

## PERCEPCIÓN DEL RIESGO DE SINIESTRALIDAD EN EL TRANSPORTE DE CARBÓN CON TRACTOCAMIONES EN COLOMBIA - CONDUCTORES

Carlos A. Riaño, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

[carlos.riano02@uptc.edu.co](mailto:carlos.riano02@uptc.edu.co)

Jeisson E. Tarazona, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

[jeisson.tarazona@uptc.edu.co](mailto:jeisson.tarazona@uptc.edu.co)

Luis Márquez, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

[luis.marquez@uptc.edu.co](mailto:luis.marquez@uptc.edu.co)

### RESUMEN

En Colombia los productos mineros de la región Andina son llevados a los puertos de exportación principalmente por el modo terrestre en tractocamiones; este hecho se asocia con una tasa importante de siniestros viales en los que se ven involucrados los conductores de estos vehículos y que son causados por factores humanos, viales, vehiculares y del entorno. Esta investigación busca establecer la percepción del riesgo de los conductores de tractocamiones mediante un modelo híbrido que permita relacionar variables tangibles y variables latentes no observables para definir acciones públicas y privadas que podrían ser aplicadas para mitigar estos hechos en las vías nacionales.

*Palabras claves: Tractocamión, Siniestralidad, Modelos Híbridos Discretos.*

### ABSTRACT

In Colombia, the mining products of the Andean region are transported to export ports mainly by articulated trucks through the national road network. This fact is associated with a significant rate of crashes in which truck drivers are involved. The crashes are caused by human, road, vehicular and environmental factors. This research aims to study the risk perception of truck drivers by means of a hybrid model to integrate tangible and latent variables in order to design both public and private actions to be applied in the mitigation of these events on national roads.

*Keywords: Truck, Road Accident Rate, Discrete Hybrid Models.*

## 1. INTRODUCCIÓN

El transporte del carbón y de otros minerales en Colombia se ha desarrollado históricamente a través del modo terrestre, en donde resaltan el transporte ferroviario y carretero; este último ha sido el que ha cobrado mayor importancia para el transporte del carbón que se produce en la región Andina dadas las condiciones infraestructurales con que cuenta el país de acuerdo con su conformación geográfica y de relieve. Este contexto genera una serie de condiciones que dificultan la movilidad en las vías nacionales, considerando que los tractocamiones son los vehículos en que se desarrolla el transporte de minerales en el país dada su capacidad, pero las vías nacionales no cuentan con las características apropiadas para brindar garantías de circulación segura, problemática que incrementa de acuerdo con las características humanas, vehiculares y del entorno, relacionadas con los conductores, los modelos de los tractocamiones, el comportamiento de los demás actores viales, entre otros.

Con el fin de evaluar la problemática analizada, se estudió la percepción del riesgo de siniestralidad vial (PRSV) de los conductores de tractocamiones, partiendo de la premisa que son ellos quienes enfrentan la problemática de seguridad vial asociada con los siniestros viales en los que se ven involucrados este tipo de vehículos en el recorrido entre Samacá y Cartagena, y que pueden ser característicos para muchos de los ejes viales del territorio nacional. Es así como en este documento se encuentran expuestas las consideraciones metodológicas que fueron empleadas para la estimación de un modelo híbrido que integra variables tangibles y latentes, que explican la percepción del riesgo y sustentan el accionar de los entes involucrados para prevenir y mitigar hechos de siniestralidad.

## 2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

La economía Colombiana se fundamenta en la producción y exportación de minerales como el carbón, tal como se ve en el trabajo de Márquez (2011), en el que se expresa que, entre todos los productos mineros colombianos, el carbón es el mineral con mayor volumen de exportación, por lo tanto, es el que demanda la mayor actividad transportadora. La Federación Nacional de Productores de Carbón (2019), hace énfasis en que *“Colombia tiene recursos y reservas de 16.569 millones de toneladas de carbón, un potencial que, con los niveles actuales de producción, permitirá al país seguir siendo uno de los principales exportadores del mundo durante los próximos años”*; este hecho refleja la importancia de los sistemas de transporte de carga para desarrollar la exportación del mineral.

Para el caso de Boyacá, departamento localizado en la región Andina colombiana, el volumen de exportaciones para 2022 fue de más de un millón de toneladas (UPME, 2022) despachadas en su gran mayoría desde el Municipio de Samacá, lugar de donde se extrae y se coquiza el mineral que se exporta a Brasil, Ecuador, Francia, Guatemala, India, México, Reino Unido, República Dominicana, Turquía y Ucrania, a través de complejos marítimos como la Sociedad Portuaria de Cartagena. Por tal motivo, las empresas encargadas de la explotación y comercialización de carbón que se encuentran ubicadas en el municipio de Samacá deben recurrir al modo de transporte carretero con tractocamiones, con el fin de consolidar la cadena logística de exportación (Galindo, 2022).

El contexto descrito indica una cantidad significativa de tractocamiones que circulan por las vías nacionales transportando minerales como carbón, afirmación que es soportada por los informes del Departamento Nacional de Estadística (2023), que muestra que los combustibles y los productos de las industrias extractivas participaron con 49,7% del valor FOB total de las exportaciones. Por ello, entidades como la Agencia Nacional de Seguridad Vial (2021), registran que en Colombia existe una participación significativa de tractocamiones en siniestros viales. Las cifras reflejan que 84 de cada 1.000 tractocamiones estuvieron involucrados en siniestros viales en 2021 en las vías nacionales, siendo el tercer tipo de vehículo que más se ve involucrado y el segundo en siniestros en la categoría de solo daños, pero hay algo preocupante y es que en la clase de lesionados y fallecidos, se ubica en el cuarto y primer lugar respectivamente.

De otra parte, la seguridad vial es entendida como el conjunto de acciones, mecanismos, estrategias y medidas orientadas a la prevención de siniestros viales, o a anular o disminuir los efectos de estos, con el objetivo de proteger la vida de los usuarios de las vías (Ministerio de Transporte, 2013); es decir que las condiciones dadas generan riesgo para los diferentes actores viales, este último se entiende como un proceso en el cual el ser humano elige entre opciones diferentes evaluando señales presentadas por el entorno (Martínez & Puello, 2018). Por ello, Pachón y Rivera (2016) indican que estimar los factores de riesgo percibidos por los conductores usando modelos de elección discreta hace posible cuantificar la percepción del riesgo de siniestros viales teniendo en cuenta variables observables.

Para identificar los factores que pueden causar un siniestro, hay que referirse a un hecho producido por la interacción de diversos actores viales y factores identificables, es decir que un siniestro es predecible, prevenible y controlable, por lo tanto, enfocar la atención en el reconocimiento de los factores que intervienen para que ocurra o no un hecho de tránsito contribuye a la disminución de la gravedad de las consecuencias (BID, 2021). La importancia de su identificación se debe a que los siniestros causan un enorme e incuantificable dolor y desafío para las víctimas, sus familiares y amigos, además su impacto económico es del orden de un 1 al 5% del PIB de los países de América Latina según el Banco Interamericano de Desarrollo (2017).

Rolison et al. (2018) recopilaron en Inglaterra los puntos de vista de conductores, agentes de tránsito y población en general sobre siniestros viales, encontrando que existía una posible sub-notificación de los factores existentes en los registros de siniestros, es decir que las estadísticas no reflejen la gama completa de factores que contribuyen a los siniestros de tráfico y como son percibidos por los usuarios. Baikajuli et al. (2022) en China, lograron identificar los factores de riesgo en camiones pesados que pueden llegar a influenciar un choque y teniendo en cuenta la teoría de la información mutua, calcularon la dependencia entre las causas generadoras de siniestros para cuantificar el riesgo de colisión bajo diferentes combinaciones de factores, reconociendo que la mayoría de los accidentes fatales de camiones pesados son producto de la ocurrencia simultánea de dos o tres factores contribuyentes en lugar de solo uno.

Autores como Guerrero et al. (2017), estimaron modelos híbridos asociados a la percepción del riesgo, identificando que variables latentes como concentración y conducción segura se relacionan fuertemente con características socioeconómicas de los individuos, encontrando que las personas que tienen en cuenta las variables mencionadas reducen la ocurrencia de siniestros viales. Por su parte, Zhenming et al. (2021) evaluaron la teoría del comportamiento planificado, para reconocer

las sensaciones y la percepción del riesgo con el fin de explicar el comportamiento de conducción arriesgado de los conductores de camiones. Algunos mecanismos usados para analizar estos fenómenos consisten en modelos Probit Ordenados Bivariados como lo sugiere Sahebi et al. (2022). Producto de estos trabajos investigativos, se sugieren acciones para que sean tomadas en cuenta por entes estatales y las agencias responsables (Rezapour, 2019).

### 3. METODOLOGÍA

Esta investigación consistió en un estudio de caso (Bernal, 2010), que evaluó variables de análisis para conductores de tractocamiones que transportan carbón en la ruta Samacá – Cartagena, con el objeto de calificar factores de riesgo e identificar las variables latentes y socioeconómicas que aportan a la percepción del riesgo. El estudio consideró datos registrados en los entes gubernamentales, entrevistas telefónicas realizadas a conductores y en un acercamiento empresarial con organizaciones de transporte de carga del municipio de Samacá, para así consolidar una encuesta conformada por tres secciones (experimento de elección, calificación de indicadores para formar variables latentes y registro de características socioeconómicas), obteniendo datos para la estimación de un modelo híbrido para comprender la PRSV de los conductores de tractocamión. En la Figura 1. se ilustra la metodología empleada en la investigación.



Figura 1. Metodología empleada en la investigación

Se implementaron modelos discretos en Respuestas Ordenadas para analizar la calificación de la percepción del riesgo de los conductores, infiriendo la respuesta a partir de una escala semántica tipo Likert (Matas, 2018), como se muestra enseguida:

**“Evalúe cada escenario presentado y califique el riesgo de sufrir un siniestro, en donde 1 es nada riesgoso y 5 es muy riesgoso”.**

Dada la escala se suponen 5 utilidades, una para cada respuesta potencial, y las personas eligieron un número del 1 al 5 calificando el riesgo. Así, es correcto pensar que el individuo tiene una opinión asociada con la pregunta, esta opinión se representa en una variable no observable, que en este caso se denominó “RIESGO”, dicha variable puede tener varios niveles de percepción, sin embargo, la pregunta solo permite 5 respuestas.

Para procesar la información se consideraron los Modelos de Elección Discreta de tipo ordinal, los cuales brindan una explicación de cómo se toman las decisiones entre varias alternativas, evaluando atributos que pueden llegar a incidir en la toma de cual elección debe hacerse (Train, 2009). Al ser un modelo que se basa en la teoría de la utilidad aleatoria que tienen la siguiente forma:

$$U_{Rq} = X\theta + \eta\beta + \varepsilon_R \quad (1)$$

Siendo  $U$  la utilidad,  $R$  el nivel de riesgo,  $q$  un individuo,  $\tau$  el umbral o punto de corte, esta utilidad se define como la suma de la utilidad aleatoria  $V_{iq}$  compuesta por atributos observables  $X$ , variables latentes  $\eta$ , parámetros  $\theta$  y  $\beta$ , más un término de error  $\varepsilon_r$ . Un modelo logit ordinal es muy adecuado para dicho análisis según Güneri et al. (2022) se expresa así:

$$P\{C_q = r|U_{Rq}\} = \frac{1}{1+e^{-(\tau_r-U_{Rq})}} - \frac{1}{1+e^{-(\tau_{(r-1)}-U_{Rq})}} \quad (2)$$

Para estimar el peso y la significancia de los factores que inciden en la PRSV, se utilizó el método de la estimación por Máxima Verosimilitud, encontrando los parámetros  $\theta$  y  $\beta$  más verosímiles como los valores del riesgo que tienen la mayor probabilidad de generarse en la muestra observada (Ortuzar, 2008).

### 3.1 Preferencias declaradas y escenarios de riesgo

Inicialmente se empleó una encuesta de preferencias declaradas a partir de escenarios experimentales de riesgo que son comunes para los transportadores en el trayecto Samacá – Cartagena.

Tabla 1. Variables experimentales

Atributo	Velocidad	Horas conduciendo	Pausas activas	Tipo de vía	Sinuosidad	Pendiente	Frenos
Niveles	Sin exceso	Menos a 8 horas	Si	Calzada doble	Pocas curvas	Terreno plano	Asistido
		Entre 8 y 12 horas			Curvas moderadas		
	Con exceso	Más de 12 horas	No	Calzada sencilla	Muchas curvas	Terreno en descenso	No asistido

Fuente: Los autores

La cantidad de escenarios usados de acuerdo con la combinación de variables fue de 36, una cantidad que no puede ser evaluada por una sola persona, optando por un diseño experimental compuesto por seis bloques, diferentes en su primera parte, pero exactamente iguales en los

apartados complementarios; ya que se plantearon varios escenarios en cada encuesta, el usuario entregó más de una respuesta, es decir que las respuestas se consideraron como respuestas hechas por distintos individuos denominados pseudo – individuos (Ortuzar, 2015), mecanismo que permitió 1.980 observaciones en 330 encuestas, garantizando la variabilidad en todos los atributos que se querían evaluar y los grados de libertad de los modelos a estimar. El análisis de la información recolectada consistió en la conversión de las respuestas del comportamiento a una escala cuantitativa; finalmente, con estos datos, se plantea un modelo lineal del tipo:

$$U_{Rq} = x_1\beta_1 + x_2\beta_2 + \dots + x_K\beta_K \quad (3)$$

Donde  $x_k$  es cada uno de los atributos, siendo  $K$  el número de atributos,  $\beta_K$  significa un parámetro asociado a  $x_k$  y  $U_r$  es la transformación de las respuestas de los individuos estableciendo relaciones entre escalas semánticas y escalas numéricas. Se estimaron 4 modelos para evaluar la percepción del riesgo, el primero evalúa solamente los atributos experimentales, los modelos 2 y 3 evalúan atributos experimentales y variables socioeconómicas especificadas como variables mudas por la mediana de la edad y la experiencia respectivamente, obteniendo así las más significativas para, finalmente, estimar un modelo con mayor nivel de complejidad, que explica la percepción del riesgo a partir de interacciones entre las características de los vehículos y las variables experimentales.

### 3.2 Variables latentes e indicadores

Para incorporar el comportamiento de los conductores en el modelo, se especificaron variables latentes asociadas con su experiencia y autoeficiencia en la conducción, el cumplimiento de la normatividad vial, la forma de autocontrol ante ciertas situaciones, y su percepción frente al estado de la vía y la señalización. La Tabla 4 muestra cómo se calificaron los indicadores mediante escalas de Likert, convirtiendo las observaciones en una calificación numérica para poder hacer un análisis estadístico, un análisis factorial exploratorio con el fin de descubrir la estructura subyacente de los datos y un análisis factorial confirmatorio de la estructura factorial previamente propuesta, y así determinar si la variable influye en la caracterización del riesgo a través de la estimación de un modelo híbrido en conjunto con las variables experimentales.

### 3.3 Perfil socioeconómico de los encuestados

En esta parte de la encuesta se realizaron algunas preguntas acerca de la población objeto estudio; además se consultó información sobre el vehículo conducido por el encuestado y la opinión sobre el pavimento para el trayecto entre Samacá y Cartagena.

En total se realizaron 330 encuestas, desde el 12 de octubre de 2022 hasta el día 06 de enero de 2023. Como la metodología propuesta buscaba evaluar la percepción del riesgo en un gremio con una cantidad de integrantes indefinida, se optó por un muestreo no probabilístico, es decir que los encuestadores seleccionaron a los participantes de manera subjetiva por conveniencia (Otzen & Manterola, 2017). La Figura 3 muestra las principales distribuciones de la muestra.

Se reconoció que los conductores de tractocamión estudiados cuentan con una experiencia de entre 1 y 10 años; el grupo etario más representativo tiene de 30 a 40 años; para el nivel de estudios 52.4% de ellos alcanzaron el título de bachiller; en cuanto a la composición familiar existe una tendencia de núcleos familiares conformados por el conductor su cónyuge e hijo; por otra parte, 3 de cada 10 conductores ha estado involucrado en un siniestro vial y a más del 70% se les han impartido multas en donde el exceso de velocidad es la infracción principal.

### 3.4 Estrategia de modelación

La estrategia de modelación partió de información primaria tomada en campo donde las variables latentes se identifican mediante indicadores psicométricos para su determinación. Para calibrar el modelo se adoptó inicialmente una metodología secuencial, teniendo en cuenta que se debía procesar la información de los indicadores para identificar las variables latentes. (Muñoz, Pineda, & Gómez, 2022)

Enseguida se utilizó un análisis factorial para determinar las variables latentes y, por medio de las ecuaciones de medición, ver la correcta agrupación de los indicadores psicométricos. Las variables latentes se modelaron mediante un modelo “MIMIC” (Multiple Indicator Multiple Cause, por sus siglas en inglés) que se compone de las ecuaciones estructurales donde las variables se explican a través de características de las personas en una distribución normal (Johansson, 2005).

$$\eta_{lq} = \sum_s a_{ls} * s_{rq} + v_{lq} \quad (4)$$

Donde  $\eta$  son las variables latentes,  $v$  es a componente de error,  $q$  el individuo y  $s$  las características socioeconómicas de los individuos y sus vehículos.

El MIMIC también se compone de las ecuaciones de medición, las cuales explican los indicadores psicométricos  $I$  mediante las variables latentes  $\eta$ , acompañadas de un parámetro  $\gamma$  y sumados a una componente de error  $u$  que sigue una distribución Gumbel. (Moller, 2021)

$$I_{pq} = \sum_l \gamma_{lp} * \eta_{lq} + u_{lq} \quad (5)$$

Generalmente, las ecuaciones de medición suelen ser modelos de tipo ordinal ya que los indicadores de percepción son calificaciones. Las ecuaciones de medición usan los mismos subíndices que las ecuaciones estructurales haciendo la inclusión de  $p$  para hacer referencia a cada indicador.

Finalmente, los parámetros  $a_{ls}$  y  $\gamma_{lp}$  se estiman con los indicadores psicométricos y las variables socioeconómicas y se incorporan en el modelo híbrido de elección discreta con las variables explicativas, en forma simultánea buscando la máxima verosimilitud y se verifica la consistencia de los signos y la significancia de los parámetros, teniendo en cuenta los datos analizados o suposiciones a partir del comportamiento de los conductores y el test de hipótesis *Robust t-test* respectivamente.

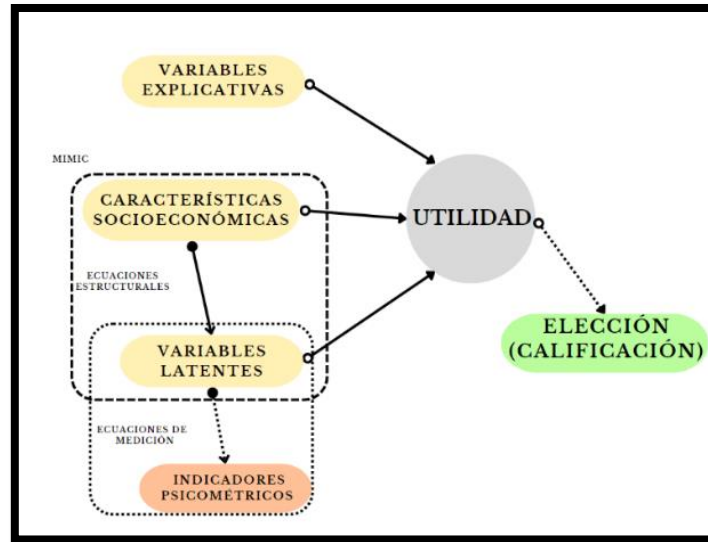


Figura 2. Estructura de un modelo híbrido.

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La información obtenida en relación con los vehículos, indica que la marca que más resalta es Kenworth serie T800 en los modelos del año 2000 a 2020, modelos superiores al año 2020 presentan una diversificación de marcas que incorporan mejores estándares ambientales y de seguridad; sin embargo, los tractocamiones presentan déficit en elementos de seguridad pasiva, ya que la gran mayoría de ellos no cuenta con *airbag* ni cabinas con estructura de protección.

Respecto a la seguridad activa se reconoció una opinión dividida en cuanto a la visibilidad por puntos ciegos; además, se obtuvo una opinión favorable sobre la PRSV para los vehículos que cuentan con sensores que alertan sobre problemas mecánicos y desfavorable para los tractocamiones que no incorporan sensores que aporten a la prevención de siniestros. Al indagar sobre el estado del pavimento en el trayecto, se encontró una PRSV negativa calificada entre regular y malo, pero al incluirla como variable en los modelos ordinales, dicha respuesta no era significativa en cuanto a la percepción del riesgo.

Para las variable latente actitud frente al riesgo (AFR) los conductores identificaron que cuando circulan no solo ponen su vida en riesgo, sino también la de los diferentes actores que están a su alrededor (Ortuzar J., 2004), es por ello que afirmaron que no están dispuestos a asumir riesgos como circular con altas velocidades en calzadas sencillas, o con fallas en el sistema de aire que se relaciona directamente con los frenos, pero sí asumen riesgos asociados con el uso del celular y con el desarrollo de largas jornadas de trabajo sin descansar adecuadamente. En cuanto a la experiencia (EXP) los encuestados afirman estar muy preparados para la operación y control de los tractocamiones, aunque no ocurre lo mismo en la conducción en condiciones adversas y el conocimiento de los tramos del recorrido.

En el caso de la normatividad vial (NORM) los conductores afirman que cumplen en gran medida con las disposiciones normativas que se tienen en Colombia, incluso recurriendo a conceptos sobre



manejo defensivo usados en la prevención de siniestro; este hallazgo complementa y contrasta los resultados expuestos por Guerrero et al. (2017), en donde se dice que los conductores que no tienden a distraerse con otras actividades diferentes a la conducción minimizan el riesgo de un siniestro. Además, los conductores manejan un comportamiento basado en el autocontrol (ATC) ante las situaciones presentadas en la ruta usada para el transporte del carbón, teniendo en cuenta que son muchos los imprevistos que se pudieron evidenciar en el rodaje del producto audiovisual.

Para la percepción vial (PERVIAL) se confirmó una opinión que ratifica que en el trayecto se presentan cambios bruscos en el diseño geométrico vial, rampas de aceleración y desaceleración muy cortas para los tractocamiones, presencia de baches, y ondulaciones y superficies de pavimento lisas con falta de fricción y presencia de líquidos. La percepción de la señalización vial (PERSEN) es positiva para la localización, función y reflectividad de las señales, por ello, se justifican los argumentos expuestos por la secretaria Distrital de Movilidad (2021), en donde se argumenta que si los conductores conocen y aplican la señalización vial pueden evitarse 95% de los siniestros fatales. Una singularidad encontrada en el análisis exploratorio fue la agrupación de dos indicadores asociados a la percepción de la calidad de la vía y se la señalización en la variable actitud frente al riesgo, que puede estar asociada a la interpretación por parte de los usuarios como un riesgo latente algunas condiciones críticas de la vía y su señalización

Referente a los modelos de preferencias declaradas, algunas variables no fueron significativas, pero cuando se combinan bajo la consolidación de algunos escenarios de riesgo, se encontró un potencial, que resulta en un aporte significativo a la percepción del riesgo, es decir que el estudio refleja el comportamiento de variables de forma combinatoria tal y como se proyectó en el diseño experimental y como lo confirma Baikajuli et al. (2022), quienes encontraron que la ocurrencia de siniestros con camiones es generada por la combinación de varios factores.

Es así como se confirman los resultados expuestos a partir del modelo ordinal con atributos experimentales (Tabla 2), en donde se expresa el aporte positivo a la percepción del riesgo por parte de atributos que también fueron significativos para Radam et al. (2022) como: el exceso de velocidad, no contar con freno asistido y no realizar pausas activas, en el caso de atributos como horas conduciendo la percepción del riesgo aumenta con el número de horas al volante, similar a lo ocurrido con la conducción en un tramo con sinuosidad intermedia donde el riesgo es reducido.

Un caso particular ocurre cuando se conduce en tramos en descenso ya que la percepción del riesgo es menor respecto a conducir en un tramo en terreno plano (riesgo asociado a alta velocidad o cansancio). Cada uno de los factores de siniestralidad, y la existencia de una combinación de ellos consolidan el riesgo en función de agrupaciones que constituyen escenarios homogéneos que pueden ser aplicados a la evaluación del recorrido entre, encontrando ciertas particularidades para las zonas entre Samacá y San Alberto y otras para el recorrido entre Samacá y Cartagena.

De los valores estimados para las variables latentes, se encontró que las variables “percepción experiencia” y “autocontrol” son las más significativas en la PRSV, ya que representan el comportamiento de los conductores en su cotidianidad y la capacidad que ellos tienen para reaccionar ante un suceso o imprevisto en la vía. Como se presenta en la, las variables latentes asociadas a la percepción de la calidad de la vía y a la señalización fueron menos significativas

teniendo en cuenta las calificaciones de los conductores, hecho similar a lo que ocurrió con las variables que median la actitud frente al riesgo y la normatividad vial.

Tabla 2. Modelos de elección

Parámetro	Descripción	Parámetros Modelo ordinal sin Variables Latentes		Parámetros Modelo híbrido	
		Estimador	T - Robusto	Estimador	T - Robusto
Beta_Exceso	Con exceso de velocidad	2.02	14.29	2.07	14.28
Beta_Horas8_12	Conducir entre 8 y 12 horas	-0.57	-4.20	-0.60	-4.33
Beta_Horas12mas	Conducir más de 12 horas	0.15	1.48	0.17	1.66
Beta_Pausas	No realizar pausas activas	1.08	12.29	1.10	12.21
Beta_Via	Calzada sencilla	0.10	1.52	0.10	1.48
Beta_SinuosidadM	Sinuosidad Intermedia	-0.72	-8.46	-0.71	-8.15
Beta_Pendiente	Terreno en descenso	-0.44	-4.76	-0.46	-4.86
Beta_Frenos	Sistema de frenos no asistido	1.01	12.61	1.04	12.48
Beta_ActitudFR				0.01	0.08
Beta_PExper				0.22	2.43
Beta_NormV				0.04	0.49
Beta_Autocontrol				0.21	2.46
Beta_Percalidavia				0.05	0.75
Beta_persenalizacion				0.05	0.89
Tau_Riesgo_1	Primer umbral	-1.19	-8.33	1.22	2.57
Tau_Riesgo_2	Segundo umbral	0.10	0.62	2.52	5.16
Tau_Riesgo_3	Tercer umbral	1.36	7.17	3.81	7.50
Tau_Riesgo_4	Cuarto umbral	2.55	11.82	5.02	9.48
Log - verosimilitud inicial		-3496.56		-2515.63	
Log - verosimilitud final		-2663.81		-2130.31	

$$U_{Ro} = \beta_{EXC}Exceso + \beta_{HRS8}Horas8_{12} + \beta_{HRS12}Horas12mas + \beta_{PAU}Pausas + \beta_{TIPOV}Vía + \beta_{SINUM}SinuosidadM \\ + \beta_{PEND}Pendiente + \beta_{FRN}Frenos$$

$$U_{Rh} = \beta_{EXC}Exceso + \beta_{HRS8}Horas8_{12} + \beta_{HRS12}Horas12mas + \beta_{PAU}Pausas + \beta_{TIPOV}Vía + \beta_{SINUM}SinuosidadM \\ + \beta_{PEND}Pendiente + \beta_{FRN}Frenos + \beta_{AFR}ActitudFR + \beta_{PEXP}PExper + \beta_{NRV}NormV \\ + \beta_{ATC}Autocontrol + \beta_{PCV}Percalidavia + \beta_{PEN}Persenalizacion$$

En las ecuaciones estructurales, se encontraron algunas singularidades teniendo en cuenta los parámetros que mejor reflejan la PRSV, en la variable latente “actitud frente al riesgo” el diseño del vehículo y su dotación de tecnología, así como la antigüedad del vehículo (años) son los factores que, junto con tener un nivel académico alto, refleja una PRSV significativa en los conductores de tractocamión.

La “percepción de experiencia” se refleja a partir de conducir un vehículo con adecuada tecnología y con ciertos años de antigüedad, además de características de los conductores como tener un nivel de estudios bueno o su edad, considerando en este caso que los de mayor edad tendrían un mejor aporte en la estimación de la variable. Por otra parte, la variable latente “normatividad vial” posee una singularidad al tener como parámetro significativo conducir un vehículo con algunos años de antigüedad, así como tener más de 11 años de experiencia.

La heterogeneidad de la variable “autocontrol” fue bien explicada por la experiencia en la conducción, el nivel de estudios, la antigüedad del vehículo y los elementos de seguridad, sin embargo, hay un caso particular considerando que la respuesta afirmativa de conductores de haber

estado involucrado en un siniestro es significativa en la definición de la variable autocontrol, ya que la forma de actuar depende de experiencias pasadas (Connecticut, 2019).

Por otra parte, la percepción de la calidad de la vía fue reflejada a partir de parámetros como la experiencia y el nivel de estudios de los conductores, la antigüedad del vehículo y contar con un elemento de seguridad, la variable “percepción de la señalización” solo fue reflejada por características del vehículo como la antigüedad, el diseño del vehículo o la presencia *airbag*. En el caso del atributo denominado “jaula” se entendió que, al tener un vehículo con la suficiente rigidez en la cabina, para los conductores no es muy importante en la PRSV.

Tabla 3. Resultados de regresiones

Variable Latente	ActitudFR		Pexper		NormV		Autocontrol		Percalidadvia		Persenalizacion	
Variable Soioeconomica	Coef.	Rob. T-test	Coef.	Rob. T-test	Coef.	Rob. T-test	Coef.	Rob. T-test	Coef.	Rob. T-test	Coef.	Rob. T-test
EDAD			0,85	3,9								
EXPERIENCIA	0,41	3,47			1,88	7,98	1,51	10,47	2,15	9,64		
N_ESTUDIOS	0,58	4,53	1,43	8,63			1,79	9,87	2,29	11,39		
PER_DEP	0,13	1,24	0,99	5,43								
POSICION											-0,99	-2,12
SINIEST_INVO							0,32	1,86				
ANTIGÜEDAD	0,05	5,61	0,05	3,87	0,15	15,73	0,07	5,28	0,12	9,95	0,19	12,74
JAULA					-0,63	-2,15	-0,47	-1,62	-0,18	-0,61	-0,67	-2,72
SENS_SIN	-0,29	-2,16	0,56	2,87			0,63	2,76	-0,16	-0,56		
AIRBAG					2,36	9,53	0,31	1,04	1,23	4,78	0,96	3,66
DIS_PCIEGOS	0,7	5,95					0,71	3,67			1,98	9,91
SENS_MEC	0,71	5,76	1,78	9,66								

De acuerdo con los resultados de investigación, se plantearon algunas alternativas orientadas a las empresas privadas encargadas del transporte de carbón, en donde se considera el diseño y aplicación de un plan estratégico de seguridad vial y de políticas empresariales que lo respalden, en donde se tengan en cuenta programas para el control de velocidad, ejecución de pausas activas, revisión mecánica de los vehículos haciendo énfasis en los frenos, así como procesos de capacitación sobre tipologías y entornos viales y señalización. Además, se plantea la verificación e implementación de sistemas de seguridad activa y pasiva en los automotores con el fin de mitigar la ocurrencia y consecuencias de siniestros viales.

Respecto a las acciones para los entes gubernamentales, se considera necesaria la evaluación y modificación en la medida de las posibilidades del diseño y trazado de las vías en busca del control del exceso de velocidad y del adecuado tránsito de los tractocamiones, incluso cuando fallen los frenos, además se debe garantizar el mantenimiento adecuado de la infraestructura vial, y generar campañas interinstitucionales para la concientización de los actores viales sobre los riesgos reconocidos por los conductores de tractocamión, en donde resaltan entre otras, conducir por largas jornadas y no realizar pausas activas.

## 5. CONCLUSIONES

Los atributos tangibles con efecto significativo en la PRSV fueron el exceso de velocidad, no contar con frenos asistidos, no realizar pausas activas, el tipo de vía, la pendiente y conducir más de 12 horas. Las variables latentes más significativas fueron la experiencia y el autocontrol, la

heterogeneidad de estas variables fue explicada por la edad, experiencia, los elementos de seguridad y la antigüedad del vehículo que conducen los encuestados.

En este trabajo se evaluó la percepción del riesgo de siniestralidad de los conductores de tractocamión que circulan en la ruta Samacá – Cartagena, Colombia, transportando carbón de exportación. Se tomó una muestra de 330 conductores que calificaron la percepción del riesgo asociada con factores que podrían ocasionar un siniestro de un tractocamión. El instrumento de toma de información consideró tres componentes: un experimento de preferencias declaradas, la calificación de un conjunto de indicadores asociados con variables latentes y la caracterización socioeconómica de los encuestados.

La información obtenida se procesó mediante modelos ordinales para verificar la significancia asignada a la percepción de riesgo, además se elaboró un modelo híbrido incluyendo variables experimentales con variables no observables. Además, se encontró que los conductores perciben el exceso de velocidad como el factor que más incide en el riesgo de siniestro; seguido por no contar con frenos asistidos y no realizar pausas activas. Finalmente se postularon acciones que pueden ser desarrolladas por diferentes entidades públicas y privadas con el fin de mitigar la ocurrencia de siniestros.

Tabla 4. Indicadores psicométricos evaluados

Variable Latente	Indicadores	Código	Agrupación análisis exploratorio
Actitud frente al riesgo	Tomar curvas en calzadas sencillas con una velocidad considerable	AFR_1	Correcto
	Seguir conduciendo a pesar de que el sistema de aire del vehículo está fallando	AFR_2	Correcto
	Realizar el viaje sin descansar adecuadamente en cada jornada de trabajo	AFR_3	Correcto
	Usar el celular mientras se encuentra conduciendo	AFR_4	Correcto
Experiencia y autoeficiencia	Revisar y percibir alteraciones mecánicas del vehículo antes, durante y después de la operación	EXP_1	Correcto
	Controlar el vehículo ante un imprevisto e imprudencia mientras circula	EXP_2	Correcto
	Identificar los tramos del viaje para prevenir un siniestro	EXP_3	Correcto
	Maniobrar el vehículo en condiciones climáticas y de visibilidad adversas	EXP_4	Correcto
	Conducir el vehículo en zonas de pendiente controlando su velocidad	EXP_5	Correcto
Normatividad vial	Respetar la normatividad vial colombiana	NORM_1	Correcto
	Hace uso del cinturón de seguridad	NORM_2	Correcto
	Adelanta a otros vehículos o actores viales en zonas prohibidas	NORM_3	Correcto, con baja carga factorial
	Aplica cada una de las acciones sugeridas por la señalización vial	NORM_4	Correcto
	Implementa los conceptos relacionados con manejo defensivo	NORM_5	Correcto
Autocontrol	Mantiene la tranquilidad en situaciones adversas	ATC_1	Correcto
	Domina las emociones a pesar de los contratiempos en las vías	ATC_2	Correcto
	Maneja la ansiedad generada por llegar al destino	ATC_3	Correcto
	Controla el exceso de confianza a la hora de conducir	ATC_4	Correcto
	Permanece concentrado cuando se encuentra conduciendo	ATC_5	Correcto
Percepción del estado de la vía	La vía presenta tramos con cambios bruscos en el diseño geométrico vial	PERVIAL_1	Correcto
	Las rampas de aceleración y desaceleración en la vía son muy cortas	PERVIAL_2	Correcto
	Las distancias de visibilidad para ejecutar maniobras de parada y adelantamiento en la vía son suficientes	PERVIAL_3	Agrupado en AFR
	La existencia de Baches, Bateas y Ondulaciones es constante en el recorrido	PERVIAL_4	Correcto

	En el trayecto se encuentran superficies de pavimento lisas con falta de fricción y presencia de líquidos	PERVIAL_5	Correcto
Percepción de la señalización	La localización de la señalización en el recorrido es correcta	PERSEN_1	Correcto
	La ubicación de las señales encontradas en la vía corresponde con su función	PERSEN_2	Correcto
	La reflectividad de la señalización horizontal y vertical favorece su interpretación	PERSEN_3	Correcto
	No hay obstáculos que restrinjan la visualización de la señalización existente en la vía	PERSEN_4	Agrupado en AFR
	La localización de los dispositivos de control de velocidad presentes en la vía es correcta	PERSEN_5	No se agrupó

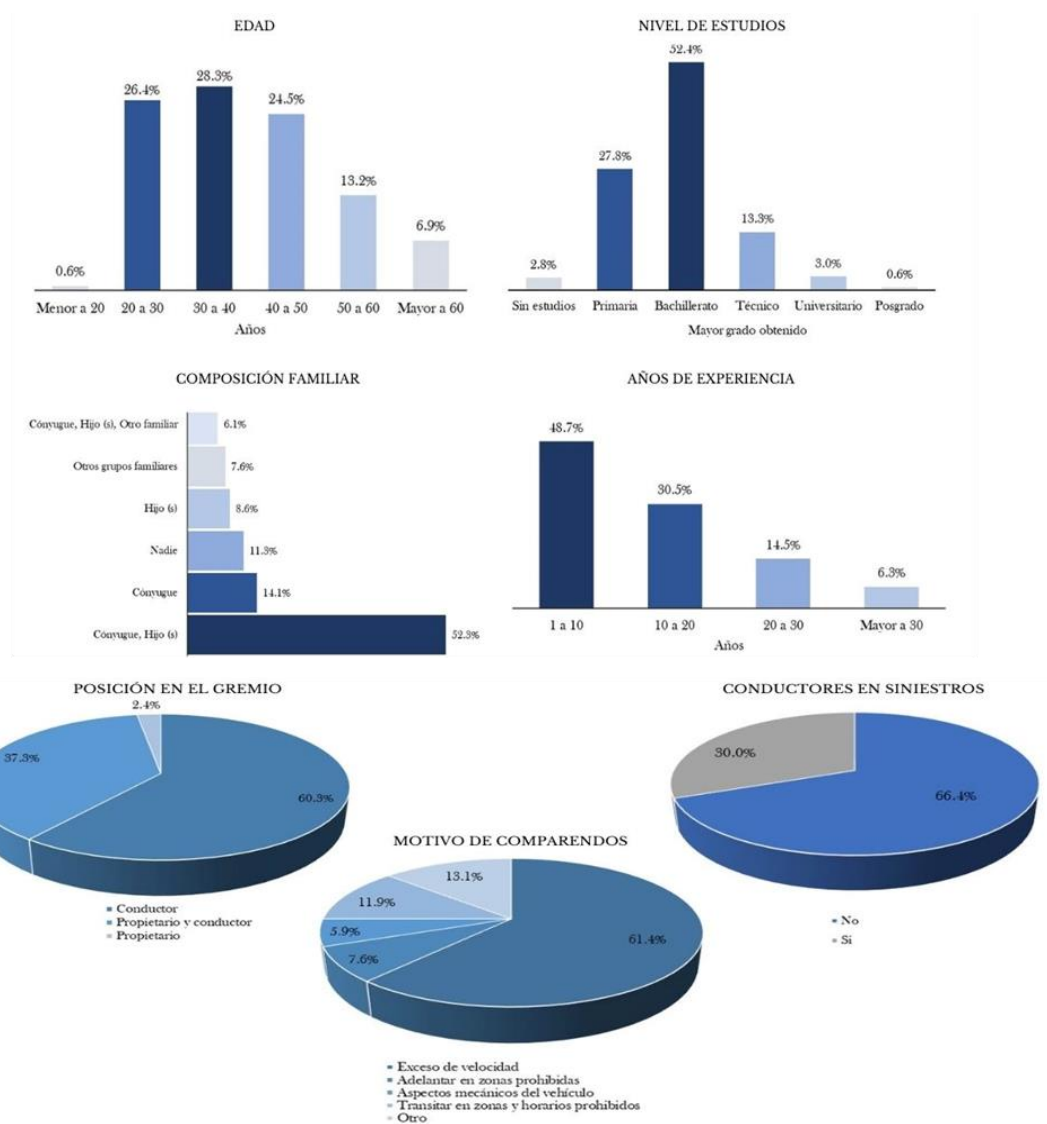


Figura 3. Información socioeconómica

## REFERENCIAS

Agencia Nacional de Seguridad Vial. (2021). *Anuario Nacional de Siniestralidad Vial*. Bogotá.

- Baikejuli, M., Shi, J., & Hussain, M. (2022). A study on the probabilistic quantification of heavy-truck crash risk under the influence of multi-factors. *Accident Analysis and Prevention, Elsevier*.
- Bernal, C. (2010). *Metodología de la Investigación*. Bogotá: Pearson.
- BID. (2017). *Estrategia de Seguridad Vial, Contribuyendo a disminuir la brecha de siniestralidad en América Latina y el Caribe*.
- BID. (2021). *Seguridad Vial en América Latina y el Caribe: De la teoría a la acción*. Obtenido de <https://cursos.iadb.org/es/indes/seguridad-vial-en-am-rica-latina-y-el-caribe-de-la-teor-la-acci-n>
- Congreso de la República de Colombia. (2011). *Ley 1503: Por la cual se promueve la formación de hábitos, comportamientos y conductas seguros en la vía y se dictan otras disposiciones*. Bogotá.
- Connecticut, D. d. (2019). *Manual del Conductor*. Gran Hartford: Relaciones Públicas y Corporativas Departamento de Vehículos Motorizados de Connecticut.
- Departamento Nacional de Estadística. (05 de 07 de 2023). *DANE*. Recuperado el 06 de 07 de 2023, de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/comercio-internacional/exportaciones>
- Federación Nacional de Productores de Carbón. (13 de Mayo de 2019). *Fenalcarbón*. Obtenido de <https://fenalcarbon.org.co/carbon-para-rato-2/>
- Galindo, E. (09 de julio de 2022). Entrevista de contextualización para fines investigativos con Transportes W Cargo S.A.S. y Agremiación de Transportadores de Samacá (ATS) S.A.S. 7. (C. Riaño , & J. Tarazona, Entrevistadores) Samacá, Boyacá.
- Guerreo , T., Ortuzar, J., & Raveau, S. (2017). Entendiendo la percepción del riesgo de accidentes en conductores: un enfoque con variables latentes. *Ingeniería de Transporte*, 21(2), 75-88.
- Guerrero, T., Ortuzar, J., & Raveau, S. (2017). Entendiendo la percepción del riesgo de accidentes en conductores: un enfoque con variables latentes. *Ingeniería de Transporte*, 21 N°2, 75-88.
- Güneri, Ö., Durmuş, B., & İncekırık, A. (2022). Ordered Choice Models: Ordinal Logit and Ordinal Probit. *Journal of Interdisciplinary Sciences, Volume 6, Issue 2*, 21-41.
- Jin, Y., Jia, Z., Wang, P., Sun, Z., Wen, K., & Jun , W. (2019). Quantitative Assessment on Truck-Related Road Risk for the Safety Control via Truck Flow Estimation of Various Types. *IEEE Access*, 7, 799-810. doi:10.1109/ACCESS.2019.2924699.
- Johansson, M. (2005). Latent Variables in a Travel Mode Choice Model: Attitudinal and Behavioral Indicator Variables. [working paper No. 2005:5]. *Department of Economics, Uppsala University*.
- Li, Z., Man, S., Chan , A., & Zhu, J. (2021). Integration of Theory of Planned Behavior, Sensation Seeking, and Risk Perception to Explain the Risky Driving Behavior of Truck Drivers. *Sustainability*, 13(9). doi:<https://doi.org/10.3390/su13095214>
- Machado, J., de Oña, J., de Oña, R., Eboli, L., & Mazzulla, G. (2014). A stated preference experiment for understanding drivers' risk perception. *Elsevier*, 263-272.
- Márquez, L. G. (2011). Optimización de una red de transporte combinado para la exportación del carbón del interior de Colombia. *Revista Escuela de Ingeniería de Antioquia*(16), 103 - 113.
- Martínez, A., & Puello, D. (2018). *Evaluación de la Percepción del riesgo vial en el desarrollo de actividades de transporte de la empresa Montejo S.A. proyectos mina Pribbenow y El descanso de Drummond*. Bogotá: Universidad ECCI, Posgrados.

- Matas, A. (2018). Diseño del formato de escalas tipo Likert: un estado de la cuestión. *Electrónica de Investigación Educativa*, 20 (1), 38-47. doi:<https://doi.org/10.24320/redie.2018.20.1.1347>
- Ministerio de Transporte. (2013). *Decreto 2851: Por el cual se reglamentan los artículos 3°, 4°, 5°, 6°, 7°, 9°, 10, 12, 13, 18 y 19 de la Ley 1503 de 2011 y se dictan otras disposiciones*. Bogotá.
- Moller, M. A. (2021). *MODELO DE COMPORTAMIENTO DE PASAJEROS DE TRANSPORTE PÚBLICO AL MOMENTO DE ABORDAR METRO*. Santiago de Chile: PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE - ESCUELA DE INGENIERIA.
- Muñoz, C., Pineda, B., & Gómez, M. (2022). Modelo econométrico para el análisis de la elección de modo de transporte en viajes domésticos: el rol de las variables latentes. *Lecturas de Economía - No. 96.*, 145-169.
- Ortuzar J., E. a. (2004). Willingness-to-pay for reducing fatal accident risk in urban areas: An Internet-based Web page stated preference survey. *Elsevier*, 125.
- Ortuzar, J. (2008). *Modelación del Transporte*. Santiago de Chile: Wiley.
- Ortuzar, J. (2015). *Modelos de Demanda de Transporte*. Santiago: Alfaomega U.C. De Chile.
- Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *International Journal of Morphology*, 35, 227-232.
- Pachón, V., & Rivera, J. (2016). *Modelación de la percepción del riesgo de accidentes en conductores: un enfoque de preferencias declaradas*. Ocaña: Universidad Fransisco de Paula Santander.
- Radam, I., Harianto, D., & Narang, R. (2022). Factors Causing Traffic Accidents Based on the Trip Maker Perception: Comparison Between Urban and Rural Roads. *Journal of Southwest Jiaotong University*, 127-137.
- Rezapour, M. &. (2019). Truck crashes and potential countermeasures on Wyoming highways and interstates: recommendations for all responsible agencies. *Journal of Transportation Safety & Security*, 13, 1-24. doi:<http://dx.doi.org/10.1080/19439962.2019.1638477>
- Rolison, J., Regev, S., Moutari, S., & Feeney, A. (2018). What are the factors that contribute to road accidents? An assessment of law enforcement views, ordinary drivers' opinions, and road accident records. *Elsevier, Accident Analysis and Prevention*, 11-24.
- Sahebi, S. N. (2022). A study of the factors affecting driving risk perception using the Bivariate Ordered Probit model. *Int J Inj Contr Saf Promot*, 1-13. doi: <https://doi.org/10.1080/17457300.2022.2090579>
- Sahebi, S., Nassiri, H., & Naderi, H. (2022). A study of the factors affecting driving risk perception using the Bivariate Ordered Probit model. *International Journal of injury control and safety promotion*, 1-13. doi:10.1080/17457300.2022.2090579
- Secretaría de Movilidad de Bogotá. (2021). *Identificación temprana de riesgos viales*. Bogotá-Colombia.
- Train, K. E. (2009). *Discrete Choice Methods With Simulation*. Boston: Cambridge.
- UPME. (Diciembre de 2022). *Unidad de Planeación Minero Energética*. Recuperado el 15 de Septiembre de 2022, de <https://www1.upme.gov.co/simco/Cifras-Sectoriales/Paginas/carbon.aspx>
- Zhenming, L. M. (2021). Integration of Theory of Planned Behavior, Sensation Seeking, and Risk Perception to Explain the Risky Driving Behavior of Truck Drivers. *Sustainability*, 13(9). doi:<https://doi.org/10.3390/su13095214>