

PROPUESTA DE CLASIFICACIÓN DE CARRETERAS INTELIGENTES

Resumen Ejecutivo

Introducción

En este Proyecto Especial se estudia la viabilidad de un nuevo marco para clasificación inteligente de carreteras. Este marco se basa en las características de la infraestructura física y digital, así como en la capacidad de albergar vehículos autónomos y conectados.

Puesto que la presencia de vehículos autónomos y conectados (Connected and Automated Vehicles, CAVs) va en aumento, se hace necesario explorar un nuevo sistema de clasificación de carreteras inteligentes (Smart Roads Classification, SRC) que pueda proporcionar información a usuarios y vehículos acerca de su grado de adaptación a la conducción autónoma y/o conectada. Un sistema integral de clasificación de carreteras permitiría además una planificación eficiente de las inversiones públicas sobre la infraestructura física (mejorando el funcionamiento de la automatización) y de la infraestructura digital (aumentando los beneficios de la conectividad entre usuarios e infraestructura, V2X). Los usuarios finales estarían informados acerca del nivel de automatización que pueden aplicar en sus vehículos a lo largo de cada segmento viario. De este modo, se espera una red de carreteras más segura, sostenible y cómoda.

Este sistema debería partir de las tecnologías de los actuales sistemas de conectividad y automatización y ser altamente resiliente, de forma que se adapte rápidamente al progreso tecnológico, resultados de investigación y la práctica habitual. Debería ser también compatible con los sistemas de clasificación de carreteras actuales, así como con otros usuarios, entre ellos los vehículos no autónomos. En resumen, el SRC debe cumplir con los siguientes objetivos: lenguaje inteligible; útil; universal; estandarizado; interoperable; robusto; consistente; simple; integrable; dinámico; flexible; y librar de responsabilidad para las administraciones y operadores de carreteras.

Marco de la clasificación de carreteras inteligentes

El modelo SRC se basa en dos parámetros previos: el nivel de servicio para la conducción automatizada (Level of Service for Automated Driving, LOSAD) y el apoyo infraestructural para la conducción automatizada (Infrastructure Support for Automated Driving, ISAD). El primero representa el grado de preparación de la infraestructura para albergar vehículos automatizados. El segundo recoge el apoyo proporcionado a los vehículos conectados.

Nivel de Servicio para la Conducción Automatizada (*Level of Service for Automated Driving, LOSAD*)

Dependiendo de factores geométricos, del entorno, meteorológicos y otros, un segmento de carretera puede estar más o menos preparado para albergar vehículos automatizados. Se proponen cinco niveles, con las siguientes repercusiones sobre estos:

A	El segmento viario es compatible con la práctica totalidad de ODDs. Los vehículos de nivel 4 no precisarán de intervención humana. Los vehículos de nivel 3 podrían presentar desconexiones en muy raras ocasiones, mientras que los de nivel 2 presentarán muy pocas.
B	Las características físicas del segmento son similares al LOSAD A. Sin embargo, algunos aspectos dinámicos, como la meteorología, pueden limitar algunos sistemas de conducción, requiriendo la intervención humana o induciendo algunas desconexiones.
C	El segmento de carretera no es completamente compatible con todos los ODD conocidos. Se recomienda que los conductores activen la asistencia a la conducción, si bien deben prestar atención para reaccionar adecuadamente en caso de cesión del control o desconexión.

D	El segmento de carretera presenta algo de compatibilidad con algunos ODDs. Los conductores de vehículos niveles 3 y 4 pueden activar sus sistemas, siempre atentos a las condiciones del tráfico y de la carretera. No se recomienda que los conductores de vehículos de nivel 2 activen la automatización.
E	El segmento viario prácticamente no presenta compatibilidad con la gran mayoría de sistemas de automatización. Se recomienda que los vehículos circulen en modo manual.
<i>Nota: los factores para determinar el LOSAD se encuentran en la Tabla 2 del Documento.</i>	

Un Dominio de Diseño Operativo (Operational Design Domain, ODD) resume las condiciones operativas para las que está diseñado un sistema de conducción automatizada. Esto incluye (pero no está limitado a) restricciones del entorno, geográficas y del momento del día, así como a la disposición y características de la carretera. En resumen, un sistema automatizado podrá circular de forma autónoma por una sección viaria si esta cumple con determinadas características, recogidas en el ODD. A lo largo de un segmento de carretera, cada vehículo presentará diferentes secciones que cumplirán con sus requisitos de ODD. Aquellas secciones que sean compatibles con los ODD de todos los vehículos podrán, en la práctica, ser recorridas de forma autónoma por todos ellos. Conocer esta información es de gran importancia para las Administraciones y Operadores de Carreteras, ya que podrían trabajar activamente para generalizar la presencia de estas secciones, incrementando la longitud de algunas y adaptando otras. Se propone que estas secciones reciban el nombre de Secciones Viarias Operativas (Operational Road Sections, ORS).

Por último, es importante introducir el concepto de desconexión y cesión del control. Una desconexión tiene lugar cuando un sistema de conducción automatizada no puede continuar con el control del vehículo, dándosele al conductor de forma no planificada. Estos eventos son relativamente comunes en vehículos de nivel 2, y pueden tener lugar incluso en secciones viarias compatibles con su ODD.

Los niveles de conducción 3 y 4 son tecnológicamente mucho más robustos, pudiendo prever cuándo el sistema de conducción debe dar el control al conductor. Gracias a ello, en vez de cederlo, estos sistemas pueden advertir al conductor de una cesión próxima en el tiempo, para que pueda reaccionar. En los vehículos de nivel 3, esto puede ocurrir incluso en las zonas compatibles con su ODD. En cambio, en vehículos de nivel 4 esto únicamente puede tener lugar fuera de las regiones compatibles.

Apoyo de la Infraestructura para la Conducción Automatizada (*Infrastructure Support for Autonomous Driving, ISAD*)

Unas adecuadas conectividad e información digital son clave para compartir información con los vehículos automatizados. El parámetro ISAD puede emplearse para evaluar este aspecto. Al igual que el LOSAD, presenta cinco niveles:

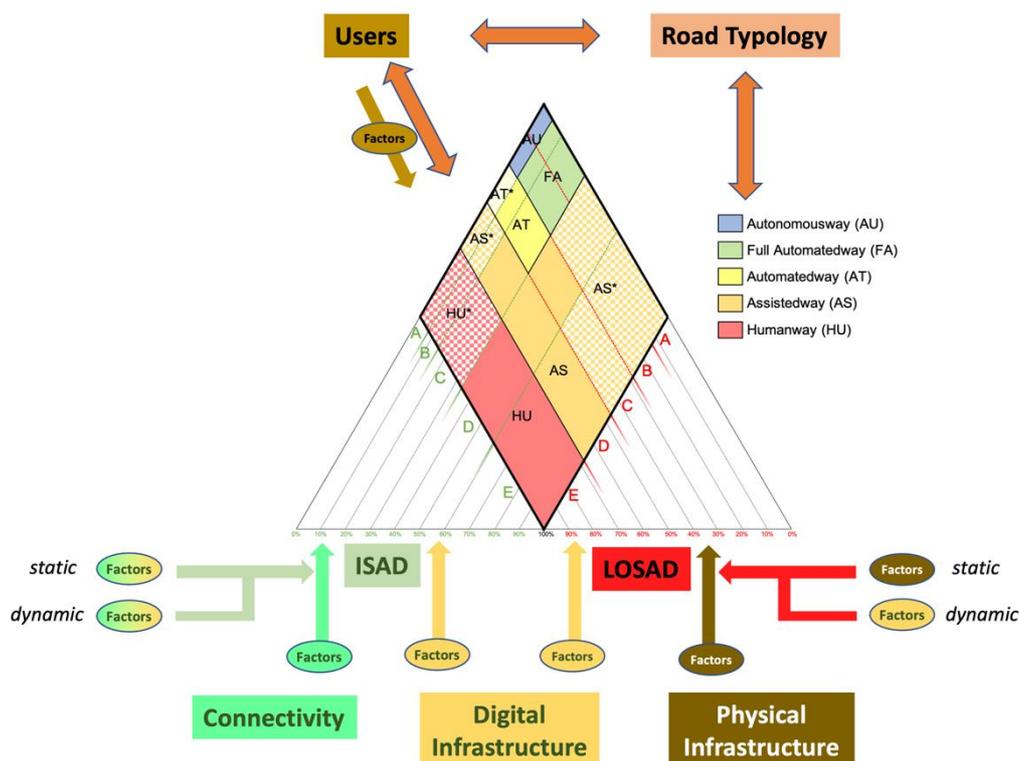
A	El segmento viario permite la conducción cooperativa: la infraestructura puede captar información y dar instrucciones a los vehículos, mejorando la seguridad vial y operación.
B	El segmento viario permite la percepción cooperativa: la infraestructura puede recibir información de los vehículos por medio de V2I sobre condiciones microscópicas del tráfico y de la infraestructura.
C	Hay información digital del segmento viario (como mapas HD). También existe información dinámica, actualizada con regularidad (como señales de tráfico, meteorología, etc.).
D	Hay información digital del segmento viario, pero únicamente de aspectos estáticos (como señales fijas). Esta información no es actualizada en tiempo real.
E	Infraestructura convencional, sin soporte digital.
<i>Nota: los factores para determinar el ISAD se encuentran en la Tabla 3 del Documento.</i>	

Niveles de clasificación de carreteras inteligentes (*Smart Roads Classification Levels, SRC*)

Cada segmento podrá presentar condiciones específicas para albergar vehículos autónomos y conectados, en función de la interacción de sus niveles LOSAD e ISAD. Se proponen cinco niveles, de peor a mejor soporte:

HU	Humanway. El segmento de carretera no permite albergar CAVs, bien por el elevado número de desconexiones y/o la baja capacidad de la infraestructura para compartir información con los vehículos para que estos lo comparen con sus ODDs.
AS	Assistedway. El segmento viario permite de forma razonable la conducción autónoma, si bien esta puede finalizar por diversos factores (no de forma tan frecuente como en los tramos HU). Así pues, los conductores de vehículos con niveles 1 a 4 de automatización deben estar atentos a desconexiones y cesiones del control.
AT	Automatedway. El segmento de carretera presenta buenas condiciones de infraestructura física y conectividad, que permiten que el número de desconexiones y cesiones de control sea sensiblemente inferior al de los tramos HU y AS. Los vehículos pueden comparar sus ODD con las condiciones viarias gracias a la información digital que reciben, de tal modo que la mayoría de cesiones de control (niveles 3 y 4) son planificadas.
FA	Full Automatedway. El segmento de carretera presenta un ORS único, garantizando la compatibilidad con la gran mayoría de vehículos de niveles 3 y 4. La información digital se comparte, de tal modo que estos pueden planificar las cesiones de control. Esto permite alcanzar experiencia para el usuario libre de desconexiones. Los usuarios de vehículos de nivel 2 experimentarían un muy bajo número de desconexiones.
AU	Autonomousway. Segmento con propiedades similares al FA, si bien la infraestructura digital también permite conducción cooperativa. De este modo, la infraestructura puede recibir y enviar información particularizada a cada vehículo, con gran mejora en el comportamiento del tráfico. Este nivel es exclusivo para CAVs de niveles 4 y 5, pudiendo ser aplicado a carriles individuales y no la infraestructura completa.

La siguiente figura clarifica cómo se obtienen los niveles SRC en función de los valores de LOSAD e ISAD. Existen algunas pequeñas diferencias dentro de cada nivel SRC, pero sin afectar significativamente las propiedades generales. Las combinaciones LOSAD/ISAD con un patrón más claro no se recomiendan. El sistema se muestra en forma romboidal con el objetivo de clarificar que un segmento de carretera seguiría un camino ascendente para mejorar sus propiedades inteligentes.



Nota: para facilitar la aplicación del sistema por Administraciones y Operadores de carreteras, así como la interpretación por los fabricantes de vehículos, existen también unas tablas detalladas de todos los factores que conforman cada nivel de SRC, explicitando los factores detrás del LOSAD e ISAD. Esta forma de proceder se conoce como **sistema de clasificación detallado** (Tablas 7 a 11 en el Documento).

Posibles aplicaciones

Existen múltiples aplicaciones del marco del SRC, bien por sí solo, o combinado con otros sistemas de clasificación. Se espera que en un futuro cercano cambie muy significativamente la capacidad de conectividad de los vehículos, así como su interacción con otros vehículos y la infraestructura. Todo ello permitirá la aparición de nuevos servicios y partes interesadas. Algunas de estas posibles aplicaciones se detallan a continuación, si bien muchas otras irán apareciendo con el tiempo. Precisamente, la intención del Cuestionario 3 es recoger información de estos posibles nuevos usos.

Administraciones y Operadores de Carreteras

Existe en la actualidad una gran variedad en el modo en que Administraciones de carreteras (AC) y operadores (OC) actúan sobre el transporte por carretera. Básicamente, los roles pueden agruparse en dos áreas principales:

- **Planificación e inversión.** En esta área, administraciones y operadores podrían ser responsables de establecer el nivel SRC de los segmentos de carretera, bien mediante LOSAD/ISAD, o a través del sistema de clasificación detallado. Con ello, se podrían planificar las inversiones de modo que se maximizase la cantidad de usuarios beneficiados por mejores niveles SRC.
- **Gestión.** Los operadores serían los responsables de monitorizar la operación de los vehículos en las redes de carreteras que controlan. En conjunto con las administraciones, también podrían establecer cuáles son los umbrales adecuados para los factores dinámicos de cada nivel SRC.

Estas decisiones son extremadamente dependientes de la información proporcionada por los fabricantes de vehículos (como los ODD explícitos o las desconexiones). Esta información no es pública

(o no existe) a día de hoy, por lo que la aplicación del SRC por administraciones y operadores viarios cambia dependiendo del horizonte temporal, tal y como se detalla a continuación.

Corto plazo

En la actualidad no existen sistemas de conducción automatizada de niveles 4 y 5 (el nivel 3 comienza a aparecer). Los factores relacionados con la infraestructura digital y la conectividad se encuentran, además, en un estado de desarrollo poco maduro. Así pues, los niveles **AT**, **FA** y **AU** carecen de sentido. Así pues, las administraciones viarias deberían únicamente centrarse en determinar e indicar físicamente cuáles son los segmentos de nivel **AS**. Esto permitiría que los usuarios de vehículos de niveles 2 y 3 pudieran saber mejor que ahora cuándo activar la asistencia a la conducción. Los umbrales para delimitarlos deberían obtenerse de estudios científicos, puesto que los ODD explícitos e información sobre desconexiones no se prevé que esté disponible en breve.

Medio y largo plazo

En el medio y largo plazo, sí se prevé contar con información de desconexiones y/o ODD explícitos. Con ello, investigadores, administraciones y operadores podrían establecer con una base sólida cuáles son los umbrales recomendables para cada nivel SRC.

Los parámetros LOSAD e ISAD podrían ser también utilizados por administraciones y operadores para determinar de forma automática el soporte de su red viaria a los CAVs (por ejemplo, utilizando GIS). Esto sería una buena herramienta para la toma de decisiones, acerca de dónde y cuándo optimizar el beneficio de las inversiones.

Cuando los vehículos de nivel 4 sean una realidad (aunque sea para condiciones muy específicas), administraciones y operadores estarían en disposición de decidir la distribución adecuada de segmentos **FA** y **AU**.

La operación del tráfico y la monitorización de la seguridad vial tendrán una gran importancia, ofreciendo información valiosa del impacto de los diferentes niveles de SRC. Esto podrá utilizarse también para decisiones de planificación, o también en la gestión para cambiar el nivel SRC de un segmento viario.

Se han propuesto algunos indicadores de funcionalidad (Key Performance Indicators, KPIs), que permiten conocer el estado de la red en un determinado momento, así como tomar decisiones estratégicas. Los KPIs también pueden emplearse para ver la evolución smart de una red viaria, o comparar con las redes de otros países o regiones.

Usuarios

Los usuarios son el objetivo prioritario del sistema SRC. El objetivo, de hecho, es que estos puedan recibir información muy clara sobre si deben activar o no el sistema automatizado. Al igual que anteriormente, su relación con el SRC variará según el horizonte temporal:

Corto plazo

Actualmente, muchos usuarios no están todavía familiarizados con los vehículos automatizados (algunos, incluso pueden ser reacios). Sin el SRC, los conductores de vehículos de niveles 2 y 3 están utilizando estas asistencias a la conducción con una variabilidad muy alta en el resultado obtenido. Si bien la automatización está generalmente funcionando bien en carreteras de altas prestaciones (el usuario debe estar siempre atento, no obstante), en otras carreteras la experiencia está repleta de desconexiones y por lo tanto no es agradable.

Esta situación se prevé que cambie indicando qué segmentos cumplen con las restricciones **AS**. Se informaría físicamente a los conductores acerca de cuándo se recomienda activar la automatización (siempre se recordaría acerca de la necesidad de estar atento a la conducción, puesto que las desconexiones no dejan de existir). Esto ayudaría enormemente en aumentar la seguridad vial y la aceptación por los usuarios.

Medio y largo plazo

Más adelante en el tiempo, existirán indicaciones físicas y digitales para cada nivel SRC. Los conductores de niveles 2 y 3 deberían estar siempre atentos a la carretera y el tráfico para reaccionar a las desconexiones y cesiones. Los vehículos de nivel 4 podrían operar de forma plenamente autónoma al entrar en segmentos **FA** y **AU**, y experimentar muy pocas cesiones de control o desconexiones en segmentos **AS** y **AT**.

Fabricantes de vehículos

A día de hoy, la inversión por parte de fabricantes en la investigación de sistemas de automatización es enorme. El objetivo básico es maximizar en qué entornos pueden operar estos sistemas. Sin embargo, falta todavía regulación específica sobre este funcionamiento. Si bien los sistemas de conducción de nivel 2 sí pueden basarse principalmente en la información captada por los sensores, niveles más altos requerirían información adicional sobre la carretera, entorno, emplazamientos seguros, etc., para compararlos con sus ODD. Esto es especialmente importante en el caso de los vehículos de nivel 3, para los que la información digital de la carretera puede suponer un tiempo extra muy importante para el conductor a la hora de responder a las solicitudes de toma de control.

Debería por lo tanto establecerse una estrecha colaboración entre fabricantes de vehículos, infraestructura viaria y los proveedores de conectividad, detallando claramente qué información es necesaria para que los vehículos amplíen sus ODD. Una taxonomía ODD abierta y completa ayudaría a los fabricantes de vehículos a expresar sus condiciones operativas, siendo esta la base de las ORS. Esta importancia puede verse muy claramente en segmentos **AU** y en intersecciones optimizadas por conectividad.

Otros agentes implicados

En el futuro aparecerán nuevas oportunidades de negocio en torno a la conducción autónoma, tanto privadas como públicas. Los proveedores de mapas HD, por ejemplo, podrían comparar las características particulares de las carreteras con el ODD de cada vehículo, proporcionando información particularizada para conductores y CAVs, o previendo desconexiones con más antelación.

Empleando los sensores de los vehículos y la conectividad, también puede recopilarse información sobre el pavimento y el tráfico a administraciones y operadores viarios, o bien a Centros de Gestión del Tráfico, todo ello con múltiples posibles usos (como ayuda al mantenimiento de la red, explotación, información a los usuarios sobre eventos, etc.).

Conclusiones

A medida que los vehículos autónomos aumentan en el parque automovilístico, se hace necesario regular su interacción con la infraestructura. Por un lado, los conductores de vehículos de bajo nivel de automatización deberían tener indicaciones claras sobre dónde pueden activar sus sistemas de forma fiable. Por otro, niveles de automatización más altos resultarían tremendamente beneficiados de información digital proveniente de la infraestructura y el entorno, complementando aquello que sí pueden percibir por medio de los sensores del vehículo. Esto sería especialmente beneficioso para una generalización segura y rápida de vehículos de nivel 4.

En ambas situaciones, un marco de clasificación de carreteras inteligentes podría ayudar a todas las partes interesadas, así como a los usuarios, a conocer qué pueden proporcionar y qué pueden esperar de la infraestructura. El marco que se presenta está lejos de ser plenamente detallado, pues es algo que vendrá en el futuro a medida que la tecnología evoluciona, se definen estándares, se adapta la infraestructura, se extiende la conectividad y los usuarios se familiarizan con los vehículos autónomos y conectados.