



INUNDACIONES Y SEQUÍAS

Análisis Multidisciplinar para Mitigar
el Impacto de los Fenómenos
Climáticos Extremos.

Joaquín Melgarejo Moreno
M^a Inmaculada López Ortiz
Patricia Fernández Aracil

(Editores)

INUNDACIONES Y SEQUÍAS

Análisis Multidisciplinar para Mitigar
el Impacto de los Fenómenos
Climáticos Extremos.

Joaquín Melgarejo Moreno
M^a Inmaculada López Ortiz
Patricia Fernández Aracil

(Editores)

© los autores, 2021
© de esta edición: Universitat d'Alacant

ISBN: 978-84-1302-138-6

Reservados todos los derechos. No se permite reproducir, almacenar en sistemas de recuperación de la información, ni transmitir alguna parte de esta publicación, cualquiera que sea el medio empleado -electrónico, mecánico, fotocopia, grabación, etcétera-, sin el permiso previo de los titulares de la propiedad intelectual

INCORPORACIÓN DE CONTENIDOS SOBRE EL RIESGO DE INUNDACIÓN EN LA EDUCACIÓN VIAL

Andrés Díez Herrero

Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC), España
andres.diez@igme.es
<https://orcid.org/0000-0003-1106-191X>

Mario Hernández Ruiz

Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC), España
m.hernandez@igme.es
<https://orcid.org/0000-0002-4088-2269>

Daniel Vázquez Tarrío

Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC), España
d.vazquez@igme.es
<https://orcid.org/0000-0002-5658-4426>

Mercedes Velasco de la Rubia

Auto-escuela Albuera, Segovia, España
velascodelarubia@gmail.com

RESUMEN

Las estadísticas de víctimas mortales debidas a desastres por inundaciones en España muestran altos porcentajes de fallecidos y damnificados mientras permanecían o circulaban en vehículos, muchas veces en actos temerarios al intentar cruzar una corriente fluvial durante avenidas. Sin embargo, ni el Reglamento General de Circulación, ni los temarios y exámenes para la obtención del permiso de conducción contienen aspectos educativos en relación con el riesgo de inundación. Por ello, el presente trabajo propone la incorporación a la educación vial de nociones básicas sobre los riesgos asociados a situaciones de inundación, que podrían incluirse junto a los temas de conducción con condiciones meteorológicas adversas (lluvia, nieve, hielo, niebla, viento), contemplando tanto los riesgos de conducción en terrenos inundados (calados, velocidades, arrastres, aterramiento), como la actuación cuando el vehículo se encuentra sumergido (salida del vehículo bajo el agua). Igualmente, se valora la incorporación de complementos y alternativas a las señales verticales de tráfico para indicar el peligro de las zonas inundables.

1. DAÑOS POR INUNDACIONES Y LA CIRCULACIÓN VIAL EN ESPAÑA

No existen, hasta donde tenemos conocimiento, estadísticas oficiales sobre la incidencia de las inundaciones en la siniestralidad del tráfico; tampoco sobre el número de personas fallecidas o damnificadas por inundaciones cuando se encontraban circulando o en el interior de sus vehículos. A falta de estas estadísticas oficiales, la base de datos RIADA, elaborada por personal del Área de Riesgos Geológicos del Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC) desde 2005, a partir de noticias aparecidas en medios de comunicación y redes sociales, y que incluye a las víctimas mortales por inundaciones con una descripción de la causa de la muerte, permite hacer unas estimaciones oficiosas de la relación entre inundaciones y circulación vial. Los resultados de los análisis estadísticos básicos realizados para este estudio se sintetizan en la Tabla 1.

SERIE DE DATOS	TOTAL VÍCTIMAS	MUERTOS/AÑO	MODA DE MES	MEDIA EDAD	MODA EDAD	% HOMBRES/ % MUJERES
1957-actualidad, todos los registros	1272	19,87	Sept.	50,7	80	64/36
1996-actualidad, todos los registros	374	14,96	Sept.	50,2	80	67/33
1996-act. con causa de la muerte	217	8,68	Oct.	50,9	80	69/31
1996-act. con causa en vehículo	68	2,72	Oct.	49,1	74	82/18

Tabla 1. Estadísticas básicas de personas fallecidas en España por causa de inundaciones, a partir de los registros contenidos en la base de datos RIADA (IGME, CSIC).

De las 217 víctimas mortales en el último cuarto de siglo (1996-2021) incluidas en la base de datos RIADA y sobre los que se conoce la causa o las circunstancias de la muerte, en un total de 68 personas se hizo constar que fallecieron cuando se encontraban en sus vehículos, en su mayoría intentando circular o transitar por la zona inundada. Estas cifras suponen porcentajes significativos del total de fallecidos (31%), con una media de casi tres personas fallecidas en sus vehículos al año; a la vez que su cruce con otros parámetros sociodemográficos, como la edad media (49,1 años) o el sexo (82% hombres) de los fallecidos por inundaciones en sus vehículos, hacen pensar que los actos voluntarios y conscientes de circulación por zonas inundadas suponen una problemática específica en nuestro país.

Por este motivo, convendría ser conscientes de los riesgos específicos de la circulación vial durante inundaciones, conocer cómo la conducción en estas circunstancias está o no contemplada en la educación vial; y, en caso de ser insuficiente, realizar una propuesta de mejora basada en la inclusión de contenidos básicos sobre el riesgo de inundación en la educación vial en España, para minimizar estos riesgos y evitar daños futuros.

2. RIESGOS ESPECÍFICOS DE LA CIRCULACIÓN VIAL DURANTE INUNDACIONES

Existen varios peligros de la inundación que suponen situaciones de riesgo para los vehículos, la circulación vial y la integridad física de sus ocupantes, los cuales podrían agruparse en tres

grandes bloques: la flotación y arrastre de vehículos por la corriente; la sumersión del vehículo bajo la lámina de agua; y el aterramiento y cubrimiento por carga sólida.

2.1. Riesgos de flotación y arrastre del vehículo por la corriente

Se ha publicado abundante bibliografía técnica sobre las condiciones de flujo que son precisas para poner en movimiento (flotación y arrastre) un vehículo, tanto para automóviles de turismo, como para vehículos industriales (camiones, tractores, furgonetas), de pasajeros (autobuses) e incluso vehículos especiales (retroexcavadoras, sistemas acorazados, etc.). Quizás la recopilación más completa y actualizada de todos los ensayos empíricos (en observaciones reales o canales experimentales) y modelaciones numéricas con modelos hidrodinámicos, sea la realizada por Martínez-Gomariz et al. (2018). Tras recopilar y analizar decenas de estudios experimentales y teóricos llegan a la conclusión de que el criterio de la ‘Guía australiana de precipitación y escorrentía’ (*Australian Rainfall and Runoff, AR&R*; Shand et al., 2011) es la mejor referencia en la actualidad para garantizar la estabilidad de los vehículos, de acuerdo con los tres tipos de vehículos analizados en los estudios posteriores a la publicación de la guía (Fig. 1).

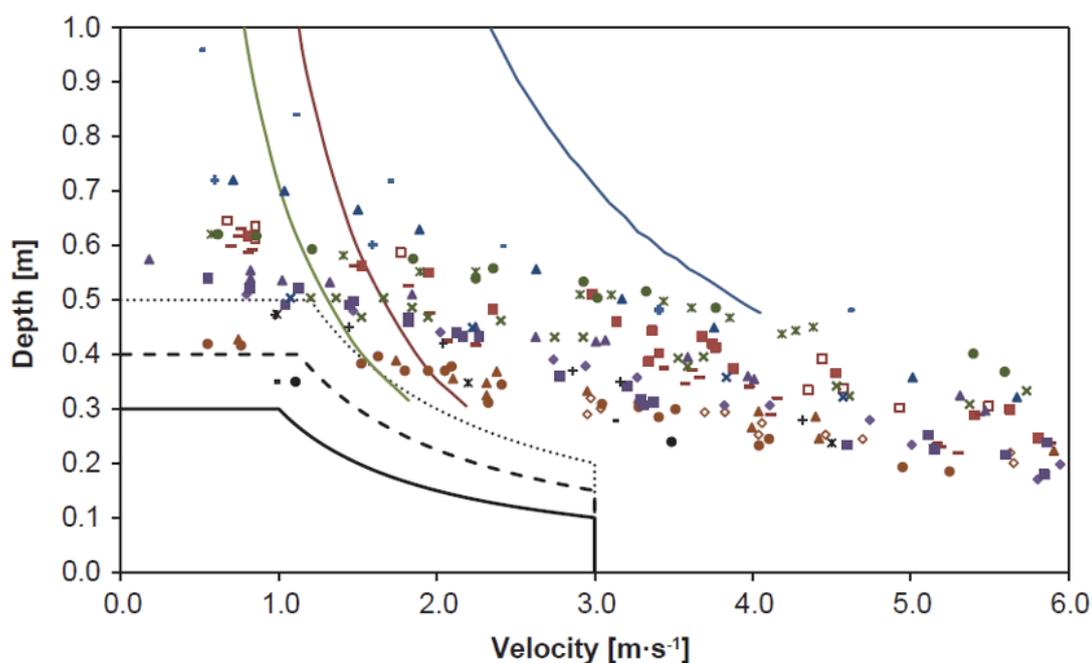


Figura 1. Verificación del criterio AR&R (líneas) por comparación con los resultados de estudios teóricos y experimentales posteriores (símbolos). Fuente: Shand et al. (2011) y Martínez-Gomariz et al. (2018).

Como se puede apreciar en la Fig. 1, para calados (o profundidades) de la lámina de agua superiores a 35 cm y con cualquier rango de velocidad, el vehículo se pone en flotación; calados que se reducen incluso a menos de 20 cm para velocidades superiores a 4 m/s. Por lo tanto, es desaconsejable circular con vehículos o tratar de cruzar por láminas de agua sin movimiento superiores a 20 cm; y debería estar totalmente prohibido a partir de 30 cm.

Una vez puesto en movilización y flotación el vehículo, el movimiento de este puede realizarse tanto por flotación, parcialmente sumergido en las partes más pesadas (como el motor), o por arrastre, rodadura o saltación transportado como carga de fondo. La velocidad de desplazamiento suele ser ligeramente inferior a la del flujo por las fuerzas de resistencia al movimiento, y el sentido y posición del movimiento suele estar condicionado por la distribución de cargas y

pesos del vehículo. Puede consultarse una versión simplificada y actualizada de las fuerzas que actúan sobre el vehículo durante una inundación en el trabajo de Bocanegra y Francés (2020), quienes lo usan para la estimación de la peligrosidad de las inundaciones para los vehículos y, combinada con la probabilidad de ocurrencia y la densidad de vehículos, calcular el riesgo por inundación sobre los vehículos. En los automóviles de turismo modernos, que suelen tener el motor en posición delantera, el movimiento del vehículo en el seno del flujo se hace dejando esta parte delantera retrasada respecto a la trasera en el sentido del flujo; dicho en lenguaje coloquial, los coches circulan flotando ‘de culo’ según el sentido la corriente. De esta forma, cuando se produce la parada y depósito del vehículo movilizado, suele hacerlo apilándose con otros obstáculos (en ocasiones otros vehículos) de manera imbricada de acuerdo a la disposición hidrodinámica más estable (Fig. 2). Por lo tanto, en un apilamiento de vehículos tras una inundación, puede que sea más fácil abandonar el vehículo por la parte de atrás del mismo, que por las puertas delanteras (Fig. 3).



Figura 2. Vehículos movilizados por una avenida torrencial y depositados con disposición imbricada con la parte más pesada (delantera, con el motor) retrasada en sentido del flujo respecto a la más ligera (maletero), de forma que el maletero se sube sobre el capó delantero del coche que circulaba justo delante de él. Por lo tanto, el sentido de la corriente de la avenida fue de izquierda a derecha según la foto. Fuente: Inundación en las calles de Camas (Sevilla) en 1997. El País.



Figura 3. Vehículos movilizados de un aparcamiento por una avenida torrencial y depositados con disposición imbricada denotando que el sentido de la corriente de la avenida fue de derecha a izquierda según la foto. Fuente: Inundación en las proximidades de Orihuela (Alicante) en septiembre de 2019. ABC.

2.2. Riesgos de sumersión del vehículo bajo lámina de agua

Además de la puesta en flotación y movilización de los vehículos, otro riesgo lo constituye la sumersión parcial o total del mismo bajo la lámina de agua. Aunque muchos vehículos están diseñados para que el habitáculo de los pasajeros actúe como un auténtico compartimento estanco, siempre quedan orificios de ventilación, ranuras de cierres u ocurre la rotura de elementos (vidrios de ventanas o parabrisas), que permiten la entrada del agua en el habitáculo y la sumersión del mismo.

En estas circunstancias, los riesgos para las personas del interior, además de ahogamiento por falta de aire en el habitáculo, derivan de la posible apertura inadecuada o rotura de algún elemento del vehículo (lunas delantera o trasera, cristales de las puertas). Debido a ello es fundamental conocer cómo proceder para salir del vehículo que se encuentra sumergido total o parcialmente.

En el caso de la sumersión parcial, por debajo del nivel de los cristales de las puertas, lo adecuado es bajar los cristales de las puertas y sacar el cuerpo por la ventanilla contraria a la corriente para escalar hasta el techo del vehículo y esperar a ser rescatados (Fig. 4). Por el contrario, en caso de que la sumersión sea completa o supere la altura de los cristales de las puertas, conviene no abrir repentinamente las puertas o ventanillas, sino progresivamente para tratar de igualar las presiones hidrostáticas dentro y fuera del vehículo, y así poder salir buceando del mismo con la apertura de una puerta o la rotura intencionada de una de las lunas. A este respecto, como el cristal de la luna delantera está protegido contra impactos de objetos y resulta imposible su rotura intencionada para la apertura de un orificio suficientemente grande, es preferible proceder a la rotura de la luna trasera o los cristales de las puertas, usando un objeto contundente metálico como un pequeño martillo (similar a los de emergencia en transporte público) o una bujía.



Figura 4. Secuencia de viñetas de la maniobra de autoprotección de una persona saliendo de su vehículo en una zona inundada en Sagunto (Valencia) en julio de 2018. Fuente: La Sexta Noticias.

2.3. Otros riesgos asociados al transporte y sedimentación de carga sólida

Otros aspectos de las avenidas e inundaciones que puede causar riesgo sobre los vehículos y sus pasajeros son los derivados de la carga sólida que arrastra y deposita el flujo acuoso. Por un lado, los materiales detríticos inorgánicos que transportan las corrientes fluviales, como bloques, cantos, gravas, arenas y arcillas, pueden entrar en el habitáculo y dañar a los tripulantes mediante traumatismos, contusiones o ahogamiento por enterramiento; por otro, estos materiales detríticos pueden deteriorar el vehículo y sus elementos más vulnerables, como el motor y los sistemas eléctricos, de tracción y los mecanismos de escape de gases, obturando orificios de admisión o escape, filtros, válvulas, etc. Por otro lado, también la carga leñosa vegetal que arrastra la corriente, como raíces, troncos, ramas, hojas, tallos arbustivos o herbáceos puede interactuar con el vehículo, aumentando los daños en el mismo y sus ocupantes. Es frecuente, cuando una corriente fluvial ha arrastrado un vehículo durante una avenida, que éste aparezca cubierto o parcialmente relleno de restos vegetales y/o sedimento.

3. LOS RIESGOS DE INUNDACIÓN EN LA EDUCACIÓN VIAL

A pesar de todos los riesgos asociados a las inundaciones que se han enumerado en el anterior apartado, los cuales se materializan en unas preocupantes estadísticas de daños en los vehículos y sus ocupantes, existe una notoria falta de inclusión de estos aspectos en la normativa y reglamentación relacionada con el tráfico de vehículos y en la educación vial que reciben los futuros conductores.

3.1. Reglamento General de Circulación

El actual Reglamento General de Circulación está promulgado en el Real Decreto 1428/2003, de 21 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento General de Circulación para la aplicación y desarrollo del texto articulado de la Ley sobre tráfico, circulación de vehículos a motor y

seguridad vial, aprobado por el Real Decreto Legislativo 339/1990, de 2 de marzo. A lo largo de las 136 páginas que ocupa en el Boletín Oficial del Estado como legislación consolidada (BOE, núm. 306, de 23 de diciembre de 2003; referencia: BOE-A-2003-23514), no aparece ni una sola referencia a las inundaciones o la circulación en zonas anegadas.

Tan sólo se podrían entender como referencias indirectas a las inundaciones, aquéllas que se hacen a la circulación con agua en la calzada, como:

- CAPÍTULO II. Velocidad. Sección 1.^a Límites de velocidad. Artículo 46. Moderación de la velocidad. Casos. 1. Se circulará a velocidad moderada y, si fuera preciso, se detendrá el vehículo cuando las circunstancias lo exijan, especialmente en los casos siguientes: [...] g) *Al circular por pavimento deslizante o cuando pueda salpicarse o proyectarse agua, gravilla u otras materias a los demás usuarios de la vía.*
- CAPÍTULO VI. De los tipos y significados de las señales de circulación y marcas viales. Sección 4.^a De las señales verticales de circulación. Subsección 1.^a De las señales de advertencia de peligro. P-27. Muelle. Peligro debido a que la vía desemboca en un muelle o en una corriente de agua (Fig. 5).

Por otra parte, entre las señales de tráfico también hay en el Reglamento de Circulación algunas otras señales verticales (Fig. 5) que pueden tener relación con zonas llanas, bajas o endorreicas, potencialmente inundables:

- CAPÍTULO VI. De los tipos y significados de las señales de circulación y marcas viales. Sección 4.^a De las señales verticales de circulación. Subsección 1.^a De las señales de advertencia de peligro:
 - P-15. Perfil irregular. Peligro por la proximidad de un resalto o badén en la vía o pavimento en mal estado.
 - P-15 b. Badén. Peligro por la proximidad de un badén en la vía.
 - P-19. Pavimento deslizante. Peligro por la proximidad de una zona de la calzada cuyo pavimento puede resultar muy deslizante.

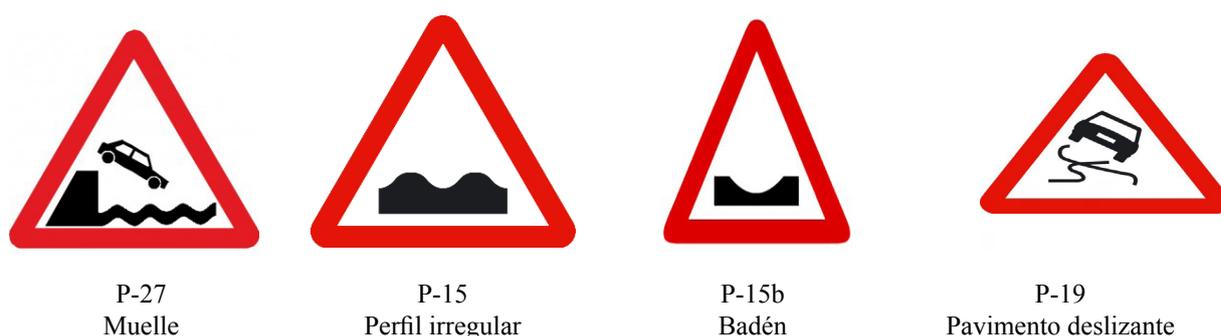


Figura 5. Principales señales de tráfico contenidas en el actual Reglamento General de Circulación y relacionadas con zonas inundadas o inundables.

3.2. Temas complementarios para la obtención del permiso de conducción

Si bien los temarios de las pruebas para la obtención del permiso de conducción se basan fundamentalmente en los contenidos del Reglamento General de Circulación y, por lo tanto, no

hay ningún apartado del temario ni pregunta de examen sobre la conducción en inundaciones, existen una serie de temas complementarios donde sí que se habla de aspectos relacionados.

El tema 17 de algunos manuales de obtención del permiso de conducción está dedicado a la conducción en situaciones de riesgo, incluyendo condiciones ambientales y meteorológicas adversas y, dentro de ellas, la conducción con lluvia. Entre los contenidos de este apartado se indica: *“Las consecuencias inmediatas de la lluvia son la falta de adherencia de los neumáticos y la falta de visibilidad. La calzada se hace más deslizante al caer las primeras gotas de agua tras un largo periodo de tiempo sin haber llovido. Si circulando, nos sorprende una tormenta con lluvia torrencial, se debe extremar la precaución y estacionar el vehículo en un lugar permitido, manteniendo encendidas las luces de posición si fuera preciso. Cuando está lloviendo e incluso cuando ha dejado de llover: - Se puede producir aquaplaning debido a los charcos de agua, a llevar los neumáticos desgastados o a circular a una velocidad elevada. El conductor lo nota, porque la dirección flota [...] Por ello se deben adoptar las siguientes medidas: [...] - Prestar especial atención a los badenes y a las zonas en las que se pueden producir charcos”*.

De estos contenidos complementarios en ocasiones derivan algunas de las potenciales preguntas de examen, como:

- Si hay charcos de agua en la calzada...
 - a. debe acelerar para atravesarlos lo antes posible.
 - b. debe moderar la velocidad en todo caso.
 - c. no es aconsejable tomar ninguna decisión.

- Cuando llueve, ¿hay que prestar especial atención a alguna zona de la vía en particular?
 - a. No, puesto que circular con lluvia es muy peligroso en todas partes.
 - b. Sí, a los badenes y a las zonas en las que se pueden producir charcos.
 - c. No, únicamente hay que prestar atención cuando hay niños en las proximidades.

Pero, como se puede comprobar, estos contenidos y preguntas son totalmente insuficientes para la problemática durante inundaciones, y sólo válidos para lluvia intensa y charcos puntuales, que tienen riesgos diferentes a los debidos a anegamiento con lámina de agua más profunda y con velocidad de la corriente.

Entre los escasos documentos técnicos publicados por organismos oficiales que incluyen nociones básicas sobre la conducción en riadas se encuentra el suplemento titulado “Contratiempo. Conducir con condiciones meteorológicas adversas”, correspondiente al número 252 de la revista ‘Tráfico y Seguridad Vial’ (Más, 2019), que dedica su página 5 a la conducción en las riadas y episodios de gota fría (Fig. 6).



Figura 6. Infografía sobre qué hacer en la conducción durante una riada.
Fuente: Dirección General de Protección Civil y Emergencias (Ministerio del Interior) y Cuerpo de Bomberos de la Comunidad de Madrid; en Más (2019).

4. PROPUESTA DE INCORPORACIÓN DE CONTENIDOS SOBRE EL RIESGO DE INUNDACIÓN EN LA EDUCACIÓN VIAL

Sería deseable que futuras actualizaciones o reformas del Reglamento General de Circulación incorporen alguno de los contenidos conceptuales, procedimentales o actitudinales que puedan afectar a la circulación de los vehículos en situaciones de inundación, y que han sido enumerados en los anteriores apartados.

Además, se deberían desarrollar variantes de las actuales señales de tráfico que den lectura, por ejemplo, a la segunda parte de la señal “P-27. Muelle. Peligro debido a que la vía desemboca en un muelle o en una corriente de agua”; esto es, una señal para “Peligro debido a que la vía termina o cruza una corriente de agua” y a la que podría asignarse el código “P-27b”. O también una variante de la señal “P-15 b. Badén. Peligro por la proximidad de un badén en la vía”, indicando que ese badén es susceptible de ser inundado: “P-15 c. Badén inundable. Peligro por la proximidad de un badén en la vía que puede estar inundado”.

También se podrían poner complementos autorizados a las señales oficiales de peligro indeterminado (como “P-50. Otros peligros”), indicando con rótulos el carácter inundable (Fig. 7). Incluso incorporar al Reglamento General de Circulación otras señales que, aun siendo aún no oficiales o informales, se han ubicado en zonas inundables en determinadas comunidades autónomas, municipios o en otros países (Fig. 7).



P-50, Otros peligros + Zona inundable
Fuente: Razón y Revolución



P15 b, Badén + Zona inundable
Fuente: Castellón Información



Peligro por zona inundable
Fuente: Crendes, Abegondo
(Pablo Gonzalez, La Voz de Galicia)



Zona inundable
(señales en formato norteamericano)
Fuente: 123 RF

Figura 7. Complementos y alternativas a las señales de tráfico contenidas en el actual. Reglamento General de Circulación y relacionadas con zonas inundadas o inundables.

Dentro de las señales verticales, sería preferible recurrir a nuevas señales alternativas y no a los complementos en las ya contenidas en el Reglamento, puesto que requieren textos que no siempre son leídos por el conductor y que además precisarían ser traducidos a otras lenguas cooficiales y a lenguas extranjeras en las zonas turísticas. Por no entrar en la conveniencia del uso de señales luminosas de tipo semáforo en la intersección de una vía con una zona inundable o corriente fluvial, que se ponga en rojo cuando los sistemas de alerta oficiales determinen que está inundado o va a ser próximamente inundado. Incluso obstáculos a la circulación por estas zonas que se habilitan temporalmente durante la inundación, como barreras, muros hinchables, cintas señalizadoras, etc.

Todos estos contenidos, además de incorporarse a futuras actualizaciones del Reglamento General de Circulación, deberían formar parte de los temarios para la obtención del permiso de conducción y dar forma a posibles preguntas del examen teórico.

Finalmente deberían incorporarse estos contenidos en la educación vial infantil, tanto a las actividades escolares (parques infantiles de tráfico, charlas informativas por parte de la policía local y municipal) como en la educación no formal en campamentos de verano y actividades extraescolares, como ya se viene haciendo con éxito en la actividad Venero Claro-Agua (Díez-Herrero et al., 2020).

AGRADECIMIENTOS

Esta propuesta forma parte, como estrategia de divulgación y educación en el riesgo (GT5-T3), del proyecto de investigación del Plan Nacional de I+D+i DRAINAGE (CGL2017-83546-C3-R MINEICO/AEI/FEDER, UE). Sirva esta modesta contribución de homenaje a Miguel Tomé de la Vega, ex-jefe de Servicio de Riesgos Sísmicos y Meteorológicos de la Dirección General de Protección Civil y Emergencias del Ministerio del Interior, recientemente fallecido, y quien ya hizo declaraciones en este sentido en 2019 a la revista ‘Tráfico y Seguridad Vial’.

REFERENCIAS

- Bocanegra, R.A., y Francés, F. (2020). Evaluating and Mapping the Hazard and Risk of Vehicle Instability Within a Flood Prone Area. En: F. Fernandes et al. (eds.), *Advances in Natural Hazards and Hydrological Risks: Meeting the Challenge*. Advances in Science, Technology & Innovation. Springer Nature Switzerland AG. http://doi.org/10.1007/978-3-030-34397-2_24
- Díez Herrero, A., Hernández Ruiz, M., Díez Marcelo, P., y Carrera Torres, C. (2020). Programa de educación infantil en el riesgo de inundaciones ‘Venero Claro-Agua’ (Ávila). En: M. I. López Ortiz, y J. Melgarejo Moreno (Eds.), *Riesgo de inundación en España: análisis y soluciones para la generación de territorios resilientes* (pp. 1191-1200). Universitat d’Alacant.
- Martínez-Gomariz, E., Gómez, M., Russo, B., y Djordjevic, S. (2018). Stability criteria for flooded vehicles: a state-of-the-art review. *Journal of Flood Risk Management*, 11, S817–S826. <http://doi.org/10.1111/jfr3.12262>
- Más, A. (2019). A contratiempo. Conducir con condiciones meteorológicas adversas. *Suplemento especial de la revista Tráfico y Seguridad Vial*, 252. Dirección General de Tráfico, Ministerio del Interior.
- Shand, T. D., Cox, R. J., Blacka, M. J., y Smith, G. P. (2011). *Australian rainfall and runoff (AR&R). Revision project 10: appropriate safety criteria for vehicles*. Report Number: P10/S2/020.