

## MODELO DE FRECUENCIA DE ACCIDENTES EN MOTOCICLETAS EN EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE OCAÑA

### MOTORCYCLE ACCIDENT FREQUENCY MODEL FOR URBANROADS IN OCAÑA

MSc. Thomas Edison Guerrero Barbosa<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Grupo de Investigación en Ciencia y Tecnología GRUCITE, Vía Acolsure Sede el Algodonal, Ocaña - Norte de Santander, Colombia, [teguerrero@ufpso.edu.co](mailto:teguerrero@ufpso.edu.co)

**Fecha de recepción:** 14-08-2015

**Fecha de aprobación:** 28-10-2015

**Resumen:** En 2014, Colombia registraba alrededor de 5 millones de motocicletas circulando por las vías, las cuales debido a los accidentes de tránsito arrojaron 2.754 muertes y 21.171 lesionados. Dadas estas cifras alarmantes la presente investigación pretende determinar un modelo de frecuencia de accidentes en motocicletas en función de las características geométricas, operacionales, entorno y velocidad. La calibración del modelo se realizó con datos provenientes de 908 registros de accidentes en los que al menos estuvo involucrada una motocicleta, ocurridos entre los años 2007 a 2014 en las vías urbanas de Ocaña (Norte de Santander) utilizando regresiones de Poisson (RP) y Binomial Negativo (BN). Los análisis preliminares encontraron que la longitud de los tramos, anchos de calzada, número de intersecciones, el sentido de circulación, número de intersecciones semaforizadas, los flujos de vehículos de motocicletas y velocidad, tienen una influencia significativa en la ocurrencia de accidentes de tránsito donde están involucradas motocicletas.

**Palabras clave:** Frecuencia de accidentes, regresiones de Poisson, Binomial Negativo, motocicletas.

**Abstract:** In 2014, Colombia registered around 5 million motorcycles circulating on the roads, which due to traffic accidents dropped 2,754 deaths and 21,171 injuries. Given these alarming dates this investigation seeks to determine a motorcycle accident frequency model depending on the geometrical characteristics, operational, environment and speed. Model calibration was performed with data from 908 records accident was at least involved a motorcycle occurred between the years 2007-2014 on urban roads from Ocaña (Norte de Santander) using Poisson (RP) and Binomial negative (BN) regression. Preliminary analyzes found that the length of the sections, road widths, number of intersections, traffic configuration, number of signalized

intersections, vehicles flows motorcycles and speed, have a significant influence on the occurrence of traffic accidents where they are involved motorcycles.

**Keywords:** Accident frequency, Poisson regression, Binomial Negative, motorcycle.

## 1. INTRODUCCIÓN

El vertiginoso ascenso que durante los comienzos de este siglo ha ocupado la producción y consumo por parte de la población mundial hacia las motocicletas ha sido considerable, gran parte del fenómeno se debe a que este vehículo se ha convertido en una forma fácil, rápida y económica de movilizarse para cualquier individuo y en otros casos es una opción de acceder al mercado laboral (Universidad de Los Andes, 2011). Bajo este contexto, con datos a corte de 2007, se registra que la producción mundial de motocicletas se distribuyó básicamente en el siguiente orden: Asia, América, Europa y resto del mundo con el 88,6%, 5,4%, 2,3% y 3,7%, respectivamente; para el caso de América la mayor producción de los vehículos de dos ruedas fue en Brasil (3,5%) y Colombia (0,9%) (Universidad de Los Andes, 2011).

Para el caso colombiano, la Encuesta de Calidad de Vida del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2014) arroja (entre otras) que uno de cada siete colombianos utiliza la motocicleta para movilizarse lo cual representa un aumento del 23% en la apropiación de este vehículo en los hogares y aproximadamente el 29% de estos vehículos se utiliza para desempeñarse laboralmente (domicilios, mensajería, entre otros). Aumentos de un 320% registra el PIB per cápita y el poder adquisitivo en el mercado de las motocicletas, dado que cada vez son menos los salarios mínimos requeridos para comprar una motocicleta (de 11 a 5 salarios mínimos).

Según datos de la Asociación Nacional de Industriales (ANDI) las ventas correspondientes al parque automotor de motocicletas entre los años 2004 y 2013 pasaron de 164.230 a 660.849, esto corresponde a un aumento de 402,4% entre estos años. Paralelo a esta realidad de producción y comercialización de este vehículo automotor, el crecimiento de los accidentes y severidad de los mismos en el país es de similar tendencia, ya que cifras del Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses (INMLCF) evidencian que las muertes asociadas a accidentes de tránsito en las cuales estaban involucradas motocicletas pasaron de 1.334 a 2.754 (aumento del 206%) y en el caso de lesionados pasaron de 11.516 a 21.171 (aumento de 184%) datos que corresponden al mismo periodo de análisis. En el contexto local, Guerrero y Santiago (2014) muestran que en el municipio de Ocaña el vehículo en el cual ocurren la mayor cantidad de accidentes es la motocicleta, donde en promedio entre los años 2007 y 2013, en el 66% de los casos por lo menos una moto estuvo involucrada en eventos de accidentes.

Expuesto este contexto mundial, nacional y local asociado a la problemática de la accidentalidad y su relación con las motocicletas, las cuales según el Registro Único Nacional de Tránsito (RUNT) a corte de 2014 se registran alrededor de 5 millones de estos vehículos en su base datos en el territorio nacional, la presente investigación se centró en determinar un modelo estadístico que permita determinar la frecuencia de accidentes en función de características geométricas, operacionales, del entorno y la velocidad. La calibración

del modelo se realizó utilizando regresiones de Poisson (RP) y Binomial Negativo (BN), las cuales dentro de la literatura reposa gran cantidad de evidencia que demuestra el uso acertado y pertinente de este tipo de enfoque en la estimación de modelos de frecuencia de accidentes específicamente relacionados con la motocicletas (Yap *et al.*, 2012; Fagnant y Kockelmanb, 2015).

El estado colombiano durante los últimos años ha prestado mayor atención al tema de la seguridad vial en las carreteras del territorio nacional, en especial a la accidentalidad asociada a motocicletas, por ello ha generado una serie de lineamientos y políticas estatales de orden nacional, departamental y local. Particularmente en el plano urbano a nivel territorial la responsabilidad y competencia de gestionar y planificar los proyectos de acción intersectorial que contemple el

Plan Nacional de Seguridad Vial - PNSV (Resolución 4101 de 2004) recae en las administraciones municipales (World Bank, 2013). La Alcaldía Mayor de Bogotá D.C (2013) en concordancia a las políticas nacionales dictadas en el PNSV articuló una estrategia que pretende analizar el uso de la motocicleta como medio de transporte el cual abarcó una exhaustiva revisión normativa, de comportamiento e infraestructura para generar acciones sobre la oferta del sistema de movilidad que reviertan en la disminución de la accidentalidad de los motociclistas. Por otro lado, el Viceministerio de Transporte - Grupo de Seguridad vial (2014) estructuró una directriz nacional para garantizar la seguridad vial de los motociclistas y de otros usuarios de la vía que se encuentren en interacción con estos actores, allí se definieron los criterios mínimos aceptables en el comportamiento esperado y deseado desde las instituciones, en el factor humano,

la infraestructura, los vehículos y los sistemas de respuesta y atención a víctimas.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 Modelos Poisson (RP) y Binomial Negativo (BN)

Los modelos de frecuencias de accidentes se centran en la modelación del número de accidentes ocurridos en un tramo, sección, punto o elemento vial durante un periodo de tiempo dado. En tal caso, la regresión tipo RP se estima basado en la siguiente expresión:

$$P(n_{ij}) = \frac{e^{-\lambda_{ij}} * \lambda_{ij}^{n_{ij}}}{n_{ij}!}$$

Donde  $P(n_{ij})$  es la probabilidad de que ocurra  $n$  accidentes en el tramo  $i$  durante el periodo  $j$ ,  $\lambda_{ij}$  puede expresarse como un vector de variables explicativas que describen la geometría vial, volúmenes vehiculares, velocidades y otras condiciones que afectan la frecuencia de accidentes:

$$\ln \lambda_{ij} = X_{ij} * \beta$$

Para nuestro caso,  $X_{ij}$  es un vector que caracteriza la geometría vial, volúmenes vehiculares y la velocidad, mientras que  $\beta$  es un vector de coeficientes estimables.

Uno de los principales problemas que pueden tener los modelos basados en la regresión RP es la sobredispersión de los datos, es decir, la varianza tiende a ser más grande que la media, subestimando de esta forma el nivel de dispersión del resultado afectando con cierto sesgo los coeficientes estimados y su eficiencia, motivo por el cual conviene utilizar una distribución BN, basada en un término de error ( $\varepsilon_{ij}$ ) distribuido Gamma. En este caso, el valor

esperado del número de accidentes se reescribe:

$$\ln \lambda_{ij} = (X_{ij} * \beta) + \varepsilon_{ij}$$

De esta forma, la varianza ( $\text{Var}[n_{ij}]$ ) se puede expresar como función de la media ( $E[n_{ij}]$ ) de la siguiente manera:

$$\text{var}[n_{ij}] = E[n_{ij}] [1 + \alpha E[n_{ij}]] = E[n_{ij}] + \alpha E[n_{ij}^2]$$

El término  $\alpha$  es el parámetro de sobredispersión, de manera que si  $\alpha$  es significativamente diferente de cero, los datos están sobredispersos, pero si  $\alpha$  es cero la distribución BN colapsa a la distribución RP. La distribución de probabilidad resultante bajo la hipótesis BN es:

$$P(n_i) = \frac{\Gamma(n_{ij} + \alpha^{-1})}{\Gamma(\alpha^{-1})n_{ij}!} \left[ \frac{\alpha^{-1}}{\alpha^{-1} + \lambda_{ij}} \right]^{\alpha^{-1}} \left[ \frac{\lambda_{ij}}{\alpha^{-1} + \lambda_{ij}} \right]^{n_{ij}}; \forall \lambda_{ij} > 0, \alpha \geq 0$$

Del modelo anterior el término  $\Gamma(\cdot)$  es el valor de la distribución Gamma. Este modelo, ampliamente utilizado puede ser estimado por máxima verosimilitud (Miao, 1994; Shankar *et al*, 1995; Abdel-Aty y Radwan, 2000).

Cabe destacar que un modelo conformado por varias variables puede presentar problemas en su especificación y posterior calibración si no se controla la multicolinealidad, pues aunque existe evidencia que dicha propiedad no causaría parámetros sesgados ni tampoco afectaría la capacidad predictiva del modelo, sí podría aumentar los errores estándar de los coeficientes sobre todo aquellos que poseen poca significancia (Ramanathan, 1995). La multicolinealidad podría ser detectada en aquellas estimaciones bajas de los test de bondad de ajuste, por valores altos de los coeficientes de correlación entre las variables y la sensibilidad de los coeficientes estimados según especificación. De igual forma, en algunos casos esta multicolinealidad es detectada por algunos

software durante el proceso de estimación de parámetros y es descrita en la presentación de resultados.

## 2.2 Datos de accidentes y variables

Se utilizó una base de datos de registros de accidentes en los cuales estuvo involucrada por lo menos una motocicleta en las vías del perímetro urbano de la ciudad de Ocaña (Colombia), esta se conformó con los registros proporcionados por la Policía Nacional de Colombia y otras entidades que atienden accidentes de tránsito como Cuerpo de Bomberos Voluntarios y/o Defensa Civil Seccional Ocaña, lo cual dada la naturaleza de recolección de esta información puede implicar algunas desventajas (Also y Langley, 2001; Brenac y Clabaux, 2005). En total se registraron 908 eventos entre el año 2007 y 2014. Adicionalmente al registro de accidentes, la base de datos posee un inventario vial que contiene características geométricas y operativas de la red vial estudiada correspondiente a un total de 163 tramos viales.

La variable dependiente del modelo corresponde al número total de accidentes ocurridos en el tramo  $i$ , mientras que las variables explicativas se dividieron en 3 grupos: geometría y entorno vial, volúmenes vehiculares y velocidades. El resumen de las variables, su descripción y media se muestra en la Tabla 1.

Todas las variables asociadas a geometría y entorno vial, volúmenes vehiculares y velocidades fueron medidas sobre la red vial contemplada dentro de la investigación. La longitud de los tramos (LV) se consideró teniendo en cuenta la homogeneidad geométrica y del entorno a lo largo del mismo. Variables como NI y TS se contemplaron dado la exhaustiva revisión del estado del arte realizado, en los cuales se evidencia que las intersecciones son sitios

muy comunes de ocurrencia de accidentes debido a la falta de detección y deficiente juicio por parte de los conductores sobre la velocidad-espacio (Hurt *et al*, 1984). La variable que caracterizaba el tipo de pavimento contempló dos tipos de variaciones: rígido y flexible. Por otro lado variables como AC son ampliamente estudiadas y han servido como referencia en investigaciones similares (Harnen *et al*, 2003; Abdul Manan *et al*, 2013).

Sin duda las variables asociadas al flujo vehicular constituyen una de las variables de mayor explicación en este tipo de investigaciones (Harnen *et al*, 2003; Gabauer y Li, 2015); particularmente en este estudio TPDM y RELACP representan este indicador. Los volúmenes de tránsito se obtuvieron de conteos vehiculares realizados a vehículos livianos, pesados y motocicletas.

Respecto a la variable P50, se estimó una media para los tramos estudiados igual a 31,44 kph. Este estudio no tuvo acceso a registros de variables asociadas al conductor, clima, características de los vehículos involucrados y gravedad de los accidentes, en algunos casos se debió a que no estaba disponible y en otros porque no era objeto de este estudio.

### 3. RESULTADOS

El proceso de estimación del modelo consistió en realizar diversas corridas con gran variedad y combinación de variables (geométricas, operacionales, del entorno y velocidad) que se tenía durante el estudio utilizando los modelos RP y BN para determinar la frecuencia de accidentes. En la Tabla 2 se muestran los resultados de la estimación de un modelo por cada enfoque, en los cuales se puede evidenciar que en algunos casos la variable se estima en los

dos modelos (LV, AC, TPR, TPDM, P50) y en otras solo en uno (NI, TS, SNT, RELACP). La significancia estadística de las variables se efectuó mediante el test t, de manera que valores de test t superiores o iguales a 1,96 indican que el coeficiente es significativamente diferente de cero para un nivel de confianza del 95%. Respecto al efecto de las variables independientes sobre la frecuencia de accidentes en motocicleta, este se puede interpretar dependiendo del signo arrojado de manera que si es signo positivo que acompaña a los parámetros esto indica un aumento en el número de accidentes en motocicleta, mientras que un signo negativo indica una disminución.

Para ambos modelos estimados se evidencia una influencia significativa de las variables LV, AC, NI, SNT, TPR, TPDM y P50 para un nivel de confianza del 95% sobre la frecuencia de accidentes en motocicleta a excepción de la variable RELACP (en el modelo RP) y en la variable TS (en el modelo BN), sin embargo se decidió dejarlas dentro de los respectivos modelos ya que son significativas para un nivel de confianza del 90% (test t igual a 1,64). Existe evidencia en la literatura soportada a nivel mundial que variables como LV (Abdul Manan *et al*, 2013), AC (Harnen *et al*, 2003), NI, TPR y TPDM (Harnen *et al*, 2003; Gabauer y Li, 2015) muestran un comportamiento directamente proporcional a la frecuencia de accidentes en motocicleta, de manera que si alguna de estas variables aumenta la frecuencia de accidentes aumenta y viceversa. El efecto de la variable LV con el modelo BN es 2,3 veces más grande que en modelo RP. Se destaca el efecto de la variable RELACP, indicando que una mayor concentración de vehículos pesados sobre los tramos viales ocasionará un aumento en la frecuencia de accidentes en motocicletas.

Efecto contrario arrojan la variable SNT (Haque *et al*, 2012) el cual pueda deberse a en carreteras con tráfico unidireccional son menos eficaces a la seguridad de la motocicleta debido a las fricciones con los vehículos que van en sentido contrario. La variable P50 (Harnen *et al*, 2003; Jevtic *et al*, 2015) dado el signo negativo de su estimación puede tener como posible causa el hecho de que la desviación estándar de la velocidad media de los tramos estudiados es muy baja por lo que el rango de velocidades de los segmentos viales sería pequeño, resultado acorde con lo reportado por Navon (2003) y Rangel *et al* (2013).

Por otro lado, el signo positivo de la variable TS indica que a medida que un tramo vial tiene una mayor cantidad de intersecciones mayor será el número de accidentes en motocicleta lo cual es acorde con la evidencia reportada por (Harnen *et al*, 2003), además son los sitios donde hay el mayor conflicto de movimientos vehiculares.

Al comparar los resultados de los enfoques RP y BN de forma separada, se encuentra diferencias en las estimaciones de los parámetros aún para aquellos casos en la que corresponde a la misma variable. De hecho mediante la estimación del parámetro  $\alpha$  se demuestra que hay sobredispersión de los datos ya que el valor es significativamente diferente de cero, razón por la cual la distribución BN no colapsa a la distribución Poisson siendo modelos totalmente diferentes. En este caso de investigación, es apropiado decir que la mejor aproximación al fenómeno modelado ocurre cuando se estima a partir de la regresión tipo BN además de tener un indicador  $l(\theta)$  inferior al estimado en RP.

#### 4. CONCLUSIONES

Los modelos estimados permiten establecer que variables como LV, AC, NI, TS, SNT, TPR, TPDM, RELACP y P50 tienen una influencia significativa en la ocurrencia de accidentes de tránsito donde están involucradas motocicletas dentro de la red vial urbana del municipio de Ocaña. El efecto de las variables LV, AC, NI, TS, TPR, TPDM y RELACP es proporcional, es decir, a medida que una de estas variables aumenta la frecuencia de accidentes en motocicleta también aumenta. Efecto inversamente proporcional ocurre con las variables SNT y P50.

La investigación arroja que indudablemente los volúmenes vehiculares asociados a motocicletas constituyen la variable de mayor explicación en la ocurrencia de accidentes en este tipo de vehículo. Igualmente aumentos en flujos vehiculares de vehículos pesados en razón al total de vehículos tendrá el mismo efecto. Respecto a esta conclusión, el autor considera que las instituciones que tienen a su cargo velar por la gestión y preservación de condiciones ideales de seguridad vial deben enfocarse en políticas sobre los conductores de vehículos pesados y motociclistas, en especial estos últimos; en Ocaña durante esta última década el fenómeno del “mototaxismo” es una práctica común y con muy poco control no solo en Ocaña sino en el resto del país, el cual resulta ser un transporte informal con muy pocos estándares de seguridad, aumentando no solo el número de accidentes sino la severidad de los mismos.

Es necesaria la gestión de políticas públicas que incentiven el uso del transporte público en la población cuyo efecto producirá disminuciones del uso del transporte informal y por ende la circulación de motocicletas. Se debe incrementar el control policial como medida preventiva en las vías urbanas de la zona de estudio. Medidas como la segregación de flujos según la

composición vehicular, carriles exclusivos para motocicletas, construcción de carriles de aceleración y desaceleración, variantes en poblaciones (que restrinjan el paso de vehículos pesados por centros urbanos), se constituyen en acciones para mejorar la seguridad vial en las vías urbanas lo cual es acorde a lo planteado en Guerrero *et al* (2015).

La estimación de la variable AC sugiere que disminuciones de un metro en los anchos de calzada dará lugar a reducciones de 0,54 a 0,646 de los accidentes asociados a motocicletas en la red vial de Ocaña. Evidentemente el aumento de intersecciones semaforizadas (TS) aumenta la cantidad de accidentes en motocicletas, efecto que presumiblemente pueda deberse al no acatamiento del pare por parte de los conductores de estos vehículos en las intersecciones, lo cual constituye una deficiente educación vial e irrespeto por la señalización establecida. Este efecto es similar para la variable NI, mientras que las características asociadas a la geometría y el entorno vial (p.e., LV) aportan una mejoría notable a medida que disminuyen las longitudes de los tramos. El efecto producido por la variable P50 fue contrario al que inicialmente se esperaba, sin embargo concuerda con la literatura explorada en el estado del arte. Superficies de pavimento en asfalto ocasionan una mayor cantidad de ocurrencia de accidentes en motocicleta con respecto a aquellos tramos viales constituidos por superficies de rodadura en concreto hidráulico.

Se demuestra que la estimación de resultados utilizando las regresiones RP y BN son acertadas para modelar este tipo de eventos como lo son la frecuencia de accidentes de tránsito, en este caso los referentes a exclusivamente con motocicletas. Se estimó el valor del parámetro  $\alpha$ , arrojando un valor

significativamente diferente de cero, lo cual no lo hace colapsar la distribución BN a una Poisson; se considera que el modelo BN presenta mejor estimación que el modelo RP.

Futuras investigaciones podrán enfocarse en determinar modelos que contemplen la severidad (heridos y muertos) de accidentes en motocicletas y con ello complementar los hallazgos evidenciados en la presente investigación, buscando disminuir no solo los índices asociados a accidentes también encontrando la forma de disminuir los heridos y fatalidades en este tipo de automotor.

## 5. FINANCIACIÓN

Este estudio fue apoyado por fondos de investigación de la División de Investigación y Extensión (DIE) de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña a través del Proyecto con código 15-09-006.

## 6. AGRADECIMIENTOS

El autor desea expresar su gratitud y agradecimiento a la Policía Nacional de Colombia, Cuerpo de Bomberos Voluntarios Ocaña y la Defensa Civil Seccional Ocaña, por disponer de los datos para esta investigación. Adicionalmente a Mayra Alejandra Claro Barbosa (estudiante de ingeniería) quien apoyó la logística en la toma de información y conformación de la base de datos.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

Abdel-Aty, M. A., & Radwan, E. (2000). Modeling traffic accident occurrence

- and involvement. *Accident Analysis and Prevention* , 32, 633–642.
- Abdul Manan, M. M., Jonsson, T., & Várhelyi, A. (2013). Development of a safety performance function for motorcycle accident fatalities on Malaysian primary roads. *Safety Science* , 60, 13-20.
- Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (2013). *Pacto motociclistas por Bogotá*. Bogotá D.C.
- Also, J., & Langley, J. (2001). Under reporting of motor vehicle traffic crash victims in New Zealand. *Accident Analysis and Prevention* , 33, 353–359.
- Brenac, T., & Clabaux, N. (2005). The indirect involvement of buses in traffic accident processes. *Safety Science* , 43, 835–843.
- DANE. (2014). Encuesta de Calidad de Vida. Bogotá D.C.
- Fagnant, D. J., & Kockelmanb, K. M. (2015). Motorcycle Use in the United States: Crash Experiences, Safety Perspectives, and Countermeasures. *Journal of Transportation Safety & Security* , 7 (1), 20-39.
- Gabauer, D. J., & Li, X. (2015). Influence of horizontally curved roadway section characteristics on motorcycle-to-barrier crash frequency. *Accident Analysis and Prevention* , 77, 105-112.
- Guerrero, T., & Santiago, S. (2014). La verdad de la accidentalidad vial en Ocaña: Un análisis estadístico-descriptivo. *Revista Ingenio* , 7 (1).
- Guerrero, T., Espinel, Y., & Palacio, D. (2015). Effects of the attributes associated with roadway geometry, traffic volumes, and speeds on the incidence of accidents in a mid-sized city. *Revista Ingeniería y Universidad* , 19 (2), 105-121.
- Haque, M., Chin, H. C., & Debnath, A. K. (2012). An investigation on multi-vehicle motorcycle crashes using log-linear models. *Safety Science* , 50, 352-362.
- Harnen, S., Radin Umar, R. S., Wong, S. V., & Wan Hashim, W. I. (2003). Motorcycle crash prediction model for non-signalized intersections. *IATSS Research* , 27 (2).
- Hurt, H., Hancock, P., & Thom, D. (1984). Motorcycle–automobile collision prevention through increased motorcyclist frontal conspicuity. *Proceedings of the 28th Human Factors Society*. Vancouver, Canada.
- Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses. (2005). *Forensis 2004 Datos para la vida*. Bogotá D.C.
- Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses. (2014). *Forensis 2013 Datos para la vida*. Bogotá D.C.
- Jevtic, V., Vujanic, M., Lipovac, K., Jovanovic, D., & Pešic, D. (2015). The relationship between the travelling speed and motorcycle styles in urban settings: A case study in Belgrade. *Accident Analysis and Prevention* , 75, 77-85.
- Miaou, S. P. (1994). The relationship between truck accidents and geometric design of road sections:



- Poisson versus negative binomial regressions. *Accident Analysis and Prevention*, 26 (4), 471-482.
- Navon, D. (2003). The paradox of driving speed: two adverse effects on highway accident rate. *Accident Analysis and Prevention*, 35 (3), 361-367.
- Ramanathan, R. (1995). *Introductory Econometrics with Applications*. Fort Worth, TX: The Dryden Press.
- Rangel, T., Vassalloa, J. M., & Herraiz, I. (2013). The influence of economic incentives linked to road safety indicators on accidents: The case of toll concessions in Spain. *Accident Analysis and Prevention*, 59, 529–536.
- Shankar, V., Mannering, F., & Barfield, W. (1995). Effect of roadway geometrics and environmental factors on rural freeway accident frequencies. *Accident Analysis and Prevention*, 27 (3), 371-389.
- Universidad de Los Andes. (2011). *Contribución de la motocicleta y su evolución en la economía nacional*. Centro de Estudios sobre Desarrollo Económico. Facultad de Economía, Bogotá.
- Viceministerio de Transporte - Grupo de Seguridad vial. (2014). Programa Integral de Estándares de Servicio y Seguridad Vial para el Tránsito de motocicleta (Documento para Consulta Pública - Versión 7). Bogotá D.C.
- World Bank. (2013). Análisis de la Capacidad de Gestión de Seguridad Vial Colombia.
- Yap, B. W., Norashikin, N., Wong, S. V., & Mohamad, A. L. (2012). Decision tree model for count data. *Proceedings of the World Congress on Engineering, 1*. London.