

Documento de Referencia

IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES
DE ESPECTRO PARA SISTEMAS DE
TRANSPORTE INTELIGENTE EN LA
BANDA 5850-5925 MHz



El presente documento fue elaborado por la Unidad de Espectro Radioeléctrico del Instituto Federal de Telecomunicaciones con la finalidad de brindar información respecto de la banda de frecuencias 5850-5925 MHz.

Este documento es únicamente informativo, por lo que en ningún caso lo establecido en este prejuzga la opinión que el Pleno del Instituto pudiera tener sobre el particular, ni prejuzga sobre las determinaciones futuras que se establezcan para la banda de frecuencias 5850-5925 MHz.

Contenido

Lista de imágenes	4
Acrónimos y Abreviaturas	5
Introducción	6
Objetivo	7
Marco Jurídico.....	8
Estado actual de la banda de frecuencias 5850-5925 MHz.	12
Entorno nacional relativo a la banda de frecuencias 5850-5925 MHz	12
Atribución nacional de la banda de frecuencias 5850-5925 MHz.....	12
Uso de la banda de frecuencias 5850-5925 MHz en México.....	13
Actividades en el CTER.	14
Entorno internacional de la banda de frecuencias 5850-5925 MHz	15
Atribución internacional de la banda de frecuencias 5850-5925 MHz.	15
Regulación en otros países para la banda de frecuencias 5850-5925 MHz.	16
Recomendaciones y estándares aplicables.....	20
Casos de uso de los STI.....	26
Caracterización técnica de los STI.....	28
Los ITS y su relación con tecnologías 5G.	29
Espectro radioeléctrico para STI.....	30
Conclusiones.....	31
Fuentes Consultadas	32

Lista de imágenes

Ilustración 1. Atribución nacional de la banda 5850–5925 MHz conforme al CNAF (elaboración propia).....	12
Ilustración 2. Atribución internacional de la banda 5850–5925 MHz conforme al RR (elaboración propia).....	15
Ilustración 3. Diferentes formas de interacción y comunicación de un vehículo en el marco de STI (elaboración propia).....	27
Ilustración 4. Casos de uso de IMT proyectados para 2020 en adelante	30

Acrónimos y Abreviaturas

3GPP	3rd Generation Partnership Project
CCP.II	Comité Consultivo Permanente II
CEPT	Conferencia Europea de Administraciones de Correos y Telecomunicaciones (del francés <i>Conférence européenne des administrations des postes et des télécommunications</i>)
CITEL	Comisión Interamericana de Telecomunicaciones
CNAF	Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias
eMBB	Banda Ancha Móvil Mejorada (del inglés <i>Enhanced Mobile Broadband</i>)
CTER	Comité Técnico en materia de Espectro Radioeléctrico
DSRC	Dispositivos dedicados de comunicaciones de corto alcance (del inglés <i>Dedicated Short-Range Communications</i>)
ECC	Comité de Comunicaciones Electrónicas (del inglés <i>Electronic Communications Committee</i>)
ETSI	Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (del inglés <i>European Telecommunications Standards Institute</i>)
E-UTRA	Sistema de Telecomunicaciones Móviles Terrestre Evolucionado (del inglés <i>Evolved Universal Terrestrial Radio Access</i>)
IEEE	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (del inglés <i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>)
IMT	Telecomunicaciones Móviles Internacionales (del inglés <i>International Mobile Telecommunications</i>)
Instituto	Instituto Federal de Telecomunicaciones
LTE	Evolución a Largo Plazo (del inglés, <i>Long Term Evolution</i>)
mMTC	Comunicaciones Masivas de Tipo Máquina (del inglés <i>Massive Machine Type Communications</i>)
OBU	Unidad a Bordo (del inglés, <i>On-Board Unit</i>)
RPC	Registro Público de Concesiones
RR	Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT
RSU	Unidades en el camino (del inglés <i>Road Side Unit</i>)
SIAER	Sistema Integral de Administración del Espectro Radioeléctrico
STI	Sistemas de Transporte Inteligente (ITS del inglés <i>Intelligent Transport Systems</i>)
TICs	Tecnologías de la Información y Comunicaciones
UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones
UIT-R	Sector de Radiocomunicaciones de la UIT
URLLC	Comunicaciones Ultra Confiables de Baja Latencia (del inglés <i>Ultra Reliable Low Latency Communications</i>)
V2I	Vehículo a infraestructura (del inglés <i>Vehicle-to-Infrastructure</i>)
V2N	Vehículo a red (del inglés <i>Vehicle-to-Network</i>)
V2P	Vehículo a peatón (del inglés <i>Vehicle-to-Pedestrian</i>)
V2V	Vehículo a vehículo (del inglés <i>Vehicle-to-Vehicle</i>)
V2X	Vehículo a cualquier cosa (del inglés <i>Vehicle-to-everything</i>)

Introducción

Los Sistemas de Transporte Inteligente (STI), que en la literatura podrían encontrarse como ITS, por las siglas en inglés de *Intelligent Transport Systems*, han surgido como respuesta ante el avance tecnológico en materia de comunicaciones inalámbricas y la disrupción tecnológica que la industria automotriz ha presentado en los últimos años.

Los STI son un ecosistema de comunicaciones inalámbricas a través de los cuales se combinan tecnologías del transporte con las tecnologías de la información y la comunicación (TICs), las cuales se encuentran orientadas a ofrecer servicios relativos a la operación y seguridad del transporte, así como de gestión del tráfico.

En consecuencia, los STI permiten que los usuarios cuenten con diversas herramientas y funcionalidades en cuanto al manejo, la seguridad y la comodidad del transporte vehicular, incluyendo ayudas a la conducción, previsión de accidentes y avisos en el camino, entre otros.

Como parte de las aplicaciones de STI se encuentran aquellos sistemas de gestión como los que se encargan de la navegación en los vehículos, sistemas de control de las señales de tráfico, reconocimiento automático de placas de matrícula, cámaras de alta velocidad para monitoreo, así como aplicaciones que recopilan datos en tiempo real y que otorgan retroalimentación como por ejemplo: información del clima, el estado de las carreteras y del tráfico; disponibilidad en estacionamientos, o cualquier otro sistema que requiera la toma de decisiones a partir de la lectura de datos.

Además, estos sistemas de comunicación con vehículos pueden ser conocidos por diferentes nombres o acrónimos dependiendo de su aplicación o tecnología, por lo que, en el presente documento se utilizará el término genérico STI (Sistemas de Transporte Inteligente) para referirse a dichos sistemas.

Así, con el objeto de analizar el espectro radioeléctrico susceptible para STI, el presente documento estudia la banda de frecuencias 5850-5925 MHz como una porción del espectro radioeléctrico que pudiera albergar dispositivos y aplicaciones inherentes a los STI. Por esta razón, en el trascurso del desarrollo del documento se ofrece un análisis integral de la banda, el cual incluye el estado que guarda en cuanto a atribuciones; la situación actual a nivel nacional, regional y mundial; la normatividad nacional aplicable; insumos que se han recibido en el Comité Técnico en materia de Espectro Radioeléctrico (CTER); así como las prácticas regulatorias realizadas por otras administraciones, los estándares y tecnologías aplicables que orientan su utilización armonizada y promueven el uso eficiente del espectro radioeléctrico a nivel regional o mundial.

Objetivo

El objetivo de este documento de referencia es proporcionar al público en general un contexto nacional e internacional respecto del uso actual, la regulación y la prospectiva de uso de la banda de frecuencias 5850-5925 MHz, así como información relevante en materia de STI, con el fin de que las personas interesadas en esta materia formulen comentarios, opiniones o aportaciones en el marco de la Consulta Pública de Integración del “Cuestionario sobre necesidades de espectro para sistemas de transporte inteligente en la banda 5850-5925 MHz” que el Instituto Federal de Telecomunicaciones pone a consideración para que puedan recibirse insumos que permitan realizar acciones futuras en materia de planeación y administración del espectro radioeléctrico, que busquen resaltar nuevas opciones tecnológicas, particularmente en relación a los STI que coadyuvan a reducir la brecha digital y promuevan la armonización del espectro radioeléctrico en beneficio del usuario final.

Marco Jurídico.

De conformidad con lo dispuesto en los artículos 28 de la Constitución; 7 de la Ley; y 1 del Estatuto Orgánico; el Instituto es un órgano público autónomo con personalidad jurídica y patrimonio propio, que tiene por objeto el desarrollo eficiente de la radiodifusión y las telecomunicaciones, además de ser también la autoridad en materia de competencia económica de los sectores de radiodifusión y telecomunicaciones.

Para tal efecto, el Instituto tiene a su cargo la regulación, promoción y supervisión del uso, aprovechamiento y explotación del espectro radioeléctrico, los recursos orbitales, los servicios satelitales, las redes públicas de telecomunicaciones y la prestación de los servicios de radiodifusión y de telecomunicaciones, así como del acceso a la infraestructura activa y pasiva y otros insumos esenciales.

El artículo 27, párrafos cuarto y sexto de la Constitución establecen, que corresponde a la Nación el dominio directo del espacio situado sobre el territorio nacional y, dado que las ondas electromagnéticas del espectro radioeléctrico pueden propagarse en dicho espacio, su explotación, su uso y aprovechamiento por los particulares o por sociedades constituidas conforme a las leyes mexicanas no podrá realizarse sino mediante concesiones, que en el caso de radiodifusión y telecomunicaciones serán otorgadas por el Instituto, de acuerdo con las reglas y condiciones que establezcan las leyes.

Es así que, en cumplimiento a lo que establece la Constitución, en sus artículos 2, cuarto párrafo y 5 de la Ley, disponen que en todo momento el Estado mantendrá el dominio originario, inalienable e imprescriptible sobre el espectro radioeléctrico, otorgándole a este bien el carácter de vías generales de comunicación.

Por su parte, el artículo 3, fracción XXI de la Ley, define espectro radioeléctrico como sigue:

*"TÍTULO PRIMERO
Del Ámbito de Aplicación de la Ley y de la
Competencia de las Autoridades*

*Capítulo I
Disposiciones Generales*

(...)

Artículo 3. Para los efectos de esta Ley se entenderá por:

(...)

XXI. Espectro radioeléctrico: Espacio que permite la propagación, sin guía artificial, de ondas electromagnéticas cuyas bandas de frecuencias se fijan convencionalmente por debajo de los 3,000 gigahertz;

(...)"

En esta tesitura, cabe señalar que, desde la iniciativa de la Ley se consideró que la planificación del espectro radioeléctrico constituye una de las tareas más relevantes del Estado, toda vez que este recurso es el elemento primario e indispensable de las comunicaciones inalámbricas, por lo que representa un recurso extremadamente escaso y de gran valor.¹

En concordancia con lo anterior, los artículos 54, 55, fracción II y 56 de la Ley, establecen que, para una adecuada planeación, administración y control del espectro radioeléctrico, el Instituto deberá observar diversos elementos que, para este documento de referencia son de suma importancia. A continuación, se describen los artículos indicados:

"TÍTULO TERCERO
Del Espectro Radioeléctrico y Recursos Orbitales
Capítulo Único
Del Espectro Radioeléctrico

Sección I
Disposiciones Generales

Artículo 54. *El espectro radioeléctrico y los recursos orbitales son bienes del dominio público de la Nación, cuya titularidad y administración corresponden al Estado.*

Dicha administración se ejercerá por el Instituto en el ejercicio de sus funciones según lo dispuesto por la Constitución, en esta Ley, en los tratados y acuerdos internacionales firmados por México y, en lo aplicable, siguiendo las recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones y otros organismos internacionales.

La administración incluye la elaboración y aprobación de planes y programas de uso, el establecimiento de las condiciones para la atribución de una banda de frecuencias, el otorgamiento de las concesiones, la supervisión de las emisiones radioeléctricas y la aplicación del régimen de sanciones sin menoscabo de las atribuciones que corresponden al Ejecutivo Federal.

Al administrar el espectro, el Instituto perseguirá los siguientes objetivos generales en beneficio de los usuarios:

- I. La seguridad de la vida;*
- II. La promoción de la cohesión social, regional o territorial;*

¹ *"Iniciativa de decreto por el que se expide la Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión, y la Ley del Sistema Público de radiodifusión de México; y se reforman, adicionan y derogan diversas disposiciones en materia de telecomunicaciones y radiodifusión, 25 de marzo de 2014, pág. 10. Disponible en el siguiente enlace: <http://legislacion.scjn.gob.mx/Buscador/Paginas/wfProcesoLegislativoCompleto.aspx?IdOrd=101766&IdRef=1&IdProc=1>*

- III. *La competencia efectiva en los mercados convergentes de los sectores de telecomunicaciones y radiodifusión;*
- IV. *El uso eficaz del espectro y su protección;*
- V. *La garantía del espectro necesario para los fines y funciones del Ejecutivo Federal;*
- VI. *La inversión eficiente en infraestructuras, la innovación y el desarrollo de la industria de productos y servicios convergentes;*
- VII. *El fomento de la neutralidad tecnológica, y*
- VIII. *El cumplimiento de lo dispuesto por los artículos 2o, 6o, 7o y 28 de la Constitución,*

Para la atribución de una banda de frecuencias y la concesión del espectro y recursos orbitales, el Instituto se basará en criterios objetivos, transparentes, no discriminatorios y proporcionales.

Artículo 55. *Las bandas de frecuencia del espectro radioeléctrico se clasificarán de acuerdo con lo siguiente:*

I. Espectro determinado: *Son aquellas bandas de frecuencia que pueden ser utilizadas para los servicios atribuidos en el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias; a través de concesiones para uso comercial, social, privado y público, definidas en el artículo 67;*

II. Espectro libre: *Son aquellas bandas de frecuencia de acceso libre, que pueden ser utilizadas por el público en general, bajo los lineamientos o especificaciones que establezca el Instituto, sin necesidad de concesión o autorización;*

(...)

Sección II **De la Administración del Espectro Radioeléctrico**

Artículo 56. *Para la adecuada planeación, administración y control del espectro radioeléctrico y para su uso y aprovechamiento eficiente, el Instituto deberá mantener actualizado el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias con base en el interés general. El Instituto deberá considerar la evolución tecnológica en materia de telecomunicaciones y radiodifusión, particularmente la de radiocomunicación y la reglamentación en materia de radiocomunicación de la Unión Internacional de Telecomunicaciones.*

(...)

Todo uso, aprovechamiento o explotación de bandas de frecuencias deberá realizarse de conformidad con lo establecido en el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias y demás disposiciones aplicables."

De lo anterior se advierte lo siguiente:

- a) La administración del espectro radioeléctrico como bien de dominio público de la Nación se ejercerá por el Instituto, según lo dispuesto por la Constitución, la Ley, los tratados y acuerdos internacionales firmados por México y, en lo aplicable, siguiendo las recomendaciones de la UIT y otros organismos internacionales.
- b) Dicha administración comprende la elaboración y aprobación de planes y programas de su uso, el establecimiento de las condiciones para la atribución de una banda de frecuencias, otorgamiento de concesiones, supervisión de emisiones radioeléctricas y la aplicación del régimen de sanciones, sin menoscabo de las atribuciones que corresponden al Ejecutivo Federal.
- c) El Instituto debe perseguir diversos objetivos generales en beneficio de los usuarios de servicios de telecomunicaciones. Para la clasificación de bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico como espectro libre y sus condiciones técnicas de operación asociadas resultan aplicables: el uso eficaz del espectro radioeléctrico y su protección y el cumplimiento de lo dispuesto por los artículos 2o., 6o., 7o., y 28 de la Constitución.
- d) Para una mejor administración y aprovechamiento del uso del espectro radioeléctrico, las bandas de frecuencias, atenderán la clasificación establecida en la Ley, ya sea como espectro determinado, espectro libre, espectro protegido o espectro reservado; y
- e) Las bandas de frecuencias clasificadas como espectro libre son aquellas bandas de frecuencias que pueden ser empleadas por cualquier persona, siempre y cuando se atiendan las condiciones establecidas por el Instituto para el uso de la misma.

De ahí que el Instituto como rector del desarrollo nacional de las telecomunicaciones y radiodifusión, al observar los elementos vertidos con anterioridad, instituirá una regulación eficiente y ordenada que tenga como finalidad la seguridad de la vida humana y el aprovechamiento máximo del espectro radioeléctrico considerando su naturaleza de recurso finito.

Estado actual de la banda de frecuencias 5850-5925 MHz.

En esta sección se muestra la situación actual de la banda de frecuencias 5850-5925 MHz en los entornos nacional e internacional.

Entorno nacional relativo a la banda de frecuencias 5850-5925 MHz

Atribución nacional de la banda de frecuencias 5850-5925 MHz.

Con base en el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF) de nuestro país, la banda de frecuencias 5850-5925 MHz se encuentra atribuida a los servicios Fijo, Fijo por satélite (Tierra-espacio) y Móvil a título primario y al servicio de Aficionados a título secundario, como se muestra en la siguiente ilustración:

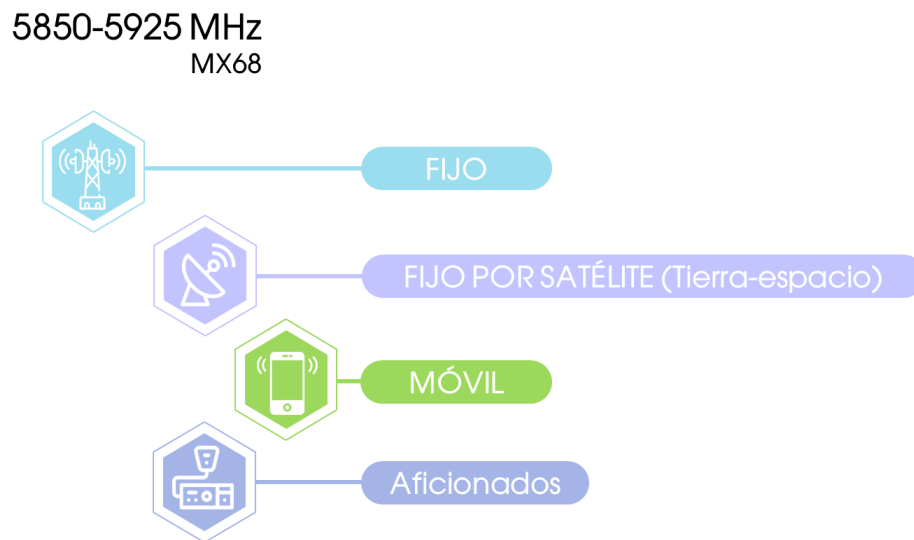


Ilustración 1. Atribución nacional de la banda 5850–5925 MHz conforme al CNAF (elaboración propia)

Notas relevantes del CNAF

La única nota nacional incluida en el CNAF relacionada con esta banda de frecuencias es la nota MX68, la cual considera solo una porción de 25 MHz, esto es 5850-5875 MHz de la banda en cuestión, tal como se describe a continuación:

"MX68 Las bandas de frecuencias que se enlistan a continuación se encuentran designadas para aplicaciones industriales, científicas y médicas (ICM):

13.553 – 13.567 MHz	902 – 928 MHz	24 – 24.25 GHz
26.957 – 27.283 MHz	2400 – 2500 MHz	
40.66 – 40.70 MHz	5.725 – 5.875 GHz	

Los servicios de radiocomunicación que funcionan en estas bandas deben aceptar la interferencia perjudicial resultante de estas aplicaciones. Los equipos ICM que funcionen en estas bandas estarán sujetos a las disposiciones del número 15.13 del RR.”

Uso de la banda de frecuencias 5850-5925 MHz en México.

La banda de frecuencias 5850–5925 MHz cuenta con tres tipos de usuarios: el primero de ellos relacionado con la operación de sistemas de radiocomunicación terrestre; el segundo, relacionado con la operación de sistemas satelitales del servicio fijo por satélite (en el sentido Tierra-espacio); y el tercero aquellos usuarios con títulos habilitantes de uso privado con propósitos de radioaficionados.

Cabe mencionar que, derivado de la revisión en el Sistema Integral de Administración del Espectro Radioeléctrico (SIAER), se encontraron registros de alrededor de 135 usuarios del servicio fijo en donde los canales de radiocomunicación que cuentan con anchos de banda de 11 MHz, 16 MHz y 24 MHz, se encuentran únicamente en la parte alta de la banda, específicamente dentro del rango de frecuencias 5900–5925 MHz.

Por otro lado, en el Registro Público de Concesiones (RPC) del Instituto se constató que se cuentan con 5 títulos habilitantes comprendidos por 3 autorizaciones y 2 concesiones para explotar los derechos de emisión y recepción de señales y bandas de frecuencias asociados a sistemas satelitales extranjeros que cubran y puedan prestar servicios en el territorio nacional, mediante enlaces ascendentes (sentido Tierra-espacio) del servicio fijo por satélite.

La información referente a los títulos habilitantes mencionados anteriormente, se puede observar en la Tabla siguiente.

No	Titular	Fecha de otorgamiento	Vigencia (Años)	Título	Cobertura	Folio en el RPC
1	HISPASAT MÉXICO, S.A. DE C.V.	2017-08-24	10	Autorización	Nacional	FET096162AU-100678
2	ORGTEC, S. DE R.L. DE C.V.	2009-08-03	10	Concesión	Nacional	FET005552CO-104092
3	PANAMSAT DE MEXICO, S. DE R.L. DE C.V.	2011-09-23	10	Concesión	Nacional	FET005432CO-100722
4	ORGTEC, S. DE R.L. DE C.V.	2016-01-29	10	Autorización	Nacional	FET085936AU-104092
5	SISTEMAS SATELITALES DE MÉXICO, S. DE R.L. DE C.V.	2019-01-24	10	Autorización	Nacional	FET098029AU-100737

Tabla 1. Concesionarios y autorizados de aterrizaje de señales en la banda 5850 – 5925 MHz conforme al RPC

Aunado a lo anterior, en el mismo RPC se cuenta con registro de más de 1,000 concesiones de uso privado con propósito de radioaficionados, los cuales amparan el uso de diversas bandas de frecuencias atribuidas a los servicios de aficionados y aficionados por satélite del espectro radioeléctrico. No obstante, dicho servicio al estar atribuido a título secundario en la banda de frecuencias bajo análisis, no deberá causar interferencias perjudiciales a los servicios atribuidos a título primario.

Actividades en el CTER.

A la fecha de publicación del presente documento, se han presentado diferentes documentos de trabajo relacionados con STI en el Comité Técnico en Materia de Espectro Radioeléctrico (CTER) del Instituto², dichos trabajos se describen a continuación:

- En la Reunión XXXIV del Grupo de Trabajo de Espectro para Servicios de Banda Ancha Móvil (GT BAM) del CTER, celebrada el día 28 de abril de 2021, se presentó el documento de trabajo³ que resultó de la 36 Reunión del Comité Consultivo Permanente II: Radiocomunicaciones (CCP.II) de la Comisión Interamericana de Telecomunicaciones (CITEL), el cual originalmente envió la administración de Brasil. En este documento se propone que el CCP.II de la CITEL inicie los diálogos para la preparación de una Recomendación sobre el uso de las aplicaciones STI en las Américas, especialmente buscando la armonización del uso de la banda de frecuencias 5850–5925 MHz para los STI.
- Posteriormente, en la Reunión XXXV del GT BAM, celebrada el día 26 de mayo de 2021, se presentaron dos documentos asociados con la opinión de la industria, particularmente de la empresa Qualcomm México⁴ y de la empresa *Dynamic Spectrum Alliance* (DSA)⁵, en torno a la temática de STI.
 - En el caso del documento de Qualcomm México, se invita al GT BAM a apoyar el Proyecto de Recomendación para STI, con el fin de que sirva como insumo para que la Administración de México participe en los trabajos sobre este tema, previos a la Reunión 38 del CCP.II programada para el mes de noviembre de 2021.
 - En el caso del documento de la DSA, se indica lo siguiente: *“La DSA quisiera invitar a que el GT BAM considere los requerimientos nacionales en México en materia de espectro para STI, y a que tome en cuenta la*

² Mayor información respecto del CTER puede ser consultada en: <http://cter.ift.org.mx/dashboard>

³ Documento de trabajo del CTER “IMT 104 CCP.II-2021-37-5276_e Recomendación ITS”

⁴ Documento de trabajo del CTER “IMT 105 Sistemas de Transporte Inteligentes”

⁵ Documento de trabajo del CTER “IMT 107 BAM CTER DSA Banda de 5.9 GHz”

importancia de la armonización en el uso de la banda de 5.9 GHz con los Estados Unidos de América (que designó para STI solo 30 MHz de la parte alta de la banda entre 5895–5925 MHz), teniendo en cuenta la situación fronteriza y el significativo tráfico de vehículos entre los dos países”.

Entorno internacional de la banda de frecuencias 5850-5925 MHz

Atribución internacional de la banda de frecuencias 5850-5925 MHz.

De acuerdo con el Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) de la UIT, en la Región 2, a la cual México pertenece, la banda de frecuencias objeto del presente documento, se encuentra atribuida a los servicios Fijo, Fijo por satélite (Tierra-espacio) y Móvil a título primario y a los servicios de Aficionados y Radiolocalización a título secundario, como se muestra en la siguiente Ilustración:

5850-5925 MHz
5.150

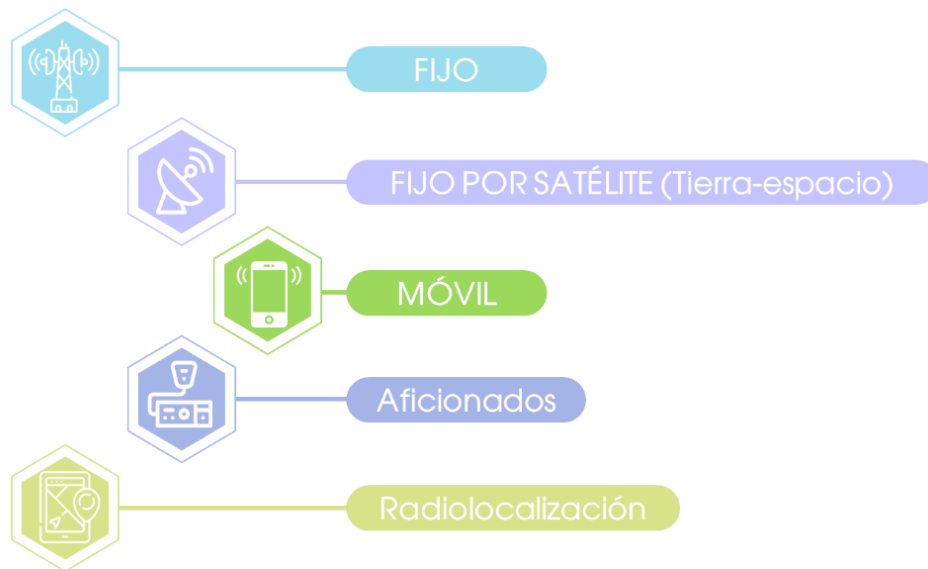


Ilustración 2. Atribución internacional de la banda 5850–5925 MHz conforme al RR (elaboración propia)

Notas relevantes del RR

La única nota internacional incluida en el RR para la Región 2 relacionada con esta banda de frecuencias es la nota 5.150, la cual refiere a una porción de 25 MHz, esto es 5850-5875 MHz de la banda en cuestión, tal como se describe a continuación:

“5.150 Las bandas:

13 553-13 567 kHz (frecuencia central 13 560 kHz),
26 957-27 283 kHz (frecuencia central 27 120 kHz),
40,66-40,70 MHz (frecuencia central 40,68 MHz),
902-928 MHz en la Región 2 (frecuencia central 915 MHz),
2 400-2 500 MHz (frecuencia central 2 450 MHz),
5 725-5 875 MHz (frecuencia central 5 800 MHz) y
24-24,25 GHz (frecuencia central 24,125 GHz)

están designadas para aplicaciones industriales, científicas y médicas (ICM). Los servicios de radiocomunicación que funcionan en estas bandas deben aceptar la interferencia perjudicial resultante de estas aplicaciones. Los equipos ICM que funcionen en estas bandas estarán sujetos a las disposiciones del número 15.13.”

Regulación en otros países para la banda de frecuencias 5850-5925 MHz.

La banda de frecuencias 5850-5925 MHz es utilizada alrededor del mundo por diferentes servicios y aplicaciones, entre los que se encuentran sistemas satelitales del servicio fijo en el sentido Tierra-espacio (ascendente), sistemas de radiocomunicación del servicio fijo, dispositivos de radiocomunicación de corto alcance, sistemas de transporte inteligente, entre otros. Por tanto, existen diferentes esquemas de licenciamiento, atribuciones de servicios o aplicaciones en cada país dentro de la banda de frecuencias 5850-5925 MHz.

En este orden de ideas, esta sección expone y analiza diversas acciones que han implementado algunos reguladores a nivel internacional respecto del uso de la banda de frecuencias 5850-5925 MHz. Se analiza el caso de la FCC, en EUA; ISED, en Canadá; ANATEL, en Brasil; Ofcom, en Reino Unido; y CEPT, en la Unión Europea.

Estados Unidos de América - Comisión Federal de Comunicaciones

El 21 de octubre de 1999 la FCC emitió Reglas⁶ para atribuir la banda de frecuencias 5.850-5.925 GHz al servicio móvil para que pudiera ser empleada por sistemas de Comunicaciones Especializadas de Corto Alcance (DSRC, por sus siglas en inglés) para la operación de Sistemas de Transporte Inteligente. En donde se designaron 75 MHz para este tipo de aplicaciones, así como las condiciones técnicas de operación para los mismos. Posteriormente, en 2003 adoptaron reglas para la operación de DSRC bajo un estándar tecnológico que permitiera la interoperabilidad de los vehículos.

⁶ FCC, 1999, *Amendment of Parts 2 and 90 of the Commission's Rules to Allocate the 5.850-5.925 GHz Band to the Mobile Service for Dedicated Short Range Communications of Intelligent Transportation Services*. Consultable en el siguiente enlace: <https://docs.fcc.gov/public/attachments/FCC-99-305A1.pdf>

Sin embargo, de acuerdo a la información de la misma FCC, el desarrollo para estos sistemas DSRC no fue el esperado, por lo que el 20 de noviembre de 2020 la FCC emitió nuevas Reglas y una consulta pública⁷ relacionadas con el uso de la banda de frecuencias 5850-5925 MHz, en la que se determinó que los 45 MHz (5850-5895 MHz) de la parte inferior de la banda 5.9 GHz serían empleados para aplicaciones sin licencia, mientras que los 30 MHz restantes (5895-5925 MHz) en la parte superior de la banda 5.9 GHz se mantendrían para el uso de STI mediante asignación compartida.

Adicionalmente, la FCC estableció que en los 30 MHz de la banda 5.9 GHz que continuaría siendo utilizado para STI, se consideraba apropiado que una sola tecnología fuera la empleada en dicha porción de espectro, resultando así, el uso de la tecnología celular vehículo a cualquier cosa (C-V2X, por sus siglas en inglés *Cellular Vehicle to Everything*) para STI en la banda de frecuencias 5.895-5.925 GHz.⁸

Posteriormente, la FCC modificó las reglas por algunas erratas el 11 de diciembre de 2020 y el 9 de febrero de 2021. Las reglas vigentes para la banda 5.9 GHz fueron publicadas en el Registro Federal de Estados Unidos de América el 3 de mayo de 2021⁹, en donde se establecen los parámetros técnicos y condiciones de operación para que los dispositivos sin licencia, como Wifi, operen en el segmento 5850- 5895 MHz y que los STI hagan uso del segmento 5895-5925 MHz bajo bases de compartición.

Canadá - Ministerio de Innovación, Ciencia y Desarrollo Económico (ISED)

En marzo de 2007, el ISED de Canadá realizó una consulta pública respecto de una propuesta de uso de la banda 5850-5925 MHz por Comunicaciones Especializadas de Corto Alcance (DSRC) para la operación de Sistemas de Transporte Inteligente¹⁰. En dicha propuesta se estableció un Plan de Banda, la coexistencia con otros servicios y aplicaciones, cuestiones para el licenciamiento y las condiciones técnicas de operación de dichos dispositivos.

En septiembre de 2017, Canadá emitió el estándar de radio RSS-252 denominado *Intelligent Transportation Systems – Dedicated Short Range Communications (DSRC) – On-Board Unit (OBU)*¹¹, en donde se establecen los requerimientos para que los DSRC puedan operar sin licencia en el rango de frecuencias 5850-5925 MHz. En este estándar se reconoce el uso de STI para la

⁷ FCC, 2018. *FURTHER NOTICE OF PROPOSED RULEMAKING: Unlicensed Use of the 6 GHz Band*. Consultable en el siguiente enlace: <https://docs.fcc.gov/public/attachments/DOC-354364A1.pdf>

⁸ Federal Register, 2021, *Use of the 5.850-5.925 GHz Band*. Consultable en el siguiente enlace: <https://www.federalregister.gov/documents/2021/05/03/2021-08801/use-of-the-5850-5925-ghz-band>

⁹ Disponible para su consulta en: <https://www.federalregister.gov/documents/2021/05/03/2021-08802/use-of-the-5850-5925-ghz-band>

¹⁰ Disponible para su consulta en: <https://www.ic.gc.ca/eic/site/smt-gst.nsf/eng/sf08745.html>

¹¹ Disponible para su consulta en: <https://www.ic.gc.ca/eic/site/smt-gst.nsf/eng/sf11325.html>

comunicación de vehículos con unidades al costado del camino, otros vehículos o unidades portátiles.

Asimismo, se establece la designación de canales, niveles de potencia de transmisión, así como consideraciones para la coexistencia con otros servicios, en apego con el estándar ASTM E2213-03 *Standard Specification for Telecommunications and Information Exchange Between Roadside and Vehicle Systems — 5 GHz Band Dedicated Short Range Communications (DSRC), Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications*¹², cuya última aprobación se realizó en el 2018.

Finalmente, en enero de 2018, ISED de Canadá emitió su documento *Spectrum Outlook 2018 to 2022*¹³, en donde indica que la banda 5850-5925 MHz continuará siendo utilizada para DSRC por STI, en tanto no se tenga certeza de la coexistencia con otros nuevos servicios o aplicaciones en dicha banda de frecuencias. Lo anterior, sigue vigente hasta la fecha de la emisión del presente documento.

Brasil - Agencia Nacional de Telecomunicaciones

Brasil es otro de los países que se ha pronunciado en torno a la banda de frecuencias 5850-5925 MHz, pues el 1 de septiembre de 2020, la ANATEL de Brasil emitió el "ATO N° 4776"¹⁴, en donde modifican diversos incisos del Anexo I de la Ley N° 14.448, del 4 de diciembre de 2017, respecto los Requisitos Técnicos para la Evaluación de la Conformidad de Equipos de Radiocomunicaciones de Radiación Restringida, entre los que se encuentra la operación de STI (denominados por la ANATEL como *SISTEMA DE COMUNICAÇÃO VEICULAR*) y que se indican en el Numeral 22 del Anexo I de la Ley N° 14.448.

En esta modificación, se establecen las condiciones técnicas de operación de los STI para que puedan operar en la banda 5850-5925 MHz sin necesidad de licencia o concesión, así como los canales que pueden ser empleados dentro de la misma y los requisitos que deben de cumplir los dispositivos, de conformidad con el estándar ETSI EN 302 571 V2.1.1.¹⁵

Como parte de las consideraciones técnicas se indica un ancho de banda de canal de 10 MHz, por lo que, en la banda 5850-5925 MHz se contaría con 7 canales con este ancho de banda. También se indica que la PIRE máxima

¹² Disponible para su consulta en: <https://www.ic.gc.ca/eic/site/smt-gst.nsf/eng/sf11325.html>

¹³ Disponible para su consulta en: <https://www.ic.gc.ca/eic/site/smt-gst.nsf/eng/sf11403.html>

¹⁴ Disponible para su consulta en: <https://informacoes.anatel.gov.br/legislacao/atos-de-certificacao-de-produtos/2020/1467-ato-4776>

¹⁵ Disponibles para su consulta en: https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302500_302599/302571/02.01.01_60/en_302571v020101p.pdf

permitida para V2V y para V2I es de 23 dBm (200 mW) y para comunicaciones de alta potencia para V2I se permite una PIRE máxima de 26 dBm (400 mW).

Reino Unido – OFCOM

En noviembre de 2008, OFCOM emitió una Consulta Pública respecto de la propuesta de regulación para permitir los STI en la banda 5875-5905 MHz¹⁶. Como resultado, en febrero de 2009 entró en vigor la regulación 2009 No. 65 “*The Wireless Telegraphy (Vehicle Based Intelligent Transport Systems) (Exemption) Regulations 2009*”¹⁷, en el que se habilita el uso de estos dispositivos con ciertas condiciones técnicas de operación. Asimismo, se indica que se deberán utilizar técnicas para mitigar interferencias perjudiciales equivalentes a las descritas en el estándar de ETSI EN302 571.

Posteriormente, en diciembre de 2011, emitió la regulación 2011 No. 2949 “*The Wireless Telegraphy (Intelligent Transport Systems) (Exemption) Regulations 2011*”¹⁸, la cual anula la emitida en 2009 y habilita el uso de estaciones y dispositivos en la banda de frecuencias para los STI relacionados con seguridad.

A la fecha del presente documento, esta regulación continúa vigente en Reino Unido, e incluso los STI se han considerado para la coexistencia con otros servicios y aplicaciones que se han permitido en la banda de frecuencias 5850-5925 MHz.

Unión Europea - Conferencia Europea de Administraciones de Correos y Telecomunicaciones

La CEPT ha realizado estudios de compartición y compatibilidad entre diversos servicios y aplicaciones inalámbricas que operan en la banda 5850-5925 MHz. En estos estudios se reconoce la operación de STI en esta banda de frecuencias y se exponen ciertas condiciones técnicas de operación que pudieran permitir la convivencia con los diferentes servicios y aplicaciones en la banda 5.9 GHz.

Los resultados de algunos de los estudios pueden encontrarse en los Reportes *CEPT Report 20* “El uso armonizado del espectro radioeléctrico para aplicaciones críticas de seguridad de Sistemas de transporte Inteligente en la Unión Europea”¹⁹, publicado en diciembre de 2007; *CEPT Report 57* “Estudiar e identificar la compatibilidad y las condiciones de uso compartido para los sistemas de acceso inalámbrico, incluidas las redes inalámbricas de área local en las bandas 5350-5470 MHz y 5725-5925 MHz (bandas de extensión WAS /

¹⁶ Disponible para su consulta en: https://www.ofcom.org.uk/_data/assets/pdf_file/0020/37082/main.pdf

¹⁷ Disponible para su consulta en: https://www.legislation.gov.uk/uksi/2009/65/pdfs/uksi_20090065_en.pdf

¹⁸ Disponible para su consulta en: https://www.legislation.gov.uk/uksi/2011/2949/pdfs/uksi_20112949_en.pdf

¹⁹ Disponible para su consulta en: <https://docdb.cept.org/download/21>

RLAN') para la prestación de servicios inalámbricos de banda ancha"²⁰, publicado en marzo de 2015; y *CEPT Report 71* "Estudiar la extensión de la banda 5,9 GHz para Sistemas de Transporte Inteligente (STI) relacionada con la seguridad", publicado en marzo de 2019.

Tomando en consideración estos estudios, la CEPT ha emitido la Decisión *ECC Decision (08) 01*²¹ en donde designa el uso armonizado en la Unión Europea de la banda 5875-5935 MHz para sistemas de seguridad relacionados con STI y establece canales con anchos de banda de hasta 10 MHz. Posteriormente emitió la Recomendación *ECC Recommendation (08) 01*²² en donde se incluyó la banda 5855-5875 MHz para sistemas que no estén relacionados con la seguridad para STI y de igual manera identifica canales de hasta 10 MHz.

Como complemento a esta sección, se tiene conocimiento de que, a nivel internacional, otros países han asignado espectro radioeléctrico de la banda de frecuencias 5.9 GHz para comunicaciones STI, incluidos Australia (70 MHz), Corea del Sur (70 MHz) y Singapur (50 MHz). En la Unión Europea, 30 MHz de la banda de 5.9 GHz se han dedicado a las comunicaciones de seguridad en el transporte, y el Comité de Comunicaciones Electrónicas (ECC, por sus siglas en inglés) ha propuesto ampliarlo a 50 MHz y, al mismo tiempo, proporcionar 20 MHz adicionales para aplicaciones que no son de seguridad. Por su parte, Japón actualmente dedica 10 MHz de espectro exclusivamente para comunicaciones de seguridad en el transporte y 80 MHz para el cobro de peajes electrónicos, entre otros. Adicionalmente, en China se asignaron 20 MHz de la banda 5.9 GHz para el despliegue de la tecnología C-V2X.²³

Recomendaciones y estándares aplicables

En la literatura de orden técnico a nivel mundial existen diversas Recomendaciones e Informes emitidos por el Sector de Radiocomunicaciones de la UIT (UIT-R), así como la Normativa y las Especificaciones Técnicas emitidas por organismos internacionales relacionados con los sistemas de transporte inteligente, algunos de ellos incluyen el uso de la banda de frecuencias 5850-5925 MHz para dichos sistemas. En esta sección se proporciona un compendio de documentos relacionados con los STI.²⁴

- **Recomendación UIT-R M.1890 Objetivos y requisitos operacionales de radiocomunicaciones para sistemas de transporte inteligente avanzados**

²⁰ Disponible para su consulta en: <https://docdb.cept.org/download/96>

²¹ Disponible para su consulta en: <https://docdb.cept.org/download/1583>

²² Disponible para su consulta en: <https://docdb.cept.org/download/798c1836-20c6/REC0801.pdf>

²³ Disponible para su consulta en: <https://itsa.org/wp-content/uploads/2020/04/V2X-Myth-Vs-Fact-Sheet.pdf>

²⁴ Nota, de ninguna manera, las Recomendaciones e Informes aquí incluidos deben interpretarse como vinculantes para el desarrollo de los sistemas STI en México.

Esta Recomendación proporciona los objetivos y requisitos operacionales de las radiocomunicaciones para los sistemas de transporte inteligente, incluidos los STI en evolución. STI utiliza una combinación de tecnologías como computadoras, telecomunicaciones, posicionamiento y automatización para mejorar la seguridad, administración, eficiencia, usabilidad y sustentabilidad ambiental de los sistemas de transporte terrestre. Esta recomendación se relaciona con STI al considerar directamente detalles respecto a los requisitos en términos de las radiocomunicaciones necesarias para STI.

- **Recomendación UIT-R M.2083 Concepción de las IMT – Marco y objetivos generales del futuro desarrollo de las IMT para 2020 y en adelante.**

En esta Recomendación se define el marco y los objetivos generales del futuro desarrollo de las Telecomunicaciones Móviles Internacionales (IMT) para 2020 y en adelante, habida cuenta del papel que las IMT podrán desempeñar para atender mejor las necesidades futuras de la sociedad interconectada, tanto en los países en desarrollo como en los desarrollados. Esta recomendación se relaciona con STI debido a que las IMT-2020 prevén diferentes casos de uso, dentro de los cuales se contemplan los STI.

- **Recomendación UIT-R M.2084 Normas relativas a la interfaz radioeléctrica de las comunicaciones bidireccionales de vehículo a vehículo y de vehículo a infraestructura para aplicaciones de sistemas de transporte inteligentes.**

En esta Recomendación se identifican las normas específicas sobre la interfaz radioeléctrica de las comunicaciones de vehículo a vehículo y de vehículo a infraestructura (las comunicaciones de vehículo a infraestructura incluyen las comunicaciones bidireccionales entre el vehículo y la infraestructura). Las características técnicas descritas en esta Recomendación se basan en las aplicaciones actuales de los sistemas de transporte inteligentes en el marco del servicio móvil. Esta recomendación se relaciona con STI porque se incluyen las características técnicas para aplicaciones de STI, desde los términos de interfaz de radio necesaria para ello. A continuación, se indican algunas características técnicas generales relacionadas con las Normas asociadas con los STI.

Parámetro	ETSI (Europa)	IEEE (Estados Unidos)	TTA (Corea del Sur)
Rango de frecuencia de operación	5855-5925 MHz	5850-5925 MHz	5855- 5925 MHz (Sistema piloto)
Ancho de banda de canal de RF	10 MHz	10 o 20 MHz	Menos de 10 MHz
Potencia de transmisión / PIRE RF	Máx. 33 dBm (PIRE)	-	23 dBm
Modulación	BPSK OFDM, QPSK OFDM, 16QAM OFDM, 64QAM OFDM	64-QAM-OFDM 16-QAM-OFDM QPSK-OFDM BPSK-OFDM	BPSK OFDM, QPSK OFDM, 16QAM OFDM, Opción: QAM-64
Velocidades de transmisión	3 Mbit/s, 4,5 Mbit/s, 6 Mbit/s, 9 Mbit/s, 12 Mbit/s, 18 Mbit/s, 24 Mbit/s, 27 Mbit/s	3, 4,5, 6, 9, 12, 18, 24 y 27 Mbit/s (10 MHz) 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 y 54 Mbit/s (20 MHz)	3, 4,5, 6, 9, 12, 18 Mbit/s, Opción: 24, 27 Mbit/s
Control de acceso al medio	CSMA/CA	CSMA/CA	CSMA/CA, Opción: Time Slot based CSMA/CA

Método Dúplex	TDD	TDD	TDD
---------------	-----	-----	-----

Tabla 2. Características técnicas generales.

- **Recomendación UIT-R M.2121 Armonización de las bandas de frecuencias para los sistemas de transporte inteligentes en el servicio móvil**

Esta Recomendación proporciona orientaciones sobre las bandas de frecuencias armonizadas que deben utilizar sistemas de transporte inteligentes en relación con el intercambio de información para mejorar la gestión del tráfico y ayudar a la conducción segura. En la presente Recomendación, se alienta a las administraciones a emplear bandas de frecuencias armonizadas en todas las Regiones del UIT-R para dichas aplicaciones. Esta recomendación se relaciona con STI al ahondar en la gestión ordenada para una correcta operación de los STI en el contexto del servicio móvil.

- **Informe UIT-R M.2228 Radiocomunicaciones de sistemas de transporte inteligentes avanzados (STI)**

Los sistemas de transporte inteligente se aplican a servicios como el suministro de información sobre el tráfico por carretera y el cobro de peajes electrónicos, y se implementan en muchos países mediante el uso de comunicaciones dedicadas de corto alcance (DSRC) o sistemas de telefonía celular. STI se ha convertido ahora en una importante infraestructura social. Este informe se relaciona con STI ya que se han llevado a cabo estudios y pruebas de viabilidad sobre las radiocomunicaciones de STI avanzado para lograr la seguridad del tráfico y reducir el impacto en el medio ambiente. Como resultado, recientemente se han logrado importantes avances en las actividades de investigación y desarrollo sobre radiocomunicaciones de sistemas de transporte inteligente avanzados en varias regiones, incluidas América del Norte, Europa y la región de Asia y el Pacífico. Por lo tanto, la información que se obtenga podría ser de utilidad para una futura armonización y estandarización.

- **Informe UIT-R M.2441 Uso emergente del componente terrestre de las telecomunicaciones móviles internacionales (IMT)**

Este informe es un documento de compilación sobre el uso actual y nuevo de las IMT en aplicaciones específicas. Además, introduce posibles nuevas aplicaciones emergentes de IMT en áreas más allá de las comunicaciones tradicionales de voz, datos y entretenimiento, tal como se prevé en la visión de las IMT-2020. Este informe se relaciona con STI de forma directa, al tratar la prospectiva de nuevas aplicaciones dentro del marco de IMT-2020, como lo es STI y ferrocarriles o comunicaciones por trenes de alta velocidad.

- **Informe UIT-R M.2444 Ejemplos de disposiciones para despliegues de sistemas de transporte inteligentes en el marco del servicio móvil**

Este informe proporciona ejemplos de arreglos para la implementación de STI en ciertas regiones y países para ayudar a mejorar la gestión del tráfico y la conducción segura. Este informe se relaciona con STI porque esta información sirve para ayudar a las Administraciones en las diferentes regiones en su planificación para el despliegue de STI dentro de sus jurisdicciones.

- **Informe UIT-R M.2445 Uso de sistemas de transporte inteligentes (STI)**

Este informe aborda los usos de las aplicaciones de radiocomunicaciones de STI, como las comunicaciones de vehículo a infraestructura, de vehículo a vehículo, de vehículo a peatón para aplicaciones relacionadas con la seguridad del tráfico y la eficiencia del tráfico, así como los sistemas electrónicos de peaje y radares automotrices para evitar colisiones. Este informe identifica el uso actual y planificado de tecnologías STI, bandas de frecuencias, estado de estandarización, aplicaciones e implementaciones.

- **ETSI EN 302 663 V1.3.1: *"Intelligent Transport Systems (ITS); ITS-G5 Access layer specification for Intelligent Transport Systems operating in the 5 GHz frequency band"***

Este documento describe la capa física y la capa de enlace de datos, en la pila de protocolos para soportar las comunicaciones de vehículo a vehículo en una red ad hoc que se utilizará en la banda de frecuencia de 5.9 GHz asignada en Europa de conformidad con Decisión de la Comisión 2008/671 / EC, ECC / DEC / (08) 01 y ECC / REC / (08) 01. Las dos capas más bajas se denominan capa de acceso según ETSI EN 302 665 en el presente documento y la tecnología especificada para la capa de acceso se denomina colectivamente ITS-G5.

La tecnología de capa de acceso ITS-G5 está utilizando estándares ya existentes para comunicaciones. La capa de enlace de datos se divide en dos subcapas; control de acceso al medio y control de enlace lógico. La capa física y la capa de control de acceso al medio están cubiertas en IEEE 802.11-2016. El control de enlace lógico se basa en IEEE / ISO / IEC 8802-2-1998. El estándar ITS-G5 también agrega características para los métodos de control de congestión descentralizado (DCC) ETSI TS 102 687 para controlar la carga de la red.

La tecnología de capa de acceso ITS-G5 está utilizando estándares ya existentes para comunicaciones. La capa de enlace de datos se divide en dos subcapas; control de acceso al medio y control de enlace lógico. La capa física y la capa de control de acceso al medio están cubiertas en IEEE 802.11-2016. El control de enlace lógico se basa en IEEE / ISO / IEC 8802-2-1998. El estándar ITS-G5 también

agrega características para los métodos de control de congestión descentralizado (DCC) ETSI TS 102 687 para controlar la carga de la red.

- ETSI TR 102 638 V1.1.1: *"Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Definitions"*

Este documento describe un conjunto básico de aplicaciones que debe especificar el sistema de transporte inteligente, centrándose principalmente en las comunicaciones V2V, V2I e I2V en la banda de frecuencias dedicada V2X. Sin embargo, no excluye el uso de otras tecnologías de acceso como redes celulares (por ejemplo, 2G, 3G, 4G), y/o sistemas de radiodifusión (DAB, T-DMB, DVB). Este documento tiene relación con STI porque está elaborado con el fin de que se utilice para delimitar el trabajo de normalización que se requiere para el conjunto básico de aplicaciones definido en las comunicaciones antes mencionadas, además, el documento toma en consideración los requisitos de STI de las categorías de partes interesadas.

- ETSI TS 122 185 V16.0.0: *"LTE; Service requirements for V2X services (3GPP TS 22.185 version 16.0.0 Release 16)"*

Este documento es una especificación técnica la cual ha sido elaborada por el 3GPP, la especificación presenta las aplicaciones denominadas *Vehicle-to-Everything* (V2X) y considera los siguientes cuatro tipos diferentes: *Vehicle-to-Vehicle* (V2V), *Vehicle-to-Infrastructure* (V2I), *Vehicle-to-Network* (V2N), *Vehicle-to-Pedestrian* (V2P), además, proporciona soporte para los requisitos del servicio V2X que debe soportar el transporte LTE. Este documento tiene relación con STI porque en cada sección explica las diferentes aplicaciones, y brinda ejemplos para entender el tipo de información de la aplicación que se transmite. Es decir, los tipos de aplicaciones V2X que soporta 3GPP, esta información es considerada más adelante para el desarrollo de este documento.

- ETSI ES 202 663 V1.1.0: *"Intelligent Transport Systems (ITS); European profile standard for the physical and medium access control layer of Intelligent Transport Systems operating in the 5 GHz frequency band"*

Este documento especifica el perfil europeo en línea con ETSI ETS 300 406, de la subcapa de control de acceso físico y al medio de los STI de 5 GHz utilizando IEEE 802.11 como estándar base. Cubre los rangos de frecuencia siguientes: STI-G5A: Operación de STI-G5 en bandas de frecuencia STI europeas dedicadas a STI para aplicaciones relacionadas con la seguridad en el rango de frecuencia de 5.875 GHz a 5.905 GHz; STI-G5B: Funcionamiento en bandas de frecuencia STI europeas dedicadas a aplicaciones STI no relacionadas con la seguridad en el rango de

frecuencia de 5.855 GHz a 5.875 GHz, e STI-G5C: Operación de aplicaciones STI en el rango de frecuencia de 5.470 GHz a 5.725 GHz.

- **3GPP TR 22.885 v.1.0.0 "LTE support for V2X services (FS_V2XLTE)"**

Este documento identifica los casos de uso y requisitos potenciales para LTE en materia del soporte a servicios V2X tomando en cuenta los servicios V2X y otros parámetros definidos, o aquellos que pudieran estar relacionados a uso gubernamental. El documento considera los casos de uso esencial para LTE V2X (V2V -entre vehículos-, V2I -entre vehículo y un RSU y V2P -entre un vehículo y un dispositivo portado por un individuo-).

- **3GPP TR 22.886 v.2.0.0 "Study on Enhancement of 3GPP support for V2X service"**

El objetivo de este documento es identificar casos de uso y posibles requisitos de servicio para mejorar el soporte 3GPP para el servicio V2X en las siguientes áreas: i) Soporte para servicios V2X que no son de seguridad, también denominado "servicio de confort" (por ejemplo, vehículo conectado, entretenimiento móvil de alta velocidad de datos, punto de acceso móvil / oficina / hogar y actualización de mapas digitales dinámicos); ii) Soporte para servicios V2X relacionados con la seguridad (por ejemplo, conducción autónoma, conducción de vehículos, manejo prioritario entre servicios V2X relacionados con la seguridad y otros servicios); iii) Soporte para servicios V2X en múltiples RAT 3GPP (por ejemplo, LTE, New RAT (NR)) y entorno de redes, incluidos aspectos como la interoperabilidad con tecnología V2X que no es 3GPP (por ejemplo, *STI-G5*, *DSRC*, *STI-Connect*). Así, en este documento, se consideran los casos de uso relacionados con V2X y los requisitos potenciales ya incluidos en TR 22.891, además de introducir otros nuevos.

- **3GPP TR 37.985 "Overall description of Radio Access Network (RAN) aspects for Vehicle-to-everything (V2X) based on LTE and NR"**

Este documento proporciona una descripción general de las características introducidas por 3GPP a LTE y NR en apoyo de los servicios V2X, a partir de *Release 14*, así como brindar una descripción general de las especificaciones de RAN sobre cómo se han diseñado las características y cómo operan juntas. Este documento aborda LTE V2X y NR V2X a través de ambos enlaces laterales, es decir, las interfaces a través del enlace ascendente / descendente. La intención es proporcionar descripciones en aproximadamente el nivel de detalle de la Etapa 2 y, por lo tanto, se proporcionan referencias a las especificaciones de RAN.

- **3GPP TS 23.286 “Application layer support for Vehicle-to-Everything (V2X) services; Functional architecture and information flows”**

Este documento especifica la arquitectura funcional, los procedimientos y los flujos de información para la capa habilitadora de aplicaciones V2X. Esta especificación incluye las capacidades del soporte de la capa de aplicación para los servicios V2X que son necesarios para garantizar el uso y la implementación eficiente de los servicios V2X en los sistemas 3GPP.

- **3GPP TS 23.287 “Architecture enhancements for 5G System (5GS) to support Vehicle-to-Everything (V2X) services”**

El alcance de este documento es especificar mejoras en la arquitectura del sistema 5G para facilitar las comunicaciones vehiculares para servicios V2X. Este documento tiene relación con STI, porque tiene información respecto de las mejoras que se pueden implementar en la arquitectura del sistema 5G con el fin de admitir los servicios V2X.

- **3GPP TS 36.101 V16.8.0 (Bandas de frecuencias) Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception**

El documento define y detalla las características RF mínimas y los requerimientos mínimos de desempeño para E-UTRA. Este documento tiene relación con STI, porque destaca la aplicabilidad de los requisitos mínimos para la comunicación V2X, además, contiene información respecto de la banda de frecuencias, disposición de canales y ancho de banda para la comunicación V2X.

Casos de uso de los STI.

A través de diversos estándares, recomendaciones, reportes, informes y disposiciones técnicas internacionales, se han identificado los siguientes casos de uso para los STI:

- Vehículo a vehículo (V2V)
- Vehículo a peatón (V2P)
- Vehículo a infraestructura (V2I)
- Vehículo a red (V2N)

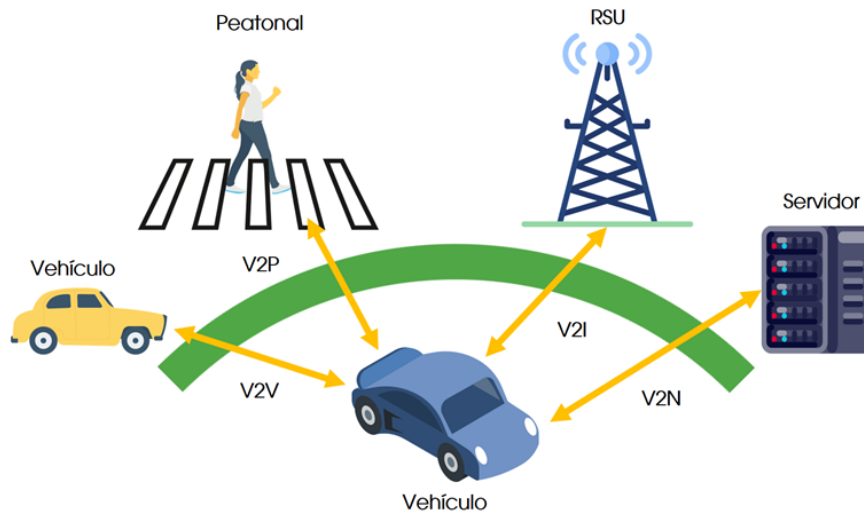


Ilustración 3. Diferentes formas de interacción y comunicación de un vehículo en el marco de STI (elaboración propia)

En las aplicaciones del tipo V2V se prevé que los equipos de usuario (UE, del inglés *User Equipment*) instalados en los vehículos próximos entre sí intercambien información en un cierto rango de distancia para efectuar la comunicación entre vehículos. En las aplicaciones del tipo V2I los UE instalados en los vehículos transmiten información hacia equipos RSU (del inglés *Road Side Units*), ubicados en el camino, lo cual puede ser útil para cuando existe una fila de autos detenida más adelante en el camino, avisando al conductor de manera anticipada, previniendo accidentes. A su vez, en las aplicaciones del tipo V2N los UE instalados en los vehículos transmiten información hacia servidores de red, en casos donde, por ejemplo, un auto reciba la señal de detenerse en un entorno donde exista ausencia de señalamientos de tránsito en la proximidad de una intersección. Finalmente, en las aplicaciones del tipo V2P se prevé que los UE instalados en los vehículos detecten la existencia de peatones en la proximidad y que éstos a su vez a través de aplicaciones instaladas en teléfonos y relojes inteligentes, detecten la proximidad de algún vehículo evitando accidentes por atropellamiento.

Es importante señalar que, de manera general, todos los cuatro casos de uso para STI descritos anteriormente (V2V, V2I, V2N y V2P) son también identificados con el término general "V2X". Ese fue el primer término acuñado en la literatura y fuentes de consulta para referirse al ecosistema STI, y proviene del concepto de comunicación "Vehículo a cualquier cosa".

Con el objeto de brindar algunos ejemplos de aplicación para STI, de forma no limitativa, se indican los siguientes:

- Prevención de colisiones
- Activación de dispositivos de emergencia
- Sistemas automatizados en carretera

- Detección y gestión de accidentes
- Gestión de espacios de estacionamiento
- Información de ruta al conductor
- Gestión de transporte público
- Control y seguimiento de seguridad del vehículo
- Seguridad de tránsito
- Gestión de vehículos de socorro
- Servicios de pago electrónico

Caracterización técnica de los STI.

Por lo que respecta al estándar del IEEE, el primer estándar se publicó en 2002 y se denominó IEEE 802.11p Acceso Inalámbrico en Ambientes Vehiculares (WAVE, por sus siglas en inglés, *Wireless Access in Vehicular Environments*)

El estándar IEEE 802.11p es una enmienda al estándar IEEE 802.11 (base de los sistemas comercializados como Wi-Fi) para admitir aplicaciones de STI, el cual incluye el intercambio de datos entre vehículos de alta velocidad y entre los vehículos y la infraestructura de la carretera en la banda 5850–5925 MHz. A su vez, 802.11p es la base para las comunicaciones dedicadas de corto alcance (DSRC), un proyecto para redes de comunicaciones basadas en vehículos, particularmente para aplicaciones tales como cobro de peajes, servicios de seguridad vehicular y transacciones comerciales a través de automóviles.

Respecto a DSRC, este servicio incluye comunicaciones de V2V y de V2I, lo que ayuda a proteger la seguridad del público que viaja o se desplaza en vehículos. Tiene el potencial de advertir a los conductores de una condición o evento peligroso inminente para tomar acciones correctivas o evasivas. Adicionalmente, las comunicaciones V2X vía DSRC cubren escenarios como advertencias de colisión, pago de peaje, estacionamiento y alertas de límite de velocidad, más allá de las aplicaciones de sensores limitados por la línea de visión.

El equipo del servicio DSRC comprende unidades a bordo (OBU) y unidades de carretera (RSU). Una OBU es un transceptor que normalmente se monta en un vehículo o, en algunos casos, puede ser una unidad portátil. Una RSU es un transceptor que se monta a lo largo de una carretera o un pasillo peatonal. Una RSU también puede montarse en un vehículo o llevarse a mano, pero solo puede funcionar cuando el vehículo o la unidad de mano están estacionados. Una RSU transmite datos a OBU o intercambia datos con OBU en su zona de comunicaciones. Las propiedades funcionales del estándar 802.11p incluyen comunicaciones de corto alcance, a menos de 1 km, baja latencia, con una alta confiabilidad lo que propicia la interoperabilidad.

En lo tocante al estándar para V2X realizado por el 3GPP, este se denominó C-V2X y por primera vez se incluyó en el *Release 14* en 2014. Debido a que las aplicaciones de C-V2X se basan en las funcionalidades de LTE, el alcance de las aplicaciones

admitidas por C-V2X incluye tanto la comunicación directa (V2V, V2I) como la comunicación de red celular de área amplia (V2N), de lo anterior es que comúnmente se denomina LTE-V2X.

En el *Release 15*, el 3GPP continuó su estandarización C-V2X para basarse en 5G. Las especificaciones se publicaron en 2018 y el término empleado en esta versión fue el de 5G-V2X, en contraste con LTE-V2X. En cualquier caso, C-V2X es la terminología genérica que se refiere a la tecnología V2X que utiliza la tecnología celular independientemente de la generación específica de tecnología.²⁵

En el *Release 16*, el 3GPP mejora aún más la funcionalidad C-V2X. El trabajo está actualmente en curso. De esta manera, C-V2X está intrínsecamente preparado para el futuro al admitir la ruta de migración a 5G.

La solución C-V2X brinda la posibilidad de proteger a otros tipos de usuarios en la vía vehicular (por ejemplo, peatones y ciclistas) al tener una interfaz para integrarse en los teléfonos inteligentes, integrando de manera efectiva a esos usuarios de la carretera en la solución STI celular general.

Los ITS y su relación con tecnologías 5G.

Como se ha mencionado, el ecosistema 5G se cruza de manera vertical con el ecosistema STI, ya que los casos de uso de la tecnología 5G se encuentran directamente relacionados con los STI.

Como sabemos, los servicios móviles de quinta generación son completamente diferentes a los servicios actuales de tercera y cuarta generación, estos contemplan novedosos casos de uso como: comunicaciones de gran fiabilidad y baja latencia (URLLC, *Ultra Reliable Low Latency Communications*), banda ancha móvil mejorada (eMBB, *Enhanced Mobile Broadband*), así como comunicaciones masivas tipo máquina (mMTC, *Massive Machine Type Communications*)²⁶.

²⁵Consultable en el sitio del 3GPP: <https://www.3gpp.org/v2x>

²⁶ Más información sobre el tema se encuentra disponible en la Recomendación "UIT-R M.2083-0 IMT Vision - Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond", disponible para consulta en: <https://www.itu.int/rec/R-REC-M.2083-0-201509-1/es>

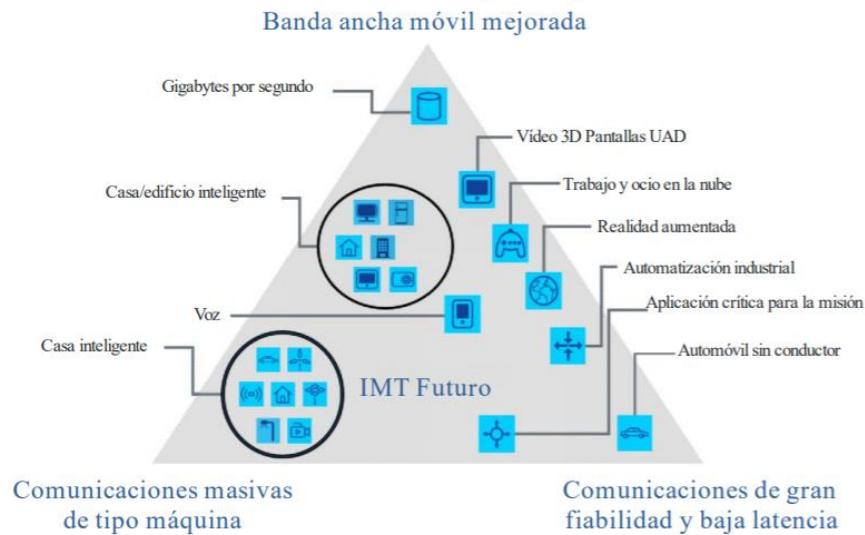


Ilustración 4. Casos de uso de IMT proyectados para 2020 en adelante²⁷

Así, los STI caben perfectamente en todos los casos de uso de 5G: URLLC, para gestión de la seguridad del vehículo, como por ejemplo en casos de conducción autónoma; eMBB, para aplicaciones de audio y video, ya sea para fines lúdicos y de entrenamiento, o para la gestión autónoma de aparcamiento; y mMTC para casos de administración de flotillas y productos en movimiento a bordo de vehículos de carga.

Espectro radioeléctrico para STI.

Dado que el espectro radioeléctrico es un recurso extremadamente escaso y de un valor estratégico sin precedentes, requiere de técnicas innovadoras para su gestión y administración. En este sentido, se debe optimizar la gestión y planificación del espectro radioeléctrico en el país y así, facilitar que los diversos servicios y/o aplicaciones puedan prestarse de manera óptima en beneficio del usuario. No obstante, no todas las bandas de frecuencias que utilizan sistemas de radiocomunicaciones se pueden asignar de manera personalizada, como en el caso de los sistemas que se utilizan para el funcionamiento de los STI.

De esta manera, los STI usualmente operan en diversas bandas de frecuencias bajo el esquema de clasificación como espectro libre o sin licencia, debido a que los niveles de potencia de transmisión de las señales son relativamente bajos.

²⁷ UIT-R, 2015, M.2083: IMT Vision - "Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond". Disponible para consulta en: <https://www.itu.int/rec/R-REC-M.2083-0-201509-1/es> (aprobada el 29-sep-2015)

Conclusiones

El espectro radioeléctrico toma particular relevancia para la implementación de sistemas de transporte inteligente, ya que hace uso de tecnologías inalámbricas que pueden coadyuvar en la operación y el funcionamiento de vehículos, así como en facilitar y hacer más cómodo y seguro el transporte para los usuarios finales.

Es así que existen diversas tecnologías inalámbricas, por medio de las cuales se puede satisfacer la creciente demanda de STI que tiene el sector automotriz, ya que plantean traer beneficios inmediatos a los usuarios, tales como: mayor velocidad, mayor rendimiento, capacidad de respuesta para la demanda de las redes y los miles de dispositivos que estarán conectados simultáneamente, al igual que la factibilidad de su uso en diversos sectores donde la demanda de información o de procesos es primordial.

En particular, se considera oportuno contar con bandas de frecuencias mediante las cuales se puedan implementar STI para las diferentes tecnologías existentes, lo que permitiría que la población pueda acceder a diferentes servicios y aplicaciones, tal es el caso de la banda de frecuencias 5850-5925 MHz, la cual ha adquirido relevancia para la posible provisión de Sistemas de Transporte Inteligente.

Fuentes Consultadas

- 3GPP TR 22.885 v.1.0.0 on LTE support for V2X services (FS_V2XLTE)
<https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=2898>
- 3GPP TR 22.886 v.2.0.0 on Study on Enhancement of 3GPP support for V2X service.
<https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3108>
- 3GPP TR 37.985 Overall description of Radio Access Network (RAN) aspects for Vehicle-to-everything (V2X) based on LTE and NR
<https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3601>
- 3GPP TS 23.286 Application layer support for Vehicle-to-Everything (V2X) services; Functional architecture and information flows
<https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3562>
- 3GPP TS 23.287 Architecture enhancements for 5G System (5GS) to support Vehicle-to-Everything (V2X) services
<https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3578>
- 3GPP TS 36.101 Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception
<https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=2411>
- CCPII-2021-37-5282 Documento informativo sobre el uso de la banda de 5.9 GHz en Estados Unidos para dispositivos sin licencia y sistemas de transporte inteligentes.
- Informe UIT-R M.2228 Radiocomunicaciones de sistemas de transporte inteligentes avanzados (STI).
https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-M.2228-1-2015-PDF-E.pdf
- Informe UIT-R M.2441 Uso emergente del componente terrestre de las telecomunicaciones móviles internacionales (IMT).
https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-M.2441-2018-PDF-E.pdf
- Informe UIT-R M.2444 Ejemplos de disposiciones para despliegues de sistemas de transporte inteligentes en el marco del servicio móvil.
https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-M.2444-2019-PDF-E.pdf
- Recomendación ITU-R M.1452: Radars y sistemas de radiocomunicación de onda milimétrica para evitar accidentes vehiculares en aplicaciones de los STI.
https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.1452-2-201205-!!!PDF-S.pdf
- Recomendación ITU-R M.1453: Sistemas de transporte inteligentes. Comunicaciones dedicadas de corto alcance a 5,8 GHz.
https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.1453-2-200506-!!!PDF-S.pdf
- Recomendación 208 (WRC-19), Armonización de bandas de frecuencia para las aplicaciones de los Sistemas de transporte inteligentes en desarrollo bajo designaciones de servicios móviles, se refiere a la Recomendación ITU-R M.2121: Armonización de bandas de frecuencia para Sistemas de transporte inteligentes en el servicio móvil (2019).

https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.2121-0-201901-!!!PDF-S.pdf

- Recomendación (08) 01 del Comité de Comunicaciones Electrónicas: Utilización de la banda de 5855-5875 MHz para los Sistemas de transporte inteligentes (2008, enmendada en 2020); Recomendación (08) 01 del Comité de Comunicaciones Electrónicas: Uso armonizado de los Sistemas de transporte inteligente (STI) relacionados con la seguridad en la banda de frecuencia de 5875-5935 MHz (2008, enmendada en 2020).

<https://docdb.cept.org/download/798c1836-20c6/REC0801.pdf>

- Recomendación UIT-R M.1890 Objetivos y requisitos operacionales de radiocomunicaciones para sistemas de transporte inteligentes avanzados.

https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.1890-0-201104-S!!PDF-S.pdf

- Recomendación UIT-R M.2084 Normas relativas a la interfaz radioeléctrica de las comunicaciones bidireccionales de vehículo a vehículo y de vehículo a infraestructura para aplicaciones de sistemas de transporte inteligentes.

https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.2084-1-201911-!!!PDF-S.pdf

- Recomendación UIT-R M.2121 Armonización de las bandas de frecuencias para los sistemas de transporte inteligentes en el servicio móvil.

https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.2121-0-201901-!!!PDF-S.pdf