

IDENTIFICACIÓN DE RESPONSABILIDAD DE LOS CONDUCTORES. APLICACIÓN AL MÉTODO DE EXPOSICIÓN CUASI-INDUCIDA

Almudena Sanjurjo de No

Estudiante de doctorado, ETSII. Universidad Politécnica de Madrid (UPM), España

Blanca Arenas Ramírez

Profesora titular de la Universidad Politécnica de Madrid, Investigadora en el Instituto Universitario de Investigación del Automóvil Francisco Aparicio Izquierdo (INSIA-UPM), España

Francisco Aparicio Izquierdo

Catedrático Emérito de la Universidad Politécnica de Madrid, Presidente del INSIA-UPM, España

RESUMEN

Determinar las tasas de accidentalidad y mortalidad de diferentes colectivos de conductores es un objetivo importante de la investigación científica de accidentes de tráfico. Para ello, es necesario contar con información acerca de los niveles de exposición de los conductores de manera desagregada.

Sin embargo, el nivel de exposición de diferentes colectivos de conductores no es conocido al nivel requerido y, esta carencia, puede salvarse mediante el método de exposición cuasi-inducida, que permite determinarlo de forma relativa a partir de los datos contenidos en las bases de accidentes de tráfico. La hipótesis principal es que entre los conductores implicados en un accidente entre dos vehículos, se puede distinguir al responsable y no responsable de su ocurrencia y que, éstos últimos, constituyen una muestra aleatoria de la población de conductores. Por lo tanto, determinar correctamente la responsabilidad del conductor, es un objetivo secundario, pero de gran importancia en la investigación.

Hasta el momento, la asignación de responsabilidad se hace, fundamentalmente, en base a dos tipos de infracciones: del conductor y de velocidad, dejando de lado otros registros que sí que podrían incrementar la probabilidad de que un conductor sea responsable.

En este trabajo se presenta la exploración del conjunto de registros de infracciones y condiciones desfavorables de los conductores, que pueden influir en la responsabilidad de los conductores con la metodología Self-Organizing Maps (SOM).

Los resultados obtenidos indican que la clasificación de conductores mejora en comparación con la clasificación tradicional: más conductores clasificados, mayor número de variables consideradas y mayor calidad esperada en el proceso de asignación de responsabilidad.

1. INTRODUCCIÓN

Determinar las tasas de accidentalidad o el riesgo de colisión de diferentes colectivos de conductores es muy importante en seguridad vial con el objetivo de establecer medidas preventivas que traten de evitar el accidente o minimicen sus impactos, tal y como han señalado investigadores como Stamatiadis y Deacon (1997); Redondo et al. (2000); Hing et al. (2003); Jiang y Lyles (2007, 2010); Lenguerrand et al. (2008); Chandraratna y Stamatiadis (2009); Lardelli et al. (2011); Jiang et al. (2012, 2014); Haque et al. (2013); Huggins (2013); Martínez et al. (2013); Pulido et al. (2016).

Las tasas de accidentalidad de un colectivo de conductores se definen como el cociente entre el número de accidentes de este colectivo y la exposición del mismo (Chandraratna y Stamatiadis, 2009; Gómez y Aparicio, 2010; Huggins, 2013). Por lo tanto, para determinarlas es necesario contar con alguna medida de los niveles de exposición del colectivo en cuestión, lo que supone un importante desafío entre los investigadores de seguridad vial (Redondo, 2000; Chandraratna y Stamatiadis, 2009; Gómez y Aparicio, 2010; Lardelli et al., 2011; Haque et al., 2013; Pulido et al., 2016).

Por ello, se recurre al método de exposición cuasi-inducida, que es una modificación del trabajo de Thorpe (1967), realizada por Carr (1969), Hall (1970), Carlson (1970) y Haight (1970) y que permite la estimación relativa de la exposición de un grupo de conductores a partir de la información contenida en la base de datos de accidentes (Stamatiadis y Deacon, 1997; Lardelli et al., 2005; Redondo et al., 2000; Lenguerrand et al., 2008; Chandraratna y Stamatiadis, 2009; Cooper et al., 2010; Lardelli et al., 2011; Huggins, 2013; Jiang et al., 2012, 2014; Pulido et al., 2016).

La hipótesis principal de este método es que los conductores no responsables en accidentes entre dos turismos constituyen una muestra aleatoria de la población general de conductores (Stamatiadis y Deacon, 1997; Hing et al., 2003; Lardelli et al., 2005, 2011; Yan et al., 2005; Yan y Radwan, 2006; Jiang y Lyles, 2007, 2010, 2011; Lenguerrand et al., 2008; Chandraratna y Stamatiadis, 2009; Gómez y Aparicio, 2010; Cooper et al., 2010; Mohaymany et al., 2010; Jiang et al., 2012, 2014; Haque et al., 2013; Martínez Ruíz et al., 2013). Por tanto, la correcta asignación de responsabilidad a partir de la información de la base de datos de accidentes constituye una importante tarea para la estimación posterior de la exposición relativa.

El registro de accidentes de tráfico con víctimas de España no contiene información específica sobre la responsabilidad de cada conductor implicado en un accidente, aunque sí registra las infracciones cometidas por los mismos, así como el estado de dichos conductores (Martínez et al., 2013; Pulido et al., 2016). Sin embargo, no existe un consenso claro acerca de cuáles son las variables que se deberían utilizar para realizar tal asignación de responsabilidad, dado que algunos autores como DeYoung et al. (1997), Jiang y Lyles (2007,

2010), Jiang et al. (2012, 2014) pusieron de manifiesto que asignar la responsabilidad en base a comportamientos no relacionados con la conducción podrían sesgar los resultados. Por ello, fundamentalmente en los últimos años, los investigadores se han inclinado más a asignar la responsabilidad del conductor en base a acciones de conducción peligrosas (Jiang y Lyles, 2010, 2011; Jiang et al., 2012, 2014), principalmente englobadas en las variables infracción del conductor e infracción de velocidad.

En esta investigación se lleva a cabo el análisis de un conjunto más amplio de variables que podrían influir sobre la responsabilidad de los conductores, pero no suelen ser tenidas en cuenta. Para ello, se propone el uso de la metodología de clúster Self-Organizing Maps (SOM) al conjunto de datos de los conductores con dos objetivos fundamentales: (a) Establecer cuáles podrían ser las variables más relevantes en la asignación de responsabilidad y (b) Realizar una propuesta de asignación de responsabilidad que será comparada con la asignación tradicionalmente realizada.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

La base de datos utilizada para llevar a cabo esta investigación fue proporcionada por la Dirección General de Tráfico (DGT) y contiene información de los conductores implicados en accidentes de tráfico ocurridos en España entre 2004 y 2013.

Inicialmente la base de datos fue sometida a un proceso de filtrado para únicamente mantener los accidentes en vía interurbana de tipo frontal, frontolateral, lateral y de alcance, entre dos turismos. Además, se realizó un importante trabajo de depuración de la base de datos filtrada, dado que se detectaron errores que podrían sesgar los resultados de la posterior investigación. Por tanto, la base de datos de partida contaba con un total de 836.598 conductores y tras el filtrado y la depuración de la misma esta quedó finalmente reducida a 145.904 conductores.

La base de datos cuenta con la información relacionada con el conductor (edad, género, infracciones, etc.), con el accidente (día, lugar, etc.) y con el vehículo (tipo, defectos, etc.). Por tanto, a partir de estas variables se seleccionaron todas aquellas que se consideraron que podrían afectar, en mayor o menor medida, a la asignación de responsabilidad del conductor. Por este motivo, las variables seleccionadas para la construcción posterior de los mapas Self-Organizing Maps (SOM) son: infracción del conductor, infracción de velocidad, infracción administrativa, consumo de alcohol y/o drogas, enfermedad súbita, sueño, cansancio y/o preocupación (englobada bajo la variable sueño), defecto físico previo del conductor y estado del vehículo.

Por otro lado, para poder trabajar con estas variables aplicando la metodología SOM, ha sido necesario llevar a cabo un proceso de transformación de los valores de las mismas de forma que estas pasasen de ser categóricas a numéricas. Por convenio, se adoptó el valor de 0 para

indicar que dicha infracción o condición no estaba presente, mientras que el valor 2 indicaba justo lo contrario. Además, se ha utilizado el valor intermedio de 0,25 para indicar que se ignora si está presente o no dicha infracción. Para tomar este valor, se ha partido de dos hipótesis: (a) el mismo tendría que estar comprendido entre 0 ó 2, dado que su categoría es intermedia a las otras dos y (b) si este valor está indicado como “Se ignora” es más probable que sea porque no estuviese presente, por lo que debe asignarse un valor más cercano al 0. Para validar esta cuestión se realizó un análisis de sensibilidad de los mapas SOM para distintos valores (comprendidos entre 0,25 y 1) para los casos en los que el valor de una o más variables era desconocido. Los resultados obtenidos, que no son mostrados aquí por no ser objeto de esta publicación, demostraron que no era significativa la elección de este valor de entre todos los valores probados. Por tanto, basándonos en las hipótesis planteadas, se escogió el valor de 0,25 para los casos en los que se desconocía el valor de la variable. Más información puede encontrarse en Sanjurjo-de-No et al. (2021).

La metodología empleada para llevar a cabo esta investigación es el método clúster conocido como Self-Organizing Maps (SOM).

Self-Organizing map es una técnica de aprendizaje no supervisado que fue desarrollado por Kohonen (1990) y forma parte de las técnicas de Machine Learning. El propósito de SOM es representar datos que, originalmente están en un espacio multidimensional, en un espacio de dimensión más reducida, pero manteniendo la topología original de los datos. Así, conductores que por sus características estuviesen cercanos en el espacio original, deberían seguir estando cercanos en el espacio proyectado. Como señalan algunos autores como Liu, P. (2009), Kohonen, T. (2013), Kohonen, T. (1998) o Lagus, K. (2002), esto supone una importante ventaja del SOM con respecto otros métodos de clúster, dado que permite la visualización de las nubes de puntos generadas por la proyección de los datos, ya que estas suele realizarse en 2 ó 3 dimensiones.

En la presente investigación, la metodología SOM permite realizar un análisis conjunto de las 8 variables anteriormente seleccionadas. De esta forma, se realiza un análisis conjunto de los conductores en el espacio original de 8 dimensiones el cual es proyectado sobre el espacio de 2 dimensiones, pero manteniendo la topología original de los datos de los conductores. Esto tiene por objetivo ayudar a identificar patrones de comportamiento entre los conductores en función de las infracciones que estos pueden o no haber cometido, lo que permitirá arrojar mayor nitidez sobre la responsabilidad de los mismos. Además, al apoyar la asignación de responsabilidad con esta metodología se está proporcionando más información acerca de cómo son los datos de manera multivariante, dado que se tiene en cuenta la distancia conjunta de todas las variables. Esto hace que el proceso de asignación de responsabilidad sea menos radical, esperando con esto que la asignación sea más precisa.

	Defecto físico	Alcohol/Drogas	Enfermedad súbita	Sueño/Cansancio	Inf. Velocidad	Infr. Administrativa	Inf. Conductor	Defecto del vehículo
Cluster 1	2	0.02	0.02	0.02	0	0.09	0	0
Cluster 2	0.10	0.10	0.05	0.06	0.25	0.33	0	2
Cluster 3	0.22	0	0	0	0	0.25	0	0
Cluster 4	0	0	0	0	0.25	0.03	0	0
Cluster 5	0	0	0	0	0	0	0	0
Cluster 6	0.09	0.02	0.02	0.02	2	0.07	0	0
Cluster 7	0.02	0.03	0.03	0.07	0	2	0	0
Cluster 8	0.10	0.24	0.27	0.29	0	0.03	0	0
Cluster 9	0.17	2	0	0	0.32	0.18	0	0
Cluster 11	0.07	0.07	0.07	0.08	2	2	2	0.07
Cluster 12	0.13	0.05	0.06	0.08	0	2	2	0.05
Cluster 14	0.09	0.25	0.26	0.25	0	0.04	2	0
Cluster 15	0	0	0	0	0	0	2	0
Cluster 16	0.02	0.04	0.04	0.04	2	0.03	2	0.03
Cluster 18	0.05	2	0	0	0.52	2	2	0.04
Cluster 19	0.07	0	0	2	0.36	0.02	2	0.02
Cluster 20	0	0	0	0	0.25	0.02	2	0
Cluster 21	0.09	2	0	0	2	0.03	2	0.02
Cluster 22	0.03	2	0	0	0	0.04	2	0.03
Cluster 24	0.25	0	0	0	0	0.24	2	0.12
Cluster 25	2	0.17	0.04	0.02	0.25	0.02	2	0

Tabla 1 – Valor promedio de cada variable en cada clúster

3.1 Variables importantes en la asignación de responsabilidad

En este apartado se realiza un análisis de las variables introducidas en el SOM con el objetivo de determinar cuáles son aquellas que mejor identifican a los grupos o clústers de conductores del SOM. Se debe llegar a una solución de compromiso entre usar un número excesivo de variables para realizar la asignación de responsabilidad y tener en cuenta el suficiente número de variables para la identificación de los grupos de conductores responsables y no responsables de forma que se pierda la menor cantidad posible de información.

En la Tabla 1 y Figura 1 puede observarse que la variable que mejor divide a los conductores en dos grupos es la infracción del conductor, dado que, entre todos los clústers con conductores asignados, esta variable siempre adopta valor 0 ó 2 y no un valor intermedio entre estos. Por lo que se trata de la variable que mejor define la responsabilidad de los conductores. Por otro lado, se observa que la infracción de velocidad es una variable también relevante en la agrupación de los conductores en diferentes clústers y mide comportamientos de conducción peligrosos. Por tanto, esta variable también debería ser considerada en el proceso de asignación de responsabilidad.

La variable defecto físico previo aparece sólo en los clústers 1 y 25 del mapa, lo que hace pensar que no es significativa en la responsabilidad de los conductores. Los defectos físicos de los conductores son principalmente defectos de visión y audición y estos defectos están relacionados con la edad de los conductores (Sanjurjo-de-No et al., 2020) y hay investigaciones, como la realizada por Sagar et al. (2020), que indican que los conductores más mayores tienen más probabilidad de ser responsables en un accidente que los conductores pertenecientes a otras franjas de edad. Esta variable debería, por tanto, ser sometida a análisis futuros que evalúen más profundamente su grado de influencia sobre la responsabilidad del conductor.

Por otro lado, se observa que las variables denominadas “Estado del vehículo” y “Sueño” aparecen de manera aislada en muy pocos casos o aparecen combinadas con otras variables, como la infracción del conductor, que ya por sí sola permitía clasificar a los conductores. Por lo que, se considera que estas variables podrían no ser tenidas en cuenta en el proceso de asignación de responsabilidad.

En relación con las infracciones administrativas, se considera que la única infracción de este tipo que podría ser relevante sobre la responsabilidad es no haber efectuado la Inspección Técnica Reglamentaria del Vehículo (ITV) cuando esta va unida a un mal estado de dicho vehículo. Sin embargo, no se ha identificado ningún clúster en los que ambas variables de infracción aparezcan en un estado desfavorable de manera conjunta. Por lo tanto, se considera poco relevante el uso de esta variable a la hora de realizar la asignación de responsabilidad.

Finalmente, en relación a la variable “Enfermedad súbita”, es importante señalar que en la base de datos de accidentes no se especifica el tipo de enfermedad súbita sufrida por el conductor que la padece. Realmente esta variable no aparece por sí sola en muchos de los clústers, por lo que podríamos no considerarla en el modelo. Sin embargo, teniendo en cuenta la definición de enfermedad súbita como aquellas que aparecen sin ser esperadas y normalmente hacen perder las facultades normales que presenta la persona que las padece (desmayo, ataque de ansiedad, infarto, etc), podríamos considerar que puede afectar a la probabilidad de que un conductor que la padezca pueda ser responsable de un accidente de tráfico. Por esta razón, análisis adicionales también deberían llevarse a cabo en relación a esta variable para determinar el grado de influencia de la misma sobre la responsabilidad de los conductores.

En la Tabla 2 se muestran finalmente las variables consideradas más importantes para realizar la asignación de responsabilidad.

VARIABLES MÁS INFLUYENTES EN LA ASIGNACIÓN DE RESPONSABILIDAD	VARIABLES MENOS INFLUYENTES EN LA ASIGNACIÓN DE RESPONSABILIDAD	RELEVANCIA DESCONOCIDA EN EL PROCESO DE ASIGNACIÓN DE RESPONSABILIDAD
Infracción del conductor	Infracción administrativa	Defecto físico previo
Infracción de velocidad	Sueño	Enfermedad súbita
Consumo de alcohol/drogas	Estado del vehículo	

Tabla 2 – Variables más relevantes para la asignación de responsabilidad con mapas SOM

3.2 Propuesta de asignación de responsabilidad en base al SOM

En este apartado se realiza el análisis del mapa SOM anteriormente creado desde el punto de vista de la responsabilidad de los conductores. Para ello, se tratará de identificar el perfil de cada uno de los conductores en función del clúster al que estos pertenezcan.

Como puede observarse en la Figura 2, es posible establecer una frontera en el mapa, por criterio experto, en función de la combinación de variables que aparece en cada uno de los clústers.

Así, a través de la agrupación de los conductores en diferentes clústers gracias a la proyección de los mismos en el espacio de 2 dimensiones, es posible distinguir dos regiones: potencialmente responsables y potencialmente no responsables.

En la región superior (Potencialmente responsables) se localizan todos aquellos conductores que han cometido una o múltiples infracciones o presentan condiciones desfavorables para la conducción. Se considera que estos conductores son responsables, dado que el perfil de infracciones presentes en esta zona del mapa.

Por otro lado, en la región inferior del mapa (Potencialmente no responsables) se encuentran los conductores que con seguridad no han sido responsables (en el clúster 5) y aquellos conductores que habría que analizar en profundidad junto con el otro conductor del accidente, con el objetivo de determinar si es posible la clasificación de los mismos.

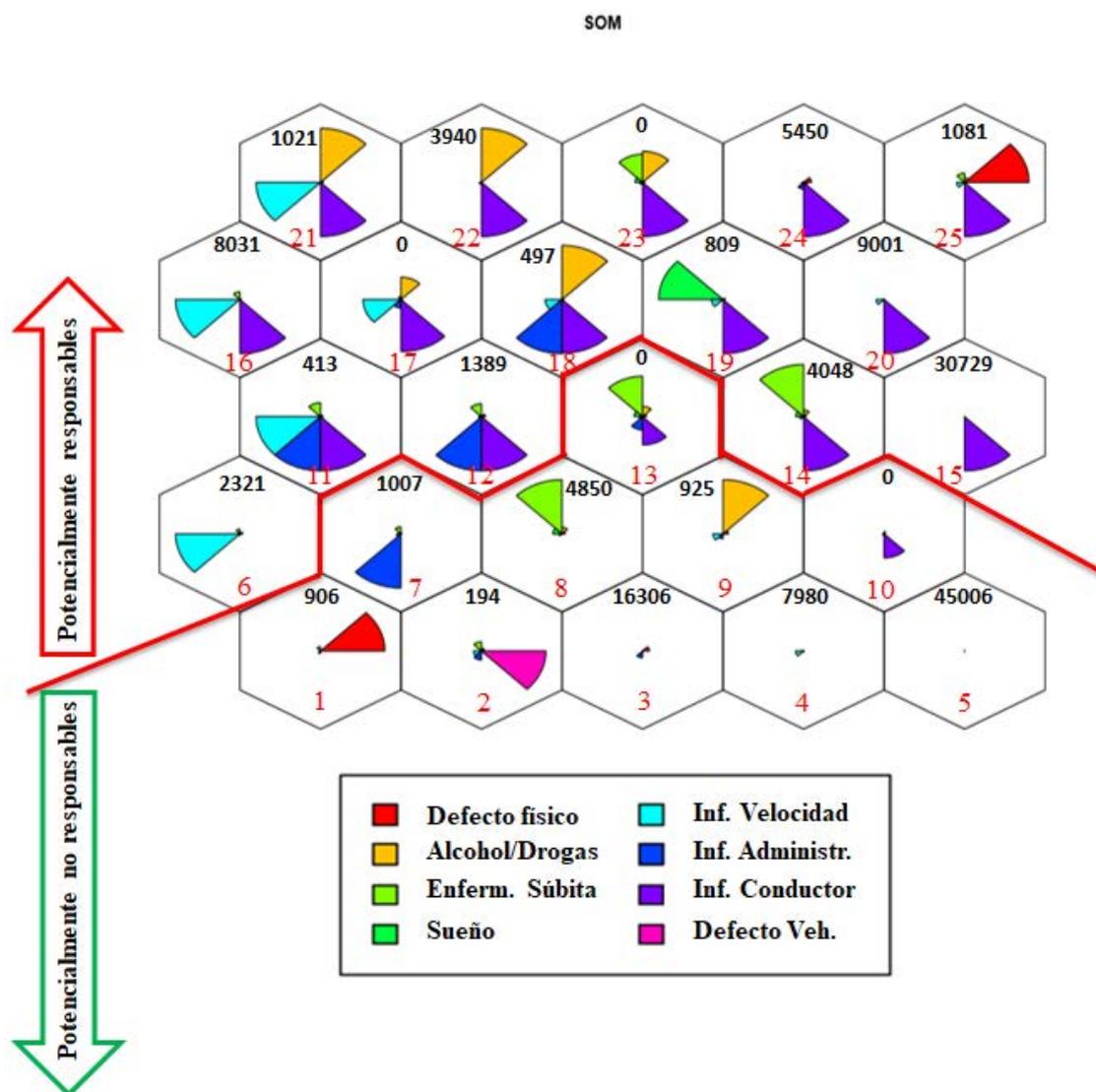


Fig. 2 – Mapa SOM de infracciones con la frontera de separación de regiones

El análisis conjunto de las parejas de conductores implicados en un mismo accidente dio lugar a la identificación de varias casuísticas posibles: (I) Responsable / No Responsable: Si un conductor está situado en la parte superior del mapa y el otro conductor con el que tuvo el accidente está situado en la parte inferior del mapa (establecido por la frontera), entonces el primer conductor podría considerarse responsable del accidente, mientras que el segundo sería considerado como no responsable; (II) Responsable / Responsable: Si ambos conductores están situados en la parte superior del mapa de acuerdo con la frontera establecida, entonces ambos podrían considerarse responsables y, por lo tanto, no se tendrían en cuenta en el análisis; (III) No responsable / No responsable: Si ambos conductores implicados en un mismo accidente están en el clúster 5, entonces los dos podrían ser considerados no responsables y, por lo tanto, podrían no ser tenidos en cuenta en el posterior análisis; Y (IV) Casos de Análisis: Si ambos conductores están en la parte inferior del mapa de acuerdo con la frontera establecida y, al menos uno de ellos en un clúster diferente al 5, entonces habría que realizar análisis adicionales para determinar si es posible saber cuál de ellos podría haber sido el responsable del accidente.

En la Tabla 3, se muestra el reparto de conductores en cada una de estas categorías y, puede observarse como, a partir de la interpretación del mapa SOM, podrían llegarse a clasificar un total de 83,76% de los conductores en Responsable / No responsable.

	Número de conductores	%
Responsable / No responsable	122.208	83,76%
Responsable / Responsable	7.626	5,23%
No responsable / No responsable	2.014	1,38%
Casos de Análisis	14.056	9,63%
TOTAL	145.904	100%

Tabla 3 – Clasificación de los conductores con mapas SOM

Los resultados obtenidos usando los mapas SOM para realizar la asignación de responsabilidad fueron comparados con los resultados obtenidos cuando dicha asignación se hace teniendo en cuenta únicamente la infracción del conductor y la de velocidad, que son las variables más comúnmente utilizadas para realizar esta asignación. En este caso, se considera que un conductor es responsable si ha cometido infracción del conductor y/o de velocidad y no será responsable en caso contrario.

Los resultados son los que se muestran en la Tabla 4, donde se observa que se logra clasificar al 72,47% de los conductores.

Por tanto, realizando la asignación de responsabilidad utilizando la metodología SOM logramos rescatar a un mayor número de conductores para el análisis posterior. Además, tiene en cuenta una mayor cantidad de variables a la hora de realizar dicha asignación. Por lo que se espera que la calidad de la misma sea mayor.

	Número de conductores	%
Responsable / No responsable	105.736	72,47%
Responsable / Responsable	7.706	5,28%
No responsable / No responsable	13.098	8,98%
Casos de Análisis	19.364	13,27%
TOTAL	145.904	100%

Tabla 4 – Clasificación de los conductores en función sólo de las infracciones del conductor y de velocidad (método tradicional)

4. CONCLUSIONES

En esta investigación se propone el uso de la metodología Self-Organizing Maps (SOM) de cluster como herramienta alternativa de ayuda para la asignación de responsabilidad. Con el SOM es posible identificar diferentes patrones en los conductores en relación a las infracciones que estos han cometido. Esto permite, en primer lugar, identificar las variables más y menos relevantes para llevar a cabo la asignación de responsabilidad y, en segundo lugar, estos patrones nos servirán como herramienta de ayuda para llevar a cabo el proceso de asignación de responsabilidad.

Así, se ha observado que las variables más relevantes a la hora de asignar la responsabilidad son: infracción del conductor, infracción de velocidad y consumo de alcohol y/o drogas.

Finalmente, la distribución de los conductores en el mapa SOM permite ayudar en la identificación de la responsabilidad de los conductores, clasificando un total del 83,76% de los conductores frente a los 72,47% de los conductores clasificados mediante la asignación tradicional que, fundamentalmente, tiene en cuenta sólo las infracciones del conductor y las de velocidad. Por tanto, además de conseguir una mayor clasificación de los conductores aplicando la metodología SOM, se tienen en cuenta de manera multivariante un mayor número de variables, por lo que se espera que la calidad de los conductores clasificados sea mayor.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias al Instituto Universitario de Investigación del Automóvil Francisco Aparicio Izquierdo (INSIA-UPM), por la financiación de la beca para llevar a cabo la tesis doctoral. Los autores agradecen a la Comunidad de Madrid por su financiación parcial que, a través del programa SEGVAUTO 4.0-CM (P2018 / EMT-4362) ha contribuido a su desarrollo y difusión.

REFERENCIAS

CHANDRARATNA, S. & STAMATIADIS, N. (2009). Quasi-Induced Exposure Method: Evaluation of not-at-fault assumption. *Accident Analysis and Prevention* 41, pp. 308-313.

COOPER, P.J., MECKLE, W., ANDERSEN, L. (2010). The efficiency of using non-culpable crash-claim involvements from insurance data as a means of estimating travel exposure for road user sub-groups. *Journal of Safety Research* 41, pp. 129-136.

DEYOUNG, D., PECK, R., HELANDER, C. (1997). Estimating the exposure and fatal crash rates of suspended/revoked and unlicensed drivers in California. *Accident Analysis and Prevention* 29 (1), pp. 17-23.

- GÓMEZ, A., APARICIO, F. (2010). Quasi-Induced Exposure: The choice of exposure metrics. *Accident Analysis and Prevention* 42, pp. 582-588.
- HAQUE, M., WASHINGTON, S., WATSON, B. (2013). A Methodology for estimating exposure-controlled crash risk using Traffic Police Crash Data. *Social and Behavioral Sciences* 104, pp. 972-981.
- HING, J., STAMATIADIS, N., AULTMAN-HALL, L. (2003). Evaluating the impact of passengers on the safety of older drivers. *Journal of Safety Research* 34, pp. 343-351.
- HUGGINS, R. (2013). Using speeding detections and numbers of fatalities to estimate relative risk of a fatality for motorcyclists and car drivers. *Accident Analysis and Prevention* 59, pp. 296-300.
- JIANG, X., LYLES, R. (2007). Difficulties with quasi-induced exposure when speed varies systematically by vehicle type. *Accident Analysis and Prevention* 39, pp. 649-656.
- JIANG, X., LYLES, R. (2010). A review of the validity of the underlying assumptions of quasi-induced exposure. *Accident Analysis and Prevention* 42, pp. 1352-1358.
- JIANG, X., LYLES, R. (2011). Exposure-based assessment of the effectiveness of Michigan's graduated driver licensing nighttime driving restriction. *Safety Science* 49, pp. 484-490.
- JIANG, X., QIU, Y., LYLES, R., ZHANG, H. (2012). Issues with using police citations to assign responsibility in quasi-induced exposure. *Safety Science* 50, pp. 1133-1140.
- JIANG, X., LYLES, R., GUO, R. (2014). A comprehensive review on the quasi-induced exposure technique. *Accident Analysis and Prevention* 65, pp. 36-46.
- KOHONEN, T. (1998). The self-organizing map. *Neurocomputing* 21, pp. 1-6.
- KOHONEN, T. (2013). Essentials of the self-organizing map. *Neural Networks* 37, pp. 52-65.
- LAGUS, K. (2002). Text retrieval using self-organized document maps. *Neural Processing Letters* 15, pp. 21-29.
- LARDELLI, P., JIMÉNEZ, J.J., LUNA, J.D., GARCÍA, M., MORENO, O., BUENO, A. (2005). Comparison between two Quasi-Induced Exposure Methods for studying risk factors for Road Crashes. *American Journal of Epidemiology* 163 (2), pp. 188-195.
- LARDELLI, P., LUNA, J.D., JIMÉNEZ, E., PULIDO, J., BARRIO, G., GARCÍA, M., JIMÉNEZ, J.J. (2011). Comparison of two methods to assess the effect of age and sex on the risk of car crashes. *Accident Analysis and Prevention* 43, pp. 1555-1561.
- LENGUERRAND, E., MARTIN, J.L., MOSKAL, A., GADEGBEKU, B., LAUMON, B., THE SAM GROUP (2008). Limits of the quasi-induced exposure method when compared with the standard case-control design. Application to the estimation of risks associated with driving under the influence of cannabis or alcohol. *Accident Analysis and Prevention* 40, pp. 861-868.

- LIU, P. (2009). A self-organizing feature maps and data mining based decision support system for liability authentications of traffic crashes. *Neurocomputing* 72, pp. 2902-2908.
- MARTÍNEZ, V., LARDELLI, P., JIMÉNEZ, E., AMEZCUA, C., JIMÉNEZ, J.J., LUNA, J.D. (2013). Risk factors for causing road crashes involving cyclists: An application of a quasi-induced exposure method. *Accident Analysis and Prevention* 51, pp. 228-237.
- MOHAYMANY, A.S., KASHANI, A.T., RANJBARI, A. (2010). Identifying Driver Characteristics influencing Overtaking Crashes. *Traffic Injury Prevention* 11, pp. 411-416.
- PULIDO, J., BARRIO, G., HOYOS, J., JIMÉNEZ, E., MARTÍN, M.M., HOUWING, S., LARDELLI, P. (2016). The role of exposure on differences in driver death rates by gender and age: Results of a quasi-induced method on crash data in Spain. *Accident Analysis and Prevention* 94, pp. 162-167.
- REDONDO, J.L., LUNA, J.D., JIMÉNEZ, J.J., GARCÍA, M., LARDELLI, P., GÁLVEZ, R. (2000). Application of the Induced Exposure Method to compare risks of Traffic Crashes among different types of Drivers under different Environmental Conditions. *American Journal of Epidemiology* 153 (9), pp. 882-891.
- SANJURJO-DE-NO, A., ARENAS-RAMÍREZ, B., MIRA, J., APARICIO-IZQUIERDO, F. (2020). Driver Pattern Identification in Road Crashes in Spain. *IEEE Access* 8, pp. 182014-182025.
- SANJURJO-DE-NO, A., ARENAS-RAMÍREZ, B., MIRA, J., APARICIO-IZQUIERDO, F. (2021). Driver Liability Assessment in Vehicle Collisions in Spain. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 18(4):1475.
- STAMATIADIS, N., DEACON, J. (1997). Quasi-Induced Exposure: Methodology and Insight. *Accident Analysis and Prevention* 29 (1), pp. 37-52.
- YAN, X., RADWAN, E., ABDEL-ATY, M. (2005). Characteristics of Rear-End Accidents at Signalized Intersections using Multiple Logistic Regression Model. *Accident Analysis and Prevention* 37, pp. 983-995.
- YAN, X., RADWAN, E. (2006). Analyses of Rear-End Crashes based on Classification Tree Models. *Traffic Injury Prevention* 7, pp. 276-282.