

LA CARGA MENTAL EN LOS TÚNELES: CONSECUENCIAS EN LA CONDUCCIÓN Y POSIBLES SOLUCIONES. RESULTADOS DE UNA ENCUESTA. APORTACIONES PARA LA REDUCCIÓN DE RIESGOS

Ricardo D. Blasco

José M. Cornejo

Universidad de Barcelona

Sonia Ferri Anglada

CIEMAT - Ministerio de Ciencia e Innovación

Introducción

Tras los desgraciados accidentes alpinos de hace unos años, se incrementó la sensibilidad hacia la seguridad en los túneles carreteros e iniciamos nuestras investigaciones sobre los aspectos psicológicos de la conducción por túneles, cuyos resultados ya presentamos en el IV Simposio, en 2005 celebrado en Andorra la Vella gracias a la amabilidad de sus organizadores.

En esta oportunidad es nuestro deseo centrarnos en aquello que se desprende de los resultados de aquellas investigaciones, para aportar algún elemento más a la seguridad en los túneles, teniendo en cuenta que, muy frecuentemente, ésta depende de aquello que los usuarios son capaces de hacer con los medios que tienen a su alcance, siendo los actores principales en situaciones altamente peligrosas y de rápida evolución.

Nos anima a presentar nuestra aportación el comprobar que, en las directivas sobre seguridad en los túneles, el papel del usuario aparece poco perfilado y su presencia en los textos legales parece más fruto de una obligación formal que de una clara conceptualización de su lugar en la gestión de la mejora de la seguridad, más allá de las normas de tráfico. El usuario es bastante más que un conductor estándar y el

V SIMPOSIO DE TÚNELES SEGURIDAD PARA LOS TÚNELES DEL SIGLO XXI

túnel un medio radicalmente distinto, en muchos aspectos - sobre todo cuando surgen los problemas - a las vías a cielo abierto. Es por estas significativas diferencias que diversos autores han reclamado, como un objetivo a alcanzar, que los túneles deberán de ser tan seguros como un tramo equivalente en un espacio abierto (Martens, Törnros & Kaptein, 1998; Cornejo, L. 2002, entre otros).

La Directiva Comunitaria sobre la Seguridad en Túneles redactada por la Dirección General de Energía y Transporte de la Comisión Europea, de abril de 2004, (Directiva 2004/54/CE publicado en el Diario Oficial de la Unión Europea de 7/06/2004) es un conjunto de normas y recomendaciones sobre obligaciones organizativas y técnicas para túneles europeos mayores de 500 metros de longitud. Establece dieciséis parámetros relativos a las medidas, equipamientos, accesos, etc. así como obligaciones y recomendaciones sobre alumbrado, ventilación, puntos de socorro, etc. que se deben de implementar en los túneles, así como el análisis sistemático de análisis de riesgos y estrategias de simulación y de entrenamiento de los equipos de salvamento. También establece la implantación de señalización acorde con el Convenio de Viena. Cada estado deberá de adaptarlas a su realidad en el plazo marcado. En nuestro país se promulgó el Real Decreto 635/06, de 26 de mayo, sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de carreteras del Estado.

Si analizamos los contenidos de la ley europea vemos que establece que: "los túneles largos de longitud superior a 500 metros son estructuras importantes que facilitan la comunicación entre grandes zonas de Europa y desempeñan un papel decisivo en el funcionamiento y desarrollo de las economías regionales." Las investigaciones de las que vamos a partir fueron realizadas utilizando túneles superiores a esa longitud.

Por otra parte, en su apartado 9 se explicita un abanico muy amplio de medidas cuyo factor común, pese a su diversidad, es la ausencia de fundamentación relativa a las aportaciones y conocimientos que pueden y deben suministrar las ciencias del comportamiento humano. Se considera al túnel como un medio diseñado desde la mesa del ingeniero, sin conexión con las capacidades humanas en situaciones extremas, en las que los lóbulos frontales, predominantes en los comportamientos sosegados, se sustituyen por comportamientos determinados por la amígdala, que dejan poco margen a las decisiones y a las acciones razonadas.

No obstante en los puntos 10, 11 y 12 de los considerandos se dan una serie de indicaciones un tanto desdibujadas sobre la figura y seguridad de los usuarios, considerando especialmente el caso de las personas discapacitadas.

LA CARGA MENTAL EN LOS TÚNELES: CONSECUENCIAS EN LA CONDUCCIÓN Y POSIBLES SOLUCIONES. RESULTADOS DE UNA ENCUESTA. APORTACIONES PARA LA REDUCCIÓN DE RIESGOS

Concretamente se cita, en el punto 10, la evidencia señalada por la Comisión Económica para Europa en las Naciones Unidas, de que “el comportamiento de los usuarios de las carreteras constituye un aspecto decisivo de la seguridad en los túneles”.

En el punto 11 se exige: “las medidas de seguridad permitirán que las personas afectadas por incidentes en los túneles puedan ponerse a salvo; permitirán la intervención inmediata de los usuarios de la carretera para evitar mayores consecuencias.”

Tal parece que la preocupación se centra en facilitar la huida o el acceso a recursos paliativos o de evitación, sin más conexión con las verdaderas capacidades humanas ni con sus entrenamientos. Parece suponerse que con facilitarles los medios, los usuarios serán capaces, espontáneamente, de los comportamientos esperados.

Pero el comportamiento humano y sus capacidades suelen funcionar bajo otros parámetros y allí donde el diseñador concluye en que se va a percibir con claridad sus señalizaciones ajustadas a norma, el usuario no percibe nada en un gran porcentaje de ocasiones (sobre todo si en aquel momento existe en su campo perceptivo otro tipo de estímulos más intensos y urgentes, o si su estado emocional está fuertemente alterado por alguna razón).

En el punto 14 se hace referencia a las recomendaciones de la Asociación Mundial de la Carretera y la CEPE sobre armonización de las infraestructuras con las normas de tráfico, pero sin capacidad vinculante y, al parecer, sin más referencia a las características del tercer y decisivo elemento de la tríada “infraestructura – norma – usuario”.

En el 23, dentro de lo que es comunicación con el usuario, se insta a armonizar el interfaz de interacción con el usuario, por medio de señalización de mensaje variable.

Por otra parte en el artículo 13 se habla del análisis del riesgo y se vuelven a tener en cuenta aspectos infraestructurales y de tráfico, pero no de comportamiento ni de interacción sistémica entre usuario y entorno vial.

En el subapartado 2.3.3 del anexo 1 se habla de las salidas de emergencia, detallando algunos aspectos importantes, pero sin entrar en la posible disfuncionalidad

V SIMPOSIO DE TÚNELES SEGURIDAD PARA LOS TÚNELES DEL SIGLO XXI

de sus accesos, que en momentos de tensión y urgencia pueden (como ha sucedido alguna vez) constituir una grave dificultad para el usuario presa del pánico.

Finalmente en el apartado 3.8 del mismo anexo se citan aspectos relativos a la posible prohibición de adelantamiento para los camiones, bajo determinadas condiciones del túnel. En el 3.9 se detallan algunas normas sobre distancias de seguridad entre vehículos y velocidades máximas permitidas en los túneles.

En el punto 4 se determina que se deberán de realizar campañas de información sobre seguridad en los túneles, pensando en los usuarios. Qué hacer en caso de avería, de congestión, accidentes y en los incendios.

En conjunto, las disposiciones que se ocupan del usuario no son abundantes, y cuando lo son, el usuario es visto genéricamente desde la funcionalidad de sus comportamientos, pero no como punto de arranque ergonómico para los diseños técnicos. No obstante, la preocupación por el denominado “factor humano” ha estado presente en casi todas las reuniones y congresos. La preocupación por el comportamiento de los usuarios, así como por los aspectos psicológicos de la seguridad en los túneles y el incremento de la capacidad para manejarse en situaciones de emergencia ha sido constante, como señalaba Alarcón (2002).

Con todo lo dicho hasta aquí quedan pendientes muchas preguntas:

- ¿Se tiene en cuenta que los túneles ejercen influencias psicológicas no despreciables sobre los usuarios, aún en ausencia de problemas?
- ¿Se contempla el diseño desde la perspectiva sistémica de la interacción estructura-norma-usuario?
- ¿Se relacionan los diseños y las normas con las verdaderas capacidades del usuario?
- ¿Se tiene en cuenta que, en situaciones de emergencia, el usuario no posee las mismas capacidades mentales que en situaciones normales?
- ¿O tal vez se supone que el usuario es un ente que automáticamente puede asumir los diseños y las normas, sean éstas cuales sean?

Así pues nos preguntamos: ¿Qué sabemos de las características del usuario?

Y otras muchas cuestiones que suelen estar en la base de accidentes “inexplicables” por medio de análisis técnicos que no dicen nada de la especial “lógica” del comportamiento humano en situaciones de sobrecarga mental o gran tensión.

LA CARGA MENTAL EN LOS TÚNELES: CONSECUENCIAS EN LA CONDUCCIÓN Y POSIBLES SOLUCIONES. RESULTADOS DE UNA ENCUESTA. APORTACIONES PARA LA REDUCCIÓN DE RIESGOS

En nuestra ponencia de 2005 defendimos el principio de que la gestión de la seguridad es mucho más que la reducción de riesgos (Blasco, 2000), ya que implica a cada uno de los componentes básicos (entorno vial, normas, recursos de salvamento, gestión y usuarios) pero también a sus relaciones sistémicas, acentuando el papel del usuario ya que, como actor principal, es el que finalmente corre los riesgos y quien frecuentemente debe afrontarlos e, incluso, gestionarlos para defender su propia supervivencia.

Dos estudios de naturaleza totalmente diversa fueron realizados entonces, como se puede ver en la publicación correspondiente al IV Simposio (Blasco y Cornejo, 2005).

- Uno de tipo experimental, sobre un circuito de más de 70 km. en los alrededores y dentro de Barcelona, conteniendo 6 túneles de diversas longitudes, entre ellos 3 de más de 1000 m. Se analizó la conducción por túneles comparada con su equivalente al aire libre. Se detectaron algunas diferencias significativas en cuanto a carga mental y su relación con maniobras como adelantar o ser adelantado, por ejemplo.
- Otro de tipo prospectivo, por medio de una encuesta sobre diferentes sensaciones, experiencias, incidentes/accidentes, habilidades y conocimientos relativos a acciones de salvamento. En él se detectaron algunas deficiencias importantes que indujeron a pensar en la necesidad de una mejor formación y entrenamiento de los conductores.

De estos estudios intentaremos extraer aquellos aspectos que nos van a llevar a determinadas propuestas que podrían ser aportaciones para la reflexión de los diseñadores y de los gestores de los túneles. Sin duda muchas de ellas habrán sido ya contempladas, pero es nuestra intención introducir en ellas la dimensión psicológica, que creemos que es decisiva en los momentos extremos, lejos de la racionalidad sossegada del diseñador y del legislador. Cuanto más ajustados estén los diseños, las leyes o los planes de explotación, de modo que puedan potenciar las verdaderas capacidades y limitar determinados comportamientos humanos, mayores niveles de seguridad sistémica se lograrán.

2. Efectos de la conducción en túneles desde la perspectiva del operador humano (conductor)

Diversos autores han reconocido que los túneles ejercen efectos sobre el comportamiento de los usuarios. La percepción espacial, la noción del tiempo, la previsión del recorrido posterior y la adaptación peculiar del comportamiento, además de las

experiencias emocionales negativas, son señaladas específicamente por López Guarga (2001). Pero muy pocos son de corte empírico, entre ellos el de Rainer, Smuc, Gatscha & Otxelberger (2002).

Como quedó demostrado en nuestro estudio experimental, los túneles ejercen claros efectos sobre los usuarios, desde diferentes puntos de vista y debido precisamente a su calidad de espacios cerrados más o menos largos por los que circular. Algunos son debidos al túnel por sí mismo, otros son causados por el tráfico en su interior. Su intensidad varía de un usuario a otro, pero son claramente detectables y con una explicación psicológica ya conocida. Vamos a reseñar estos efectos más notables hallados, tanto por experimentación como por encuesta, para relacionarlos posteriormente con nuestras propuestas de mejora.

2.1. Generados por la infraestructura

La infraestructura, esto es, el túnel por sí mismo, produce algunos efectos, de entre los cuales seleccionamos los más importantes.

- a) Sobrecarga mental debida a la tensión perceptiva entre la atracción foveal relacionada con la percepción del punto de fuga del fondo del túnel, en el que coinciden todas las líneas de fuga, y el rastreo lateral a cargo de la visión periférica (Crundall, Underwood & Chapman, 2002) para mantenerse a la distancia correcta del hastial, controlando la deriva. Posiblemente por ello se han detectado muchas más “lagunas” atencionales, sin causa aparente, dentro de los túneles que fuera de ellos, en clara correspondencia con el modelo de carga mental y calidad del desempeño en la conducción de De Ward (1996), que se puede observar adaptado a nuestro problema en nuestra ponencia al IV Simposio.
- b) Eventualmente la aparición de “vección lineal”, que se traduce en una clara sensación de atracción hacia el hastial, cuando la velocidad diferencial entre éste y el conductor supera los 2 radianes/seg. En la encuesta el 24% de los conductores encuestados declararon que los accidentes más frecuentes en los túneles eran contra paredes y bordillos. Una ligera distracción o fallo de procesamiento significa un choque con el hastial y el desencadenamiento de una situación subsiguiente que suele ser mucho más complicada en el interior del túnel que en el exterior. Sólo hay que ver lo que muestra el video titulado “Tunnel Crash Compilation”, publicado en Youtube.com, como ejemplo ilustrativo.

**LA CARGA MENTAL EN LOS TÚNELES: CONSECUENCIAS EN LA CONDUCCIÓN
Y POSIBLES SOLUCIONES. RESULTADOS DE UNA ENCUESTA.
APORTACIONES PARA LA REDUCCIÓN DE RIESGOS**



Figura 1. Factores de sobrecarga mental en el interior de un túnel

- a) En nuestro estudio se puede ver que diferentes túneles con diferentes tipos de hastiales inducen sobrecargas equivalentes en los conductores. Así, el efecto del rastreo periférico es similar, pese a variaciones de la textura y color de los hastiales.
- b) Con todo ello y también por otras causas más relacionadas con la personalidad del conductor y con la práctica en conducción por túneles, declararon que las emociones dentro del túnel se relacionan con un incremento de la ansiedad, con sensaciones de agobio por indicios de claustrofobia, impulso de salir cuanto antes, así como la disminución de las capacidades perceptivas y cognitivas, que llevan a una deficiente toma de decisiones y a una conducción “disociada”.
- c) Como consecuencia, de forma automática, la velocidad dentro de los túneles hemos observado que cae, en promedio, un 10% con respecto tramos equivalentes al aire libre. Por otra parte, el 73,4% de los conductores encuestados declaran circular a menos velocidad dentro de los túneles al aire libre y el 82,7% piensa que los demás conductores también reducen la velocidad espontáneamente. Además muchos de ellos (61,9%) opinan que guardan más las distancias de seguridad dentro de los túneles.
- d) Incluso así, se detecta cierta incapacidad para asumir incrementos de demanda cognitiva producidos por el sistema de tráfico en el túnel, que se compensan con simplificaciones del comportamiento tales como un notable decremento del uso del retrovisor.
- e) Los accidentes, en los túneles, aparecen sobre-representados en las entradas y en las salidas, según declaraciones de los encuestados.

- f) Posiblemente por todo ello, un porcentaje no desdeñable de conductores encuestados ha declarado tener problemas para percibir los elementos de socorro dentro de los túneles, pese a que puedan estar correctamente ubicados y señalizados.

2.2. Generados por el sistema del tráfico

Las dinámicas de tráfico en el túnel, en cada momento, partiendo de la base del estado de sobrecarga producido por la infraestructura, generan demandas que pueden ser más difíciles de asumir que al aire libre, como demostró nuestro estudio experimental. Así, las maniobras propias y de los demás adquieren un nuevo nivel de riesgo a considerar.

Dado que la seguridad es sistémica y que por el túnel van a circular diversos vehículos que van a interactuar entre ellos, se pueden producir diferentes situaciones que deriven en colisiones de mayores o menores consecuencias. Aquí hay que recordar



Figura 2. Accidente implicando a varios vehículos en un túnel de Croacia

que un accidente no es igual a sus consecuencias (las consecuencias de los accidentes no son el accidente y, muchas veces, guardan poca relación con aquél).

Veamos algunas de las causas de sobrecarga por interacción con los demás vehículos:

- a) Las maniobras propias dentro del túnel generan mucha más sobrecarga mental que fuera del túnel. El adelantamiento es la más notable, siendo la maniobra que más sobrecarga genera dentro y fuera del túnel. Pero las aproximaciones por detrás a otros vehículos y los cruces (cuando son posibles) son muy diferentes en el interior y en el exterior de los túneles.
- b) Por el contrario, ser adelantado dentro del túnel genera menos carga mental que fuera del túnel, básicamente a causa del mucho menor uso del retrovisor

LA CARGA MENTAL EN LOS TÚNELES: CONSECUENCIAS EN LA CONDUCCIÓN Y POSIBLES SOLUCIONES. RESULTADOS DE UNA ENCUESTA. APORTACIONES PARA LA REDUCCIÓN DE RIESGOS

que se hace en el túnel a causa de la sobrecarga genérica producida por el propio túnel.

- c) Maniobras de los demás, tales como frenar delante de vehículo, cambios de carril por delante del vehículo o adelantamientos de otros a otros no producen cargas mentales diferenciales dentro y fuera del túnel.
- d) Los accidentes causados por maniobras en el tráfico, en los túneles, es decir sin intervención directa de ningún elemento o efecto de la infraestructura, alcanza el 52,8% de las atribuciones hechas por los encuestados. Es decir, las colisiones entre vehículos en movimiento dentro del túnel es el principal tipo de accidente.



Figura 3. Tráfico y accidente dentro de un túnel



Figura 4. Colisión lateral con hastial

- e) En otro orden de cosas, sabemos que un gran número de accidentes e incidentes en los túneles parecen producirse como consecuencia de errores del conductor que colisiona lateralmente con los hastiales. También puede suceder por reacciones de evitación exageradas con respecto a otros vehículos que le adelantan o se le aproximan por detrás.

3. Propuestas de mejora para la seguridad en la conducción por túneles

Hasta aquí el resumen de los hallazgos más importantes de nuestros estudios. Nuestro objetivo es sugerir medidas de mejora de la seguridad a partir de ellos y hacerlo considerando dos momentos clásicos de la gestión de la seguridad:

- a) Medidas encaminadas a reducir la probabilidad de ocurrencia de incidentes/accidentes dentro de los túneles.
- b) Medidas encaminadas a reducir los daños tras el incidente/accidente y a incrementar la probabilidad de supervivencia de los usuarios.

Lo haremos considerando las acciones posibles sobre los tres elementos del sistema que afectan al comportamiento del usuario, es decir, en la infraestructura, en las normas de tráfico y en los recursos personales de los usuarios para incrementar la seguridad.

3.3. Reducción de la probabilidad de ocurrencia del incidente/accidente

Es fundamental para la seguridad considerar el tráfico como un sistema que hay que mantener dentro de un equilibrio, que tiene unos márgenes aceptables y unos mecanismos de recuperación para volver al equilibrio. El tráfico es un sistema que jamás se diseñó como tal, pero que cada vez, con las mejoras y adelantos tecnológicos va adquiriendo su propia identidad. Mantener el sistema requiere de diseño y de armonización de todos sus elementos. Aunque sabemos que no es así, podríamos considerar a los túneles como tramos indiferenciados de la estructura vial, mientras no ocurre nada especial dentro de ellos pero cuando ocurre, el túnel se convierte en un medio mucho más hostil que el aire libre.

Es por ello de gran interés disminuir hasta donde sea posible la probabilidad de incidentes/accidentes en su interior. Se podrá argumentar que la tasa de accidentes dentro de los túneles es incluso menor que al aire libre, aunque esa estadística sea un tanto complicada, ya sea por la dificultad de una integral recogida de datos como por la consideración de los accidentes sólo en base a sus consecuencias, cuando se sabe que incidente y consecuencias no guardan una relación directa.

Minimizar sistemática y drásticamente la probabilidad de incidentes/accidentes en el interior de los túneles implica a las tres dimensiones de la prevención, esto es: Infraestructura, regulación del tráfico y comportamiento de los usuarios. Veamos algunas de nuestras propuestas de mejora y su fundamento, desde la perspectiva de aquello que afecta al usuario.

3.3.1. Modificaciones sobre la infraestructura

Como hemos visto en nuestro anterior estudio (Blasco y Cornejo, 2005) y hemos señalado anteriormente, los túneles, como recintos cerrados por los que circular producen diversos efectos sobre el usuario: diferentes grados de ansiedad por causas diversas, distorsiones perceptivas y, sobre todo, sobrecarga mental debida al conflicto viso-perceptivo provocado por la competencia de la visión foveal con las demandas de rastreo periférico para controlar la distancia a la pared más cercana

**LA CARGA MENTAL EN LOS TÚNELES: CONSECUENCIAS EN LA CONDUCCIÓN
Y POSIBLES SOLUCIONES. RESULTADOS DE UNA ENCUESTA.
APORTACIONES PARA LA REDUCCIÓN DE RIESGOS**

(deriva). Así pues, se trataría de reducir drásticamente la carga mental y las sensaciones de encierro, que se producen por la percepción de cerramiento espacial dentro del túnel y por indicadores de desplazamiento lateral excesivamente próximos, con velocidades angulares incrementadas por acortamiento de los radios en la visión periférica.

La propuesta, sin duda osada, podría describirse mediante un slogan: “¡Hagamos desaparecer el túnel!”

En realidad, las paredes del túnel no forman parte de los elementos que conciernen a la conducción, como no lo son los paisajes ni los objetos fuera de la vía. Es decir, descarguemos al conductor del rastreo periférico y facilitemos al máximo su percepción de los indicadores de dirección sobre una calzada muy bien iluminada y de las señalizaciones iluminadas sobre un fondo oscuro.

El túnel se convertiría en algo muy similar a la conducción nocturna, pero con la gran ventaja de una calzada muy perceptible que facilitaría en gran medida su “lectura”. Las paredes desaparecerían y ya no habría referentes laterales.

Pero... ¿cómo hacerlo?, por medio de dos recursos técnicos complementarios:

- Oscurecimiento total de los hastiales, evitando incluso las posibles reflexiones lumínicas.
- Iluminación de la calzada con luz rasante que vuelque toda la luz sobre el asfalto y deje en contraluz a los hastiales. No entramos en la cantidad de luz necesaria para lograr el efecto óptimo.

Un túnel así diseñado no sería un recinto oscuro, pero tendría la cualidad de hacer descender la carga mental del usuario y recobrar su normal capacidad de procesamiento de la información, volviendo, por ejemplo, a un uso adecuado de los retrovisores. Las emociones negativas, vinculadas a algunas formas de claustrofobia posiblemente desaparecerían. Las inseguridades provocadas en muchos conductores por la conducción nocturna se evitarían por la absoluta claridad de la ruta a seguir, incluso sin uso del propio alumbrado. No aparecerían fenómenos de hemeralopia ya que la buena iluminación del firme generaría niveles de luminosidad suficientes.

En la actualidad algunos túneles que muestran techos oscuros o negros producen una sensación de “alivio” se puede percibir fácilmente.

V SIMPOSIO DE TÚNELES
SEGURIDAD PARA LOS TÚNELES DEL SIGLO XXI



Figura 5. Propuesta de túnel con paredes oscurecidas

La imagen es tosca y carente de muchos elementos, pero es suficiente para mostrar el efecto. Se pueden argüir muchos inconvenientes y no es ahora el lugar ni el momento para resolverlos. Algunos de ellos han sido ya reflexionados por nuestro equipo y otros aparecerían, sin duda, en caso de intentar una prueba experimental de esta propuesta. Se trata sólo de algo a considerar preliminarmente y en base a hallazgos empíricos y, evidentemente, a ir perfeccionando.

Desde el punto de vista de la eficiencia energética, es muy probable que sea mucho más económico iluminar el firme en forma rasante que iluminar toda la galería, como parece lógico si se tiene en cuenta la superficie implicada.

Todo esto no afecta en nada al resto de elementos infraestructurales necesarios, tales como zonas de estacionamiento de urgencia, por ejemplo.

Por otra parte, como ya prevé la normativa europea vigente, los túneles con dos sentidos de circulación en un solo tubo han de ir reconvirtiéndose en túneles de un solo sentido con doble tubo porque son particularmente peligrosos y generan puntas de sobrecarga en los usuarios, tal como demostramos en nuestro estudio. Grabaciones de accidentes en este tipo de túneles muestra colisiones frontales en un flujo de tráfico que suele ser denso y con alta probabilidad de dinámicas catastróficas a partir de incidentes puntuales. Mientras, la separación clara y bien visible de ambos sentidos de la marcha será un factor de seguridad, pero fiar en la señalización puede llevar a deslices de conductores que llegan a no percibir que van en sentido contrario.

LA CARGA MENTAL EN LOS TÚNELES: CONSECUENCIAS EN LA CONDUCCIÓN Y POSIBLES SOLUCIONES. RESULTADOS DE UNA ENCUESTA. APORTACIONES PARA LA REDUCCIÓN DE RIESGOS



Figura 6. cruce de vehículos en un túnel de doble sentido

3.3.2. Modificaciones sobre la normativa de circulación

En nuestro estudio hallamos que los usuarios reducen espontáneamente su velocidad en una media de aproximadamente el 10%, respecto de la que llevan en tramos equivalentes al aire libre. La única explicación es la compensación inconsciente del exceso de carga mental de los túneles. Un descenso espontáneo de la velocidad es un comportamiento compensatorio. Reducimos la velocidad cuando se complican las situaciones, cuando hablamos con el acompañante o cuando escuchamos información radiofónica que nos interesa particularmente.

Como ya hemos señalado, determinadas maniobras se ha demostrado que incrementan aún más la carga mental, por las demandas atencionales y de procesamiento que implican. Adelantamientos, circulación en paralelo, aproximaciones a otros vehículos y de otros vehículos, desplazamientos laterales propios y de otros, son algunas de ellas.

Si se trata de reducir la probabilidad de que se produzcan incidentes que se pueden convertir en accidentes (en caso de que se deriven daños), teniendo en cuenta nuestros resultados experimentales, creemos conveniente establecer algunas limitaciones en los comportamientos de los usuarios. Posiblemente serían innecesarias cuando los usuarios se liberasen de las interferencias que hemos reseñado en los túneles, pero hemos de recordar que el túnel, aunque pudiera parecerlo, no es un medio equivalente al aire libre. Por ello sugerimos intensificar y controlar muy seriamente algunas medidas:

- Sistemática limitación de la velocidad de los vehículos.
- Prohibición de adelantamiento en todos los túneles.
- Riguroso respeto de la distancia de seguridad, con ayudas de referencia tales como marcas en el suelo, al estilo francés. Es un modelo tal vez extremo el denominado “cuentagotas” que se aplica en el San Gotardo, tras el accidente de 2001 y que establece una distancia de 150 m., entre vehículos, de forma muy controlada, pero se trata de un túnel de características muy singulares. No obstante es una indicación de la gran importancia de limitar al máximo la interacción entre vehículos.

No se trata de generar dificultades en el tráfico en cuanto aparezca un túnel en la vía y la gestión de las medidas no puede llevar al colapso o a la disfuncionalidad, pero no ocurre nada especial si no se permite adelantar en un determinado tramo, que, generalmente no supera el kilómetro de longitud. Todo ello reduciría la probabilidad de colisiones y de incidentes por fallos atencionales, de los que se derivan consecuencias que los transforman en accidentes. A menor velocidad y menor interacción entre vehículos menor probabilidad de liberación de energía destructiva dentro del túnel.

Por supuesto existen otras muchas medidas que no son de nuestra incumbencia y sobre las que no tenemos nada que aportar aquí.

3.3.3. Implementación de recursos personales en los conductores

El usuario, como tercer elemento del sistema, actor principal de los desplazamientos y responsable de su propia seguridad y de los demás conductores, debería recibir al menos dos tipos de acciones para mejorar su comportamiento como conductor en los túneles:

- Formación específica sobre las implicaciones y estrategias para reducir el riesgo de incidente/accidente en los túneles. Tanto en su formación inicial como en los seminarios complementarios posteriores que puedan arbitrarse. Nuestro país va incorporando una gran cantidad de túneles urbanos y carreteros que forman parte insensiblemente del entorno en el que se mueve el conductor y, sorprendentemente, es casi ignorado en la formación de los conductores. En el manual de formación actual de nuevos conductores, los túneles son tratados como una parte más de la vía y la información es dispersa no permitiendo que el alumno sintetice una idea integral del túnel al que dedicar una especial atención y consideración.
- Seguimos en España sin una cultura de seguridad que module los comportamientos

LA CARGA MENTAL EN LOS TÚNELES: CONSECUENCIAS EN LA CONDUCCIÓN Y POSIBLES SOLUCIONES. RESULTADOS DE UNA ENCUESTA. APORTACIONES PARA LA REDUCCIÓN DE RIESGOS

tos desde esa perspectiva. Es por eso que desde muchos lugares e instituciones se viene recomendando "desarrollar una cultura social de tipo preventivo, especialmente en lo que se refiere a qué hacer en caso de emergencia" (ATC, 2002). Se trata de construir una escala de valores asumidos socialmente, tanto en la fase de formación como en la práctica de los conductores, que han de desembocar en un sistema de creencias sobre la seguridad que determine el comportamiento de los usuarios. Es una labor a la que hay que entregarse, pero en la que necesariamente hay que creer previamente.

3.4. Incremento de la probabilidad de la correcta resolución del incidente / accidente

El túnel, cuando surgen los problemas, presenta una cara mucho más inhóspita y peligrosa. Los hechos se suelen desarrollar con mucha rapidez y las colisiones entre vehículos incrementan exponencialmente su probabilidad. En general no hay mucha posibilidad de evitación y el salvamento siempre es complicado y lleno de obstáculos. Sin contar con la fácil presencia de fuego, humo y altas temperaturas. La desorientación, el pánico y la impotencia suelen ser las emociones y las sensaciones más frecuentes. Son momentos en los que la amígdala domina el comportamiento bloqueando las funciones de los lóbulos frontales. Lo que en condiciones normales es fácil para el ser humano, en esas condiciones se hace simplemente imposible. Por todo ello es tan importante que dichas situaciones no lleguen a producirse.

Cuando el sistema se sale de los límites de su funcionamiento en equilibrio se crea una nueva situación con nuevas características, en función de las cuales la posibilidad de devolverlo a la normalidad será sencilla y económica o imposible. Se puede producir un evento sin más consecuencias o se puede desencadenar toda una dinámica de daños de proporciones imprevisibles. En muchas ocasiones el azar juega un papel muy importante, en tanto que los elementos que pueden intervenir han sobrepasado las barreras de contención del sistema. Aquí cobra sentido la filosofía de la gestión continuada de la seguridad más que la prevención de riesgos.

Es por ello que nuestras propuestas tiene esta segunda dimensión: la disminución de la probabilidad del desarrollo de la dinámica de destrucción, una vez iniciado el incidente y, si es posible, la devolución a su estado de normal funcionamiento del sistema vial del túnel.

De nuevo contemplamos algunas propuestas para los tres elementos que hemos planteado en nuestro estudio. No entraremos en aspectos tales como la gestión del funcionamiento del túnel o la mejora de la eficacia de los dispositivos técnicos de socorro y de escape (aunque si de su utilización), ni de la de los equipos de rescate.

3.4.1. Modificaciones sobre la infraestructura

Algunas sugerencias en este sentido (sólo algunas), contemplan aspectos tales como la iluminación, la señalización, la perceptibilidad y funcionalidad real de los recursos de socorro, salvamento y escape en condiciones de emergencia.

a) Siguiendo con nuestra filosofía de ocultación de los hastiales, pensamos en, al menos, dos ventajas a considerar:

- Una iluminación cenital o lateral es mucho más susceptible de quedar anulada por humos densos que la iluminación rasante sobre el asfalto, por lo que la evacuación se vería muy favorecida al evitar la oscuridad y sugeriría desplazamientos mucho más cercanos al suelo, como es preceptivo cuando hay humos. Ello implica también el diseño de señalización de caminos de escape muy cercanos o incluso sobre el suelo, iluminados o fosforecentes (no entraremos en las posibles tecnologías, ni en sus ventajas o inconvenientes porque ese no nos compete).
- En los recursos de socorro y de escape. La normativa europea vigente insta a la mejora de estos recursos. En nuestra experiencia, la diversidad de formas de señalizar, de iluminar y de revestir los túneles es notable aún hoy, aunque aún queda plazo para la adecuación de los túneles a la nueva normativa. La percepción de los elementos de socorro y de escape resultarían mucho más visibles sobre fondo negro (efecto de contraste figura-fondo) que incluidos en un ambiente muy luminoso, con el que se integran perdiendo entidad perceptiva (ver figura 5 y figura 1). De hecho hemos detectado que un porcentaje muy importante de usuarios simplemente no los percibe al circular por los túneles tal como son en la actualidad, posiblemente por el efecto de la sobrecarga mental genérica del túnel. Reduciendo la carga e incrementando el contraste puede mejorarse esta percepción.
- La señalización de direccionamiento y distancia a la salida más próxima (que implica una toma de decisión por parte de los que huyen, en momentos de gran estrés) se hace imprescindible, tal como recomienda la normativa, aunque no siempre la salida más cercana sea la más segura o la más accesible. La colocación a media altura de estas señales puede ser poco conveniente por causa de su ocultación por humos. Un posicionamiento bajo parecería más seguro y volvería a reforzar la idea de iluminación rasante sobre el suelo.
- Dado que es posible que el escape se deba de realizar en condiciones de oscuridad por humos, podría ser de gran ayuda la colocación no sólo de señales sino de elementos de ayuda táctil en los hastiales, tales como agaraderos que lleven hasta la puerta de escape o que orienten el alejamiento de la zona de accidente sin incertidumbre. En esos momentos, entre el humo,

**LA CARGA MENTAL EN LOS TÚNELES: CONSECUENCIAS EN LA CONDUCCIÓN
Y POSIBLES SOLUCIONES. RESULTADOS DE UNA ENCUESTA.
APORTACIONES PARA LA REDUCCIÓN DE RIESGOS**

un instante de duda puede implicar la muerte. En este sentido es fundamental que las zonas del suelo lindantes con los hastiales estén libres de obstáculos. No es infrecuente encontrar túneles en los que en las aceras se encuentran cajones de obra con aparatos que, a oscuras y con nervios, pueden ser decisivos para frustrar un salvamento. En otras palabras, los recorridos hasta las puertas de escape deberían de estar escrupulosamente despejados de obstáculos.

b) Hay que contar con la evidencia de que los usuarios, cuando se encuentran en situación de emergencia pierden gran parte de su capacidad operativa por ansiedad y por tensión. Esta circunstancia ha de condicionar los diseños de seguridad:

- En cuanto a los puntos de socorro. En situación de gran tensión el usuario puede experimentar una insalvable dificultad para manejarse con instrumentos o aparatos, incluso para liberarlos de sus alojamientos habituales. No podrá leer instrucciones de manejo, formas específicas de separación de los aparatos de sus soportes y puede que ni romper un vidrio para alcanzarlos. El diseño de todos los elementos de socorro se ha de pensar para que sean operativos bajo estados de ofuscación por miedo o por tensión. Es muy penoso estar estirando de un extintor, alocadamente, mientras se observa en la distancia (a veces excesiva) cómo el fuego progresiona en nuestro vehículo. Añádase a esto la circunstancia de que nuestra familia se encuentre en las proximidades del vehículo en llamas... Tampoco es fácil manejar una manguera y arrastrarla durante unas decenas o de metros cuando nunca se ha tenido esa experiencia. Y ello sin contar con la necesaria potencia física para realizarlo ni la ignorancia de sobre como apagar un fuego en un vehículo.
- En lo que hace a las salidas de escape la situación es similar, aunque tal vez más extrema. Habitualmente las salidas de escape presentan un aspecto pesado, como de puertas de bunker, de aparente difícil apertura, de acceso cerrado. Esta convicción ha llevado en alguna ocasión a usuarios desesperados a intentar salir tirando de la puerta en sentido equivocado y confirmando su expectativa (creencia) de que efectivamente estaba sólidamente cerrada han cejado en el intento. Los equipos de salvamento han encontrado en ocasiones grupos de gente apelotonada junto a una puerta de escape que no fueron capaces de abrir simplemente por ofuscación.

En general, no es razonable ni realista pedir a los usuarios, en esas condiciones, que lean instrucciones, realicen razonamientos que excedan el sentido común o eje-

cuten acciones que requieran alguna habilidad especial. Como ejemplo sirva la situación de un conductor de buen nivel cultural y mental que, tras una colisión, con disparo del airbag, no fue capaz de accionar el simple mecanismo de apertura del triángulo de señalización. Lo elemental, lo fácil, se hizo imposible. La infraestructura ha de estar pensada para ser eficaz en esos estados emocionales y no sólo en estados normales y sosegados.

3.4.2. Modificaciones sobre la normativa de circulación y seguridad

Se puede observar en videos muy explícitos cómo, además de los vehículos implicados en un accidente grave dentro del túnel, un número frecuentemente notable de otros vehículos se detienen próximos a ellos y se produce una serie de comportamientos que en general tiene poco de adecuados. La normativa para estos casos parece insuficiente, simplista y seguramente incompleta, como se desprende de la lectura de los manuales de formación de nuevos conductores.

Los usuarios parecen carecer de referentes normativos para manejarse en los aledaños de la zona de accidente, en el interior del túnel. ¿Deben de permanecer en el interior de sus vehículos?, ¿deben de intentar escapar con sus vehículos?, ¿deben de retirar sus vehículos todo lo posible para dejar paso y salir de la galería hasta que haya pasado el peligro?.

Existen grabaciones de video en las que los usuarios retenidos en un túnel, cerca de un camión en llamas salen de sus vehículos tranquilamente, comentan el suceso entre ellos y casi paseando y en familia se dirigen al lugar del fuego para ver mejor lo que está sucediendo. No sólo la ignorancia de la normativa, sino una peligrosa curiosidad les impele hacia lo que puede ser su propio fin. Una explosión o un cambio de la corriente de aire pueden ponerles en una situación extrema. La curiosidad, la ausencia de sensación de riesgo, la ignorancia de los factores de riesgo dentro de los túneles, no sólo dificultan el trabajo de los equipos de rescate sino que suelen incrementar las desgracias. Una clara y rotunda normativa para estas situaciones, más allá de lo convencional ayudaría a saber qué hacer, reduciendo este tipo de comportamientos difíciles por compulsivos.

Se suele decir lo que no hay que hacer, pero no está tan claro lo que realmente hay que hacer para incrementar la probabilidad de supervivencia del usuario y la eficacia de los equipos de rescate.

LA CARGA MENTAL EN LOS TÚNELES: CONSECUENCIAS EN LA CONDUCCIÓN Y POSIBLES SOLUCIONES. RESULTADOS DE UNA ENCUESTA. APORTACIONES PARA LA REDUCCIÓN DE RIESGOS

Hace unos años era obligatorio llevar en el vehículo un extintor, que el conductor no sabía manejar ni estaba sujeto a ningún mantenimiento. Tal vez se podría reconsiderar este aspecto, dado que es mucho más rápido y operativo tener a mano un recurso de acción inmediata que caminar, transportar y analizar como usar un recurso distante, pesado y desconocido. Un fuego bajo el capó de un coche se apaga mejor en los primeros instantes que más tarde cuando la chapa caliente ya impide su apertura. Las revisiones de ITV podrían servir de control del mantenimiento de dicho dispositivo.

La normativa ha de facilitar los comportamientos seguros de forma clara y eficaz para incrementar la seguridad y las probabilidades de supervivencia. Sin duda es complicado generar normas de comportamiento eficaces y que sirvan para cualquier situación y al final es el usuario el que toma sus decisiones.

3.4.3. Implementación de recursos personales en los conductores

El usuario, como actor principal, en un escenario que ha de estar muy cuidadosamente diseñado y regulado, ha de incorporar algunas experiencias y habilidades que le doten de capacidad para manejarse en las emergencias con alguna probabilidad de éxito. Si el primer contacto con la emergencia es la situación real, no tendrá tiempo para aprender por ensayo y error. Hay mucho que aprender con respecto a supervivencia, aunque parezca que ésta sólo dependa de nuestra natural capacidad de reacción. Por ejemplo, en ningún lugar se enseña que en un vuelco de un vehículo que queda boca abajo, con sus ocupantes retenidos por sus cinturones de seguridad, uno de los riesgos más importantes aparece durante el rescate o salida del vehículo. Al liberar a los ocupantes de sus cinturones que los atan a los asiento suelen caer sobre su propia cabeza y torcerse el cuello con mucha probabilidad de graves lesiones medulares. Saber cosas tan simples como ésta incrementa la probabilidad de supervivencia propia y de las personas a las que podamos rescatar.

Entre otras cuestiones pensamos que sería interesante dotar a los usuarios de experiencia en algunos aspectos:

- a) Incremento del énfasis de la normativa de emergencia en túneles y clarificación de comportamientos seguros. Dejando de lado diferencias circunstanciales entre ellos, en el primer gran accidente trans-alpino de los últimos tiempos, en 1999 en el túnel del Montblanc, perecieron 41 usuarios, de los que 34 que permanecieron en sus vehículos, siguiendo lo que podría considerarse una pauta correcta: permanecer en sus vehículos con las ventanillas cerradas y el motor apagado. En el segundo, en 2001 en el San Gotardo, parece que los usuarios abandona-

**V SIMPOSIO DE TÚNELES
SEGURIDAD PARA LOS TÚNELES DEL SIGLO XXI**

ron rápidamente sus vehículos, tal vez como consecuencia de la sensibilización debida al primer accidente y las víctimas fueron muchas menos.

- b) Manejo de situaciones de fuego. En nuestra encuesta una importante proporción de participantes (60,9%) declararon no haber utilizado nunca un extintor y el 88% respondieron que nunca lo habían aplicado en emergencias o en simulaciones de tráfico. Apagar el fuego en un vehículo no es similar a apagar una barbacoa. Tal vez algún tipo de entrenamiento en el uso de medios de apagar fuegos podría ser considerado, vinculando a los servicios de bomberos, en la formación en las autoescuelas o, al menos, por medio de videos ilustrativos que muestren técnicas y estrategias, así como la resolución de posibles dificultades.
- c) Pautas de comportamiento para manejarse en situaciones de humos y de gases dentro de los túneles.
- d) Claras pautas de comportamiento en diversas situaciones de emergencia en los túneles.
- e) Estrategias de escape. Organización de la evacuación. Prioridades.

En definitiva, se trataría de - además de concienciar a los usuarios sobre los riesgos dentro del túnel para que lo contemplen como un lugar especial de circulación - ponerles en contacto experiencial con técnicas de extinción de fuegos, de control y de reducción de situaciones peligrosas y de escape, así como de pautas adecuadas de comportamientos concretos para incrementar la supervivencia. Los usuarios son receptivos a estas acciones y a incorporar todo aquello que perciben importante para su seguridad.

4. Conclusiones. Resultado integrado de nuestras propuestas

La gestión de la seguridad tiene algunos inconvenientes clásicos. En realidad se trata de mantener los sistemas en su estado de funcionamiento adecuado, evitando que sucedan alteraciones importantes. Hay que aplicar esfuerzo y recursos para que no pase nada y, cuando lo logramos, nos parece que ese estado de cosas es justamente el espontáneamente natural. No hay logros observables ni cambios espectaculares que recompensen los esfuerzos. Además, como la probabilidad de los eventos negativos es muy baja se puede tener la sensación de exagerar en cuanto a su gestión. Pero cobra sentido cuando las consecuencias de tales eventos son potencialmente muy importantes. No hay más recompensa que la normalidad continuada. Por otra parte, seguridad y operatividad parecen inversamente relacionadas. La máxima seguridad es la paralización del sistema. Esos son los equilibrios críticos a gestionar.

LA CARGA MENTAL EN LOS TÚNELES: CONSECUENCIAS EN LA CONDUCCIÓN Y POSIBLES SOLUCIONES. RESULTADOS DE UNA ENCUESTA. APORTACIONES PARA LA REDUCCIÓN DE RIESGOS

En ese esfuerzo estamos implicados muchos profesionales y profanos, de modo que cualquier aportación puede suponer una mejor forma de lograr incrementar la estabilidad de un sistema en el que el operador humano (aparentemente impredecible), el actor, tiene sus particularidades a considerar para diseñar con realismo.

Es por ello que, modestamente, hemos sugerido diferentes aspectos de posibles mejoras, desde esta perspectiva. Tal vez drásticas y osadas sugerencias de modificación del escenario túnel, sin entrar en las posibles dificultades técnicas para su realización, intentando convertir un espacio cerrado que genera sobrecarga mental y ciertos niveles de angustia indeseables para la seguridad. Hemos señalado la necesidad de considerar muy seriamente los estados emocionales en las emergencias como graves limitadores de la capacidad de razonamiento y toma de decisiones de los usuarios y sus repercusiones sobre el diseño de diferentes elementos de socorro. También matizaciones en la normativa desde la misma perspectiva, sin entrar en aspectos técnicos, así como la necesidad de una mejor formación de los usuarios, dotándoles de ciertas experiencias o informaciones para ajustar sus comportamientos en los túneles a la menor probabilidad de incidentes/accidentes y para un mejor afrontamiento cuando estos acontezcan.

5. Bibliografía

- Alarcón, E. (2002) La seguridad de las infraestructuras: El caso de los incendios en los túneles. Sesión inaugural del Año Académico. Madrid: Academia de las Ciencias.
- Asociación Técnica de CarreterasTC (2002). Conclusiones de las Jornadas sobre Seguridad en la Explotación de Túneles. Madrid, 9 y 10 de Marzo.
- Blasco, R.D. (2000). De la gestión del riesgo a la gestión de la seguridad. Revista de Psicología del Trabajo y de las Organizaciones, 16(3). Pp. 299-328.
- Blasco, R.D. y Cornejo, J.M. (2005). Resultados psicológicos experimentales en la conducción por túneles. Aportaciones a la seguridad vial. Ponencia al IV Simposio de Túneles. Andorra.
- Cornejo, L. (2002). La seguridad en los túneles, objetivo preferente. Jornada sobre La seguridad en la explotación de túneles carreteros. Madrid.
- Crundall, D., Underwood, G. & Chapman, P. (2002). Attending to the peripheral world while driving. Applied Cognitive Psychology, 16(4). pp. 459-475.
- De Waard, D. (1996). The measurement of driver's mental workload. PhD thesis. University of Groningen, Traffic Research Centre. Haren. The Netherlands

V SIMPOSIO DE TÚNELES
SEGURIDAD PARA LOS TÚNELES DEL SIGLO XXI

- López Guarga, J. (2001). Jornadas sobre Seguridad en Túneles. (Barcelona, 22 y 23 de Marzo).
- Martens, M.H. & Kaptein, M.A. (1998). Effects of tunnel design characteristics on driver behaviour and traffic safety: a literature review. Deliverable 2.1 SAFESTAR project.
- Parlamento Europeo. Directiva 2004/54/CE del Parlamento europeo y del Consejo, de 29 de abril de 2004.
- Rainer, C., Smuc, M., Gatscha, M. & Otxelberger, B. (2002). Driving behaviour in motorway tunnels. Informe técnico. (Kuratorium für Verkehrssicherheit). Austria.