



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO**



FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA

CAMPO DE CONOCIMIENTO: INGENIERÍA CIVIL

**PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE LOS SISTEMAS  
INTELIGENTES DE TRANSPORTE EN CARRETERAS EN MÉXICO**

**T E S I N A**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**ESPECIALISTA EN VÍAS TERRESTRES**

P R E S E N T A :

**ING. JUAN JOSÉ DURÁN BLANCAS**

**DIRECTOR DE TESINA**

**ING. OSCAR ENRIQUE MARTÍNEZ JURADO**

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX.

NOVIEMBRE, 2019

# *Dedicatoria*

A mis padres, **Mireya y Juan**, guías de vida, a quienes debo el ser que soy ahora. Por los consejos, los valores, los hábitos y las exigencias por lograr las metas.

A mis hermanos, **Paola y Pablo**, por ser un pilar fundamental que me permite seguir adelante.

A mi tía **Ángela**, quien me ha brindado su apoyo incondicional desde que tengo memoria y a quien considero una segunda madre.

A **Brenda**, por ser una compañera de vida que me motiva a lograr nuevos retos y superarme en todos los aspectos.

# *Agradecimientos*

A la **Familia Durán Hernández**, por estar pendiente de mi persona en todo momento, de quienes siento un respaldo emocional muy fuerte.

A la **Familia Blancas Bernal**, por brindarme su impulso y motivación. En especial a mis abuelos, **Esperanza y Galdino**, por sus consejos y guías.

A la **Familia Díaz Lím**, por abrirme las puertas de su hogar y recibirme como un integrante más.

A mi director de tesina, el **Ing. Oscar Enrique Martínez**, por sus consejos, guías y personalidad, que me ha transmitido seguridad para el logro del presente documento.

Al **M.I. José Francisco Lobaco**, quien considero co-director de mi tesina, me ha aportado sus conocimientos, experiencias de vida y calidad humana. Gracias por su disposición y su calidez.

A **mis profesores de carrera**, por forjarme como un elemento productivo de la sociedad con todos sus conocimientos y experiencias, que me permitieron ver a la Ingeniería como un mecanismo de cambio para el país.

A **mis profesores de especialidad**, por darme a conocer un panorama amplio de la Ingeniería en México y por la gran cantidad de experiencias compartidas.

A **todos mis amigos que conocí en la Universidad**, quienes han sido un gran apoyo en todos los sentidos. En especial a Juan Manuel, Arely y Luis Carlos quienes se volvieron mi familia en este trayecto.

A **todos mis amigos**.

**A todos, GRACIAS.**

## Tabla de contenido

1.	Introducción .....	1
1.1	Marco teórico .....	4
1.2	Antecedentes .....	7
1.2.1	Historia y evolución del transporte carretero mexicano .....	7
1.2.2	Desarrollo tecnológico ITS.....	14
2.	Alcances del documento .....	23
2.1	Objetivos.....	23
2.1.1	General .....	23
2.1.2	Particulares.....	23
2.2	Justificación .....	23
3.	Hipótesis .....	25
3.1	Beneficios de implementación .....	25
3.1.1	Seguridad en el transporte .....	25
3.1.2	Impactos económicos.....	28
3.1.3	Impactos en el medio ambiente.....	29
3.1.4	Beneficios sociales.....	30
4.	Sistemas Inteligentes de Transporte en carreteras.....	31
4.1	Definición.....	31
4.2	¿Por qué implementar ITS? .....	33
4.3	Actualidad de los ITS.....	34
4.3.1	Nacional.....	34
4.3.2	Internacional .....	46
4.4	Identificación de necesidades del transporte carretero .....	48
4.5	Servicios que ofrecen los ITS .....	49
4.5.1	Grupos tecnológicos por tipo de servicio.....	49
4.6	Determinación de los subsistemas.....	54
4.6.1	Identificación y definición .....	54
4.7	Gestión de túneles.....	68
4.8	Perspectiva nacional.....	69
4.9	Ejemplos de proyectos ITS implementados con éxito en México .....	70

---

5	Beneficios y costos monetarios de la implementación de ITS .....	74
5.1	Parámetros de control.....	74
5.2	Determinación de los costos .....	75
5.3	Determinación monetaria de los beneficios .....	75
6	Propuesta de implementación ITS .....	77
7	Conclusiones.....	82
7.1	Sugerencias.....	83
8	Referencias .....	84

---

## 1. Introducción

El hombre, desde sus orígenes primitivos, ha tenido la necesidad de transportarse debido a motivaciones de carácter biológico, antropológico e histórico, los cuales tienen que ver básicamente con la satisfacción de sus propósitos. El transporte puede definirse como el traslado de personas y mercancías de un sitio a otro, motivado por el hecho de que están en un lugar pero se necesitan en otro.

Para el caso de mercancías, lo anterior se basa en las desigualdades geográficas, en la dotación de recursos naturales y la diferencia en la ubicación de las zonas de producción y las de consumo; en cuanto a las personas, el traslado puede deberse a motivos de trabajo o de placer.

El transporte ha evolucionado de acuerdo a la situación que deba enfrentar, es decir, “el medio”, declarado como el espacio físico por el que se transita (terrestre, aéreo, marítimo) en el cual se trasladará una entidad que permita satisfacer las necesidades de movilidad. Se dice que aquellas unidades que comparten similitudes tecnológicas, operativas y/o administrativas forman parte de un mismo “modo de transporte”, entre los cuales se encuentran los siguientes:

- *Urbano*
- *Carretero*
- *Ferroviario*
- *Fluvio-marítimo*
- *Aéreo*

El transporte terrestre como mecanismo de conectividad, representa el modo de transporte con mayor movilidad de mercancías y personas en el territorio mexicano, es por ello que se tocará brevemente su origen y evolución:

La rueda fue el primer invento revolucionario, permitió desarrollar mecanismos para el movimiento de cargas pesadas.

Un hecho que sin duda alguna ha sido un parteaguas en la historia del transporte es la “Revolución industrial” que permitió evolucionar la economía basada en agricultura y artesanía para dar paso a la industria. En principio se tuvieron motores impulsados por vapor, siendo lentos y pesados; posteriormente llegó la invención del primer motor de gasolina por Nikolaus Otto en 1876 y su uso en los primeros prototipos de automóviles por Karl Benz en 1886.

Gracias a este hito tecnológico han podido desarrollarse los equipos y mecanismos que hacen posible el transporte como lo conocemos en la actualidad.

En la tabla 1 se presentan los elementos básicos que comprende el transporte carretero:

Modo de transporte	Componentes básicos			
	Vehículo	Fuerza motriz	Caminos	Terminales
<b>Carretero</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Autobús</li> <li>- Automóvil</li> <li>- Camión</li> <li>- Tracto camión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Motor de combustión interna:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>*Gasolina</li> <li>*Diésel</li> <li>*Gas</li> </ul> </li> <li>-Motores eléctricos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Carreteras</li> <li>-Autopistas</li> </ul>	<b>Zonas generadoras y receptoras:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Central de carga</li> <li>-Terminal de pasajeros</li> <li>-Zonas industriales</li> <li>-Zonas habitacionales</li> </ul>

*Tabla 1. Componentes básicos del transporte carretero*

Desde su concepción, el transporte carretero tuvo problemáticas asociadas, entre las que destacan:

- El peligro potencial que representa el movimiento de un elemento de peso considerable a cierta velocidad, pudiendo causar daños al ocupante o en agentes externos en caso de un accidente.
- El aumento del número de vehículos en circulación genera un incremento en la congestión de las vialidades y del ambiente.

Con el surgimiento del transporte automotor se crearon a la par, mecanismos de control para la operación, siendo muy básicos en sus inicios pero fueron perfeccionándose conforme las problemáticas del transporte se hacían más evidentes.

Los “**Sistemas inteligentes de transporte**” o ITS (Intelligent Transport Systems) surgen como respuesta a las problemáticas del transporte, impulsados en la segunda mitad del siglo XX aprovechando los avances tecnológicos para darles aplicación en la seguridad, eficiencia, control, gestión y atención del transporte en cualquier modalidad, esto se traduce en la aplicación en aviación, transporte ferroviario, marítimo o terrestre.

El origen de la implementación de sistemas inteligentes de transporte es, entre otros factores, la necesidad de modernización en la red carretera, mejorar la conectividad, hacer más eficiente la administración de los recursos destinados a la conservación carretera, de la misma forma que el reducir la accidentalidad y costos de operación.

En el presente documento se abordará el desarrollo y aplicación de ITS que hasta ahora se ha logrado en el transporte carretero en un entorno global y la presencia nacional, así como los servicios que brindan y beneficios que se obtienen de su implementación, finalizando con una propuesta general de implementación de los sistemas inteligentes de transporte en carreteras.

## 1.1 Marco teórico

Partiendo de los elementos básicos de los que hacen uso las tecnologías de la información tenemos las siguientes definiciones de acuerdo con el diccionario de la Real Academia Española:

**Dato:** Información sobre algo concreto que permite su conocimiento exacto o sirve para deducir las consecuencias derivadas de un hecho.

**Información:** Comunicación o adquisición de conocimientos que permiten ampliar o precisar los que se poseen sobre alguna materia determinada.

La diferencia radica principalmente en que el dato traduce los hechos empíricos o situaciones, mientras que la información es un conjunto de datos procesados que en sí mismos tienen mayor potencial de conocimiento.

Por otro lado, podemos definir a un **Sistema de información** como un conjunto de elementos encaminados a la administración de datos e información de forma organizada, tal que pueda usarse posteriormente para cubrir necesidades.

Uno de los elementos clave es el uso de **Tecnologías base** que son esencialmente los componentes físicos (hardware) o desarrollos de soporte lógico (software) y elementos adicionales de tecnología que son aplicables en distintos ámbitos con la finalidad de generar soluciones. Algunos ejemplos son los sensores, cinta magnética, o el GPS (Sistema de posicionamiento global), como se muestra en la figura 1:

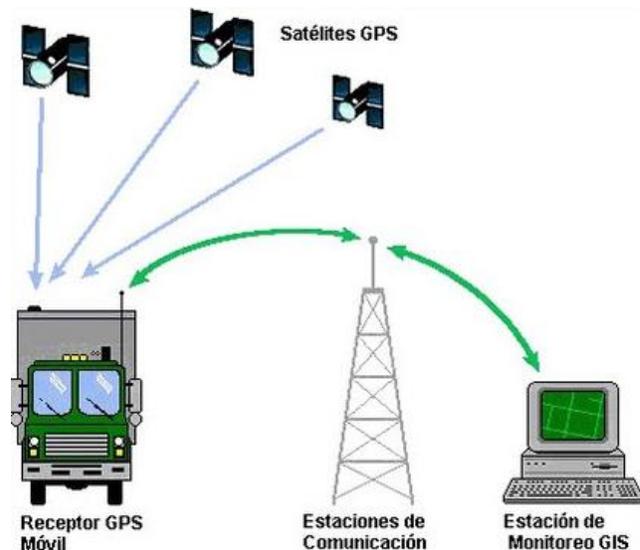


Figura 1: Localización satelital por medio de GPS

© Localización satelital

En la actualidad se ha agudizado el uso de las **Tecnologías de la información (TIC's)**, definidas por Belloch C. como el conjunto de tecnologías que permiten el acceso, producción, tratamiento y comunicación de información presentada en diferentes códigos (texto, imagen, sonido, entre otros).

Mediante las TIC's se han logrado avances enormes en el manejo de datos, adquisición y comunicación de conocimiento, fundamentalmente en las generaciones donde el acceso a medios electrónicos ha sido más accesible que en tiempos pasados. En la figura 2 podemos apreciar algunos ejemplos de TIC's.



Figura 2: Ejemplos de TIC's

La finalidad del uso los desarrollos tecnológicos es obtener información útil que permita generar bases de datos que brinden la posibilidad de generar acciones y tomar decisiones que mejoren las condiciones de transporte.

La **Telemática** es esencialmente la conjunción de información-tecnología con las comunicaciones para llevar a cabo del proceso y transmisión de la información por medio de microprocesadores.

Un **Sistema de transporte** es la interacción de la infraestructura, la red de transporte (medio, modo y objeto) y el sistema de gestión o norma, como son las leyes, códigos, reglas, señalizaciones y control.

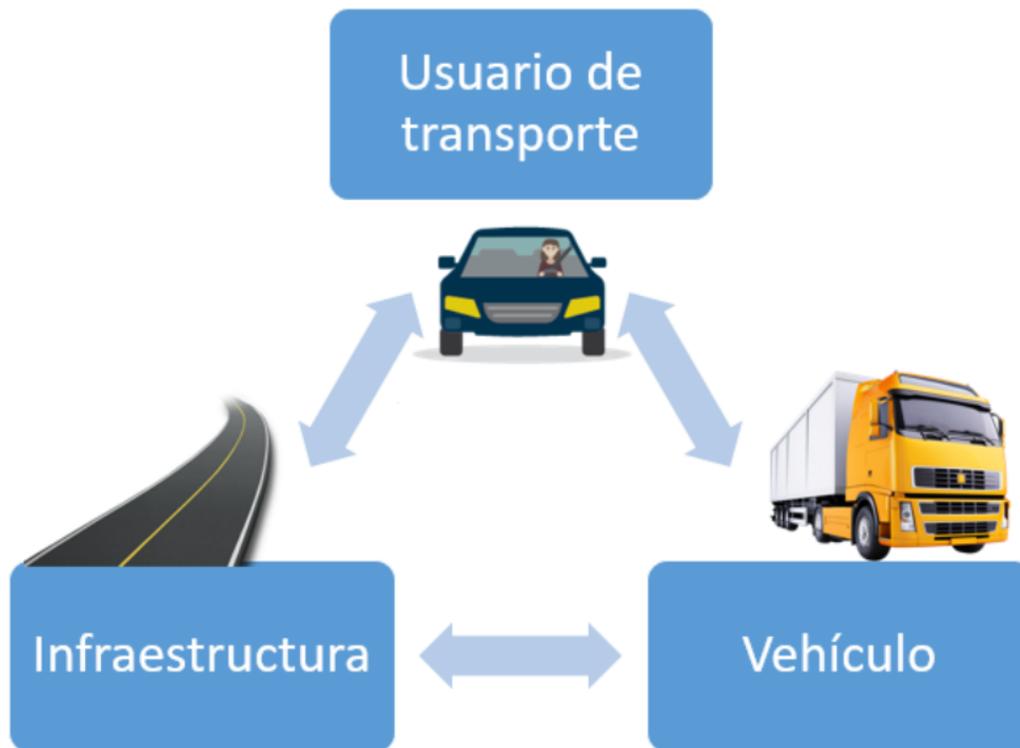
Con base en la integración de los elementos previos, obtenemos la definición que hace referencia el título de este documento:

**Los Sistemas Inteligentes de Transporte o ITS** (Intelligent Transport Systems) son el conjunto de información, comunicaciones y tecnologías del transporte en vehículos e infraestructuras.

En la actualidad, mediante el uso de ITS se tiene asistencia en la operación de redes de transporte las cuales pueden ser caminos, puertos, líneas de ferrocarril, vías marítimas y aeropuertos. Tienen

un aporte en el control vehicular que se mueve por dichas redes y una característica fundamental es que es un apoyo para la planificación de las operaciones de transporte, de tal forma que mejora la eficiencia de ellas.

El éxito detrás del correcto funcionamiento de los ITS radica en la importancia que tiene la interacción entre los participantes, los cuales deben intercambiar información mediante un proceso de retroalimentación que permita generar datos útiles para el usuario que le permitan tomar decisiones respecto a su entorno. En la figura 3 se muestran los participantes de los ITS.



*Figura 3: Interacción de los participantes de los ITS*

La implementación de ITS dentro de las operaciones de una red de transporte brinda al usuario una “gerencia” del camino, es decir, un apoyo logístico y estratégico para mejorar las condiciones de sus traslados.

## 1.2 Antecedentes

### 1.2.1 Historia y evolución del transporte carretero mexicano

Desde el punto de vista analítico, es importante comprender como se ha dado la evolución de la red carretera nacional y por tanto, el tránsito mediante ella.

Los primeros caminos, mayormente brechas de terracería eran suficientes para dar paso a mercancías y personas que se movían a través de fuerza de animales. Con el paso del tiempo el automóvil evolucionó, sobre todo en velocidad, principalmente en el país vecino del norte, donde la industria automotriz avanzaba aceleradamente y para ese nuevo tránsito, los caminos mexicanos se hacían obsoletos (Ilustración 1).



Ilustración 1. Transporte de correos de México, siglo XX ©Correos de México

El aumento en la cantidad de vehículos propició la generación de impuestos por parte de los gobiernos como un medio de financiar las mejoras en los caminos. En la década de 1920 se dio en París el “Primer Congreso Mundial de Carreteras” donde se establecieron los principios para la construcción de pavimentos en los cuales *la superficie permite un tránsito cómodo y seguro de los vehículos*.

Con el paso del tiempo y las experiencias internacionales, se logró definir a los pavimentos como: *“conjunto de capas que distribuyen las cargas concentradas en las ruedas de los vehículos”*.

En los años 20’s había 28 mil kilómetros de brechas incapaces de hacer posible el tránsito de automóviles debido a los daños que presentaban y la capacidad de ellas de adaptarse era limitada, es por ello que se inició con la etapa constructiva en el país. Se creó la Comisión Nacional de

Caminos, con la encomienda de realizar las primeras carreteras para automóviles del país. También se conformó la Comisión Nacional de Irrigación

Los primeros caminos fueron:

- *México-Puebla*
- *México-Cuernavaca*
- *México-Pachuca*
- *México-Toluca*

La construcción de los primeros caminos en México fue todo un reto, debido esencialmente a la capacidad técnica existente en ese momento, las técnicas conocidas eran anticuadas y no se tenía la noción de la importancia en la calidad de los materiales. El criterio de construcción era el que tuviera el Ingeniero a cargo. Ante esos problemas, se tuvo el apoyo de la compañía estadounidense Byrne Brothers Construction Co. la cual aportó nuevos conocimientos y técnicas, pero incumplió contratos, lo cual propició que desde 1926 se encargara la construcción de caminos a empresas nacionales.

El uso de vehículos autopropulsados se generalizó gracias a la producción en serie debida a Ransom Olds y potenciada por Henry Ford, mediante la cual fue posible que las personas que no pertenecían necesariamente a la parte adinerada de la población pudieran tener al alcance un vehículo. En México, la industria automotriz se remonta a 1925 con líneas de ensamblaje de Ford y en 1935 con General Motors.

El impacto generado por el crecimiento de la red carretera llegó al desarrollo de la agricultura, porque ahora podían trasladarse productos, lo cual produjo la apertura de nuevas zonas de producción para obtener recursos.

En 1932 surge la “*Fórmula bipartita*” o “caminos de cooperación” donde el gobierno Federal participaba con 50% y el gobierno Estatal con el otro 50% del valor.

En el año de 1934 se da la función de realizar y conservar los caminos a la Dirección General de Caminos de la Secretaría de Obras Públicas, otorgada por la Comisión Nacional de Caminos.

Debido a los alcances del plan carretero, las poblaciones pequeñas no alcanzaron el apoyo de los caminos en cooperación, por lo cual se crea en 1947 el Departamento de Planeación y Fomento de Carreteras Vecinales como una dependencia de la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas.

Con ello surge la “*Fórmula de financiamiento tripartita*” donde se distribuye el costo de construcción a partes iguales entre la Federación, el gobierno Estatal y los particulares.

Gracias a los programas y decisiones tomadas, se logró tener 6,825 kilómetros de caminos construidos con ese mecanismo hasta el año del 1967.

En los inicios de la década de los 50’s, la fuerza económica y social se incrementaron, principalmente en el centro del país, donde se tuvo un crecimiento poblacional que propició a su vez que la industria automotriz creciera. En 1953 se creó la Dirección General de Proyectos y Laboratorios como respuesta al auge carretero y desarrollo creciente. La Dirección tenía a su cargo los estudios, proyectos y control de calidad de los pavimentos de carreteras y aeropistas, incluyendo un Departamento de Ingeniería de Suelos.

La cantidad de vehículos existente en los años 50’s propició la generación de un nuevo esquema: “*Carreteras de altas especificaciones*”, en 1952 se construyó el primero, entre la Ciudad de México y Cuernavaca (Ilustración 2). La finalidad de ellos era tener mejoras en la seguridad, velocidad y economía. Tenían acceso controlado y flujo continuo, logrado mediante puentes peatonales, vehiculares y para ferrocarril.



*Ilustración 2. Primera súper-carretera de México: México-Cuernavaca*

©México en fotos

El 31 de Julio de 1958 se constituye un órgano descentralizado llamado “Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos (CAPUFE) con la intención de atender las necesidades de las vialidades de altas especificaciones. También en ese año

En la década de los 50’s se construyeron 22,440 kilómetros de carreteras, teniendo un total acumulado de 44,890 kilómetros que servían de conexión al 27% del país por medio de automóvil o camión. En la siguiente década (1960’s) se construyeron otros 26,630 kilómetros teniendo un total de 71,520 km conectando al 31% del territorio, teniendo hasta ese momento solamente 42,754-km pavimentados.

En 1971 se inició el “*Programa de caminos de mano de obra*” para las regiones inaccesibles y marginadas del país, mediante el uso de la fuerza de trabajo regional (Ilustración 3), a la cual se le brindaba al menos, el salario mínimo, atención médica y artículos de consumo a precios accesibles. El proyecto se llevaba bajo; como resultando, se tuvieron en 1975, 60 mil kilómetros de caminos transitables todo el año.



*Ilustración 3. Caminos de mano de obra*  
©Portada del libro “*caminos de mano de obra*” de la Secretaría de Obras Públicas, 1976

Para 1970, había 6,500 kilómetros de la red (9%) que tenían una intensidad de tránsito superior a 1,500 vehículos al día; de esos, solamente 1,400 superaban los 3,000 vehículos al día.

El aumento en el poder adquisitivo de la población en general explicaba el crecimiento acelerado, lo cual repercutió en el incremento de la cantidad de vehículos. Para 1973 había 18,000 km con tránsito mayor a 1,500 vehículos diarios y 8,600km de ellos tenían un tránsito mayor a 3,000 vehículos diarios.

En la figura 4 se muestra la longitud de la red carretera por décadas de 1930 a 1970:

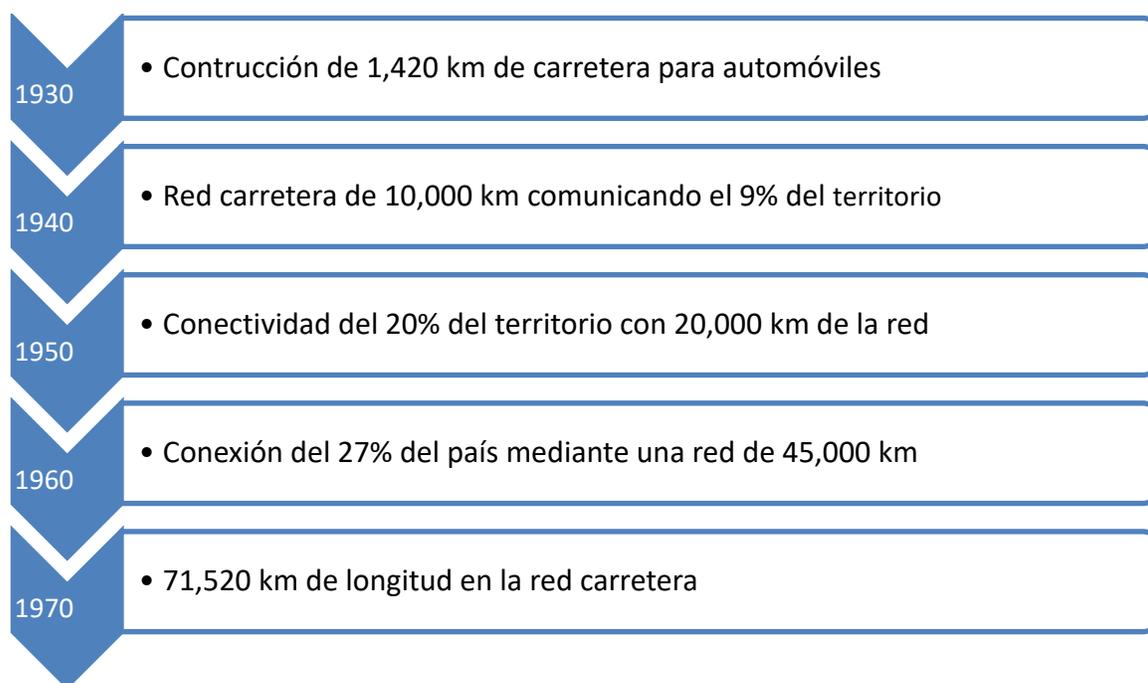
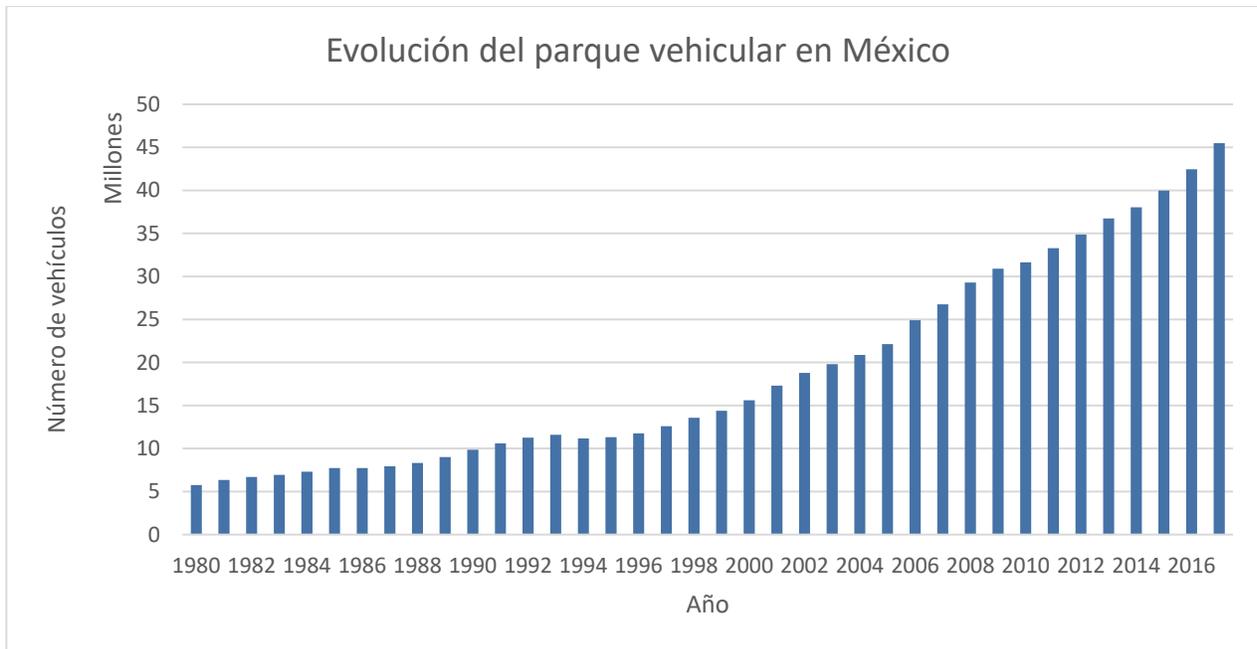


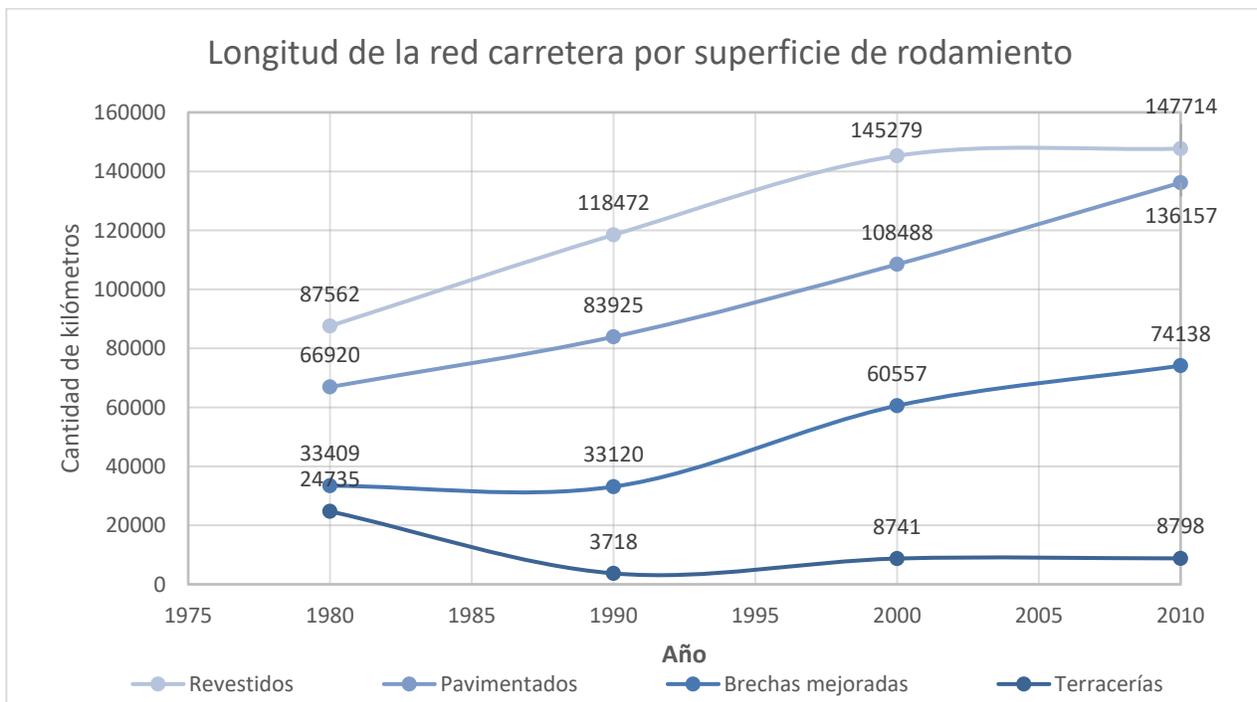
Figura 4. Evolución de la red carretera mexicana 1930-1970

Una vez alcanzado el nivel de conectividad suficiente se observaron los beneficios económicos y sociales. En la gráfica 1 (página siguiente) se puede apreciar la evolución del parque vehicular nacional a partir de datos registrados en INEGI desde 1980. En parte influenciado por el crecimiento demográfico y por otro lado con el incremento del poder adquisitivo.



Gráfica 1. Evolución del parque vehicular en México. INEGI

La evolución de la red carretera a partir de 1970-1980 tendió a reducir la cantidad de caminos rudimentarios para pavimentarlos y mejorar la transitabilidad, como se aprecia en la gráfica 2:



Gráfica 2. Evolución de la red carretera mexicana

©Datos de Manuel Tinoco: Historia y evolución de las mezclas asfálticas en las carreteras de México

La necesidad de construir carreteras nuevas, ampliar las existentes y conservarlas, así como los fondos limitados con que se contaba propiciaron la búsqueda de nuevas formas de lograrlo. Desde el 2003 comenzaron a operar los siguientes mecanismos:

- *Esquema de concesiones: Enfocado a proyectos que tengan una forma de pago propia, es decir, las autopistas de cuota.*
- *Esquema de proyectos de prestación de servicios (PPS): Para el desarrollo de proyectos de modernización de carreteras existentes que sean libres de cuota. La empresa presta los servicios a cambio de pagos periódicos que son parte del presupuesto Federal.*
- *Esquema de aprovechamiento de activos: Se hace por medio de una “concesión”, que es la operación y conservación de carreteras existentes por parte de un particular con la finalidad de que construya nuevas autopistas las cuales también va a operar y conservar.*

### *1.2.2 Desarrollo tecnológico ITS*

El concepto ITS surge por primera vez como un control de flota de tráfico, como parte de la feria de General Motors en Furama, Singapur en 1940. En los 40 años posteriores, el término evolucionó como un sistema de gestión que abarcaba muchos aspectos más.

La historia y evolución de los sistemas inteligentes de transporte puede analizarse desde distintos puntos geográficos, como se muestra a continuación:

#### *Europa*

Inicialmente apareció el programa EUREKA en 1985 que propició la investigación por parte del sector privado en la industria automotriz mediante los proyectos en los años 80's:

PROMETHEUS, el cual consideraba las siguientes áreas:

- *Información al conductor*
- *Ayuda a la conducción*
- *Conducción cooperativa*
- *Gestión de flotas*

CARMINAT, con perspectivas a productos con tendencia a navegación automática.

EUROPOLIS, el cual se basa en brindar información al usuario desde centros de control.

Con los proyectos anteriores, los resultados no fueron todos positivos, pero a pesar de ello se lograron importantes avances como el "Tele-Atlas" que es un mapa de carreteras y sumado al radar anticolidión básicamente hicieron posible el "vehículo inteligente".

Los avances antes mencionados estaban enfocados al vehículo, pero cabe señalar que el sistema requiere del conductor, el vehículo y la infraestructura, por lo cual era indispensable realizar mejoras de en los otros aspectos, con ello surge la necesidad de la "carretera inteligente".

La Comisión de la Comunidad Europea mediante el programa de Infraestructura vial dedicada a la seguridad de los vehículos en Europa (DRIVE, por sus siglas en inglés) en 1988 y financió 72 proyectos entre 1989 y 1991. Gracias a ello se logró la participación pública y privada para la aplicación de las nuevas tecnologías a la gestión dinámica de tráfico y transporte carretero (Road Transport Informatics).

En 1991 se estableció la Organización Europea de Coordinación de Implementación Telemática del Transporte (ERITCO, por sus siglas en inglés), la cual representa los intereses de los operadores carreteros, manufactura, proveedor de servicios, telecomunicaciones y administración pública.

Gracias a los esfuerzos europeos, se han propiciado diversos programas como son el ESPIRIT, THERMIE, EURET, ENS, RACE, SATIN, CONVERGE, entre otros, los cuales tienen aplicaciones propias del transporte a un nivel específico.

### *Japón*

La Agencia Nacional de Política “NPA” administra el tránsito carretero y desde la década de 1960 ha realizado inversiones en la difusión de sistemas de control centralizado de señales de tránsito.

El Ministerio de Comercio Internacional e Industria “MITI” llevó a cabo el proyecto CACS entre los años 1973 y 1978 siendo la primera vez que se instrumentaban dispositivos de información para vehículos e instalaciones a un lado del camino, probándolo en áreas urbanas de Tokio.

Desde 1991, el Ministerio de Transporte “MOT” quien es responsable de la seguridad de los vehículos, ha promovido el Proyecto de Seguridad Avanzada del Vehículo.

En 1993 se formó el Consejo Interministerial con la intención de acelerar la investigación, desarrollo y difusión de los ITS y en 1994 gracias a esfuerzos entre sector privado e instituciones educativas se logra establecer el programa VERTIS (Vehicule, Road and Traffic Intelligence Society) buscando promover e incentivar los ITS.

En 1995, el gobierno emitió los *Lineamientos básicos en la promoción de una Sociedad de Información Avanzada y Telecomunicaciones*. En el documento se declara la difusión de ITS como un “proyecto nacional”. Posteriormente se tuvieron los *Lineamientos Básicos del Gobierno de Información Avanzada y Comunicaciones en Carreteras, Tránsito y Vehículos* (1995), los cuales se muestran en la Figura 5, en la siguiente página.

El Plan General para ITS de Japón se reveló en 1996, realizado mediante la cooperación de 5 ministerios y organismos relacionados.



Figura 5. Lineamientos básicos del Gobierno japonés, 1995 ©IMT ITS

### Canadá

La influencia e interrelación que se tiene con las organizaciones de Estados Unidos es estrecha. Es una pieza fundamental para la formación de los ITS, gracias a la participación de sus organizaciones profesionales y de transporte con ITS América.

La principal diferencia con Estados Unidos es que ellos orientan sus esfuerzos en transportes hacía el sector operativo, mientras que en Canadá, el transporte se enfoca a la investigación y lo hace mediante ITS Canadá que es una organización público-privada que busca promover los ITS.

### Estados Unidos

En la tabla 2 se enlistan los eventos que han marcado el camino para alcanzar el grado tecnológico conocemos actualmente, analizados desde el enfoque del Departamento de Transporte de ese país:

Década	Año	Evento
Previa a 1980's	1914	Implementación de la primera señal de tráfico tricolor, en Ohio.
	1935	Desarrollo del primer parquímetro, en Oklahoma.

<b>Previa a 1980's</b>	1963	Primer medidor de rampa o señal de rampa (regulación del flujo vehicular), en Illinois.
	1960's	Implementación del sistema de información y ruta desarrollado por General Motors.
	1960's	Desarrollo de los primeros robots móviles.
	1960's	Primeras señales de mensajes dinámicos.
	1967	Agencias gubernamentales comienzan a establecer normatividad para la seguridad de vehículos y carreteras.
	1960's	Implementación de los primeros centros de control de tráfico de Norteamérica.
	1968	Instalación del primer sistema de atención a emergencias en Alabama.
	Finales de 1960's	Implementación del sistema de guía de ruta electrónica por la Federal Highway Administration en Estados Unidos de América.
	1972	Introducción de un carril para autobuses con preferencia de paso generando la promoción del transporte masivo de pasajeros, Minneapolis.
<b>1980's</b>	1970's	Implementación de tecnología de mapeo mediante la ubicación automática de vehículos.
	1984	El sistema automatizado de control y vigilancia de Los Ángeles integra detectores de vehículos, circuito cerrado de televisión y datos de temporización de señales coordinadas.
	1985	Comienzan las demostraciones de los vehículos terrestres autónomos por la DARPA.
	1980's	Investigación de la realización de inspecciones previas y pesajes de camiones comerciales con velocidad en carretera. <i>Crescent Demonstration Project</i>

<b>1980's</b>	1986	Mejora en la notificación de incidentes, manejo regional y coordinación. TRANSCOM
	Mitad de 1980's	El sistema de control automático de ruta es el primero en utilizar una computadora a bordo con mapas digitales,
	Mitad de 1980's	Federal Highway Administration en su división de sistemas de tráfico se asocia con varias Universidades para proyectos de exploración sobre gestión de autopistas, control avanzado de tráfico, simulación por computadora y sistemas de información para el conductor.
	1987	Los Estados del corredor Noreste de Estados Unidos de América se embarcan en la interoperabilidad de cobro de peaje electrónico.
	1989	Implementación del pesaje dinámico para su operación en vehículos comerciales.
	1989	“Greenlight operation” Esfuerzo entre el Departamento de Transporte de Illinois y otras agencias regionales para reducir la congestión vehicular.
	1989	Invencción de World Wide Web (www.) por Tim Berners-Lee.
<b>1990's</b>	1990	El sistema Pathfinder de información en el vehículo evalúa la tecnología de comunicaciones para la guía de ruta y tráfico. California.
	1991	Primer sistema de cobro de peaje electrónico en Estados Unidos de América. Oklahoma.
	1992	FAST-TRAC integra sistemas avanzados de gestión de tráfico y sistemas de información al viajero. Oakland y Michigan.

<b>1990's</b>	1992	TravTek implementa un sistema de información al viajero y un dispositivo de navegación en el vehículo.
	1992	Implementación de dispositivos de comunicaciones personales inalámbricos para enviar información de viaje mediante texto alfanumérico. Proyecto: "Guidestar Program Genesis".
	1992	Flujo de tráfico e información de enrutamiento alternativo mediante señales de mensajes cambiantes. Proyecto: "INFORM". Nueva York.
	1993	Implementación del sistema de advertencia de volcadura en camiones.
	1993	Integración de tarjetas inteligentes en el sistema automatizado de cobro de tarifas. Chicago.
	1994	Invencción del "Bluetooth".
	1995	Primera implementación de los cargos por congestión <sup>1</sup> mediante el uso del peaje variable electrónico. California.
	1995	Comercialización del Sistema de Posicionamiento Global (GPS, por sus siglas en inglés).
	1998	Implementación de las cámaras de velocidad como método de vigilancia de tráfico.
<b>2000's</b>	2000	La información del tiempo de viaje se implementó en las señales de mensajes dinámicos.
	2003	Se ofrece el primer sistema de advertencia de colisión frontal por Toyota.

<sup>1</sup> Cargos por congestión: Es un cargo adicional generado cuando se sobrepasa la capacidad del sistema (vialidad) provocando la reducción de velocidad y aumento de emisiones de gases a la atmósfera. Lo anterior propicia un incentivo al uso de transporte público, así mismo, dicho monto generado, estrictamente debería utilizarse para la modernización de transporte público masivo. (Hu, 2019)

<b>2000's</b>	2004	Primer sistema de advertencia de abandono de carril por Nissan.
	2004-2005	Se propicia la aceleración en el desarrollo de tecnología para vehículos autónomos por la DARPA (Agencia de proyectos de investigación avanzada de defensa) en Estados Unidos.
	2005	Se establece la iniciativa de Sistemas Integrados de Seguridad Basados en Vehículos para desarrollar y probar sistemas integrados de seguridad en vehículos livianos y vehículos comerciales.
	2005	Implementación de los primeros carriles de alta ocupación (usados para vehículos con 2 o más ocupantes en vialidades troncales de circulación continua) en el condado de Orange, California.
	2006	El Departamento de Transporte de Estados Unidos se asocia con CAMP para el desarrollo y prueba de prototipos de aplicaciones de seguridad mediante tecnología "Vehículo a vehículo" (V2V).
	2007	Se ofrece el detector de punto ciego en vehículos
	2007	En vehículos de lujo se dispone de sistemas de advertencia de abandono de carril, monitoreo de punto ciego y anticolidión.
<b>2010's</b>	2010	Desarrollo de aplicaciones para el transporte mediante "Crowdsourcing" o colaboración abierta distribuida, la cual consiste en externalizar tareas hacia la sociedad o mediante convocatorias abiertas.
	2011	Primera demostración pública de vehículos conectados, toma lugar en el 18vo Congreso Mundial ITS en Orlando, Florida.

<b>2010's</b>	2012	El Departamento de Transporte de Estados Unidos lanza la implementación del modelo piloto de seguridad 2012-2013 demostrando la comunicación “Vehículo a vehículo”.
	2013	Las principales compañías automotrices (GM, Ford, Mercedes Benz, BMW, Nissan, entre otras) trabajan en tecnologías autónomas propias.
	2014	General Motors anuncia características de conducción semiautónomas y capacidad de comunicación V2V.
	2014	Google presenta un automóvil sin conductor, sin pedales ni volante
	2014	Audi anunció su modelo RS7 el cual alcanzó 240 km/h en el circuito de Hohenheim, Alemania. Completando una vuelta 5 segundos más rápido que el mismo modelo tripulado.
	2015	El modelo SQ5 de Audi que se manejaba solo logró recorrer 5,400 km en 9 días. Solo necesitó que se tocara el volante en un par de ocasiones.
	2015	Una flota de 25 vehículos autónomos de Google se evaluó en el tráfico de Mountain View, California sin rebasar los 40 km/h.
	2015	Durante el verano, la Universidad de Michigan puso en funcionamiento un pueblo de utilería llamado “MCity” para probar autos autónomos. Se complementa con proyectos en el sureste del Estado.
2017	Comercialización del “Tesla Model 3”, el cuarto modelo de Tesla. Teniendo un precio accesible y la función de conducción asistida “Piloto automático”.	

Tabla 2. Cronología del desarrollo tecnológico asociado a ITS

©DOT: Key Milestones in the history of ITS

Las aplicaciones de seguridad de comunicación “vehículo a vehículo” (V2V), definidas por el Departamento de Transporte de Estados Unidos son:

1. Luces de freno electrónicas de emergencia (Emergency electronic brake lights (EEBL)): Alerta de frenado hacia un vehículo adelante. Ejemplo: 3 vehículos avanzan en línea y el tercero no puede ver al primero. Cuando el primer auto frena inesperadamente, el tercer auto recibe una señal de alerta de frenado para evitar el choque potencial.
2. Advertencia de punto ciego (Blind spot warning): Advierte la presencia de un vehículo en un punto ciego del conductor.
3. Advertencia de cambio de carril (Lane change warning (LCW)): Proveer una advertencia si un conductor intenta cambiar de carril en una zona que será ocupada pronto por otro vehículo con mayor velocidad en la misma dirección.
4. Advertencia de colisión frontal (Forward collision warning (FCW)): Advertencia al conductor sobre un vehículo con baja velocidad o detenido en su totalidad que se encuentra en su dirección y representa una colisión potencial.
5. Advertencia de no pasar (Do not pass warning (DNPW)): Advierte al conductor que intenta rebasar a otro vehículo frente a el que tiene una menor velocidad, debido a que la situación no es segura puesto que hay tráfico vehicular acercándose a la zona que se desea utilizar para el rebase.
6. Asistencia en intersecciones (Intersection movement assist (IMA)): Advertir al conductor cuando no es seguro entrar en una intersección por el potencial impacto con un vehículo que se acerca a la misma intersección en un sentido distinto (Se indica la dirección de aproximación del vehículo potencialmente peligroso).
7. Advertencia de vuelta izquierda (Left turn assist (LTA)): Advertencia al conductor que intenta girar a la izquierda, pero se encuentra en una situación riesgosa debido a que hay tráfico vehicular acercándose.

(DoT, 2013)

## 2. Alcances del documento

### 2.1 Objetivos

#### 2.1.1 General

Mediante el presente documento se busca establecer un diagnóstico de la presencia de los Sistemas Inteligentes de Transporte en carreteras en México, sirviendo de soporte para el cambio de paradigma que propicie la adopción y generación de estándares para tener una mejor interacción de los proyectos nacionales con los avances tecnológicos globales. Adicionalmente se busca brindar una propuesta general de implementación de ITS.

#### 2.1.2 Particulares

- *Identificación de los documentos oficiales de ITS en México.*
- *Identificación y clasificación de los sistemas inteligentes de transporte en México y el estándar internacional ISO.*
- *Definición de los factores de evaluación y sus parámetros.*
- *Propuesta de equipamiento (básico y avanzado) acorde con las características de la vialidad.*
- *Propuesta general de implementación de ITS.*

### 2.2 Justificación

Este trabajo se presenta como un mecanismo de soporte académico de investigación que establece las condiciones del estado del arte que se presentan en el país en cuanto a la adopción de ITS en carreteras, brindando oportunidades de mejora, fundamentalmente en los aspectos de estandarización, regulación y normatividad, que hasta ahora en México, son escasas.

El contenido se dirige a los agentes involucrados en un proyecto de ITS son los que se describen a continuación:

- *SCT:* Como organismo regulador en los aspectos de normatividad, aplicación, propuesta y solicitud de proyectos.
- *Ingenierías especializadas en tecnología de sistemas inteligentes de transporte:* Despachos de Ingeniería dedicados a la elaboración y seguimiento de proyectos de sistemas inteligentes de transporte.

- *Desarrolladores de tecnologías ITS:* El crecimiento y avance tecnológico global ha propiciado que se formen áreas específicas sobre desarrollo de equipos para apoyo a la infraestructura vial. Detrás de ellos se encuentran tecnologías base.
- *Integradores de tecnologías ITS:* Se trata de empresas capaces de lograr la consolidación de diversos sistemas, componentes y aplicaciones, para lograr una ejecución exitosa en proyectos de infraestructura vial con aplicación de ITS.
- *Concesionarios:* Es un órgano o empresa, ya sea público o privado que se encarga de algunos o todos los siguientes aspectos: planeación, proyecto, construcción, operación, conservación, mantenimiento, actualización y modernización de la infraestructura.

### 3. Hipótesis

La implementación de Sistemas Inteligentes de Transporte en carreteras propicia beneficios suficientes para considerarse una opción viable de solución a las problemáticas que enfrenta la movilidad terrestre carretera.

#### 3.1 Beneficios de implementación

##### 3.1.1 Seguridad en el transporte

En los inicios de los Sistemas Inteligentes de Transporte, el enfoque era en generar mayor información para el usuario, pero la eficacia del sistema dependía en gran medida del comportamiento de dicho usuario de transporte ante los datos obtenidos puesto que es quien debía tomar decisiones.

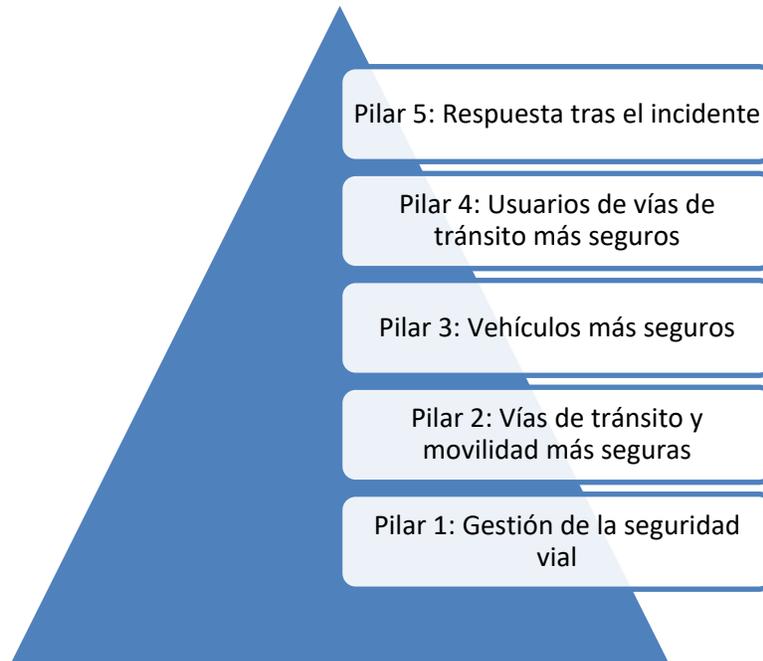
El comportamiento del conductor podía manejarse si se mantiene dentro de límites establecidos, lo cual repercute en un estado de seguridad. De acuerdo con datos de la OMS, los accidentes de tráfico representan la octava causa de muerte a nivel mundial (2018).

El Plan Mundial para el Decenio de Acción para la Seguridad Vial 2011-2020 plantea los elementos preventivos para reducir la accidentalidad (Figura 6):



Figura 6. Prevención de los traumatismos causados por accidentes de tránsito

El Plan Mundial para el Decenio de acción para la seguridad vial, 2011-2020 se describe a través de los siguientes pilares:



*Figura 7. Plan Mundial seguridad vial 2011-2020 OMS*

Mediante el uso de diversos dispositivos, el Estado y/o el organismo de control tiene más posibilidades de influir, lo cual puede justificarse por el peligro potencial de la ocurrencia de un accidente de tráfico que implique daños a terceros si no se toman acciones oportunas, como se identifica en la ilustración 4:



*Ilustración 4. Seguridad en la carretera ©ADN40*

Con base en las recomendaciones de la ONU, se realizó la “Estrategia Nacional de Seguridad Vial en México” con los siguientes objetivos:

- Reducción de muertes a 50%
- Reducción de lesiones y discapacidades por accidentes de tránsito al mínimo posible

Las cifras que se tienen en México sobre la accidentalidad se presentan a continuación:

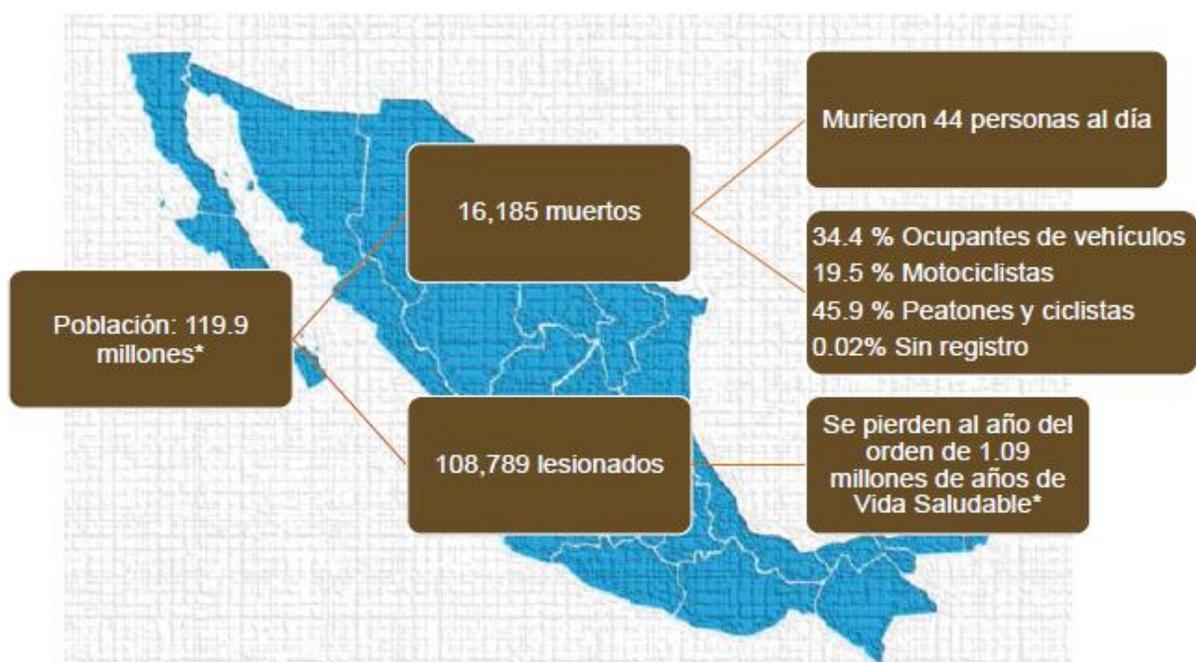
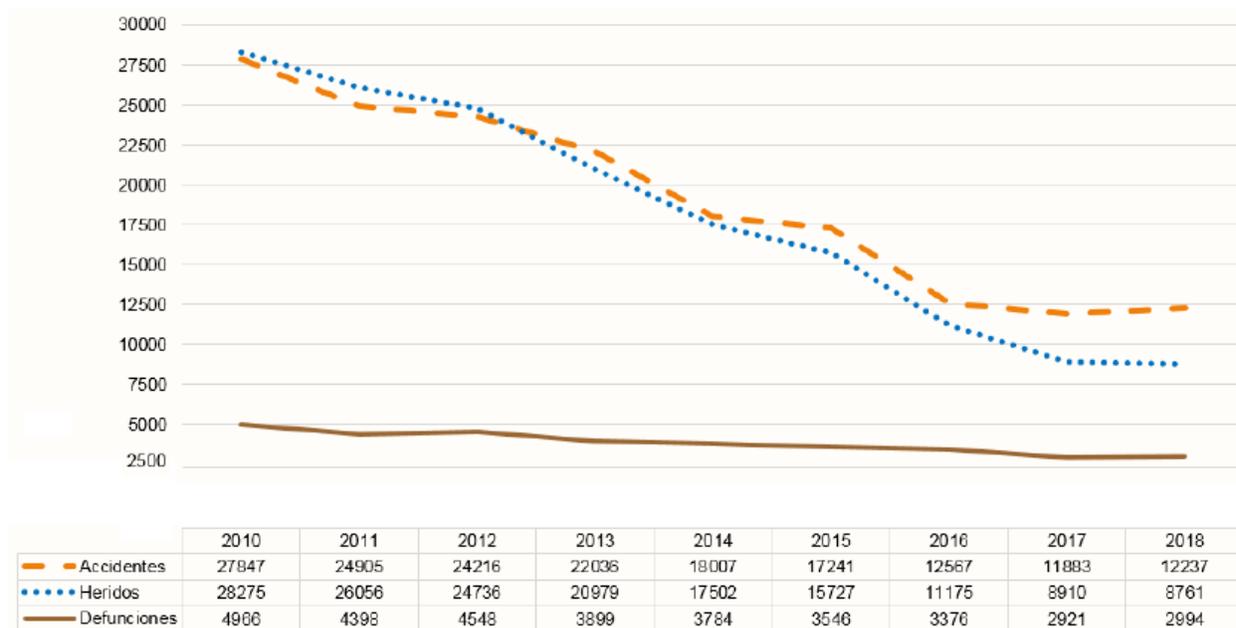


Figura 8. Cifras de accidentalidad en México 2016 –  
INEGI, Policía Federal, STCONAPRA, SS, OMS, OPS

Gracias a la implementación de diversas medidas en la red carretera federal, se ha logrado reducir los accidentes en 56%, los heridos en 69% y las defunciones en 40%, todo ello de 2010-2018. Los datos se muestran en la gráfica 3 (siguiente página).



Gráfica 3. Evolución de la accidentalidad en la red carretera mexicana 2010-2018

©Serment, V. – Acciones para la mejor de la seguridad vial / Datos IMT

Los ITS sin lugar a dudas representan en elemento fundamental para reducir en gran medida las cifras de accidentalidad y mortalidad en carreteras de México.

### 3.1.2 Impactos económicos

El impacto directo generado en el transporte que implica implementación de proyectos ITS es el incremento en la eficiencia de la operación de las redes de transporte lo cual beneficia al inversionista (Gobierno o sector privado) dado que la capacidad del sistema no se reduce.

Los beneficios económicos que presentan los proyectos ITS son atractivos para el sector privado de inversión, puesto que la rentabilidad de los mismos es satisfactoria. El beneficio económico también se hace presente en el usuario de transporte, elemento que recibe de forma directa los beneficios directos en seguridad y eficiencia, pero a la vez les genera ahorros en tiempos de duración, lo cual se traduce en una reducción de los costos de operación vehicular (ver capítulo 5).

### *3.1.3 Impactos en el medio ambiente*

Los problemas de congestión ambiental en la actualidad son una de las principales preocupaciones de los gobiernos más importantes a nivel mundial. La situación se enfatiza mayormente en las ciudades principales donde las emisiones de gases han comenzado a limitarse.

Tiene mucho sentido impulsar el uso de transporte colectivo para el traslado en lugar del uso del automóvil pues las emisiones equivalentes son mucho menores en el primer caso, así mismo, el nivel de congestión se reduce.

Es necesario tener en cuenta dentro del proyecto ITS cuál es el enfoque o resultados esperados, puesto que es posible enfocar la implementación hacia la utilización del transporte individual, siendo satisfactorio en los primeros años, pero al observarse la eficiencia del sistema, se atraerán a nuevos usuarios que poco a poco incrementarán los niveles de congestión y por tanto, de emisiones (ilustración 5).

Por lo anterior, es necesario dejar claro que los ITS deben tener un análisis previo adecuado para visualizar el impacto que tendrá su aplicación, sobre todo buscando la **sustentabilidad**.

Por otro lado, los ITS pueden servir como un elemento identificador de vehículos que incumplan con las restricciones de circulación debido al exceso de emisiones.



*Ilustración 5. Carretera congestionada*

©El Economista

### *3.1.4 Beneficios sociales*

Al realizar mejoras en las redes de transporte, la sociedad que se encuentra dentro del área de influencia recibe impactos directos o indirectos.

El beneficio está dado por la cantidad de usuarios a los que se les aporte una mejora en cuanto a movilidad y seguridad en el tránsito.

La percepción social de un proyecto ITS está directamente relacionada con la manera en que se les hace llegar la información y la manera en que se interpreta por el usuario final.

El manejo de la información, así como la cantidad y calidad de ella que se transmite a los usuarios y tomadores de decisiones es un punto fundamental para el correcto funcionamiento del sistema.

La satisfacción generada en los usuarios de la red carretera es una medida de la percepción de que el proyecto ITS funciona, debido a que se logra una convivencia armónica entre la infraestructura, el vehículo y el usuario.

## 4. Sistemas Inteligentes de Transporte en carreteras

### 4.1 Definición

Los Sistemas Inteligentes de Transporte son definidos por la Intelligent Transportation Society of America “ITSA” como:

*“Los sistemas inteligentes de transporte (ITS) abarcan un amplio rango de tecnologías de comunicación y control que, integradas en la infraestructura de un sistema de transporte, ayudan a monitorear y administrar el tránsito, reducir la congestión, ofrecer rutas alternativas, mejorar la productividad y, en definitiva, generar ahorro de vidas, tiempo y dinero. Los ITS entregan las herramientas para recoger, analizar y almacenar los datos sobre el funcionamiento del sistema de transporte, lo anterior permite a los planificadores contar con una buena información, para mejorar los procesos de planificación, así como dar respuesta rápida a algunos de los problemas que se presentan”.*

Por otro lado, la World Association Mondiale de la Route los define como:

*“Los Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS) son un producto de la revolución de las tecnologías de la informática y las comunicaciones en la era digital. Actualmente, ITS asiste a la operación de las redes de transporte integradas entre caminos, líneas ferroviarias, vías marítimas, puertos y aeropuertos. ITS también ayuda al control de los vehículos que circulan por esas redes y a la planificación eficiente de las operaciones del transporte que usan esos vehículos (incluyendo la planificación particular de viajes y la logística de flotas de vehículos)”.*

En la figura 9 (siguiente página) se muestran los elementos que conforman la totalidad de ITS.

En la figura 10 (página siguiente) se presentan las tecnologías para Infraestructura de movilidad con sus respectivos beneficios.



Figura 9. Conformación de ITS

©Azcárate – Tecnología de la información



Figura 10. Tecnologías para Infraestructura de movilidad

©Azcárate – Tecnología de la información

## 4.2 ¿Por qué implementar ITS?

Con el paso de los años se da la necesidad de modernizar la red carretera nacional, mejorar la conexión entre las distintas regiones, reducir accidentes y los costos de operación, así como una mejor asignación de los recursos destinados a la conservación de la red.

Los ITS desempeñan distintas funciones enfocadas en la generación de información oportuna para la toma de decisiones en la operación del transporte, algunas de ellas son:

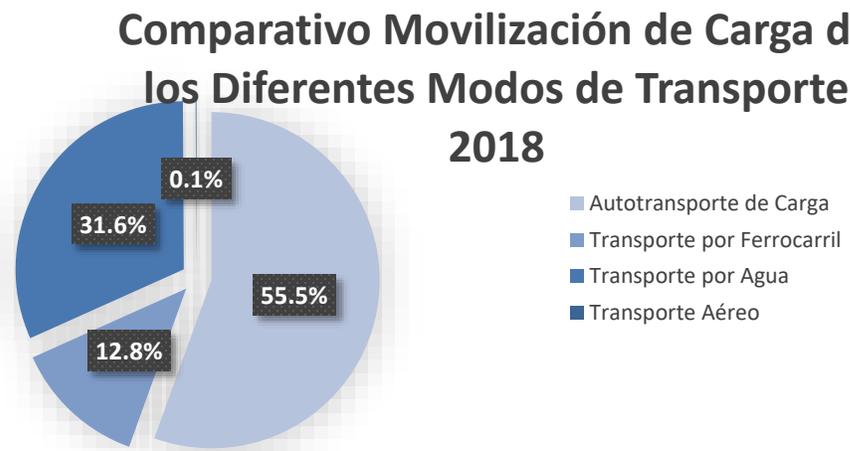
- *Informar a los usuarios*
- *Conservar la infraestructura*
- *Brindar seguridad a viajeros y transportistas*
- *Logística de viajes*
- *Regulación del tránsito*
- *Solución y atención a incidentes*
- *Promover el desarrollo económico*
- *Mejorar las condiciones del transporte para tener efectos positivos en el medio ambiente*

## 4.3 Actualidad de los ITS

### 4.3.1 Nacional

#### *Importancia del transporte carretero en México*

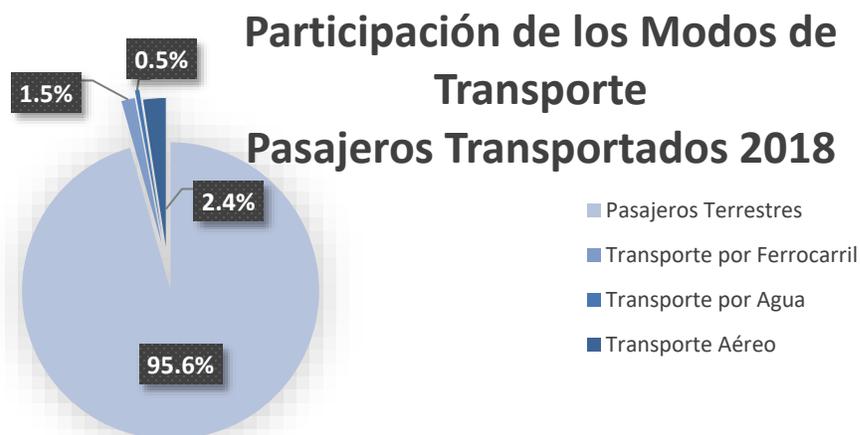
México se ha caracterizado por el traslado terrestre y se ha elegido las carreteras como el mecanismo principal lo cual se traduce en el mayor porcentaje de movimiento de mercancías y personas respecto a las alternativas de movilidad. En la gráfica 4 se puede observar la comparativa entre el movimiento de carga de acuerdo con los distintos modos de transporte:



Gráfica 4. Movilización de carga en México

©SCT – Estadística básica del autotransporte Federal 2018

En la gráfica 5 podemos apreciar la gran participación que tiene el transporte carretero en movilidad de pasajeros:

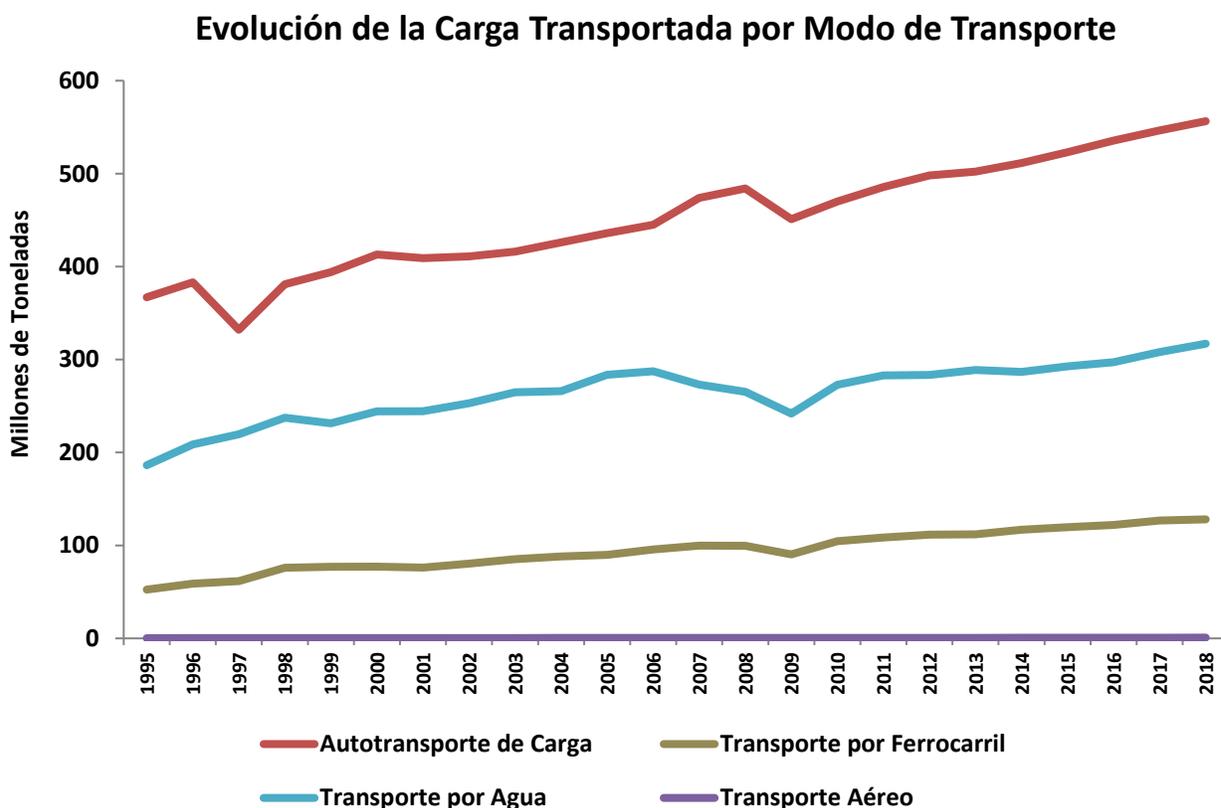


Gráfica 5. Transporte de pasajeros en México por modo de transporte

©SCT – Estadística básica del autotransporte Federal 2018

El transporte carretero ha sido un factor determinante para impulsar el desarrollo económico y social puesto que representa un enlace entre distintas zonas de la República donde, por un lado, se producen insumos, productos o servicios y en otra zona se necesitan.

El transporte de mercancías ha tenido una tendencia creciente a lo largo de los años y es propiamente el movimiento mediante autotransporte el que ha ganado más volumen. En la gráfica 6 podemos ver el incremento de la cantidad de carga transportada en México de 1995 a 2018 por cada uno de los modos de transporte:



Gráfica 6. Evolución de la carga transportada

©SCT - Estadística básica del autotransporte Federal 2018

Actualmente, según datos de la Red Nacional de Caminos elaborada por el Instituto Mexicano de Transporte se tiene el siguiente inventario de infraestructura carretera (Figura 11, página siguiente):



Figura 11. Distribución de la Red Nacional de Caminos (2018)

© Datos SCT-IMT-INEGI

El incremento en la demanda de transporte terrestre ha propiciado la creación de carreteras de mejor calidad, pero ello implica un mayor costo que no siempre se puede cubrir por parte del Gobierno. La solución ha sido la construcción de carreteras de peaje o cobro, en las que el usuario está pagando por mejorar las condiciones como tiempo de recorrido, menores pendientes, curvas más amplias y pavimentos en condiciones adecuadas que hacen más confortable el tránsito.

En la figura 12 (ver página siguiente) se observa la distribución de las carreteras federales libres de cuota en color rojo y las de peaje en color verde, de acuerdo con la Red Nacional de Caminos:

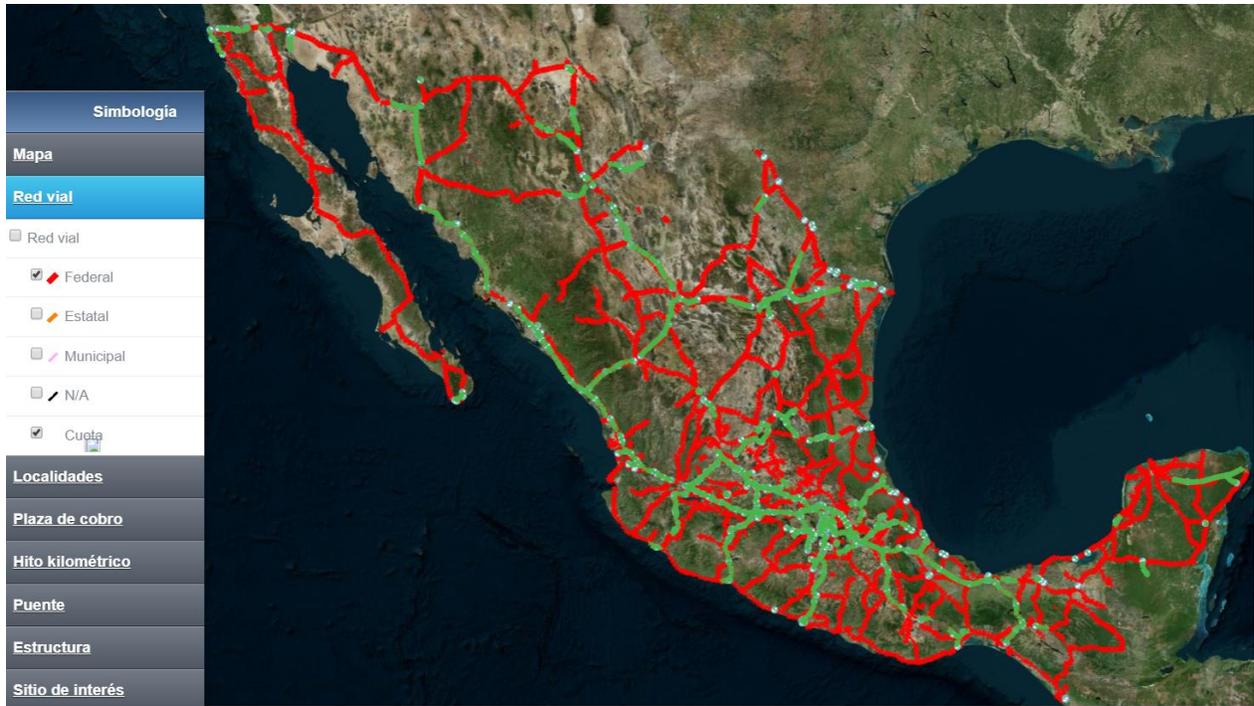


Figura 12. Mapa de la Red Nacional de Caminos, Carreteras Federales

©IMT – RNC

En la figura siguiente se muestra la distribución de los principales ejes carreteros de México:



Figura 13. Principales ejes carreteros de México ©SCT

### *Documentos oficiales de ITS en México*

La primera acción importante en cuanto a ITS por parte de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes “SCT” fue en la definición básica de la “**Arquitectura Nacional ITS para México**” en donde se establecían las bases y marco de referencia nacional, publicado en 2006 buscando cubrir los siguientes ámbitos:

- *Reducir accidentes, muertes y heridos en la red carretera y urbana.*
- *Incrementar la seguridad en los cruces fronterizos.*
- *Aumentar la seguridad de las personas y bienes en todo el sistema de transporte.*
- *Mejorar la uniformidad de las normas que rigen la información referente a la carga y datos entre México y otros países.*
- *Mejorar la documentación y corrección de los problemas relacionados con la seguridad y operación de vehículos de carga.*
- *Mejorar la gestión de la fijación de tarifas e ingresos.*
- *Manejar los cambios en la condición del flujo del tránsito.*
- *Reducir el impacto de los incidentes en la red de transporte.*
- *Proveer una mejor gestión de los recursos del transporte público de pasajeros.*
- *Mejorar la facilidad de viajar para los habitantes que viven fuera de las principales regiones urbanas.*
- *Reducir el impacto del transporte en la calidad del aire.*
- *Mejorar la información para viajeros en México.*

En 2007 se da la creación de ITS México que es un organismo de consulta y apoyo permanente en ITS. Es quien representa a México en la materia y genera contenidos, materiales y planes para capacitación sumado a los esfuerzos en los niveles de educación superior para los profesionales del área.

En 2010 se realizó el **Plan Estratégico Nacional para la Planeación, Desarrollo e Implementación de Sistemas Inteligentes de Transporte en México (PEITS)** el cual se enfocaba en generar para los actores en la implementación, operación y administración de ITS, un Plan que promueve la integración de los servicios ITS. En el documento se proponen 74 proyectos para los 15 años posteriores a 2010. Se realizó una agrupación en 7 regiones, que se muestran en la figura 14 (siguiente página).

- Región 1: Baja California Norte, Baja California Sur, Sonora y Sinaloa
- Región 2: Colima, Jalisco, Nayarit y Michoacán
- Región 3: Tamaulipas, Nuevo León, San Luis Potosí, Coahuila
- Región 4: Chihuahua, Durango, Zacatecas y Aguascalientes
- Región 5: Campeche, Tabasco, Veracruz, Quintana Roo y Yucatán
- Región 6: Chiapas Guerrero y Oaxaca
- Región 7: Guanajuato, Distrito Federal, Morelos, México, Tlaxcala, Puebla, Hidalgo, Querétaro.

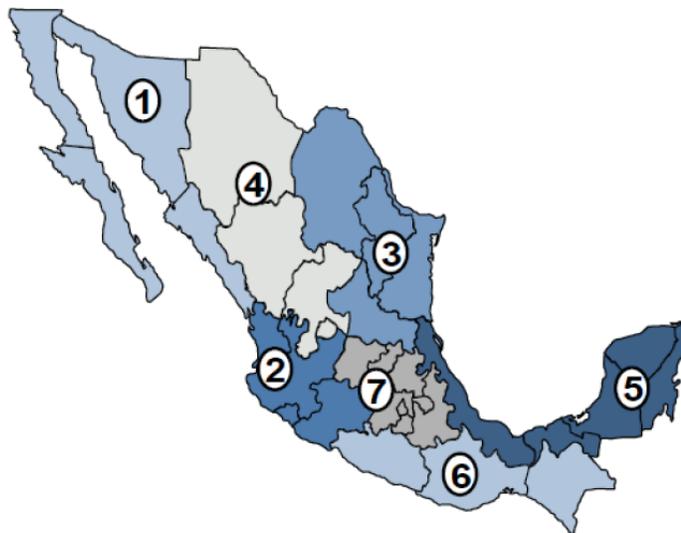


Figura 14. Regiones de acción PEITS - SCT

La inversión planeada para los 74 proyectos se muestra en la tabla 3:

Corredor	Longitud (km)	Inversión (miles \$)	Tiempo (años)
1 Transpeninsular de Baja California	1,776	1,598,400	12
2 México-Nogales con ramal a Tijuana	3,075	2,767,500	20
3 Querétaro-Ciudad Juárez	1,755	1,579,500	12
4 México-Nuevo Laredo con ramal a Piedras negras	1,735	1,561,500	12
5 Veracruz-Monterrey con ramal a Matamoros	1,297	1,167,300	9
6 Puebla-Oaxaca-Cd. Hidalgo	1,007	906,300	7
7 México-Puebla-Progreso	1,328	1,195,200	9
8 Peninsular de Yucatán	1,219	1,097,100	8
9 Mazatlán-Matamoros	1,241	1,116,900	8
10 Manzanillo-Tampico (y a Lázaro Cárdenas y Ecuandureo)	1,856	1,670,400	12
11 Altiplano	602	541,800	4
12 México-Tuxpam	832	748,800	6
13 Acapulco-Veracruz	851	765,900	6
14 Circuito Transístico	702	631,800	5
<b>Total</b>	<b>19,276</b>	<b>17,348,400</b>	<b>130</b>

Tabla 3. Inversión para los proyectos ITS del PEITS a partir de 2011 - SCT

El PEITS identifica un total de 10 esferas, 37 grupos y 114 servicios.

Para ese momento se actuaba bajo el Programa Nacional de Infraestructura 2007-2012 el cual establece que la infraestructura y transportes son fundamentales para lograr el desarrollo que demanda la población de México, mismo que debe ser sustentable con crecimiento en la economía mediante la generación de empleos.

En la figura 15 se presenta un ejemplo de las consideraciones generales que se tienen en los proyectos ITS propuestos en el PEITS, en este caso en el tramo México-Querétaro.

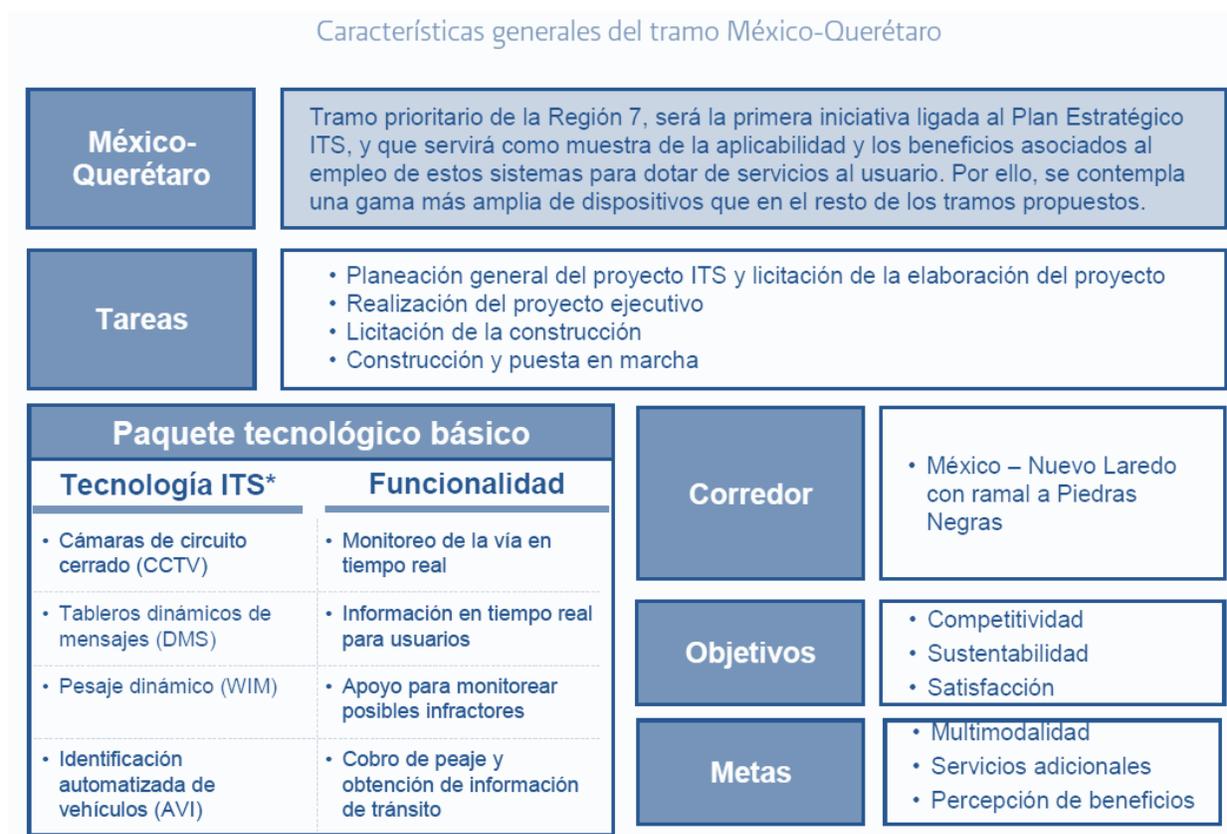


Figura 15. Características generales de los proyectos ITS - PEITS

Dentro del PEITS se identificaron tramos primarios y secundarios para la implementación de ITS, me muestran en la tabla 4 en la página siguiente:

Región	Tramo	Corredor al que pertenece	Tiempo de Implementación (años)
1	Tijuana-Ensenada	1. Transpeninsular de Baja California	1
	Mazatlán-Culiacán	2. México-Nogales con ramal a Tijuana	2
2	Manzanillo-Guadalajara	10. Manzanillo-Tampico con ramales a Lázaro Cárdenas y Ecuandureo	2
	Lázaro Cárdenas-Morelia	2. México-Nogales con ramal a Tijuana	2
3	Monterrey-Nuevo Laredo	4. México-Nuevo Laredo con ramal a Piedras negras	2
	Tampico-Monterrey	5. Veracruz-Monterrey con ramal a Matamoros	4
4	Ciudad Juárez-Chihuahua	3. Querétaro-Ciudad Juárez	2
	Durango-Gómez Palacios	9. Mazatlán-Matamoros	2
5	Mérida-Progreso	7. México-Puebla-Progreso	1
	Tulum-Cancún	8. Peninsular de Yucatán	1
6	Puebla-Oaxaca	6. Puebla-Oaxaca-Cd. Hidalgo	2
	Cuernavaca-Acapulco	13. Acapulco-Veracruz	2
7	México-Querétaro	4. México-Nuevo Laredo con ramal a Piedras negras	2
	México-Toluca	2. México-Nogales con ramal a Tijuana	1
	Irapuato-Querétaro	3. Querétaro-Ciudad Juárez	1
	México-Cuernavaca	13. Acapulco-Veracruz	1
	México-Puebla	7. México-Puebla-Progreso	1

	Tramo Prioritario
	Tramo Secundario

Tabla 4. Tramos identificados en el PEITS para implementación de ITS 2010

Entre 2010 y 2013 se realizaron estudios y proyectos en la SCT en cuestiones de ITS, peaje y Telepeaje para homologar los criterios de diseño y ejecución de ellos en la red carretera concesionada del país.

En 2013 surge el “**Manual para Proyectos de Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS) en carreteras**” por parte de la Dirección General de Servicios Técnicos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes el cual genera políticas y lineamientos para la integración de ITS de forma correcta, objetiva y homogénea. En el manual se pueden encontrar aspectos básicos de composición de subsistemas.

Cabe señalar que han transcurrido 6 años desde la publicación del mismo y el desarrollo tecnológico que se ha tenido de forma global requiere ajustar algunos puntos.

Al año siguiente (2014) se publica la “**Arquitectura Nacional de ITS V2.0**” para el diseño del equipamiento de la infraestructura carretera con la finalidad de determinar los tipos de sistemas a implementar, su funcionalidad, cantidad y tipos de equipos, conexiones y comunicaciones de los mismos.

Mediante el “**Programa para la interoperabilidad de Centros de Control ITS**” se define el diseño, equipamiento y operación de un centro de control de acuerdo a las condiciones específicas y el área que se desee atender. El punto fundamental es la interoperabilidad entre distintos centros de control, lo cual se verá a mayor detalle en los capítulos siguientes.

Otro documento fundamental a tener en cuenta es: “**Lineamientos para el diseño, implementación, operación y mantenimiento de sistemas ITS en túneles y su área de influencia**” el cual aborda la trazabilidad fundamental para la implementación óptima de ITS en túneles, buscando mejoras en la seguridad y eficiencia de tránsito.

“**Definición y elaboración de estándares de Peaje y Telepeaje**” Presenta los factores, parámetros y características que deben cumplir los sistemas de peaje y Telepeaje.

“**Control de peso y dimensiones**” bajo la NOM-012-SCT2-2017 enfocada a los vehículos de autotransporte que transitan en las carreteras mexicanas. También se tienen los proyectos de normas Oficiales Mexicanas: PROY-NOM-198-SCFI-2017 y PROY-NOM-010-SCFI-2017 para las características de los sistemas de medición de peso y dimensiones.

Es importante señalar que en México no existe normatividad en tema de ITS respecto a planeación, diseño de proyecto, metodología de implementación, control de calidad, verificación de operación y mantenimiento. Lo anterior ha generado que los criterios de implementación y operación sean distintos y existan incompatibilidades de sistemas y datos; como resultado se logra una implementación deficiente cuyo costo de operación es elevado.

Recientemente se ha publicado el “**Programa Nacional de Infraestructura Carretera 2018-2024**” que busca lograr un desarrollo regional con una red intermodal integral, eficiente, sustentable, segura y moderna. Con base en las necesidades planteadas en este documento, se propone la creación de un “**Programa Nacional de ITS**”

En 2019, por parte de la Dirección General de Servicios Técnicos de la SCT se propone el “Programa Nacional para la implementación de ITS en la Red Carretera Federal”.

Uno de los objetivos fundamentales es realizar una evaluación ex – post del PEITS 2010 que tenía un horizonte de planeación de 10 años.

Con el Programa se busca la planeación y elaboración de propuestas de proyectos de ejecución en la infraestructura considerando un horizonte igualmente a 10 años: 2020-2030.

El programa se dirige hacia los distintos esquemas de operación actuales:

- *Red concesionada privada*
- *Mantenedor-Reparador-Operador (MRO)*
- *Paquetes carreteros con esquema de Asociación Público Privada (APP)*
- *Red Federal libre de cuota*

Dentro de la evaluación del estado actual, se presentan los siguientes datos:

ITS EN OPERACIÓN				
No.	Tramo	Longitud Km	Inversión (MDP)	Aforo (TDPA)
1	México - Acapulco	439	102	15,755
2	Durango - Mazatlán*	230	423	2,408
3	Mazatlán-Culiacán y Lib. Mazatlán	219.5	340	5,988
4	Arco Norte	223.9	120	13,165
5	Guadalajara - Tepic	168.6	169	10,024
6	Guadalajara - Colima*	148	207	11,775
7	Nuevo Necaxa - Tihuatlán*	84.8	238	4,073
8	Salamanca - León*	82	108	11,821
9	Atacomulco - Maravatío	64.4	153	10,406
10	Chamapa - Lechería	36.1	23	54,165
11	Lib. Felipe Carrillo Puerto*	14.1	19	441
12	Interconexión Segundo Piso a la Caseta de Tlalpan	5	10	7,850
<b>TOTAL:</b>		<b>1,715.40</b>	<b>\$1,911.00</b>	<b>147,871</b>

Tabla 5. ITS en operación (2019). SCT

En la siguiente tabla se muestran los tramos en los cuales se instalarán ITS entre 2018 y 2020:

ITS A INSTALAR EN 2018 - 2020 (SIN OBLIGACIÓN POR TÍTULO DE CONCESIÓN)						
No.	Tramo	Longitud Km	Inversión MDP	Aforo TDPA	Año	Concesionario
1	Zapotlanejo - Lagos de Moreno	119	133	14,427	2018	RCO
2	Maravatío - Zapotlanejo	310	345	9,799	2018	RCO
3	León - Aguascalientes	108	120	13,235	2018	RCO
4	Cabo San Lucas - San José del Cabo	45.2	50	1,714	2018	FONADIN
5	Guadalajara - Zapotlanejo	26	29	37,136	2018	RCO
6	Cardel - Veracruz	30	33	18,148	2018	Gob. VERACRUZ
<b>SubTotal:</b>		<b>638.2</b>	<b>\$711.00</b>	<b>94,459</b>		
7	Peñon - Texcoco	16	18	34,072	2019	PINFRA
8	Ecatepec - Piramides	22	25	24,641	2019	PINFRA
9	Ecatepec - Peñon	22	25	11,604	2019	PINFRA
10	Libramiento Oriente de San Luis Potosí	34	38	16,955	2019	META
11	Libramiento de Matehuala	14	16	11,419	2019	OMEGA
12	Pto. México - La Carbonera	32	36	14,608	2019	FONADIN
<b>SubTotal:</b>		<b>140</b>	<b>\$156.00</b>	<b>113,299</b>		
13	Ensenada - Tijuana	90	100	12,082	2020	FONADIN
14	Monterrey - Nvo. Laredo (Monterrey - La Gloria)	123	137	12,149		FONADIN
15	La Tinaja - Cosoleacaque	228	254	10,519		FONADIN
16	Tuxtla Gutiérrez - San Crsitobal	46	51	9,765		ALDESA
<b>SubTotal:</b>		<b>487</b>	<b>\$543.00</b>	<b>45,235</b>		
<b>TOTAL:</b>		<b>1265.2</b>	<b>\$1,410.00</b>	<b>252,993</b>		

Tabla 6. ITS a instalar entre 2018 y 2020

## Arquitectura ITS en México

Los ITS brindan las herramientas para obtener, analizar y almacenar los datos de un sistema de transporte. Una Arquitectura ITS es una estructura común para planificar, aplicar y desarrollar los Sistemas Inteligentes de Transporte.

Las características básicas que debe tener son:

- **Integración:** Vinculación entre sistemas de información
- **Compatibilidad:** Establecer estándares que logren la comprensión de la información compartida entre los distintos elementos participantes.
- **Interoperabilidad:** Comunicación amigable con el usuario final

Un sistema ITS cuenta con varios subsistemas que deben considerarse. Una clasificación usual es la agrupación de la parte física y la parte lógica:

**La Arquitectura física ITS** se refiere a los elementos tangibles, es decir, aquellos que pueden tocarse como los vehículos, infraestructura y equipos. Mediante este se define la conexión entre varios subsistemas. A su vez, puede dividirse en elementos fijos y móviles y ellas se conectan por medio de las comunicaciones, las cuales pueden ser alámbricas e inalámbricas. La **Arquitectura lógica o de comunicaciones** es la que desarrolla flujos de información entre los distintos subsistemas. En la figura 16 podemos observar la interacción del sistema físico y lógico:

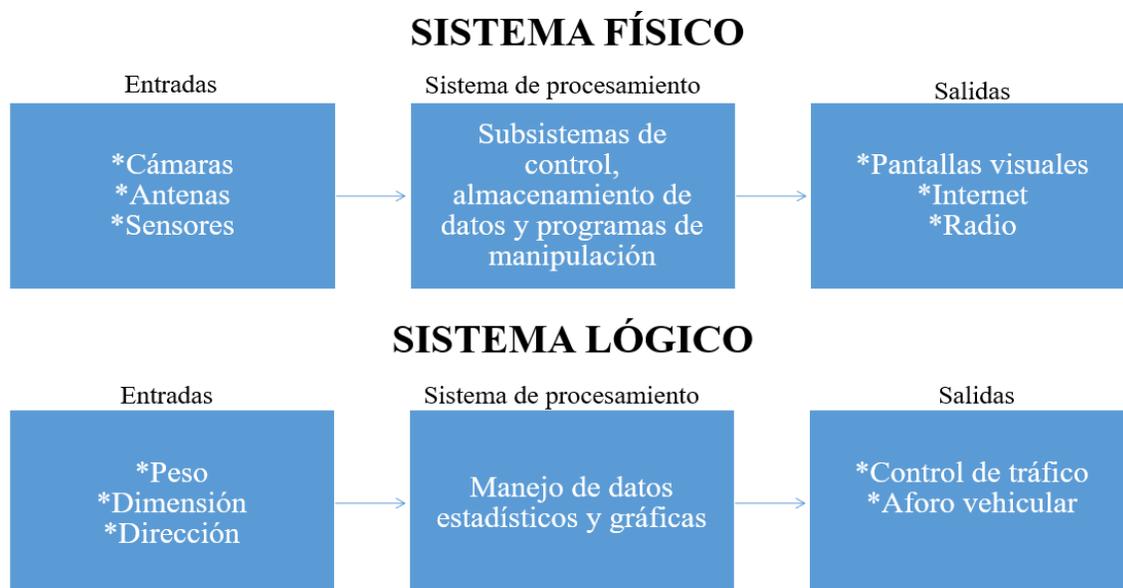


Figura 16. Componentes de un Sistema Inteligente de Transporte

En México se tiene el documento “Arquitectura Nacional de Transporte V.2” publicada en febrero de 2014 con el objetivo de proporcionar la base técnica para el desarrollo de aplicaciones e implementaciones de sistemas ITS en el país.

En la figura 17 se presenta la estructura general de la Arquitectura Nacional ITS.

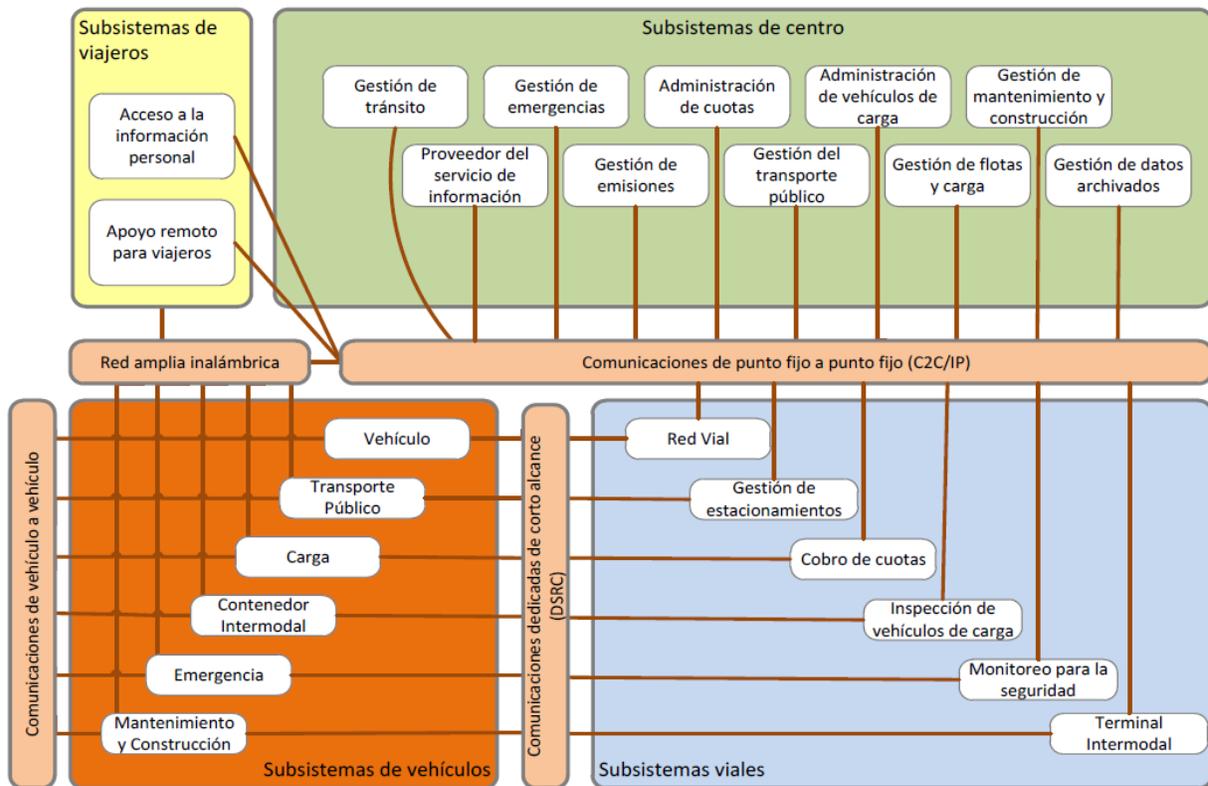


Figura 17. Diagrama general de la Arquitectura Nacional ITS

### 4.3.2 Internacional

El avance tecnológico se ha dado mayormente en países desarrollados. Hoy en día Estados Unidos de América es la principal potencia ITS, lo cual va de la mano con el desarrollo del país, puesto que también representa la economía más fuerte mundial. En gran medida, debe su posición a la fuerte inversión económica que se ha realizado para tal causa, representada en los programas ISTEA I y II (“Intermodal Surface Transportation Efficiency Act”) o Ley de Eficiencia en el Transporte Terrestre Intermodal, realizados de 1991 a 2003.

### Organismos internacionales ITS

A continuación, en la tabla 7 se enlistan los diversos organismos que se encargan del manejo de ITS a nivel mundial de acuerdo con sus respectivas regiones o países:

Zona/Región	Organismo	Dirección WEB
<b>América</b>	ITS América 	<a href="https://www.itsa.org">https://www.itsa.org</a>
<b>México</b>	AMIVTAC 	<a href="http://www.amivtac.org/index.php">http://www.amivtac.org/index.php</a>
<b>Canadá</b>	ITS Canada 	<a href="https://www.itscanada.ca">https://www.itscanada.ca</a>
<b>Brasil</b>	ITS Brasil 	<a href="http://itsbrasil.org.br/">http://itsbrasil.org.br/</a>
<b>Argentina</b>	ITS Argentina 	<a href="http://www.itsargentina.org.ar/">http://www.itsargentina.org.ar/</a>
<b>Europa</b>	ERTICO 	<a href="https://ertico.com">https://ertico.com</a>
<b>Francia</b>	ATEC-ITS France 	<a href="https://atec-its-france.com/">https://atec-its-france.com/</a>
<b>Iberoamérica</b>	ITS Iberoamérica 	<a href="https://www.itsiberoamerica.net">https://www.itsiberoamerica.net</a>
<b>Reino Unido</b>	ITS United Kingdom 	<a href="https://its-uk.org.uk">https://its-uk.org.uk</a>
<b>España</b>	ITS España 	<a href="https://www.itsspain.es">https://www.itsspain.es</a>
<b>Asia-Pacífico</b>	Asia-Pacific ITS 	<a href="http://itsasia-pacific.com/">http://itsasia-pacific.com/</a>
<b>Japón</b>	ITS Japón 	<a href="http://www.its-jp.org/english/">http://www.its-jp.org/english/</a>

<b>Corea</b>	ITS Korea		<a href="https://itskorea.kr/english/main.do">https://itskorea.kr/english/main.do</a>
<b>Australia</b>	ITS Australia		<a href="https://www.its-australia.com.au">https://www.its-australia.com.au</a>
<b>Sudáfrica</b>	ITS South Africa		<a href="https://itssa.org">https://itssa.org</a>

Tabla 7. Organismos internacionales ITS

#### 4.4 Identificación de necesidades del transporte carretero

Las problemáticas del sistema de transporte carretero a nivel nacional, de acuerdo con el PEITS y la Arquitectura Nacional ITS son:

- *Problemas de señalamiento en carreteras y accesos a ciudades*
- *Falta de bases de datos de identificación nacional como las licencias o registros vehiculares*
- *Problemáticas en torno a la seguridad personal y de mercancías*
- *Elevados tiempos de respuesta a incidentes*
- *Circulación de autotransporte con exceso de carga*
- *Falta de capacidad operativa en la supervisión e inspección del autotransporte*
- *Señalización del tipo de carretera que mencione los límites de pesos y dimensiones*
- *Altos tiempos de revisión en puntos de la red carretera asociado con la seguridad*
- *Congestión en los cruces fronterizos*

En la Arquitectura Nacional ITS V.2 2014, se establecen las siguientes necesidades:

- *Reducción de la severidad y cantidad de accidentes, muertes y heridos en carretera*
- *Incrementar la seguridad de los pasajeros y los bienes en todo el sistema de transporte*
- *Reducir los incidentes derivados de los cambios en las condiciones del flujo del tránsito*
- *Reducir el impacto de los incidentes en la red de transporte*
- *Reducir los tiempos de viaje debido a congestión y demoras*
- *Mejorar la información para los viajeros*

## **4.5 Servicios que ofrecen los ITS**

### ***4.5.1 Grupos tecnológicos por tipo de servicio***

#### ***Clasificación estandarizada ISO***

En la Arquitectura Nacional ITS V.2 se encuentra una clasificación de los servicios ofrecidos a los usuarios, pero cabe señalar que, al manejar información múltiple, los sistemas tienden a interrelacionarse con las nuevas tecnologías, las cuales se desarrollan en distintos puntos del planeta. Por lo anterior, el uso de estándares internacionales en el manejo de los ITS es fundamental.

En esta sección, se abordará la clasificación dada por el “International Organization for Standardization” (ISO) que es un organismo que desarrolla y publica estándares internacionales; dentro de su comité Técnico número 204 realiza la estandarización de actividades ITS separando por categorías en torno a las funciones a las que se dirige cada una de ellas.

En la tabla 8 (página siguiente) se tiene la clasificación de ITS de acuerdo a la estandarización ISO.

Estandarización	
<b>Grupos tecnológicos (Servicios)</b>	1. Tecnología de bases de datos
	2. Identificación automática de vehículos
	3. Peaje y cobro
	4. Manejo general de pasajeros y carga
	5. Transporte público y emergencias
	6. Información integrada de transporte: Manejo y control
	7. Sistema de información al viajero
	8. Sistemas de control y advertencia vehículo/camino
<b>Requerimientos del sistema</b>	Comunicaciones
	Arquitectura
<b>Dispositivos</b>	Dispositivos nómadas en ITS
	Sistemas cooperativos ITS

Tabla 8. Estandarización ISO a los ITS – TC204

### *Descripción de estándares*

#### **1. Tecnología de bases de datos**

Se han estandarizado formatos de intercambio entre proveedores de datos geográficos, así como formatos de almacenamiento compactos, que permiten realizar búsquedas con una alta velocidad. Se han desarrollado especificaciones para el tipo de datos.

En este apartado se ha limitado el alcance a los datos geográficos estáticos.

#### **2. Identificación automática de vehículos**

Se aborda el estudio del sistema que identifica automóviles y carga de manera automática mediante el uso de dispositivos simples que se llevan a bordo, como las etiquetas.

### **3. Peaje y cobro**

Se trabaja en la estandarización del cobro electrónico de tarifas y los otros tipos de cobro (peajes en carretera, estacionamiento, entre otros).

### **4. Manejo general de pasajeros y carga**

Se desarrolla la estandarización de mercancías peligrosas y la carga multimodal.

La estandarización incluye los operativos de monitoreo de vehículos comerciales de carga, diccionario de datos y mensajes.

### **5. Transporte público y de emergencias**

El transporte público incluye autobuses, trenes, tranvías y vehículos de emergencia. Un apartado especial del estándar son los sistemas de gestión de tarifas interoperables.

### **6. Información integrada al transporte**

Está enfocado en la gestión de tráfico mediante información de este y lograr aprovecharla para su control. Se trabaja en la sistematización de la información y la estandarización de la comunicación.

### **7. Sistema de información al viajero**

Son una parte fundamental del ITS. La estandarización aborda los diccionarios de datos y el conjunto de mensajes que se proporcionan como información a los conductores a través de distintos medios de comunicación como la transmisión FM, DSRC (Comunicación a corto alcance) o la transmisión digital.

### **8. Sistemas de control y advertencia de vehículo-infraestructura**

Se realiza para reducir la carga de trabajo al conductor, crear conciencia de peligro, prevenir accidentes y mitigar daños con el uso de sistemas como el control crucero adaptativo y los sistemas de mitigación de colisiones de vehículos delanteros.

## **Comunicaciones**

Se crea en la búsqueda de la estandarización de los sistemas de comunicación utilizados en los ITS.

## **Arquitectura**

Es fundamental tener una Arquitectura ITS que asegure la capacidad de expansión e interoperabilidad, es decir, garantiza la participación armónica de los sistemas que la integran. Se ha trabajado en la estandarización de información y métodos comunes, incluyendo la terminología compartida, representación de datos y formatos.

## **Dispositivos nómadas en ITS**

Se dirige a los servicios ITS que hacen uso de dispositivos como teléfonos inteligentes y dispositivos portátiles de navegación. Se analizan las interfaces, protocolos de guía para la seguridad, sistemas de advertencia y servicios que dan información al viajero.

## **Sistemas cooperativos**

Integran a las comunicaciones Vehículo a vehículo (V2V), vehículo-infraestructura (V2I) e infraestructura-infraestructura (I2I) y a también admite servicios ITS extensivos a través de sistemas de comunicaciones.

## *Clasificación de los servicios al usuario según la Arquitectura Nacional ITS*

### **Gestión de viajes y tránsito**

- Información previa al viaje
- Información durante el viaje
- Navegación
- Búsqueda de viaje coincidente
- Servicios de información al viajero
- Control de tránsito
- Gestión de incidentes
- Gestión de la demanda
- Control y mitigación de emisiones contaminantes
- Pasos a nivel carretera-ferrocarril

### **Gestión de transporte público**

- Gestión del transporte público
- Información de tránsito en ruta
- Transporte público personalizado
- Seguridad en el transporte público

## **Pago electrónico**

- Pago electrónico

## **Operaciones de vehículos comerciales**

- Autorización electrónica de vehículos comerciales
- Inspección automatizada de seguridad en carretera
- Seguridad a bordo y monitoreo de seguridad
- Procesos administrativos para vehículos comerciales
- Respuesta a incidentes
- Seguridad de mercancías peligrosas
- Movilidad de la carga
- Gestión de terminal intermodal

## **Atención de incidentes**

- Notificación de emergencia y seguridad personal
- Gestión de vehículos de emergencia
- Respuesta a desastres y evacuación

## **Sistemas avanzados de seguridad para vehículos**

- Prevención de colisiones longitudinales, laterales y en intersecciones
- Mejora de la visibilidad para prevenir accidentes
- Monitorización de las condiciones de seguridad y control de la conducción
- Anticipación a colisión
- Sistemas de seguridad activa
- Operación automatizada del vehículo

## **Gestión de la información**

- Datos archivados

## **Manejo y gestión del mantenimiento y construcción de infraestructura**

- Operaciones de mantenimiento y construcción

## 4.6 Determinación de los subsistemas

Los subsistemas ITS que se han desarrollado para la implementación dentro de la Red Carretera Nacional están pensados para la operación en diversos entornos, cada uno de ellos tiene funcionalidades específicas pero un conjunto de ellos ayuda a brindar los servicios que satisfagan las necesidades del sistema de transporte carretero.

### 4.6.1 Identificación y definición

#### *Centro de control y operación (CCO)*

Un Centro de Control y Operación (CCO), es un sistema de gestión centralizada al cual llegan los datos procedentes de los equipos colocados en el camino, posteriormente se procesan para generar información útil que pueda ser aprovechada en el campo. (Ilustración 6).

Una característica fundamental es que debe estar activo las 24 horas del día durante todos los días del año.



*Ilustración 6. CCO de CAPUFE*

Con el CCO se pueden realizar las siguientes acciones:

- Control de las instalaciones de la carretera de forma remota (Sistemas de comunicaciones, gestión de tránsito, entre otros)
- Detección de emergencias y su atención
- Vigilar el correcto funcionamiento del conjunto de elementos

Un CCO puede tener funciones avanzadas, entre las que destacan:

- Interoperabilidad con otros centros de control y operación
- Brindar información a usuarios en tiempo real
- Mantenimiento y explotación de recursos

### *Energía (PRS)*

Es un subsistema fundamental para cualquier proyecto ITS puesto que es el que brinda el flujo de electricidad a los equipos colocados en el campo, los cuales se encargan de recabar los datos.

Debido a su importancia, debe contar con fuentes de respaldo que eviten cortes y por tanto, interrupción en el funcionamiento del sistema.

En México, el suministro convencional está dado por la Comisión Federal de Electricidad, pero actualmente comienzan a impactar otros tipos de energía como la solar o eólica.

Para los dispositivos que se encuentran al aire libre como las cámaras, paneles de información, equipos de comunicaciones, entre otros, deben tener un respaldo como baterías que puedan establecer unas horas de acción después de un corte en la línea principal (Ilustración 7).



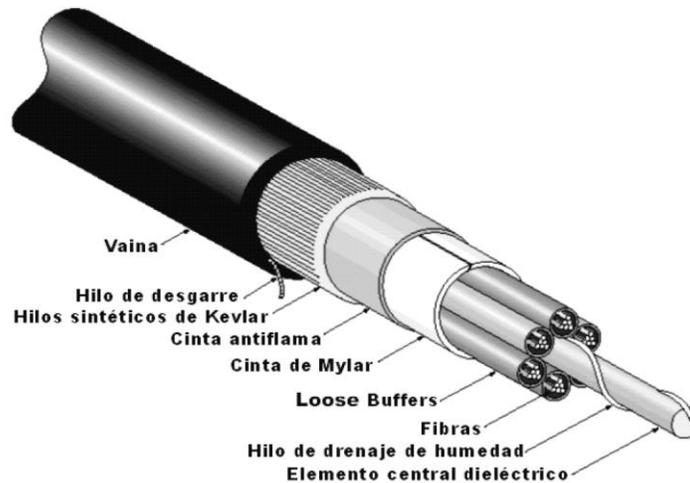
*Ilustración 7. Línea de media tensión en carretera*

Los túneles son un caso especial debido a que requieren de una gran cantidad de energía, por lo que debe instalarse una línea de alta tensión y sus respectivos elementos para transformarla y poder usarla en equipos convencionales.

### *Infraestructura y comunicaciones (COM)*

Mediante la infraestructura de comunicación y los medios de transmisión es posible el manejo de datos en tiempo real dentro del sistema, intercambiando información entre los subsistemas. Es un vínculo que permite la conexión entre los elementos.

El medio de transmisión más utilizado actualmente es la fibra óptica. (Figura 18)



*Figura 18. Componentes de la fibra óptica*

Debe tenerse en cuenta que existen reglamentaciones para la transmisión de datos, denominadas “protocolos”.

El subsistema deberá ser planeado para soportar los requerimientos máximos que maneje, en cuanto a tamaño de datos o volumen de información se desee transportar.

Un aspecto importante es contar con un sistema de radiocomunicación, el cual puede operar de forma privada para la interacción de servicios de emergencia, o pública, para emitir mensajes a los usuarios mediante una estación AM o FM con información vial referente a su traslado.

En el caso de los túneles, además debe considerarse la cobertura de señal móvil que se proporciona por empresas privadas y hacen posible que el usuario disponga de telefonía o internet.

### *Video-vigilancia (CCTV)*

Se da a través del circuito cerrado de televisión (CCTV) el cual tiene la función de ser un elemento de apoyo para el control de tránsito en carretera (Ilustración 8).

Mediante este sistema se busca lo siguiente:

- Monitoreo del tránsito que permitan anticipar estrategias de gestión
- Monitoreo de las condiciones meteorológicas y su posible influencia en la seguridad del usuario o afectaciones a la infraestructura
- Apoyo a los operadores para visualizar eventos como los incidentes
- Apoyo en la gestión de emergencias desde el origen, es decir, la detección



*Ilustración 8. CCTV en carretera*

Un aspecto funcional que es fundamental, es la codificación del video: consiste en transformar una señal de video analógico (señales de luz convertidas a señales eléctricas) en una señal digital (conversión de la imagen real en el lenguaje binario, usado por equipos informáticos).

La resolución del video es el tamaño de una imagen de video, siendo la unidad, el Pixel. En un video, cada pixel se codifica.

Se utilizan las cámaras de video IP, que son la combinación de una cámara y una computadora, tienen un codificador integrado y la transmisión de datos es por fibra óptica.

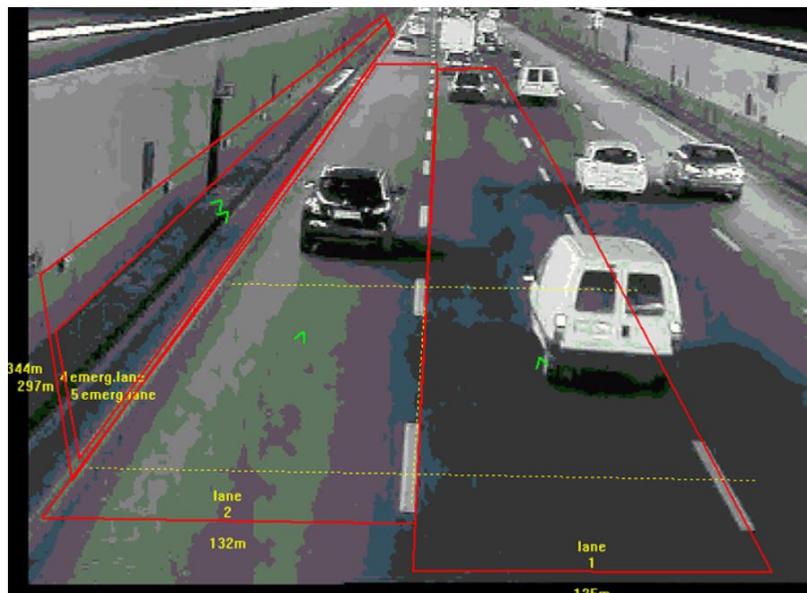
Las cámaras pueden ser de tipo fijo o móvil (360° con zoom).

### *Detección automática de incidentes (DAI)*

El subsistema hace posible recibir alarmas de manera simultánea a la ocurrencia de un incidente en la vía. La razón por la que se emite en forma de alerta es porque en los CCO, generalmente se tienen más imágenes que monitores disponibles.

Los tipos de incidentes que se detectan son:

- Pérdida de visibilidad
- Obstáculos en la vía
- Vehículo que transita a baja velocidad
- Vehículo en sentido contrario
- Nivel de tránsito: normal, denso, con retrasos, congestión, parada y avance
- Vehículo detenido



*Ilustración 9. Detección automática de incidentes*

Existe información adicional relevante que puede ser un apoyo a la gestión:

- Flujo de vehículos por carril: Velocidad y zonas de ocupación
- Datos integrados del tránsito: Cantidad de vehículos, velocidad media por carril, espacio entre vehículos, ocupación del carril y características del automóvil (longitud, densidad en el carril).
- Tránsito de vehículos individuales: Clasificación vehicular, velocidad, distancia entre ellos

### *Control de velocidad (VEL)*

Los dispositivos de control de velocidad son considerados como el método más efectivo para la reducción de velocidades máximas que representan un riesgo potencial para la generación de accidentes en carreteras. El éxito de estos elementos está dado por la aplicación de sanciones a los usuarios infractores, lo cual genera un cierto temor a quebrantar los límites.

La disminución de la velocidad es un factor clave para aumentar la seguridad del usuario y de terceros.

Es usual que los sistemas que control de velocidades trabajen junto a los de video-vigilancia, lo cual forma un elemento integral que puede brindar información muy completa sobre el suceso.

Los criterios usados para considerar la utilización de sistemas de control de velocidad son:

- Tramos de alta concentración de vehículos pesados por el riesgo que generan a los vehículos ligeros
- Tramos de altos índices de accidentalidad
- Alta densidad de tránsito
- Zonas de movimientos vehiculares complejos
- Red homogénea, evitando dejar grandes tramos sin supervisión
- Túneles con longitud mayor a 400m o que tengan un nivel de curvatura que requiera atención.

En las siguientes ilustraciones se muestran los tipos de equipos destinados a la identificación de la velocidad vehicular:



*Ilustración 10. Equipo móvil*



*Ilustración 11. Equipo fijo*

### *Detección automática de tránsito y aforos vehiculares (ETD)*

Lleva a cabo la detección del paso de vehículos por la carretera con la finalidad de obtener un conteo y clasificación del tránsito. El operador de la red es quien se beneficia de la información, debido a que dispone de información en tiempo real sobre el estado del tránsito.

Las funciones del subsistema son:

- Aforo de tránsito con fines estadísticos: Información relativa al flujo, ocupación, distancias entre vehículos, porcentaje de vehículos pesados, nivel de servicio del camino.
- Detección automática de incidentes de tránsito mediante la disminución brusca de velocidad.

### *Pesaje dinámico (WIM)*

El pesaje dinámico (Weight in motion – WIM) son un elemento de captura de datos estadísticos referentes a la circulación de vehículos de carga.

Es importante destacar que los vehículos pesados son los causantes del mayor daño a las carreteras y sobre todo, como es el caso de nuestro país, la mayoría de ellos transita con un sobrepeso que en ocasiones alcanza el 50% más. Lo anterior se traduce en la disminución de la vida de los pavimentos y es un costo enorme para el organismo operador o los inversionistas puesto que tendrán que realizar trabajos de mantenimiento o conservación en un lapso considerablemente menor al que se visualizó en proyecto.

El pesaje dinámico puede ser un mecanismo de preselección de vehículos para su evaluación en básculas estáticas y posterior multa. En estricto sentido, la multa debe ser equivalente al daño que causan al pavimento por la sobrecarga.

Los dispositivos WIM pueden generar información valiosa como la siguiente:

- Estudios estadístico-económicos del transporte por carretera
- Estudio de velocidades de los vehículos pesados
- Generación del perfil de tránsito de vehículos pesados
- Cálculo del factor de equivalencia con ejes tipo
- Estudios de cargas del tránsito
- Estudios de sobrecargas
- Determinación de la carga que soporta el pavimento

Es deseable adicionar el subsistema de video-vigilancia para identificar a los usuarios infractores. Su colocación se recomienda en puentes y viaductos, así como en entronques hacia centros industriales o logísticos de carga.

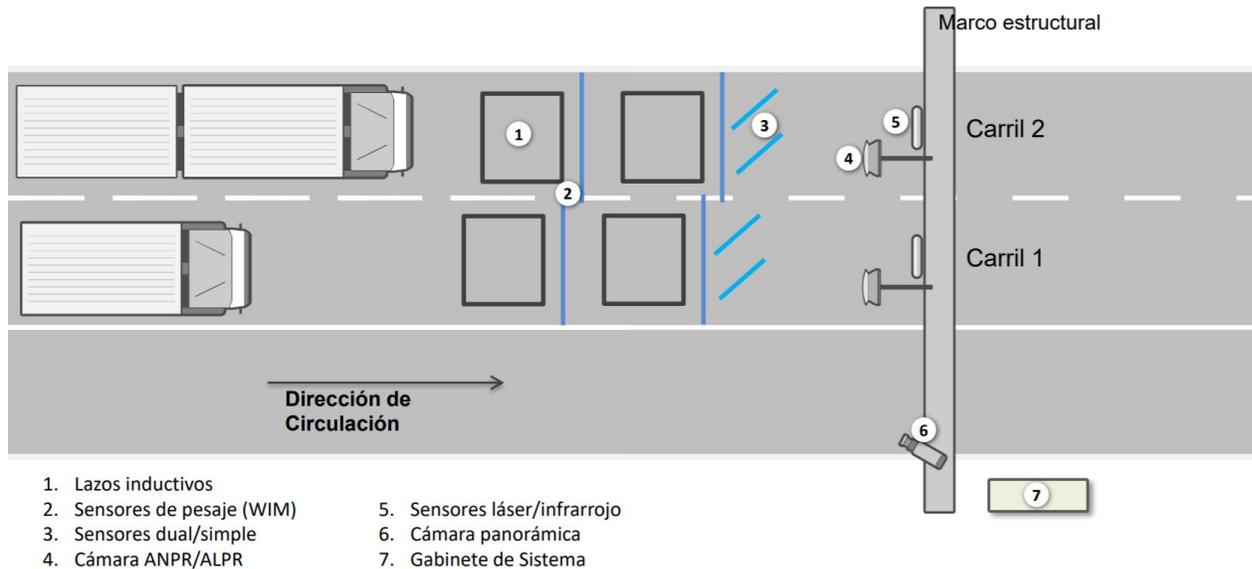


Figura 19. Sistema de medición dinámica (WIM)

©Fabela M- Pesaje dinámico en carreteras

### Control dinámico de gálibo y dimensiones (GAL)

El subsistema tiene la capacidad de advertir al usuario conductor y al CCO que el vehículo en circulación excede con el gálibo permitido, es decir, las dimensiones máximas de altura y anchura de los vehículos para evitar colisiones con elementos de la infraestructura como son los pasos a desnivel.

Es fundamental instalar este subsistema en puntos estratégicos, de tal manera que se permita tomar una ruta alterna y evitar encontrarse con el problema una vez recorridos varios kilómetros desde el punto de decisión adecuado. (Ilustración 12).



Ilustración 12. Control de gálibo

### *Reconocimiento de placas vehiculares (LPR)*

Se conocen como LPR (Licence Plate Recognition) y permiten la trazabilidad del trayecto de los vehículos.

La información se utiliza en tiempo real para diversos fines, como la comunicación mediante señales de mensajes variables. También sirven para generar matrices de origen-destino que son útiles para realizar evaluaciones de proyectos o generar nuevos.

Los componentes del subsistema son básicamente un conjunto de cámaras (usualmente una por carril) que se instalan en marcos de señalización.



*Ilustración 13. Ejemplo de identificación vehicular*

La instalación es a criterio del organismo que requiera la obtención de datos, algunos puntos pueden ser:

- Antes y después de plazas de cobro para obtener el tiempo de paso
- En puentes internacionales
- En libramientos
- En zonas con movimientos complejos y/o gran intensidad de tránsito

### *Detección de información meteorológica (SEVAC)*

La función del subsistema es monitorear las condiciones medioambientales para transferir los datos al usuario para efectos de advertencia de condiciones adversas, de tal forma que el conductor puede regular su velocidad y tener más cuidado con las maniobras, todo ello en beneficio de la seguridad.

Los dispositivos de medición son:

- *Atmosféricos (Sensores de variables atmosféricas en carretera “SEVAC”): Monitoreo de información atmosférica en sistemas de control de tráfico para mejorar la seguridad vial. (Ilustración 14).*
- *Calidad del aire (EMAC): Analizadores de contaminantes en el aire para evaluar la influencia que tiene la circulación de vehículos en la red de forma puntual. Se enfoca en la generación de información para la gestión de tráfico y medidas de restricción con objeto de disminuir la contaminación.*

Los datos obtenidos integran los siguientes elementos:

Elementos	Variables
<b>AIRE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura del aire</li> <li>• Humedad relativa del aire</li> <li>• Presión atmosférica</li> <li>• Visibilidad</li> </ul>
<b>PRECIPITACIONES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Intensidad de precipitación</li> <li>• Cantidad de precipitación</li> <li>• Naturaleza de la precipitación</li> </ul>
<b>VIENTO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidad</li> <li>• Dirección</li> <li>• Tipo</li> </ul>
<b>RADIACIÓN</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Terrestre</li> <li>• Atmosférica</li> <li>• Global</li> </ul>
<b>SUELO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estado de la superficie</li> <li>• Temperatura de la superficie</li> <li>• Temperatura de congelación</li> <li>• Temperatura de aparición de rocío</li> <li>• Temperatura del subsuelo</li> <li>• Altura de la película de nieve</li> <li>• Altura de la película de agua</li> <li>• Salinidad</li> </ul>
<b>AMBIENTE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiempo presente</li> </ul>

*Tabla 9. Variables consideradas por los sensores de variables medioambientales en carretera*



*Ilustración 14. SEVAC*

La localización de las estaciones meteorológicas depende en gran medida de las condiciones climatológicas del camino y a su vez se asocian con la orografía del terreno. Los puntos que presenten condiciones cambiantes son propicios para la colocación de este subsistema.

### *Asistencia a emergencias (SOS)*

Este subsistema hace uso de postes SOS que son un elemento clásico en la comunicación de emergencias en carreteras. Gracias a ellos se facilita la transferencia de información referente a incidentes ocurridos y brinda la posibilidad de tener atención al incidente. (Ilustración 15).

El funcionamiento es simple, se trata de un teléfono que se activa al oprimir un botón para solicitarlo. La telefonía móvil ha ganado terreno y actualmente funciona como el principal mecanismo de solicitud de atención a incidentes, siendo un canal directo. Este hecho no deja de lado el uso de postes SOS puesto que siguen siendo un recurso de gran utilidad.

De acuerdo con la SCT, se deben colocar teléfonos de emergencia a cada 2.5km al tresbolillo.



*Ilustración 15. Poste SOS*

Además de los postes, el usuario puede solicitar la atención por medio de un sistema de comunicación vía WiFi para establecer contacto con el CCO.

### *Señalización dinámica (VMS)*

El subsistema de señalización dinámica o señales de mensaje variable (SMC) brindan al CCO la capacidad de transmitir información al usuario de transporte de forma remota. Son un elemento de apoyo a la gestión de tránsito en tiempo real. (Ilustración 16).

El tipo de información que se transmite es la siguiente:

- *Consejos de apoyo enfocados a la seguridad vial*
- *Estado del camino: demoras, tiempos de recorrido*
- *Incidentes: Alerta de situaciones que afectan la conducción o el recorrido en sí mismo*
- *Prohibiciones*
- *Obligaciones*
- *Recomendaciones*
- *Avisos*

Los dispositivos catalogados como señalización dinámica son:

- *Semáforos de carril*
- *Tableros de señalamiento variable (VMS)*
- *Tableros de velocidad variable y real (VVR)*
- *Señales de mensaje cambiante (SMC)*
- *Tableros de encendido/apagado (BOS)*

La localización de los equipos es esencialmente en 3 puntos:

- *Autopistas*
- *Accesos a ciudades*
- *Túneles*



*Ilustración 16. Señalización dinámica ©Traffic Lacroix*

## Peaje y telepeaje

### Carril de cobro

Tiene el objetivo de llevar a cabo la gestión, control y registro del paso de vehículos por la zona de cobro. Las funciones que realiza son:

- Cobro a los usuarios de transporte
- Conteo de vehículos
- Control y señalización del paso vehicular
- Clasificación automática de vehículos
- Generación de información de tránsito

Las formas de pago son:

- Metálico (moneda nacional/ divisas)
- Tarjetas bancarias: crédito o débito
- Tarjetas de proximidad y telepeaje: referido al pago sin transacción física, es decir, utilizando tecnología de comunicación remota para hacer el pago de forma automática.

Derivado de las condiciones del usuario para realizar el pago, se establecen 3 tipos de carriles para el cobro (Ilustración 17):

- Carril mixto: Acepta el pago manual (moneda o tarjeta) o con el uso de telepeaje
- Carril reversible: Puede operar en ambos sentidos de circulación dependiendo de las condiciones de tránsito y demanda.
- Carril exclusivo para vehículos con telepeaje



Ilustración 17. Carriles de peaje

## *Plaza de cobro*

Son los elementos físicos de cobro que agrupan una serie de carriles de cobro. Son una forma eficiente de evitar el fraude en el cobro, lo cual beneficia al organismo operador. (Ilustración 18).

Cuenta con 2 configuraciones:

1. *Peaje cerrado: Incluye dos áreas que son:*
  - *Identificación del origen de los vehículos, generalmente mediante recolección de tickets*
  - *Áreas de cobro: El usuario entrega el ticket y se cobra el importe del tramo recorrido*
2. *Peaje abierto: El origen se determina por la configuración de la infraestructura y por tanto, el peaje es uno solo.*



*Ilustración 18. Plaza de cobro*

## *Telepeaje*

El peaje de flujo libre (free flow) son plazas de cobro que sustituyen a las plazas convencionales mediante una serie de marcos que integran distintos sensores de identificación y clasificación. Se hace por medio de telepeaje o por reconocimiento de matrícula. El flujo de tránsito es constante y se beneficia el nivel de servicio.

## 4.7 Gestión de túneles

Los túneles son puntos de la red carretera que requieren de consideraciones especiales:

- Es necesario asegurar la continuidad del funcionamiento
- Prevención de accidentes
- Las consecuencias de un incidente dentro de un túnel pueden ser más importantes que en una zona abierta de la red
- Es necesario gestionar los elementos del túnel de forma integral

Los subsistemas que deben equiparse en un túnel son los siguientes:

- Energía
- Señalización dinámica
- Video-vigilancia
- Detección automática de incidentes
- Aforos automáticos
- Sensores ambientales
- Detección de incendios
- Postes SOS
- Megafonía
- Radiocomunicaciones

Adicionalmente y de manera fundamental, el túnel debe contar con alumbrado y ventilación. (Ilustración 19).

Otros subsistemas deseables en túneles son:

- Detección de gálibo
- Pesaje dinámico



*Ilustración 19. Túnel equipado*

## 4.8 Perspectiva nacional

Dentro del objetivo a largo plazo establecido en el Programa Nacional Estratégico de Infraestructura Carretera (ProNEIC 2030) con visión a 30 años, se considera lo siguiente:

*“La carretera es una red estructurante y sustentable, integrada a otros modos de transporte y dotada de la tecnología necesaria para disminuir los costos de transporte de manera segura, que impulse el desarrollo demográfico, económico y social de manera equilibrada, a través del movimiento eficiente de bienes y personas, que contribuya a elevar la competitividad y a ubicar a México entre el 20% de los países mejor valorados en infraestructura”.*

Actualmente, de acuerdo con el Índice de competitividad internacional con datos de 2018, México tiene la siguiente clasificación:

INDICADOR	Argentina	Brasil	Canadá	Chile	Colombia	Costa Rica	México	Perú	Estados Unidos
Índice de competitividad global 2018	81	72	12	33	60	55	46	63	1
Infraestructura	68	81	25	41	83	78	49	85	9
Camino	44	93	13	16	105	126	24	109	2

Tabla 10. Posición nacional en el Índice de Competitividad Global 2018

El posicionamiento del país es bueno, tomando en cuenta sus países homólogos de América Latina. La visión al desarrollo de la Infraestructura Nacional es una manera muy atinada de lograr el impulso a la economía, generando crecimiento económico y desarrollo del país.

En México se busca incrementar la utilización de los ITS de forma tal que su implementación y explotación sea más eficaz. La estrategia es comenzar en los principales corredores carreteros donde se beneficie la modernización. Los proyectos regionales ITS también tienen lugar dentro de la planeación y consideraciones.

La inversión en ITS contemplada en 2016-2017 se muestra en la figura 20 (siguiente página), donde se presenta el presupuesto previsto hasta 2020.

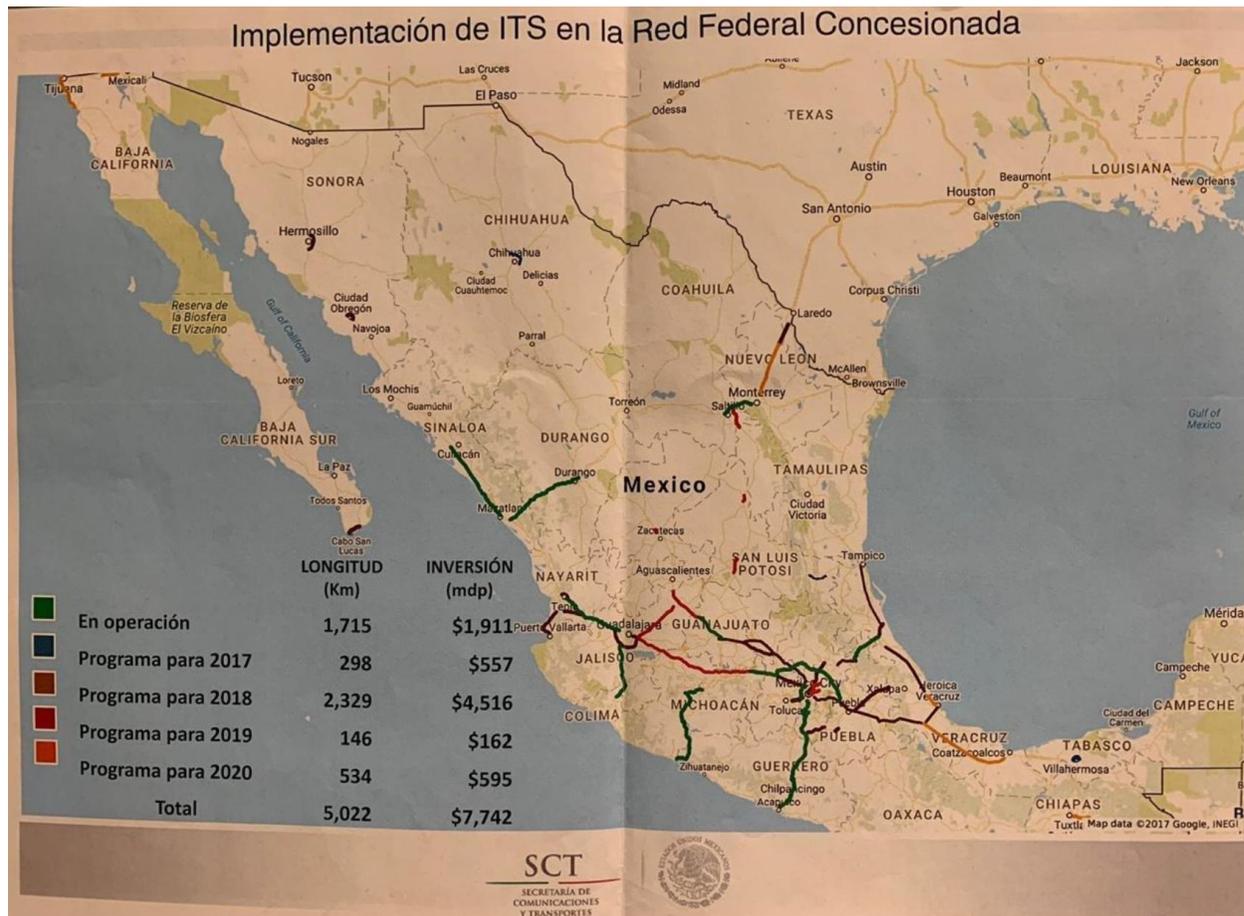


Figura 20. Inversión en implementación de ITS en la Red Federal Concesionada

## 4.9 Ejemplos de proyectos ITS implementados con éxito en México

### *Autopista Atlacomulco - Maravatío*

Fue la primera autopista en incorporar de manera formal el uso de ITS en México y ha tenido buena repercusión, a tal grado que en el año 2013 obtuvo 466.12 de 500 puntos de calificación en nivel de Seguridad y servicio que mide la SCT.

Los ITS operan bajo estrictos estándares de desempeño, mejorando la operación y toma de decisiones eficiente. El tiempo de reacción ante incidentes disminuyó a menos de 40 minutos.

## Equipos y sistemas ITS

- 6 estaciones de toma de datos (ETD)
- 19 paneles de mensaje variable (VMS)
- 2 estaciones meteorológicas
- 31 cámaras móviles CCTV
- 70 postes de auxilio SOS
- 146 Km de suministro e instalación de fibra óptica
- CCO – Sistema de visualización completo



Ilustración 20. ITS en Autopista Atlacomulco-Maravatío



Ilustración 21. ITS en Autopista Atlacomulco - Maravatío

### *Autopista Golfo – Centro*

Incluye los tramos de: Santa clara – Tizayuca, Tulancingo – Nuevo Necaxa y Tihuatlán – Tuxpan. Dentro del corredor transversal carretero: Acapulco – Tuxpan. Es importante resaltar que la autopista se opera por distintas empresas las cuales han logrado una interacción adecuada por lo cual, el sistema funciona de forma global.

#### **Equipos y sistemas ITS:**

- *56 cámaras CCTV*
- *19 Sistemas de detección de colas*
- *25 paneles de mensaje variable (VMS)*
- *17 estaciones de toma de datos (ETD)*
- *3 estaciones meteorológicas (SEVAC)*
- *8 estaciones de detección de niebla*

#### **Centro de Control de Operaciones**

Cuenta con Arquitectura de Hardware y Software de 3 CCO's con sistema de visualización completo para 3 CCO's. Las comunicaciones son de 150 km de canalización e instalación de fibra óptica.



*Ilustración 22. CCO Autopista Golfo Centro*

## *Autopista México – Lerma*

### **Equipos y sistemas ITS:**

- *8 estaciones de toma de datos (ETD)*
- *7 paneles de mensaje variable (VMS)*
- *1 estación meteorológica*
- *35 cámaras CCTV*
- *11 cámaras de reconocimiento de placas (LPR)*
- *9 cámaras de detección de colas*
- *CCO con sistema de visualización completo y switch de comunicación para la integración de la F. O.*



*Ilustración 23. Estación meteorológica Autopista México - Lerma*

## 5 Beneficios y costos monetarios de la implementación de ITS

### 5.1 Parámetros de control

Los impactos de la implementación de ITS en la Red Carretera Nacional son tales que se espera un beneficio. Es necesario determinar la manera en que se van a cuantificar dichos beneficios, por tanto, se presentan a continuación:

Beneficio	Indicadores
<b>Seguridad del tránsito</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tasa de accidentalidad</li> <li>• Tasa de mortalidad</li> <li>• Tasa de accidentes con víctimas</li> <li>• Número de accidentes derivados de incidentes principales</li> <li>• Multas por exceso de velocidad</li> </ul>
<b>Seguridad pública</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cantidad de delitos</li> <li>• Costo de reparación o reposición de elementos robados o dañados</li> </ul>
<b>Tiempo de viaje</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiempos de demoras debidas a incidentes</li> <li>• Tiempos de demoras debidas a congestión</li> <li>• Variabilidad de los tiempos de viaje</li> </ul>
<b>Costo de transporte</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costos de operación vehicular</li> <li>• Costos de mantenimiento</li> <li>• Tiempo de demora debido a plazas de cobro</li> </ul>
<b>Beneficios en ahorro de energía y relación con el medio ambiente</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emisiones de gases</li> <li>• Consumo de combustible</li> </ul>
<b>Satisfacción del usuario</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Percepción del usuario</li> </ul>

Tabla 11. Parámetros de control en la implementación de ITS

## 5.2 Determinación de los costos

Los costos que deben considerarse en la planificación de implementación ITS son:

- *Costos de capital: Rendimiento mínimo que debe ofrecer la inversión*
- *Costo unitario de equipos*
- *Costos del sistema en su conjunto*
- *Costo de instalación*
- *Costo de operación*
- *Costo de mantenimiento: Suele ser elevado debido a la exposición de los dispositivos a la intemperie*
- *Desarrollo de software: Actualización periódica o renovación*

Los costos totales no son solamente la suma de los anteriores, debe entenderse que la integración de los componentes de forma eficiente puede generar ahorros en los costos.

## 5.3 Determinación monetaria de los beneficios

### *Seguridad del tránsito*

Los beneficios en la seguridad del tránsito carretero se perciben por medio de la reducción en el número de accidentes respecto al valor índice. Los ahorros se dan en:

- *Costos de accidente que causa la muerte*
- *Costos de accidentes que tienen heridos*
- *Costos por daño material*

### *Tiempos de viaje*

Los beneficios dados por ahorros en tiempo de viaje se calculan mediante la diferencia de costos entre la situación con y sin proyecto.

Existen 2 tipos de viajes: por negocios o por placer y para cada uno de ellos, el valor de su tiempo es distinto. De la misma forma, se analiza con el transporte de pasajeros y con la carga.

Las variables involucradas en el cálculo del valor del tiempo son:

- *Valor del tiempo para el usuario por negocios*
- *Valor del tiempo para el usuario por placer*
- *Porcentaje de viajes de negocios y por placer*
- *Número de ocupantes de automóvil*
- *Número de ocupantes de transporte público*
- *Valor del tiempo de la carga*
- *Peso promedio por vehículo de carga*

## 6 Propuesta de implementación ITS

La implementación de los Sistemas Inteligentes de Transporte debe analizarse desde un enfoque integral, referido a la unificación de las partes físicas y lógicas del sistema.

Para contemplar la implementación de ITS en la Red Carretera Nacional es necesario tener en cuenta que cada vía tiene necesidades específicas y a cada una debe darse un tratamiento especial con la finalidad de aprovechar al máximo la inversión realizada para el sistema.

### *Planeación*

Para lograr el impacto positivo esperado es fundamental contar con una **etapa de planeación**, la cual tiene por objeto fundamental realizar la identificación de las necesidades del sistema de transporte, es decir, los aspectos que se busca mejorar en cuanto a eficiencia, seguridad o costos, analizados desde diversos puntos de vista, teniendo en cuenta los impactos (positivos o negativos) que se van a generar con el uso de ITS. (*Ver apartado 1.3: Necesidades del transporte carretero*).

### *Metas*

Una vez que se tiene el análisis de los impactos se deben establecer **metas** a cumplir, las cuales deben estar representadas por indicadores medibles que puedan asociarse con un costo, es decir, que sean cuantificables. (*Ver apartado 5.1: Parámetros de control*).

### *Servicios*

Para el logro de las metas se requiere establecer los tipos de **servicios** necesarios. Los tipos de servicios disponibles por medio de ITS se encuentran descritos en el apartado 4.3 del presente documento.

### *Conceptos operacionales*

Son los elementos que brindan información de cada tipo de servicio a los agentes involucrados.

### *Requerimientos funcionales*

Son los requisitos que debe cumplir cada componente del sistema para lograr la funcionalidad en su conjunto, con la eficiencia adecuada bajo la correcta operación.

### *Determinación de los subsistemas necesarios para cada necesidad*

Se tienen los siguientes códigos de identificación para los subsistemas ITS que operen bajo la dirección de un centro de control:

Subsistema	Código
Energía	PRS
Video-vigilancia	CCTV
Detección automática de incidentes	DAI
Control de velocidad	VEL
Detección automática de tránsito	ETD
Pesaje dinámico	WIM
Control de galíbo y dimensiones	GAL
Reconocimiento de placas vehiculares	LPR
Detección de información meteorológica	SEVAC
Asistencia a emergencias SOS	SOS
Señalización dinámica	VMS
Radiodifusión	HAR
Comunicaciones	COM

*Tabla 12. Código identificador de los subsistemas*

A continuación se muestra una propuesta de equipamiento, dividida en 2 grupos:

- **Equipo básico:** *Determinado con los requerimientos suficientes para la operación de los ITS con niveles de servicio mínimo aceptable, incluyendo PRS, CCTV, VEL, ETD, GAL, SEVAC, SOS, VMS, HAR y COM.*
- **Equipo avanzado:** *Equipamiento para servicios adicionales, como funcionalidades y características especiales, es deseable que se coloque en la mayoría de los casos, pero dependerá del presupuesto disponible. Se incluye DAI, WIM y LPR.*

En la tabla 13 se muestra la propuesta de equipamiento de acuerdo a las características que se presenten en el tramo carretero:

Características del tramo carretero	Equipo básico	Equipo avanzado
<b>Autopista con baja intensidad de tránsito</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• COM</li> <li>• CCTV</li> <li>• ETD</li> <li>• GAL</li> <li>• SOS</li> <li>• HAR</li> <li>• VMS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• VEL</li> </ul>
<b>Autopista con alta intensidad de tránsito</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• COM</li> <li>• CCTV</li> <li>• VEL</li> <li>• ETD</li> <li>• GAL</li> <li>• SEVAC</li> <li>• SOS</li> <li>• VMS</li> <li>• HAR</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• WIM</li> <li>• DAI</li> <li>• LPR</li> </ul>
<b>Puentes y viaductos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• COM</li> <li>• CCTV</li> <li>• DAI</li> <li>• ETD</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• WIM</li> </ul>
<b>Puentes internacionales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• COM</li> <li>• CCTV</li> <li>• VMS</li> <li>• HAR</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• LPR</li> </ul>
<b>Túneles</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• COM</li> <li>• CCTV</li> <li>• ETD</li> <li>• GAL</li> <li>• SEVAC</li> <li>• SOS</li> <li>• WIM</li> <li>• HAR</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• DAI</li> </ul>
<b>Zonas de trazo peligroso del camino</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• COM</li> <li>• VEL</li> <li>• SEVAC</li> <li>• VMS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• DAI</li> </ul>
<b>Alto flujo de vehículos pesados</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• COM</li> <li>• VEL</li> <li>• ETD</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• WIM</li> </ul>
<b>Entronques con centros logísticos (carga).</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• COM</li> <li>• CCTV</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• WIM</li> <li>• LPR</li> </ul>

Tabla 13. Propuesta de implementación de subsistemas ITS

Cabe señalar que para que el sistema funcione adecuadamente debe contar con una buena infraestructura de comunicaciones y un adecuado centro de control y operación.

Es importante tener claro que la Arquitectura del sistema está compuesta fundamentalmente por la relación entre los siguientes elementos:

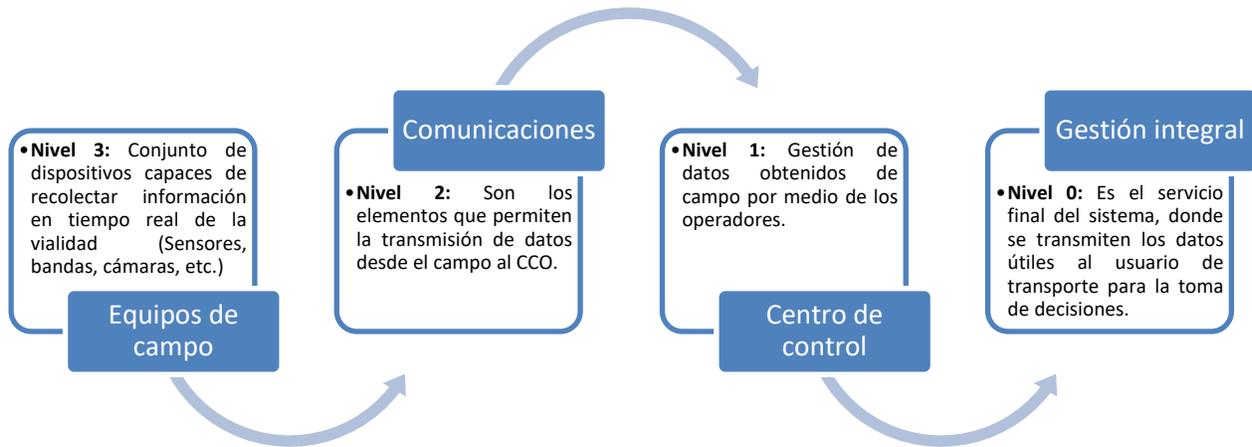


Figura 21. Componentes de la Arquitectura ITS

©Lobaco: ITS

Un aspecto muy importante a tener en cuenta en la integración de un Sistema Inteligente de Transporte es que un Centro de Control y Operación tiene una cierta capacidad de atención, por lo cual es posible que exista más de uno en aquellos tramos de longitud considerable o que existan condiciones donde el operador así lo decida, siendo un CCO el maestro y otro CCO el espejo o redundante.

Por lo anterior, puede darse el caso de que existan tramos vecinos donde se operen por distintas empresas y aquí es donde radica la fórmula del éxito:

**“Los centros de control y operación deben compartir información útil en tiempo de real de forma constante con la intención de crear puentes de información y conseguir la planeación eficiente de los viajes”.**

Lo anterior hace que el sistema funcione como tal y deje de trabajarse por tramos individuales, lo cual no genera el mismo beneficio a usuarios y operadores.

El sistema debe tener, sobre todas las cosas, **capacidad de resiliencia**; es decir, si un Centro de Control deja de operar por algún fallo, debe existir otro que pueda llevar a cabo las funciones básicas del primero, para evitar que se tengan ventanas de tiempo sin operación, lo cual puede generar deficiencias en el servicio e incluso desencadenar en incidentes.

### *Elaboración del proyecto ejecutivo*

Es el diseño de la solución, generación de memorias de cálculo y planos que respalden los resultados, de forma tal que pueda dar paso a la colocación en campo. Debe señalarse detalladamente cada uno de los componentes, ubicación y características.

### *Construcción-instalación*

Consiste en llevar a cabo de forma física todo lo descrito en la parte de planeación y diseño, cuidando cada elemento para que el sistema tenga un funcionamiento adecuado.

### *Pruebas de funcionamiento*

Son el conjunto de pruebas que deben llevarse a cabo, desde el control de calidad de los dispositivos, el funcionamiento de subsistemas y la integración con el centro de control y la integración global. Sin fallos y sin errores de datos.

### *Operación y mantenimiento*

Deben generarse manuales de operación y tener en cuenta los tiempos de mantenimiento, sobre todo para los equipos de campo, los cuales están expuestos a las acciones meteorológicas y se deterioran, generando la posibilidad de tener lecturas erróneas o fallas en el funcionamiento.

### *Cambios y mejoras*

La tecnología avanza a pasos agigantados, por ello debe contemplarse la migración hacia nuevos dispositivos y software de gestión, debiendo explotar eficazmente el equipamiento instalado y utilizando software de arquitectura abierta. El sistema debe tener la capacidad de adaptación y el margen de acción para ello.

## 7 Conclusiones

- Mediante la elaboración del presente documento he comprendido de una manera global las implicaciones que tiene la implementación de sistemas inteligentes de transporte como un mecanismo para hacer más eficiente y seguro el transporte de mercancías y personas. Los ITS son una solución factible a las problemáticas asociadas al transporte, principalmente en temas de seguridad y eficiencia.
- Nuestro país se considera como una economía en vías de desarrollo y el rubro de infraestructura es uno de los que más peso tiene en el impulso al movimiento de la economía. Es un elemento que ha demostrado tener la capacidad de transformar regiones completas, en beneficio o perjuicio. Como se ha observado, en la sección 1.2.1, se aborda la evolución del transporte carretero en el país, el cual tuvo su momento más importante en la construcción de infraestructura durante los años 70's y 80's así que gran parte de la Red de Caminos tiene una edad avanzada. Es por lo anterior que debe considerarse la implementación de ITS para la modernización y optimización de la red carretera nacional.
- Los esfuerzos que se han realizado en México en torno a la adquisición del conocimiento y el uso de dispositivos inteligentes han sido buenos, actualmente la presencia de ITS en el medio cotidiano no es una novedad y debe explotarse para mejorar condiciones del transporte, no solamente en carreteras sino también en otros modos como el transporte urbano para combatir la congestión de las vialidades y la contaminación.
- Es necesario que México tenga presencia mundial en las tecnologías ITS. Hasta ahora se han adaptado los dispositivos y Arquitecturas de otros países, fundamentalmente Estados Unidos y Europa, pero debe plantearse la generación de Instituciones nacionales de fomento a la investigación y aplicaciones inteligentes al transporte y otros ámbitos. La manera de llevarlo a cabo es la enseñanza de las tecnologías y sus beneficios en etapas tempranas del aprendizaje y aprovechar los conocimientos de los profesionales en el ramo para crear una vinculación adecuada.

- La educación vial es un elemento clave para la reducción de accidentes y la mejora en las condiciones de seguridad del usuario conductor y los usuarios secundario. Un país con educación vial tendría ahorros enormes en cuanto a costos generados por incidentes de tránsito.
- Se requiere adoptar estándares internacionales para lograr compatibilidad, interoperabilidad y armonía operativa con los nuevos sistemas, así mismo, el gobierno debe generar normatividad y estándares de cumplimiento para cada etapa del proceso de implementación ITS, desde su conceptualización y planeación, hasta la operación, conservación, mantenimiento y actualización.

### 7.1 Sugerencias

Al visualizar el gran impacto que genera la implementación de ITS en los distintos medios y modos de transporte, considero adecuado incluir dicho tema de manera formal dentro de la currícula de asignaturas de la Especialización en Vías Terrestres, de tal forma que sea parte de alguna de las materias o se imparta de manera complementaria en cursos o talleres, lo cual enriquecería en gran medida los conocimientos del estudiante y abre las puertas a desarrollar nuevos proyectos que pueden dar al alumno un nuevo campo de acción en su vida profesional.

## 8 Referencias

- Azcárate, J. (2019). Tecnología para transporte. *Foro de Transporte 2019*. Ciudad de México.
- Benítez, C. E., Fonseca, E., Lobaco, J. F., Ibarra, M. A., Cedillo, M. G., & Palma, I. (2010). *Sistemas Inteligentes de Transporte: Perspectivas y experiencias de desarrollo*. México.
- Comisión Europea . (Julio de 2019). *Intelligent Transport System*. Obtenido de <https://ec.europa.eu/eipp/desktop/es/projects/project-86.html>
- DGST - SCT. (2019). *Programa Nacional para el Desarrollo de la Implementación de Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS), Peaje y Telepeaje*. Ciudad de México.
- Dirección General de Autotransporte Federal. (2018). *Estadística Básica del Autotransporte Federal*. México.
- DoT, U. (1 de Noviembre de 2013). *GAO: Vehicle-to-vehicle safety applications*. Obtenido de Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=PEHrXmfQyQA>
- Hu, W. (24 de Abril de 2019). Confused about congestion pricing? Here's what we know. *The New York Times*, págs. <https://www.nytimes.com/2019/04/24/nyregion/what-is-congestion-pricing.html>.
- ISO. (2018). *ITS Standarization activities of ITS/TC 204*. Obtenido de <https://www.iso.org/committee/54706.html>
- ITS America. (Junio de 2019). *ITS America*. Obtenido de <https://www.itsa.org/>
- Jorge Acha, Juan Espinoza, Roberto Aguerrebere, IMT. (20 de Septiembre de 2004). Hacia una arquitectura de los sistemas inteligentes de transporte para México. Ciudad de México, México.
- Lobaco Amaya, J. F. (2012). Desarrollo de Implementación de ITS en México. *XVI Congreso Argentino de vialidad y tránsito*, (pág. 13). Córdoba, Argentina.
- Lobaco, J. F. (2019). ITS: De visión a implementación. *6to. Congreso Regional Latinoamericano de la IRF*. Ciudad de México.
- Lobaco, J. F. (2019). ITS: Sistemas Inteligentes de Transporte. *XIX Ciclo de Conferencias de la Facultad de Ingeniería UNAM*. Ciudad de México.
- SCT. (2011). *Programa para la planeación, desarrollo e implementación de los Sistemas Inteligentes de Transporte Carretero en México*. Ciudad de México.
- SCT. (2012). *Metodología de Evaluación Costo-Beneficio para proyectos ITS*. Ciudad de México.
- SCT. (2014). *Elaboración de la Arquitectura Nacional de ITS [V.2] y anteproyecto para Arquitecturas Regionales ITS*. Ciudad de México.

- SCT-IMT e INEGI. (24 de Diciembre de 2018). Red Nacional de Caminos. México. Obtenido de <https://www.gob.mx/imt/acciones-y-programas/red-nacional-de-caminos>
- Serment, V. (2019). Acciones para mejora de la seguridad vial. *6to Congreso Regional Latinoamericano de la IRF*. Ciudad de México.
- Suárez, M. (2001). Los sistemas inteligentes de transporte. Bogotá, Colombia: Ciencia e Ingeniería Neogranadina.
- Subsecretaría de Infraestructura SCT. (2016). *Manual para proyectos de Sistemas Inteligentes de Transporte [ITS] en carreteras*. Ciudad de México.
- Tinoco, M. (2011). *Historia y evolución de las mezclas asfálticas en las carreteras de México*. México: Creatividad y Diseño.
- USDOT. (2016). *History of Intelligent Transportation Systems*.
- World Association Mondiale de la Route. (Julio de 2019). *Tecnologías ITS*. Obtenido de <https://rno-its.piarc.org/es/conceptos-basicos-its/tecnologias-its>