contenga todas las vías mantenidas por la agencia, incluyendo rampas, con líneas centro duales para las vías divididas.<input type="checkbox"/> Un Sistema de Referencia Lineal estandarizado y común para la agencia, identificando los nombres de las rutas, incluyendo rutas que se traslapan y especificando las longitudes y medidas oficiales.<input type="checkbox"/> Soportar múltiples métodos de localización de referencia (LRM, por sus siglas en inglés) para acomodar los datos recolectados usando unidades GPS, así como usando referencias lineales como marcadores de kilómetro o distancias desde los límites provinciales.<input type="checkbox"/> Biblioteca central de fuentes de SIG, con un bien definido y constante proceso de actualización, incluyendo límites jurisdiccionales, bordes de parcelas, puntos de referencia, elevaciones, hidrografía, orto imágenes, uso del suelo, datos socioeconómicos y ambientales, etc.<input type="checkbox"/> Arquitectura para integración estándar, para ligar el SIG de la agencia y los datos con LRS para ser reflejados a los cambios en la red.<input type="checkbox"/> Estándares y procesos para administrar, visualizar y analizar datos espacialmente referenciados, así como se den cambios en la localización de las referencias (administración de localización temporal de los datos).
<p>Herramientas y tecnologías</p> <p>Facilidades establecidas para proveer el hardware y software que se requieren, por parte del personal de la agencia para que puedan aprovecharse las capacidades del SIG:</p> <ul style="list-style-type: none"><input type="checkbox"/> Licenciamiento centralizado para aplicación del software y manejo de bases de datos SIG.<input type="checkbox"/> Aplicaciones para visores de datos geoespaciales que provean acceso interno y externo a datos compartidos.<input type="checkbox"/> Banco de datos SIG, con archivos descargables.<input type="checkbox"/> Procedimientos y herramientas formalizadas para mantenimiento de LRS, reflejando los cambios en la red.<input type="checkbox"/> Técnicas para sobreponer datos espaciales asociados a diferentes versiones del LRS según los cambios que se den en el tiempo (ejemplo, realineamiento en una vía).<input type="checkbox"/> Estándares para recolección de datos con GPS.<input type="checkbox"/> Herramientas estándar para ver y exportar datos a usuarios en ubicaciones especiales (ejemplo, país, distrito, ruta, sección de ruta).<input type="checkbox"/> Herramientas estándar para geocodificación.<input type="checkbox"/> Herramientas estándar para conversión de diferentes LRMs.<input type="checkbox"/> Herramientas estándar para recolección de datos y control de calidad.<input type="checkbox"/> Aplicaciones móviles para acceso a datos geoespaciales de la agencia.<input type="checkbox"/> Aplicaciones móviles para control de reportes.
<p>Conocimiento en SIG, entrenamiento y soporte para usuarios</p> <p>Servicios especializados de soporte y capacitación para ayudar al personal utilizar todas las capacidades del SIG:</p> <ul style="list-style-type: none"><input type="checkbox"/> Equipo activo de usuarios SIG con reuniones y comunicación regulares.<input type="checkbox"/> Habilidades y conocimiento para la administración de datos geoespaciales y desarrollo de aplicaciones.<input type="checkbox"/> Proceso estándar para desarrollo y personalización de herramientas SIG.<input type="checkbox"/> Cursos de capacitación para usuarios de SIG, disponible para el personal.<input type="checkbox"/> Incluir experiencia en SIG como requisito para los puestos que requieren manejo de datos y análisis.

Fuente: Transportation Research Board, 2015

Ejemplos de portales que aprovechan el uso de SIG, son como el del Departamento de Transporte de Carolina del Norte “Go! NC”, con acceso a mapas para el público en general, con capacidad únicamente de visualización, similar al de la ciudad de

Valencia. Otro ejemplo es el Geoportal de Chile, el cual permite al usuario ver la información que necesite desplegar e inclusive, agregar capas con información propia. Se pueden ver ejemplos de estos en la figura 1.



Figura 1. Ejemplos de portales con visores cartográficos
Fuentes: <http://www.geoportal.cl>, <http://ncdot.maps.arcgis.com>

Uso de Referencias Lineales

Como nota aparte, se destaca la recomendación del TRB acerca del uso de un Sistema de Referencias Lineales, útil para las agencias encargadas de la administración de redes viales.

De acuerdo con Centro de Recursos de ArcGIS, de la empresa ESRI, se tiene que el uso de referencias lineales se basa principalmente en dos razones:

1. Cuando se tiene muchos registros de eventos ubicados a lo largo de elementos lineales (por ejemplo, a lo largo de caminos, redes de alcantarillado, etc.).

2. Cuando se requiere asociar atributos múltiples a porciones de elementos lineales, evitando segmentar dichos elementos cada vez que esos atributos cambien, como se muestra en la figura 2.

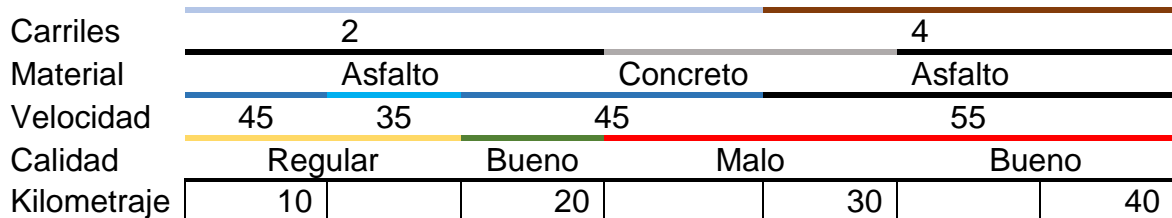


Figura 2. Ejemplo de múltiples atributos en líneas

Fuente: Edición propia, tomado de: ArcGIS Resources, resources.arcgis.com

Las referencias lineales ubican entonces los eventos tomando como referencia su ubicación a lo largo de la línea (ejemplo, en el kilómetro 20 de una ruta). Para esto, se puede aplicar la segmentación dinámica, la cual permite ingresar los eventos localizados en el mapa y en una tabla de eventos, con la que se utiliza el sistema de medición de referencias lineales. Esto hace que se puedan ingresar y modificar datos de manera dinámica, es decir, sin la necesidad de segmentar la capa original en repetidas ocasiones cada vez que hay una modificación.

Conclusiones

- Se pueden utilizar sistemas centralizados o descentralizados de SIG, pero la selección del sistema a utilizar debe ser elegido según las necesidades específicas de la agencia.
- El uso de SIG permite que la información que no posee identificadores únicos pueda tener una ubicación geográfica para facilitar la integración de la información.
- Para una implementación exitosa de un SIG se requiere organizar y llevar a cabo de manera cuidadosa cada etapa, desde el procesamiento de datos para la creación de las bases de datos, hasta toda la organización a nivel de la institución y del funcionamiento propio del sistema, generando versiones piloto o de prueba que permitan una retroalimentación por parte de los mismos usuarios.

- Se deben conocer las necesidades que el SIG deberá suplir y diseñarlo con base en eso, además es importante capacitar a los usuarios y administradores, así como documentar procedimientos.
- El uso de SIG para la gestión de activos de carreteras, lo ha convertido en una herramienta vital para la toma de decisiones, organización del trabajo, actualización de datos y para la interacción con los usuarios y público en general.
- El establecimiento de SIG en agencias de transporte, implica una necesidad y debe ir muy de la mano con las últimas tendencias en tecnología, las cuales permiten facilitar el trabajo y tener un mejor control en todas las labores que se requiere realizar.
- Se debe contar con apoyo de las autoridades y de las unidades administrativas, debido a que el uso de los SIG implica la necesidad de un desarrollo continuo en el tiempo.
- La utilidad del SIG también depende de la precisión y el conocimiento de las características de los datos que se tengan. Esto hace también necesario trabajar con herramientas que permitan trabajar con esta precisión.
- El uso de Sistemas de Referencia Lineal, es ideal para facilitar la actualización y recolección de datos, así como su almacenamiento y visualización. Estos son especialmente útiles para las agencias de transporte, pues permiten almacenar datos referidos a una ubicación según el kilometraje de las vías.
- La toma de datos en campo debe ser integrada de forma coordinada en el sistema y ser accesible rápidamente a los usuarios de la agencia.

Recomendaciones

- El trabajo por medio de sistemas descentralizados es un sistema obsoleto y que hace que existan múltiples versiones de los datos, haciendo que se corra el riesgo de perder de vista cuál es la versión más actualizada y correcta de los mismos. Es necesario que el SIG funcione con un sistema centralizado, el cual implica el uso de un servidor, el establecimiento de reglas de

seguridad, perfiles y permisos para usuarios. El sistema centralizado permite tener acceso a la información de manera expedita a todos los usuarios y permite un mejor control de calidad de la información, además de que permite que varios departamentos ligados al mismo servidor, carguen este con la información que generan.

- Para garantizar la calidad y precisión de los datos, es necesario utilizar herramientas que garanticen estas características. El uso de sistemas de posicionamiento global (GPS, por sus siglas en inglés) con alta precisión y que permitan el almacenamiento de muchos datos, especialmente enfocado al mapeo de datos (generación de mapas en campo), es necesario para un control de los activos de carretera de manera sincronizada con el SIG.
- El uso de aplicaciones móviles y servicios web, es necesario para hacer accesible la información a todos los usuarios. Es posible tener portales exclusivos para los usuarios directos, editores y administradores de la información, tanto en campo como en oficina, así como aplicaciones abiertas para los usuarios externos a la institución y el público en general.
- Las aplicaciones móviles permiten a los equipos de trabajo en campo, actualizar la información directamente al SIG de la institución. Por otro lado, también se puede aprovechar el uso de estas aplicaciones para que los usuarios externos puedan dar aviso de situaciones e incidentes particulares, facilitando a la agencia la programación de labores de rehabilitación de los activos de infraestructura.
- El uso de Sistemas de Referencia Lineales, permite simplificar las labores de procesamiento y actualización de datos asociados a la red vial, lo cual implica la necesidad de implementar dicho sistema para facilitar la actualización de la información en el SIG.

Referencias

Transportation Research Board. (2015). *Successful Practices in GIS-Based Asset Management*. NCHRP Report 800. Washington, DC.

Walski, Thomas M.; Barnard, Thomas E.; Harold, Eric; Merritt, LaVere B.; Walker, Noah; Whitman, Brian E. (2007). *Wastewater Collection System Modeling and Design*. Bentley Institute Press.

Páginas de internet:

ArcGIS Resources.

<http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#//003900000001000000>.

Consultado: 07/04/2015.

Geoportal de Chile, Catálogo de Información Geoespacial. <http://www.geoportal.cl>.

Consultado: 07/04/2015.

Portal Departamento de Transportes de Carolina del Norte.

<http://ncdot.maps.arcgis.com>. Consultado: 07/04/2015