

# Hacia un sistema preventivo del exceso de velocidad

José M. de Fuentes, A.I. González-Tablas, A. Ribagorda

**Resumen**—La mortalidad por accidentes de tráfico sigue siendo un problema, aún a pesar de las múltiples medidas que se han propuesto a lo largo del tiempo. Una de las principales causas de los accidentes es el exceso de velocidad, aspecto que puede ser abordado utilizando medios telemáticos. En este trabajo se presenta el Sistema de Asistencia-Denuncia (SAD), cuya finalidad es promover la circulación de vehículos a velocidad adecuada mediante la información al conductor de dicha velocidad y la denuncia de aquellos conductores que incumplan los límites establecidos.

**Palabras clave**—Tecnologías de la Información, exceso de velocidad, seguridad vial.

## I. INTRODUCCIÓN

EL transporte de personas y mercancías mediante vehículos constituye, hoy en día, un elemento fundamental en el desarrollo diario de las actividades humanas. Por este motivo, todos los componentes relacionados con la materia han sufrido un extraordinario progreso. Se ha mejorado sustancialmente el diseño y trazado de las vías, así como su pavimentación y los elementos de señalización estática y variable. Los vehículos, además, disponen de mejores prestaciones (cilindrada, eficiencia de consumo, etc.) y un diseño cada vez más vanguardista. En cuanto a la seguridad del vehículo, las innovaciones son numerosas y relevantes. Los elementos mecánicos son cada vez más fiables (tecnologías de frenado ABS, estabilizadores ESP, etc.). Además, se dispone de más elementos que minimicen las consecuencias de un eventual impacto (cinturones de seguridad y airbags, entre otros).

Sin embargo, a pesar de todos los citados avances, en España los accidentes de tráfico continúan siendo numerosos (99.797 accidentes en 2006) y, con demasiada frecuencia, conllevan el fallecimiento de los involucrados (4.104 fallecidos en 2006, entre conductores, pasajeros y viandantes). Los principales factores concurrentes en los accidentes son el consumo de alcohol (presente en un 28,8 % de los conductores fallecidos), la distracción (21 % de los accidentes) y el exceso de velocidad (15 % de los accidentes) [1].

Para prevenir los accidentes, la Dirección General de Tráfico dispone cada vez más controles para verificar la presencia de alguno de estos factores y, en general, para promover el cumplimiento de los preceptos del reglamento de circulación. Sin embargo, y a pesar de la señalada incidencia de estos factores en los accidentes, son pocos los casos en los que dichos controles los detectan. Así, 2,47 % de los conductores controlados dieron positivo en el test de alcoholemia y sólo un 2,88 % de vehículos controlados circulaban con velocidad excesiva.

Grupo de Seguridad en las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, Departamento de Informática, Universidad Carlos III de Madrid Avenida de la Universidad, 30, 28911 Leganés (Madrid) e-mail: [jfuentes, aigonzal, arturo]@inf.uc3m.es

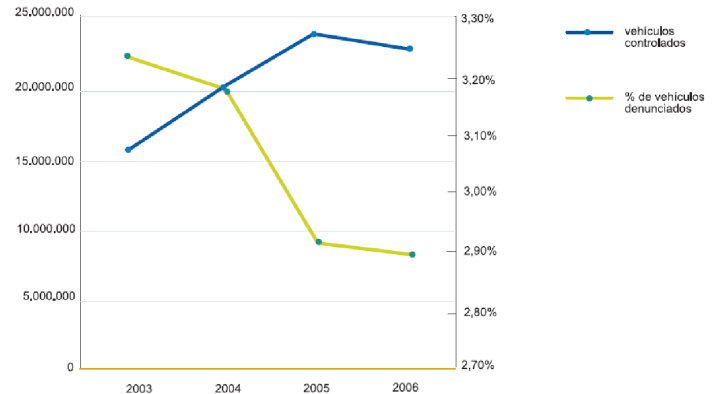


Fig. 1. Efectividad de los controles de velocidad en España (tomada de [1])

Los controles de velocidad basados en radares presentan, además, una complicación adicional. La generalización de los navegadores GPS que conocen la ubicación de dichos radares facilita que dichos controles puntuales sean evitados. La Figura 1 muestra gráficamente esta tendencia para los controles de velocidad. En ella se observa que a pesar de un incremento progresivo de los controles, el número de vehículos denunciados desciende cada año. En realidad, el problema radica en que dichos controles tienen cada vez menos efectividad, mientras que la velocidad sigue siendo un importante factor de ocurrencia de accidentes.

Los factores señalados son consecuencia de una actitud irresponsable por parte de los conductores que, en primera instancia, debe ser abordada mediante campañas de concienciación. Además de esta iniciativa, deben determinarse formas más efectivas para prevenirlos. El ideal sería conseguir erradicar estos factores inmediatamente después de su aparición. En lo referente a la prevención del consumo excesivo de alcohol y de las distracciones, no se han planteado alternativas técnicas que eviten que dichos conductores utilicen un vehículo. Por ello, actualmente no existe otra forma que el incremento del número de controles puntuales por parte de los Agentes.

Sin embargo, el control de velocidad puede realizarse por medios telemáticos de forma más fiable y continuada. La velocidad es una variable física que puede medirse tanto desde el propio vehículo como desde el exterior, a través de cinemómetros (radares). Además, los vehículos incluyen cada vez más equipamiento dedicado a las telecomunicaciones. Es posible, por tanto, plantearse la introducción de distintas medidas que, haciendo uso de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC), contribuyan a resolver el problema.

Como punto de partida, debe destacarse el éxito previo de

las TIC en distintas aplicaciones de control y prevención. Es el caso, por ejemplo, del control de acceso a recintos o la prevención de acercamiento de los maltratadores a sus víctimas [2]. De hecho, debe notarse que el exceso de velocidad se podría abordar de la misma manera: en estas aplicaciones se detecta un *evento anómalo* (acceso indebido, acercamiento excesivo, velocidad inadecuada) y se comunica al *organismo controlador* (generalmente, las Fuerzas y Cuerpos de Seguridad) e incluso a los implicados.

La utilización de las TIC permite abordar el exceso de velocidad desde una nueva perspectiva. La comunicación directa con el vehículo hace posible ayudar al conductor a mantener una velocidad adecuada, detectar el exceso de velocidad en el momento en que se produzca, y comunicarlo al centro de control tan pronto como sea posible. Esto permite que se desencadenen las medidas sancionadoras oportunas con una mayor rapidez, lo que incrementa su efectividad.

En este trabajo se aborda la forma en que las TIC podrían contribuir a prevenir el exceso de velocidad. Para ello se propone el Sistema de Asistencia-Denuncia (SAD), del cual se presenta su modelo teórico (MAD, Modelo de Asistencia-Denuncia) y una arquitectura funcional derivada de éste. Además, dado que las actuaciones previstas del SAD pueden tener repercusiones administrativas y penales, es muy importante garantizar la integridad y disponibilidad de las informaciones y los sistemas en juego. Por otro lado, puesto que el funcionamiento habitual del SAD conlleva el tratamiento de las identidades del vehículo e, incluso, del conductor, será necesario garantizar la privacidad de dichos datos. Por estos motivos, se estudian detenidamente los retos de seguridad que se plantean.

El resto del documento se estructura como sigue. En la Sección II se expone el Modelo de Asistencia-Denuncia (MAD), describiendo sus fundamentos, sus principales funciones y las necesidades de seguridad que plantea. La Sección III expone la arquitectura funcional derivada del MAD. Para cada uno de los componentes se describe su responsabilidad y se plantean las distintas formas de implementarlo (ubicación, tecnologías, etc.). La Sección IV muestra los trabajos e iniciativas previas más relevantes que han abordado la prevención del exceso de velocidad. Finalmente, la Sección V muestra las principales conclusiones extraídas del trabajo y las líneas futuras que se pueden plantear a la vista del mismo.

## II. MODELO PRELIMINAR PARA LA PREVENCIÓN DEL EXCESO DE VELOCIDAD

### A. Fundamentos

El exceso de velocidad se produce cuando un vehículo circula a una velocidad mayor de la máxima permitida. En España, estos límites se determinan en función del tipo de vía, del vehículo y del conductor (novel o no), según se establece en la Ley de Tráfico vigente [3]. En zonas de obras, residenciales o bajo condiciones climatológicas adversas, se anuncian (en señalización circunstancial o paneles luminosos) límites máximos de velocidad inferiores a los establecidos en dicha Ley.

Las mejoras en los vehículos y en las vías que se han producido en los últimos años no han ocasionado, sin embargo, un aumento en los citados límites de velocidad. De esta manera, los conductores circulan normalmente a velocidades cercanas al límite máximo establecido. La superación de este límite no se percibe como una amenaza para la seguridad vial, tal y como reflejan las cifras de siniestralidad. Y lo que es más, gran parte de la sociedad interpreta los límites máximos de velocidad como un artificio meramente recaudatorio. La presencia del exceso de velocidad, junto con la escasa efectividad de los controles, reflejan el fracaso de la filosofía estrictamente punitiva con la que se ha abordado el problema hasta el momento. Además, algunos juristas incluso cuestionan que dichas sanciones se ajusten al principio de proporcionalidad establecido en la legislación [4].

Los conductores, por su parte, tratan de circular a la mayor velocidad posible para llegar lo antes posible a su destino. Sin embargo, este comportamiento origina que se produzcan puntos de congestión en las carreteras [5]. Este fenómeno, además, agrava el problema, pues los conductores tratan de acelerar tanto como les sea posible para recuperar el tiempo perdido.

Para contribuir a la prevención del problema es preciso, por tanto, introducir el concepto de *velocidad adecuada a cada tramo* (VAT) y promover una *actitud de respeto* a dicha velocidad. Además de esto, debe perseguirse con firmeza a los que sobrepasen el límite establecido. Para ello se deberán emitir las correspondientes *denuncias* que tengan efectos administrativos e incluso penales. Estos tres conceptos conforman las bases del Modelo de Asistencia-Denuncia (MAD), que constituye el sustento teórico del Sistema de Asistencia-Denuncia (SAD). La Figura 2 muestra gráficamente la integración de estos tres conceptos.

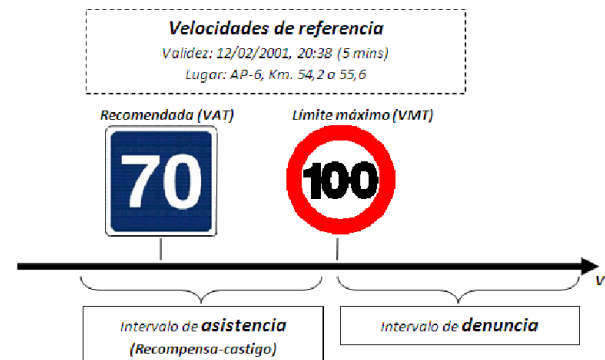


Fig. 2. Fundamentos para la prevención del exceso de velocidad

Para cada uno de los tramos de la vía, se debe establecer dos *velocidades de referencia*: la VAT y la velocidad máxima del tramo (VMT). A diferencia de las velocidades recomendada y límite actualmente establecidas, ambas cantidades deberían calcularse dinámicamente tomando en consideración las circunstancias instantáneas del tráfico: nivel de congestión, proximidad de accidentes, climatología, situaciones especiales de tráfico (por ejemplo, grandes aglomeraciones en centros comerciales durante Navidades), etc. La categorización de

velocidades propuesta por el proyecto SpeedAlert [6] podría servir de base para la realización práctica de estos cálculos.

La introducción de la VAT permitiría promover una *actitud de respeto* por parte de los conductores. En efecto, el hecho de que varíe en función de las circunstancias reales (y no teóricas) de circulación lo convierte en un elemento con significado real y permanente.

Para que dicho respeto sea posible, el vehículo (y probablemente también el conductor) deberá conocer en todo momento cuáles son las velocidades de referencia. Debido a la naturaleza cambiante de estas velocidades, deberán anunciarse de forma permanente por medios telemáticos (al vehículo) y visuales (al conductor).

Además de lo anterior, es preciso incorporar elementos que predispongan a los conductores a respetar la VAT, más allá de sólo evitar la sanción económica. Desde el punto de vista psicológico, el sistema de premios y castigos (“*ley del efecto*”, [7]) ha demostrado, históricamente, su efectividad. El acceso a Internet a mayor velocidad, la descarga de contenidos multimedia para los pasajeros o la reducción de tasas de peaje son ejemplos de las posibles recompensas que se podrían disponer para que los conductores se mantuvieran fieles a la VAT durante un período razonable de tiempo. De la misma manera, aquellos que no se ajustaran a dicha VAT podrían ser castigados con la restricción de acceso a recintos de interés, la eliminación de servicios de valor añadido, etc.

No obstante, además del respeto a la VAT, continua siendo necesario perseguir a aquellos que sobrepasen la VMT. Esta superación constituye un riesgo para la seguridad vial, por lo que debería ser causa de denuncia administrativa (teniendo, en su caso, consecuencias penales) como ocurre en la actualidad. Utilizando los medios telemáticos que son necesarios para la difusión de las velocidades de referencia, es posible automatizar el proceso de denuncia.

### B. Descomposición funcional del modelo

Para acometer las funciones descritas, el MAD se ha dividido en cuatro grandes bloques de funcionalidad: *cálculo de velocidades de referencia, asistencia, denuncia y supervisión*. La Figura 3 refleja la relación entre las funciones.

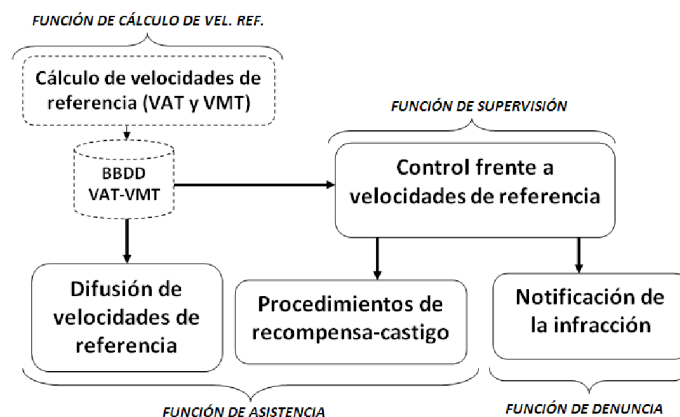


Fig. 3. Esquema funcional del Modelo de Asistencia-Denuncia (MAD)

1) *Función de cálculo de velocidades de referencia*: El MAD contempla la existencia de una fuente de almacenamiento que contiene las *velocidades de referencia* (VAT y VMT) para cada tramo de la red viaria. Dichas velocidades deben actualizarse de forma frecuente según las circunstancias del tráfico. Este cálculo constituye una labor compleja, siendo sus principales dificultades:

- *Fuente inicial de la estimación (velocidad base)*: La VAT podría establecerse tomando como base una velocidad recomendada estándar. En España podría escogerse la velocidad recomendada como base para el cálculo (en el caso de que existiera). Por otro lado, la velocidad límite podría calcularse como un incremento porcentual de la VAT. Este porcentaje podría ser distinto según el tipo de vía.
- *Definición de “tramo”*: Debe establecerse cuál es la longitud del tramo al que aplican las velocidades de referencia. Dicho tramo puede depender del tipo de vía (autopista, carretera comarcal, etc.) e incluso variar entre vías de la misma categoría (por ejemplo, por la diferente complejidad de los trazados).
- *Catálogo de los factores incidentes*: Existen muchos posibles descriptores de la situación del tráfico que pueden considerarse. Por ejemplo, el estado de la climatología, la hora solar (que afecta a la visibilidad), la accidentalidad reciente del tramo (en los últimos meses), los accidentes ocurridos el mismo día en la vía o en otras cercanas, el día del mes (teóricamente hay más tráfico a principio de mes), el período del año (si es verano o no) o la existencia de eventos especiales (eventos deportivos, compras navideñas, etc.).
- *Ponderación de la incidencia del factor*: Cada uno de los factores anteriormente descritos influye de forma distinta en el comportamiento del tráfico, por lo que cada uno debe ponderarse.
- *Vigencia de las velocidades de referencia*: El cálculo debe realizarse con una frecuencia acorde al cambio de los factores que les afectan.

El cálculo de las velocidades de referencia (y sus actualizaciones) tienen implicaciones sobre la seguridad vial. Por este motivo, esta labor debe ser acometida por las Autoridades competentes en materia de tráfico y seguridad vial.

2) *Función de asistencia*: La función de asistencia tiene dos responsabilidades principales: difundir las velocidades de referencia hasta el conductor y aplicar las medidas educativas que promuevan su respeto. La *difusión de las velocidades de referencia*, se encarga de que los vehículos (y sus conductores) conozcan en todo momento la VAT y la VMT.

Por otra parte, esta función aplicará (según indique la función de supervisión) las medidas de recompensa o castigo (*medidas asistenciales*) que correspondan a un vehículo según si respeta o no la VAT. Dado que estas medidas pueden tener efecto sobre otros servicios ofrecidos al vehículo (acceso a Internet, pago de peajes, pagos en estaciones de servicio, etc.), para aplicar estas medidas será necesario contactar con el resto de servicios. Además, deberá informarse al vehículo de la aplicación de la medida, para que el conductor sea consciente de su situación respecto a las recomendaciones.

3) *Función de supervisión:* Esta función se encarga de monitorizar constantemente la velocidad actual del vehículo y compararla con las velocidades de referencia. Si la velocidad se encuentra cerca de la VAT, se iniciarán medidas asistenciales de recompensa. Si está lejos de la VAT pero por debajo de la VMT, se iniciarán medidas asistenciales de castigo. Finalmente, si la velocidad supera la VMT, se iniciará el proceso de denuncia. Las medidas asistenciales pueden revertirse en función del comportamiento del conductor. Si el vehículo, tras sobrepasar la VAT, adecua la velocidad hasta ajustarse a esa cantidad, verá eliminadas las medidas de castigo y, progresivamente, será recompensado. Por el contrario, el proceso de denuncia no puede ser revertido.

Esta funcionalidad toma las decisiones según el comportamiento de un vehículo (en movimiento) a lo largo del tiempo. Esto exige que las medidas de velocidad obtenidas en distintas situaciones espacio-temporales sean *enlazables* entre sí, conformando un perfil de comportamiento.

4) *Función de denuncia:* Por otra parte, la función de denuncia entrará en funcionamiento cuando la velocidad del vehículo supere la VMT. En este caso, además de las medidas de castigo correspondientes a la superación de la VAT, tendrá lugar la obtención de los elementos necesarios para cursar la sanción administrativa (o penal) que proceda. Dichos elementos serán la identificación del vehículo, del conductor, de las circunstancias espacio-temporales en que se produce la infracción y los datos específicos que así lo demuestran (velocidad registrada y velocidades de referencia anunciadas). También será necesario identificar los elementos de la infraestructura (radares, elementos de comunicación, etc.) que intervinieron en el proceso, a efectos de una posterior auditoría.

### C. Requisitos de seguridad del MAD

Cada una de estas actuaciones (definir y difundir las velocidades de referencia, promover actitudes de respeto y denunciar los que sobrepasen la VMT) conllevan una innegable responsabilidad legal. La definición de la VAT tiene implicaciones sobre la seguridad vial. Los conductores que sean fieles a dicha velocidad deben poder mantener el control de su vehículo en las circunstancias actuales del tráfico. Se trata por tanto de la velocidad recomendada por la Autoridad, por lo que debe calcularse con las debidas garantías.

El MAD está fuertemente condicionado por las consecuencias legales de su funcionamiento. Por este motivo, para garantizar su viabilidad es preciso dotarlo de las debidas medidas de seguridad. Esta protección afecta tanto a la corrección del funcionamiento (seguridad *lógica*), como a los elementos físicos involucrados (seguridad *física*) y a la información intercambiada (seguridad de la *información*). En el momento actual de la investigación, sólo es posible abordar los requerimientos en materia de la seguridad de la información. La seguridad física y la lógica deberán abordarse durante el diseño e implementación de la arquitectura real. Así pues, en esta sección se abordan las necesidades de seguridad relativas a cada uno de los elementos de información. Dichas necesidades se resumen en la Tabla I y se discuten a continuación.

	Vel. ref.	Vel. vehículo	Ident. vehículo	Ident. conduct.	Denuncia
<b>Integridad</b>	x	x			x
<b>Disponibilidad</b>	x	x	x	x	x
<b>No repudio</b>	R				E
<b>Confidencialidad</b>			x	x	x
<b>Autenticación</b>		x	x	x	x
<b>Auditabilidad</b>	x	x			x

TABLA I  
REQUISITOS DE SEGURIDAD POR ELEMENTO DE INFORMACIÓN

En lo que se refiere a las *velocidades de referencia*, deben ser datos íntegros y altamente disponibles. Dichas velocidades deben almacenarse como “evidencias”, esto es, con las medidas de seguridad necesarias para garantizar que fueron calculadas por la Autoridad (por ejemplo, usando certificación o firma), que eran válidas en un tiempo real determinado (utilizando sellos de tiempo) y proporcionando medios de comprobar su integridad (utilizando firma o funciones resumen). Al difundirlas, debe garantizarse que se transmiten sin modificación y acompañadas de los elementos de información necesarios para comprobar su veracidad. No debe poder repudiarse su recepción, ya que de lo contrario un vehículo podría aducir, para evitar una sanción, que no conocía las velocidades de referencia. Debido a las consecuencias legales derivadas de su cálculo, todo el procedimiento deberá quedar debidamente reflejado para permitir una eventual auditoría de funcionamiento.

Por su parte, la *velocidad del vehículo* debe ser también íntegra y disponible (tantas veces como se requiera medir dicha velocidad). Debe ser un dato auténtico (esto es, que refleje la velocidad real del vehículo en cuestión). Su proceso de obtención debe ser auditable, de forma que existan evidencias de su correcto funcionamiento.

La *identidad del vehículo* y la del *conductor* deben estar disponibles y ser suficientes para autenticar a la entidad a la que se refieren. Deben ser tratados de forma confidencial. Son datos de carácter privado, ya que identifican y/o cualifican de alguna forma a su propietario.

Finalmente, las *denuncias* deben ser íntegras. Su emisión no debe ser repudiable (esto es, que se asegure que fueron emitidas por la Autoridad). Al tratarse de la *evidencia* sobre la que se apoya un proceso administrativo (y/o penal) deberá tratarse de forma altamente confidencial (privada) según la LOPD [8]. Su contenido debe permitir auditar su proceso de generación y los datos sobre los que se apoya.

### III. ARQUITECTURA PRELIMINAR DEL SAD. ESTADO DE LA TECNOLOGÍA

La implementación del SAD es aún una tarea lejana. Antes de acometerla, es preciso refinar el alcance de cada una de las funcionalidades y la forma más conveniente de abordar cada una de ellas. En esta sección se estudian los distintos componentes que contribuyen a resolver las funciones expuestas en el MAD. La Figura 4 refleja los principales elementos que intervendrán en la implementación de la arquitectura resultante, así como el lugar donde podría ubicarse (en el vehículo o en una infraestructura central).



multi-threading utilizando procesadores de altas prestaciones. La comunicación a los postes se deberá efectuar con un alcance suficiente para toda la red de postes, y garantizando su funcionamiento con climatología adversa. A este respecto, podría utilizarse comunicación vía satélite (aunque su viabilidad estará condicionada a las posibilidades de comunicación ofrecidas por el poste). Finalmente, la comunicación poste-vehículo se puede implementar utilizando RFID o estableciendo una red vehicular (VANET).

A priori, en este contexto parece más adecuada la utilización de VANET. Debe destacarse que las VANET serían el instrumento esencial para la provisión de servicios de valor añadido (Internet, multimedia, etc.) a los vehículos. Dentro de las medidas asistenciales del MAD se introdujeron las modificaciones en la calidad de dichos servicios. Por tanto, se podría hacer uso de la misma red que se emplea para dichos servicios, minimizando el coste inicial de despliegue. Además, es destacable el interés científico e investigador que suscitan las VANET. La movilidad de sus nodos, la velocidad de comunicación exigida y la reducida capacidad de computación de sus nodos (los vehículos) las convierten en un tipo especial de red. Es por ello por lo que se diseñan protocolos y tecnologías específicas de comunicación (DSRC [9], CALM [10], etc.) y se crean estándares de seguridad aplicables (IEEE WAVE [11]). Además, algunos aspectos muy explorados en las redes tradicionales cobran especial importancia en las VANET, por las dificultades que plantean. Es el caso, por ejemplo, de la privacidad, sobre la que se han producido numerosas contribuciones [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18]. Las VANET serán tanto más apropiadas para su uso en el SAD a medida que estas contribuciones proporcionen resultados satisfactorios.

2) *Sistema de advertencia del estado*: Este componente situado en el vehículo es el encargado de recibir las velocidades de referencia vigentes para el tramo actual y comprobar su veracidad (origen auténtico, datos íntegros y aplicables al tramo y momento actuales). Además, recibirá también las medidas de asistencia o denuncia que se han aplicado sobre él. Su funcionamiento debe quedar registrado en un almacenamiento confiable. Esto es particularmente necesario para evitar que un conductor pueda alegar que desconocía las velocidades de referencia, y así poder recurrir la aplicación de una medida asistencial de castigo (por ejemplo, incremento de las tasas de peaje) o incluso de una denuncia por exceso de velocidad. Para la implementación de este componente, el elemento tecnológico más significativo actualmente son los sistemas inteligentes de adaptación de la velocidad (ISA, intelligent speed adaptation) [19]. Dichos sistemas utilizan las TIC y los elementos mecánicos de forma combinada.

Los ISA se clasifican en *informativos* y *de apoyo*. Mientras que los primeros sólo informan al conductor de la velocidad límite, los segundos, además, intervienen activamente en la limitación de la velocidad (por ejemplo, frenando el vehículo).

Además de la clasificación anterior, cada uno de esos tipos pueden ser activados de forma *obligatoria* o *voluntaria*. Los ISA se diferencian también en el modo en que reciben la información de la velocidad que recomiendan. Así, se habla de sistemas *autónomos* (información de velocidad-tramo

precargada, p.e. mediante CD), sistemas *dinámicos* (reciben la información desde la infraestructura de comunicación) o sistemas *híbridos* (combinan ambas filosofías anteriores).

Para la implementación de este componente, se podría hacer uso de un ISA informativo de activación obligatoria. En realidad, se debe extender la funcionalidad ofrecida por este tipo de sistemas, ya que se debe anunciar no sólo la velocidad límite, sino también la recomendada y las medidas que se han aplicado sobre el vehículo. No obstante, las tecnologías seleccionadas para la implementación de los ISA pueden ser un punto de partida muy conveniente para la implementación de este componente.

3) *Interfaz de usuario*: La interfaz de usuario es el componente encargado de hacer llegar al conductor toda la información recibida por el sistema de advertencia del estado. Constituye un elemento con entidad propia, ya que la comunicación en el interior de un vehículo presenta unas características muy particulares: no puede ser intrusiva (es decir, afectar negativamente a la tarea de conducción), no debe requerir interacción manual, se produce en un entorno ruidoso y de espacio reducido, etc. Todas estas características hacen que sea necesario investigar para la creación de una interfaz de usuario *segura*. Actualmente existen proyectos de investigación sobre la materia (por ejemplo, SeVeCom [20]) aunque no se ha encontrado ningún resultado significativo al respecto.

4) *Gestor de medidas asistenciales*: El gestor de medidas asistenciales se encarga de aplicar beneficios o castigos a los vehículos que se mantengan fieles (o no) a la VAT. Este componente entra en funcionamiento cuando el monitor-coordinador así lo indique. La aplicación de esas medidas se traduce en mejorar o empeorar la calidad de un servicio ofrecido al coche (Internet, multimedia, etc.), o en las tasas a cobrar (peajes, estaciones de servicio, etc.). Por lo tanto, su funcionamiento se basa en establecer qué servicio debe modificarse y comunicarse con el subsistema externo correspondiente. Este componente debe garantizar que las medidas se aplican inmediatamente después de notificarse. La seguridad en las TIC es también crítica en este componente, pues la aplicación de estas medidas debe realizarse de forma totalmente confidencial y haciendo uso de la mínima cantidad de información sensible para su tramitación.

Este componente puede situarse en la infraestructura o en cada vehículo. Para disponerlo en el vehículo será necesario que exista un módulo de procesamiento confiable. Desde el punto de vista tecnológico, este componente no requiere un procesamiento excesivo. Sin embargo, será crítica la capacidad de comunicación con los subsistemas restantes (servicios a los vehículos, peajes, etc.). Una posible tecnología para implementar esta comunicación son los servicios web, ya que se trata de un diálogo entre aplicaciones. No obstante, deberá asegurarse que la tecnología en uso cubra satisfactoriamente las necesidades de seguridad antes citadas.

5) *Servicios sobre redes vehiculares*: Los servicios sobre redes vehiculares son todas aquellas funcionalidades que se ofrecen a los vehículos y que persiguen incrementar la comodidad tanto del conductor como de los pasajeros. Como ejemplo de los servicios que se ofrecen al conductor, se encuentra la au-

tomatización de las labores de pago de peajes (telepeaje). Esto también podría aplicarse en el futuro al pago en estaciones de servicio, minimizando el tiempo necesario para repostar. Por su parte, los pasajeros se pueden beneficiar, gracias a estos servicios, del acceso a Internet desde el vehículo o de la descarga de contenido multimedia (DAB, DVB, etc.).

La creación y mantenimiento de estos servicios corresponde a las entidades externas que obtengan beneficios a partir de ellos. Por ello, estos servicios quedan fuera del alcance del SAD. No obstante, se requiere que dichos servicios dispongan de una interfaz accesible de comunicación que permita variar (mejorar o empeorar) la calidad del servicio ofrecido. El concepto de variación será distinto en función del tipo de servicio. Así por ejemplo, la mejora de un servicio de descargas supondrá una mayor velocidad de conexión, mientras que en un servicio de telepeaje se traducirá en un decremento de las tasas.

### C. Función de supervisión

La función de supervisión tiene por objeto comprobar las velocidades de los vehículos y decidir si es necesario aplicar alguna medida de asistencia (si no se ajusta a la VAT y no sobrepasa la VMT) o denuncia (si sobrepasa la VMT). Para la realización de esta función existen cuatro componentes en la arquitectura: la infraestructura de almacenamiento de evidencias, el monitor-coordinador, el sistema de medición de la velocidad y el sistema de autenticación del vehículo. La responsabilidad de cada uno de ellos y las alternativas tecnológicas para implementarlo se exponen a continuación.

1) *Infraestructura de almacenamiento (Evidencias)*: En la infraestructura de almacenamiento de evidencias se depositarán todas las pruebas de funcionamiento del SAD. Así, deben registrarse las velocidades de referencia anunciadas para cada tramo, las mediciones de velocidad que dan lugar a alguna actuación y cuál ha sido esa actuación (tipo de asistencia - recompensa, castigo - o denuncia). También deberán anotarse todos los eventos anómalos (por ejemplo, detección de identidades falsas). La seguridad de este componente es esencial para el conjunto del SAD. Todos estos datos tendrán utilidad en un eventual proceso judicial por el que un conductor afectado reclame la aplicación de alguna medida. También serán utilizados en auditorías de verificación del funcionamiento. Para su implementación se deberá utilizar un sistema de almacenamiento masivo de datos que ofrezca las máximas garantías de seguridad física y lógica. A diferencia del almacenamiento de las velocidades de referencia, este sistema no requerirá actualizar los datos contenidos en él, lo que probablemente sea relevante para la elección de la tecnología de implementación final.

2) *Monitor-coordinador*: El monitor-coordinador se encarga de comparar la velocidad de cada vehículo con las velocidades de referencia anunciadas para el tramo y momento actual. Según el resultado de la comparación se ordenará la aplicación de medidas asistenciales o bien se iniciará el procedimiento de denuncia. En cualquiera de los casos, la decisión debe quedar debidamente acreditada en la infraestructura de almacenamiento de evidencias. Los datos manejados por este

componente deben ser íntegros y de origen autorizado. Por este motivo, todos los datos deben disponer de las medidas de seguridad adecuadas.

Este componente puede situarse tanto en la infraestructura del sistema, como en cada uno de los vehículos. Esta última alternativa sería mucho más escalable. No obstante, está supeeditada a la existencia de un módulo de procesamiento confiable en los vehículos.

3) *Sistema de medición de velocidad*: El sistema de medición de la velocidad se encarga de obtener la velocidad actual del vehículo. Dicha velocidad se transmite al monitor-coordinador para que tome las decisiones oportunas. Para ello, junto con la velocidad se envía la identidad del vehículo controlado y un sello de tiempo que acredite el momento de medición. Este componente se puede situar en la infraestructura o en el vehículo. Para que se disponga en el vehículo será necesario que exista un módulo de procesamiento confiable. Además, debe ser posible garantizar la veracidad de la medida obtenida. Para este fin podría utilizarse una versión extendida de un Certificado Espacio-Temporal (CET) [21] que contenga la identidad del vehículo y su velocidad ligada a la situación espacio-temporal, de forma verificable.

Sin embargo, la alternativa inicial más viable sería situarlo en la infraestructura, ya que se podrían utilizar los cinemómetros (radares) actuales. Dichos radares deberían ser modificados ligeramente para obtener telemáticamente la identidad del vehículo (en lugar de la fotografía que se toma en la actualidad) y hacer uso de una fuente fiable de tiempo.

4) *Sistema de autenticación del vehículo*: Este componente contiene la información acerca de la identidad del vehículo y es capaz de autenticarlo (i.e. efectuar cálculos criptográficos para demostrar que es quien dice ser). Dicha autenticación será requerida para ligar su identidad a la medición de velocidad efectuada por el componente correspondiente. Estará situado en el vehículo, para lo que requiere que exista un módulo de procesamiento confiable.

Para la *identificación del vehículo*, actualmente existen dos grandes alternativas: la “matrícula electrónica” (ELP, Electronic License Plate) [12] y el “chasis electrónico” (ECN, Electronic Chassis Number). Además, existe un estándar ISO para la identificación automática de vehículos [22]. En lo referente a su autenticación, Raya et al [23] proponen la creación de una infraestructura de clave pública vehicular (VPKI) en la que exista una jerarquía de autoridades de certificación que coincida con los dominios administrativos. Para dar soporte a la inherente movilidad de los vehículos, todas las autoridades de certificación (al menos, las raíces) deberían estar mutuamente reconocidas.

### D. Función de denuncia

La función de denuncia se encarga de iniciar el procedimiento de sanción administrativa (o penal) que corresponda a la superación de la VMT. Para ello, obtiene todas las evidencias necesarias: velocidad medida, velocidades de referencia, situación espacio-temporal, identidad del conductor, del vehículo y de los elementos de la infraestructura. Utilizando todos ellos, confecciona una evidencia global que apoye la

denuncia. Los componentes arquitectónicos establecidos para este fin son: el emisor de denuncias, el sistema de autenticación del conductor y la infraestructura de procesamiento de denuncias (fuera del SAD). El cometido de cada uno se expone a continuación.

1) *Emisor de denuncias*: Este componente se encarga de confeccionar la prueba documental definitiva que apoye la emisión de la correspondiente denuncia. Para ello, el monitor-coordinador le facilita los datos que originan la actuación: identidad del vehículo, velocidad medida, velocidades de referencia anunciadas y situación espacio-temporal del vehículo al ser denunciado. Todos estos datos dispondrán de las medidas de seguridad adecuadas que permitan su verificación.

Para la emisión de la denuncia, además de lo anterior, será necesario obtener la identidad del conductor. Esto es debido a que este tipo de denuncias tienen consecuencias directas sobre la persona responsable de la actuación (en este caso, el conductor). Para ello, este componente solicitará al vehículo que autentique a su conductor, a través del sistema destinado al efecto. Este componente puede situarse en el vehículo o en la infraestructura. La alternativa más escalable es disponerlo en el vehículo, aunque requiere de un módulo de procesamiento confiable.

Una vez creada la evidencia de la denuncia, se transmitirá a la infraestructura de procesamiento de denuncias. Esta transmisión deberá realizarse garantizando la confidencialidad del canal, la integridad de la denuncia transmitida y la autenticación de la infraestructura. Hasta la fecha no se han encontrado estándares que permitan dar soporte documental a denuncias administrativas y/o penales. Así pues, deberá desarrollarse en el ámbito de esta investigación una propuesta de estandarización para este tipo de documentos. En la medida de lo posible, sería interesante definir el estándar considerando que los delitos denunciados no son sólo los cometidos por la superación de la VMT, sino cualquier otro tipificado por la legislación vigente.

2) *Sistema de autenticación del conductor*: Este componente se encarga de custodiar la información de la identidad del conductor, y de realizar los cálculos necesarios para demostrar dicha identidad. Esta información será necesaria para la emisión de denuncias por exceso de velocidad. Este sistema irá situado necesariamente en el vehículo, para lo cual será necesario utilizar un módulo de procesamiento y almacenamiento confiable (TPM, Trusted Platform Module). Para la *identificación del conductor* se podría utilizar el Documento Nacional de Identidad Electrónico (DNI-e). Dicha versión electrónica dispone de un par de claves para autenticar electrónicamente al sujeto al que se refiere, por lo que se convierte en un elemento tecnológico interesante para la implementación del SAD.

3) *Infraestructura de procesamiento de denuncias*: Este componente, situado fuera de la arquitectura del SAD, es la infraestructura mantenida por la Autoridad para la gestión de las denuncias por violaciones de preceptos contra la seguridad vial. Debe tener capacidad para recibir notificaciones por vía telemática en cualquier momento. Para ello, podría utilizarse una tecnologías de comunicación similar a los servicios web.

#### IV. TRABAJOS RELACIONADOS

En esta sección se analizan las principales iniciativas académicas que han abordado la prevención del exceso de velocidad de forma directa. Además, se incluyen las principales medidas técnicas y legales que, a este respecto, han establecido las Autoridades.

En primer lugar, el proyecto External Vehicle Speed Control (ESVC) se centró en limitar la velocidad de los vehículos utilizando un sistema de adaptación inteligente de la velocidad (ISA) [24]. Dicho proyecto asume que el vehículo tiene precargada una base de datos con los límites de velocidad. Este enfoque no considera que dicho límite de velocidad sea dependiente de las circunstancias del tráfico.

Otra alternativa son los proyectos de automatización de las carreteras (AHS, Automated Highway System), que persiguen el control automático integral tanto de las vías como de los vehículos que circulan por ellas [5]. Esta propuesta resuelve el problema del exceso de velocidad al automatizar por completo la propia conducción de los vehículos. No obstante, este tipo de sistemas aún no se han implementado de forma práctica debido, principalmente, a las severas implicaciones que su funcionamiento tiene sobre la seguridad vial. Además, este enfoque plantea problemas legales, pues la responsabilidad de la conducción ya no recaería sobre el conductor, como se establece en el actual marco legislativo.

Desde las autoridades españolas, las iniciativas persiguen erradicar el problema mediante la imposición de sanciones. La Dirección General de Tráfico ha puesto en marcha el Centro de Tramitación de Denuncias Automatizadas (ESTRADA) [25] con el que se pretende aumentar la eficacia de la denuncia al agilizar su tramitación. Por otro lado, el Estado español aprobó en 2005 lo que se conoce como “carnet por puntos” [26]. Sin embargo, sólo un 29,29 % de los conductores reconocen respetar más los límites de velocidad en ciudad tras la entrada en vigor de esta medida [27]. Además, la compra-venta de puntos entre conductores es una práctica ilegal que resta eficacia a esta medida.

Por último, recientemente se ha aprobado una modificación del Código Penal por la que ciertos delitos contra la seguridad vial son sancionados con penas de cárcel [28]. Aunque aún es pronto para evaluar su eficacia, no persigue que los vehículos circulen a una velocidad adecuada a las circunstancias reales del tráfico.

#### V. CONCLUSIONES. LINEAS FUTURAS

A pesar de las múltiples mejoras introducidas en todos los aspectos del tráfico rodado, los accidentes de tráfico se siguen produciendo con demasiada frecuencia y, en múltiples ocasiones, involucran el fallecimiento de sus ocupantes. Las medidas de prevención y control que se han venido empleando se basan en un modelo exclusivamente punitivo, mediante controles puntuales sobre el motivo de la infracción (consumo de alcohol, exceso de velocidad, etc.).

El exceso de velocidad se produce generalmente por la voluntad de los conductores de minimizar el tiempo de viaje. Esta actitud, además de contribuir a la creación de puntos de congestión, constituye un peligro para la seguridad vial.



Los límites máximos de velocidad se perciben como una medida recaudatoria y no como una cantidad cuya superación pueda generar situaciones de riesgo. Existe, por tanto, un desajuste conceptual entre conductores y límites: los conductores quisieran circular a máxima velocidad pero unos límites sin sentido aparente se lo impiden. A todo esto se añade que la velocidad inadecuada es un factor presente en una gran cantidad de accidentes.

Es el momento de plantearse otras alternativas que contribuyan a prevenir la circulación de vehículos a velocidad inadecuada. En este trabajo se ha presentado el Sistema de Asistencia-Denuncia (SAD), un sistema basado en TIC que aborda el problema interviniendo sobre sus dos elementos fundamentales: velocidad y conductores. El SAD introduce los conceptos de velocidad adecuada (VAT) y velocidad límite (VMT) de cada tramo, como cantidades actualizables en función de las circunstancias reales del tráfico. Por otra parte, el SAD persigue que los conductores circulen a una velocidad cercana a la VAT. Para ello, se establecen medidas de asistencia a los conductores. La asistencia comienza con la información al conductor de dichas velocidades, a lo que se añaden recompensas o castigos según se respete o no la VAT anunciada. Las recompensas y castigos se traducen en variaciones de calidad en los servicios ofrecidos al vehículo (acceso a Internet, multimedia, etc.) o en las tasas a pagar (peajes, estaciones de servicio, etc.). El SAD también contempla la denuncia de los vehículos que superen la VMT, dando lugar al correspondiente procedimiento sancionador administrativo o penal.

La utilización de las TIC en este contexto permite efectuar esta prevención de una forma dinámica. Los conductores podrán percibir en todo momento cuál es su situación con respecto a las velocidades anunciadas. Por otra parte, la detección inmediata de la superación de la VMT y su notificación por vía telemática facilita la rápida tramitación del proceso, lo que incrementará su carácter disuasorio.

Las actuaciones previstas por el SAD tienen implicaciones sobre la seguridad vial y, además, la citada emisión de denuncias tiene consecuencias en el ámbito legal. Por este motivo, resulta imprescindible dotar al SAD de unas adecuadas medidas de seguridad. Este trabajo aborda los requisitos de seguridad planteados por el SAD en lo referente a las informaciones intercambiadas.

Este trabajo introduce también los distintos elementos que podrían conformar la arquitectura de implementación del SAD. Para cada elemento se expone su responsabilidad, su posible ubicación y las tecnologías actuales que podrían ser de interés para su implementación. El estado actual de la tecnología permite hablar del SAD como un sistema cuya viabilidad técnica es razonable.

El trabajo futuro pasa por el progresivo refinamiento de cada una de las funciones contenidas en el modelo teórico sobre el que se construye el SAD. Será necesario, al mismo tiempo, continuar explorando alternativas tecnológicas para la implementación del sistema. En particular, será interesante evaluar el coste de implantación de cada una de las tecnologías, lo que determinará en último término su viabilidad real. Además, deberán determinarse los aspectos organizacionales y administrativos necesarios para la implantación a nivel nacional de la

arquitectura resultante del SAD.

Deberá estudiarse detenidamente la adecuación del funcionamiento al marco legislativo vigente, prestando especial atención a la preservación de la privacidad de los conductores. A este respecto, deberán estudiarse las medidas de seguridad a establecer para que exista una consonancia entre ambos factores (funcionalidad y legislación). Dichos aspectos de seguridad deberán abordarse conforme avance la definición del modelo y arquitectura subyacentes.

Finalmente, y como base para la justificación de la efectividad del modelo, podría realizarse un estudio de opinión para valorar, por ejemplo, si los conductores aceptarían la existencia de una arquitectura como la resultante (de asistencia constante y de denuncia del infractor). Dicho estudio también podría servir para confirmar si el hecho de modificar la calidad de servicios telemáticos, o la variación de tasas de peaje, serían efectivos como medidas asistenciales.

## REFERENCIAS

- [1] Observatorio Nacional de la Seguridad Vial. Dirección General de Tráfico (España) *Principales cifras de la siniestralidad vial*, 2006.
- [2] Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales (España) *Medidas urgentes en la lucha contra la violencia de género*, Consejo de Ministros de 15 de diciembre de 2006.
- [3] *Real Decreto Legislativo 2-3-1990, Ley sobre Tráfico, circulación de vehículos a motor y seguridad vial*, 1990.
- [4] J. Ivars Ruiz *Principio de proporcionalidad en el Derecho administrativo sancionador en materia de seguridad vial*, Revista General Derecho, num. 669, junio 2000.
- [5] Gibson, C. H. *Automated Highway Merging Protocols and their effectiveness on Highway Operations and Vehicle Performance*, Ph.D Thesis, 1997.
- [6] Vincent Blerbaque (coordinator), *Deliverable 4. Work Package 4, SpeedAlert project consortium*, 2005.
- [7] E. L. Thorndike *Animal intelligence: Experimental Studies*, Transaction Publishers, 2000.
- [8] *Ley Orgánica 15/99, de Protección de Datos de Carácter Personal*, 13 de diciembre de 1999.
- [9] Dedicated Short Range Communications Workgroup, <http://group.ieee.org/groups/scc32/dsrc>.
- [10] Communications Air-interface Long and Medium range, ISO TC204 WG16, <http://www.calm.hu>.
- [11] Wireless Access in Vehicular Environment (WAVE) Fact Sheet, [http://www.standards.its.dot.gov/fact\\_sheet.asp?f=80](http://www.standards.its.dot.gov/fact_sheet.asp?f=80).
- [12] J.P. Hubaux, S. Capkun and J. Luo, *IEEE The Security and Privacy of Smart Vehicles*, IEEE Security and Privacy Magazine, vol. 2, no. 3, Mayo-Junio 2004, pp. 49-55.
- [13] A.R. Beresford, F. Stajano *Location privacy in pervasive computing*, IEEE pervasive computing, enero 2003, pp.46-55.
- [14] F. Dotzer, *Privacy issues in vehicular ad-hoc networks*, Privacy Enhancing Technologies-PET 2005, Lecture Notes in Computer Science, vol. 3856, pp. 197-209, 2006.
- [15] F. Armknecht, A. Festag, D. Westhoff, K. Zeng *Cross-layer privacy enhancement and non-repudiation in vehicular communication*, 4th Workshop on Mobile Ad-hoc Networks (WMAN), 2007.
- [16] J.Y. Choi, M. Jakobsson, S. Wetzel *Balancing auditability and privacy in vehicular networks*, ACM Q2SWinet 2005, pp. 79-87.
- [17] Joakim Swahn and Christian Udin, *Cooperative Vehicle-Infrastructure Systems: Identification, Privacy and Security*, Cooperative Vehicle-Infrastructure System (CVIS) project, 2007.
- [18] M. Gerlach, *Assessing and improving privacy in VANETs*, Proc. 4th Workshop on Embedded Security in Cars (ESCAR), Noviembre 2006.
- [19] Fundación Instituto Tecnológico para la Seguridad del Automóvil (FITSA), *Descripción y evidencias científicas del Control inteligente de velocidad*, 2006.
- [20] Página principal del proyecto SeVeCom (Secure Vehicular Communication), <http://www.sevecom.org/index.html>.
- [21] González-Tablas, A.I, Ramos, B., Ribagorda, A. *Spatial-Temporal Certification Framework and Extension of X.509 Attribute Certificate Framework and SAML Standard to Support Spatial-Temporal Certificates*, Lecture Notes in Computer Science, vol. 4582/2007, pp.321-329.

- [22] ISO 14816, *Automatic vehicle and equipment identification - Numbering and data structures*, 2005.
- [23] M. Raya, P. Papadimitratos and J. P. Hubaux, *Securing vehicular communications*, IEEE Wireless communications, octubre 2006, pp. 8-15.
- [24] Carsten, O., Tate, F., *Intelligent speed adaptation: accident savings and cost-benefit analysis*, Accident analysis & prevention, n. 37, pp. 407-416, 2005.
- [25] Dirección General de Tráfico (España) *Nuevo sistema para tramitación de denuncias de tráfico. Nota de prensa*, 2008.
- [26] *Ley 17/2005, de 19 de julio, sobre la licencia de conducción por puntos*, 2005.
- [27] Instituto Universitario de Tráfico y Seguridad Vial (INTRAS) *El permiso por puntos: percepción de los conductores*, p.36, junio de 2007.
- [28] *Ley Orgánica 15/2007, por la que se modifica la Ley Orgánica 10/1995, de 23 de noviembre, del Código Penal en materia de seguridad vial*, 30 de noviembre de 2007.