

Posibilidades, limitaciones y el abordaje estadístico en accidentología vial.

Evaluación de parámetros en procesos de frenado con información limitada y su aplicación en un caso real.

Lic. Facundo Agustín de Rosas, fderosas@gmail.com fderosas@uda.edu.ar

Dr. Nicolas Guillermo Tripp, ntripp@fcen.uncu.edu.ar nicolas.tripp@ingenieria.uncuyo.edu.ar

Dr. Raul Marino, rmarino@fcen.uncu.edu.ar

Resumen

En el análisis reconstructivo de la Accidentología Vial, uno de los parámetros a investigar suele ser la velocidad de los vehículos involucrados. Este análisis es de gran interés no solamente respecto a la ley de tránsito, sino también como agravante dentro del código penal argentino. La estimación de la velocidad de los vehículos involucrados a partir de la evidencia disponible luego del accidente introduce varias fuentes de incertidumbre que presentan un desafío para quienes deben realizar la estimación. Tradicionalmente, la estimación de la velocidad se realiza mediante el llamado “método indirecto”, siendo este un análisis retrospectivo dependiente de la evidencia encontrada en el lugar.

El análisis tiene, como todo modelo físico, premisas, consideraciones y limitaciones que deben tenerse en cuenta no sólo al momento de realizar el cálculo sino también en la interpretación y comunicación de la conclusión del trabajo. Una problemática que comúnmente ocurre es que se suelen subestimar las limitaciones y sobreestimar las capacidades del alcance de la reconstrucción.

Este trabajo pretende abordar diferentes métodos de reconstrucción analítica aplicados a un caso, para poder demostrar y poner de manifiesto durante el proceso de cálculo, las limitaciones y posibilidades, mediante la introducción del análisis estadístico, que pueden aprovecharse para elevar la calidad del trabajo y evitando los sesgos que puede llegar a tener el perito al momento de trabajar un caso.

Introducción

En la reconstrucción de un accidente o siniestro de tránsito, uno de los aspectos principales a tener en cuenta son los indicios que permitan dar una idea, forma o descripción de cómo sucedieron los hechos. Uno de tales indicios y de hecho el más curiosamente célebre, es el conocido como huellas de frenado.

El proceso de frenado se puede modelar [1][2] suponiendo que un vehículo equipado con un sistema de frenado sin asistencia antibloqueo (o cuando este último no se active), se encuentra rodando a una cierta velocidad, y de repente se acciona el sistema de frenado, lo que produce el bloqueo de todas sus ruedas. En esta situación las ruedas raspan la superficie de contacto y van depositando material, lo que produce la huella de frenada, hasta que el vehículo se detiene por completo. En este proceso de creación de las huellas de frenado, las interacciones entre las ruedas y la superficie de contacto van cambiando su naturaleza desde una fricción estática, es decir sin velocidad relativa, a una fricción dinámica, donde la rueda se desliza a una velocidad variable, la temperatura aumenta y el material de contacto se desprende.

Posteriormente, al realizar la reconstrucción del hecho, se utiliza por lo general una cinta métrica, odómetro o distanciómetro para evaluar la longitud de la huella e inferir la velocidad con la que se inició el proceso de frenado.

En el proceso descrito se pueden identificar varias fuentes de incertidumbre, como por ejemplo, si la trayectoria del vehículo no fue lineal durante todo el frenado, si se produjeron bloqueos intermitentes, si

la superficie fue irregular, la condición de las cubiertas y su presión de inflado, el nivel de precisión de la medición, la incertidumbre del instrumento, etc. Por lo tanto, resulta evidente que el problema está estrechamente relacionado con la incertidumbre y requiere un tratamiento estadístico.

Como desarrolla Osquigil [1], la longitud de las marcas de frenada es proporcional a una diferencia de velocidades y se puede modelar mediante la siguiente fórmula:

$$d = \frac{1}{2\mu g} (v_i^2 - v_f^2) \quad \text{Ecuación 1}$$

donde d es la longitud de frenado, μ es el coeficiente de fricción entre la cubierta y el suelo, g es la aceleración de la gravedad, y v_i v_f son las velocidades inicial y final del proceso de frenado, respectivamente.

Considerando que en un accidente la velocidad final es nula (o por lo menos tenido en cuenta como premisa si no hay posteriores desplazamientos), se puede reescribir la ecuación 1 y obtener la siguiente expresión para estimar la velocidad inicial.

$$v_i = \sqrt{2\mu g d} \quad \text{Ecuación 2}$$

Analizando la ecuación 2 en el contexto de un experimento estadístico, podemos observar que hay tres variables aleatorias a ser, el coeficiente de fricción μ , la longitud de las huellas de frenado d , y la variable respuesta que es la velocidad al inicio del proceso de frenado v_i . Respecto al coeficiente de rozamiento, vale mencionar que representa la proporcionalidad entre la fuerza de rozamiento, el peso sobre la rueda, la reacción del vínculo, lo cual depende de las superficies en contacto.

La ecuación 2 es la base sobre la cual se desarrollan tres modelos convencionales, el indirecto, el directo y el basado en simulación de Montecarlo.

- ❖ Método indirecto: en este método se calcula la velocidad inicial a partir de una elección de coeficientes de fricción acorde al criterio del perito según el tipo de superficie y la medición de la longitud de las huellas de frenado impresas por el vehículo durante su proceso de frenado.
- ❖ Método directo: en este modelo se presume una velocidad o un rango de esta y se estima el desplazamiento teórico que debería tener el vehículo durante el proceso de frenado, habiendo seleccionado también coeficientes de fricción, con las mismas características presentes en el modelo anterior, para finalmente cotejar la diferencia entre el desplazamiento teórico y el observado.
- ❖ Método basado en simulación Montecarlo: en este método, se incorpora la incertidumbre a las variables del modelo mediante modelos de probabilidad. Como describen Dunn y Shultis [2] una simulación Montecarlo permite obtener el espacio muestral de una variable de interés a partir de la suposición de que las variables influyentes se pueden modelar mediante distribuciones estadísticas, como por ejemplo la normal o la uniforme. Para generar el espacio muestral de las variables aleatorias, primero se crean largas secuencias de números pseudoaleatorios con distribución uniforme, que luego son transformados a los modelos de probabilidad elegidos, para cada variable, utilizando sus funciones de distribución acumulada. Luego mediante la ecuación 2 se obtiene una estimación de la velocidad inicial.

Merece ser destacado que el estado del arte internacional incorpora otros métodos o mejor dicho metodologías de trabajo, además de los métodos mencionados con anterioridad. Según Brach [3], cada vez resulta más difícil reconstruir accidentes de manera efectiva sin realizar cálculos o sin contar con datos experimentales. Hay una demanda creciente de reconstrucciones más precisas, dado que los vehículos incorporan una mayor cantidad de sensores útiles para la accidentología.

En el presente trabajo se realiza una comparación entre los resultados obtenidos por el método directo, el indirecto y el basado en simulaciones Montecarlo, en un caso real producido en la provincia de Mendoza.

Presentación del caso de referencia

Por cuestiones de reserva de datos, se presentará el caso en forma general.

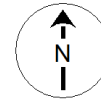
El carril Rodríguez Peña es una vía donde se encuentra concentrada gran parte de un complejo comercial-industrial, que además es muy utilizada por conductores particulares ya que conecta distritos clave y posee grandes comercios e industrias. Como consecuencia de lo mencionado, es una vía que posee un elevado flujo y densidad vehicular. La velocidad máxima permitida para dicha vía es de 60 km/h para la mayoría de la vía. En la fotografía 1 se describe un tramo de la vía.



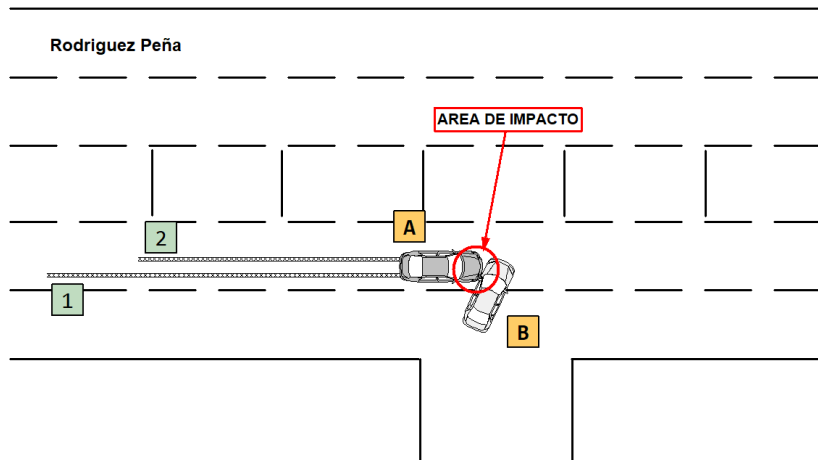
Fotografía 1 - Carril Rodríguez Peña. Godoy Cruz, Mendoza. Fuente: Google Street View.

El accidente o siniestro en particular se produce cuando un vehículo, saliendo de un comercio e intentando ingresar al carril Rodríguez Peña, en dirección de sur a norte, es colisionado por un vehículo que circulaba de oeste a este, el cual, reaccionando ante la maniobra del primer vehículo, reduce su velocidad imprimiendo huellas de frenado pero no pudiendo evitar la colisión entre ambos vehículos. En la fotografía 2 se presenta la planimetría del siniestro.

A - RENAULT 18
B - FIAT MOBI



1 - HUELLA DE FRENADA DE 22,00 M
2 - HUELLA DE FRENADA DE 17,40 M



Fotografía 2 – Planimetría de accidente del presente caso. Fuente: Elaboración propia (Easy Street Draw 4).

Resultados

Para poder utilizar los métodos directo e indirecto, es necesario realizar estimaciones del coeficiente de fricción. Para ilustrar la problemática común de utilizar una tabla, se utilizarán los descriptos por Charles Warner [4] para asfalto viejo, lo que se corresponde con un rango de valores entre [0,55 y 0,70].

En referencia a la determinación de la longitud de las huellas de frenado, existen distintos criterios respecto a cómo proceder si una huella tiene distinta longitud que la otra por lo que, si bien dicha determinación excede el alcance del presente trabajo, se utilizará el criterio más frecuente, que es medir la longitud de la huella más larga. En este caso la longitud de huellas de frenado es de $22,0 \pm 0,1$ m dada la incertidumbre del instrumento de medición utilizado.

La constante de gravedad se considera como $9,81\text{m/s}^2$ y la velocidad obtenida mediante la ecuación 2 está expresada en m/s.

Método indirecto

Comenzando con el análisis según método indirecto, al tener un rango de valores posibles para ambas variables independientes de entrada, es decir, la longitud de las huellas de frenado y coeficiente de fricción, se puede obtener un rango de velocidades iniciales de la siguiente forma.

$$\sqrt{2 * g * \mu_{min} * d_{min}} \leq v_i \leq \sqrt{2 * g * \mu_{max} * d_{max}}$$

que para el caso en estudio produce el siguiente intervalo [15,37m/s a 17,42m/s] que equivale a [55,3km/h a 62,7km/h]

Se puede observar que el valor mínimo se encuentra debajo de la velocidad máxima permitida mientras que el máximo ya es superior al límite, si bien hay que tener en consideración lo siguiente:

- La infracción a la ley de tránsito de superar la velocidad máxima permitida posee una tolerancia de hasta 10%.
- La velocidad calculada solamente supone la energía insumida en el proceso de frenado en donde la velocidad final durante el desplazamiento es $v_f=0$, es decir, no contempla la energía

transformada durante el impacto, deformaciones y otras energías como la sonora, térmica, etc., las cuales, si bien generalmente se presuponen despreciables en algunos casos, lo que se quiere dar a entender es que la energía y, consecuentemente, la velocidad del vehículo es sin dudas mayor a la calculada o, dicho de otra manera, la velocidad calculada es, cuando menos, la mínima posible.

Estas observaciones deben ser tenidas en cuenta, pero lo que se quiere ilustrar en este ejemplo es la posibilidad de encontrarse con un caso en donde los valores de velocidad se encuentren en esta situación límite.

Método directo

Para este método se presume que la velocidad del vehículo al inicio de las huellas de frenado se encuentra comprendida en un intervalo. En el presente ejemplo, este se encuentra definido por la velocidad máxima y la tolerancia permitida del 10%. En este caso, el intervalo es 60+-6 km/h, es decir [54 a 66] km/h o [15 a 18,33] m/s, tomando un intervalo simétrico alrededor de la media.

A continuación, se calcula la longitud de la huella de frenado a partir de la ecuación 1 y considerando una velocidad final nula. En esta ocasión los casos más extremos se producen cuando la fricción es máxima y la velocidad inicial es la mínima y cuando la fricción es mínima y la velocidad inicial es la máxima. Es decir,

$$\frac{v_{imin}^2}{2\mu_{max}g} \leq d \leq \frac{v_{imax}^2}{2\mu_{min}g}$$

que para el caso en estudio produce el siguiente intervalo [16,38m a 31,14m].

Si comparamos el desplazamiento teórico con el observado 22+/-0,1m vemos que el observado está contenido dentro del teórico.

Vale hacer una mención sobre este método para el caso presentado, ya que se puede buscar entre los resultados de las múltiples estimaciones los valores con menor diferencia entre los desplazamientos teóricos con el real, pero estos tienen la misma probabilidad de ocurrencia, pudiendo haber valores con diferencias iguales, pero con velocidades iniciales tanto en defecto como en exceso de velocidad. Se da la particularidad de que se puede llegar a un mismo resultado de desplazamiento teórico dependiendo de las variables velocidad inicial y coeficiente de fricción, cuando el valor de la primera sea máximo y el valor de la segunda sea mínimo, se llegará al mismo valor que si fuera al revés. (valor de la primera variable mínimo y valor de la segunda variable máximo) Para dar una solución a esto, se propone dejar fija una de esas variables, la velocidad inicial, en el valor máximo permitido por la vía (puede hacerse dos veces, uno con el valor máximo y un segundo ejemplo con el valor más el 10% de tolerancia). De esta manera se puede calcular la variación respecto del valor de desplazamiento teórico respecto al real sin esta 'interferencia' entre variables. Merece prestarse especial atención a que la variación es simétrica respecto al valor real, esto quiere decir, que la diferencia apreciable puede ser exceso o por defecto. Para esto es necesaria la atención e interpretación del perito.

Simulación Montecarlo

En este caso se utilizará una simulación Montecarlo para producir 5000 estimaciones puntuales de la velocidad inicial utilizando la ecuación 2 y distintos modelos para las variables independientes.

En primer lugar se presentarán los resultados obtenidos de una simulación considerando que tanto el coeficiente de fricción como la longitud de las huellas de frenado se distribuyen de manera uniforme. Para realizar la simulación se utilizó el software Minitab Companion.

Los parámetros específicos utilizados fueron los siguientes

	Distribución	Parámetros
Coefficiente de fricción	Uniforme	[0,55-0,7]
Longitud de las huellas	Uniforme	[21,9:22,1] m

Los resultados obtenidos se presentan en los gráficos 1,2,3 y en la tabla 6.

Simulation Results

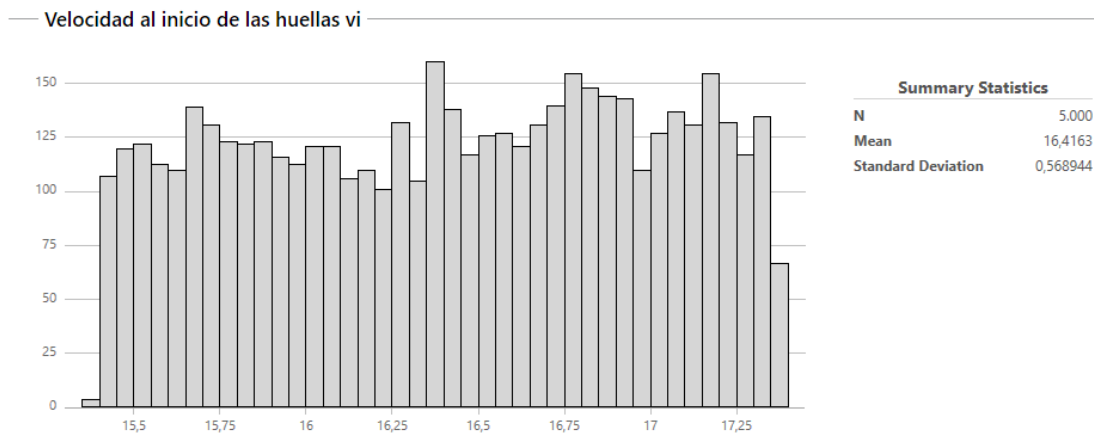


Gráfico 1 – Resultados de Simulación Montecarlo para variable velocidad al inicio de las huellas v_i con distribución uniforme. Fuente: Elaboración propia (Minitab Companion).

Descriptives

	Coefficiente de fricción μ	Velocidad al inicio de las huellas v_i
N	5000	5000
Missing	0	0
Mean	0.625	16.4
Median	0.626	16.4
Standard deviation	0.0432	0.569
Minimum	0.550	15.4
Maximum	0.700	17.4
Skewness	-0.0369	-0.0777
Std. error skewness	0.0346	0.0346
Kurtosis	-1.21	-1.20
Std. error kurtosis	0.0692	0.0692
Shapiro-Wilk W	0.954	0.954
Shapiro-Wilk p	< .001	< .001
2.5th percentile	0.553	15.5
97.5th percentile	0.696	17.3

Tabla 6 – Estadísticas descriptivas de las variables coeficiente de fricción y velocidad al inicio v_i de las huellas para el ejemplo de distribución uniforme. Fuente: Elaboración Propia (Jamovi).

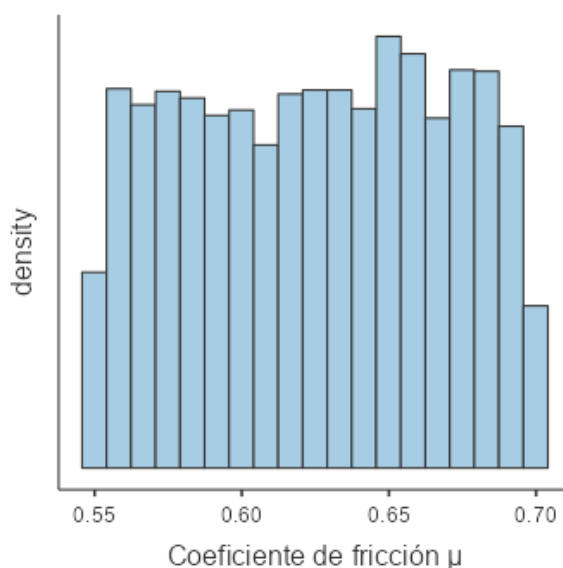
Histograma de Coeficiente de fricción μ 

Gráfico 2 – Histograma para la variable Coeficiente de fricción μ para el ejemplo de distribución uniforme. Fuente: Elaboración Propia (Jamovi).

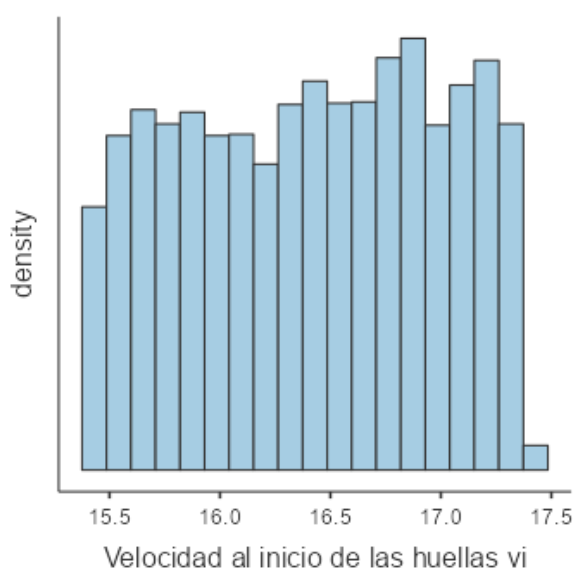
Histograma de Velocidad al inicio de las huellas v_i (m/s)

Gráfico 3 – Histograma para la variable velocidad al inicio de las huellas v_i para el ejemplo de distribución uniforme. Fuente: Elaboración Propia (Jamovi).

En la tabla 6 podemos observar que en este caso la distribución de la velocidad inicial no es normal (Con un 95% de certeza y un p-valor menor a 0,001). Además, el intervalo donde se agrupan el 95% de las estimaciones de velocidad es [15,5-17,3] m/s, equivalente a [55,8-62,8] km/h.

En la segunda simulación se cambió el modelo para el coeficiente de fricción utilizando los resultados publicados por Mechanical Forensic Engineering Services, LLC [5], donde mediante un análisis experimental de 159 pruebas de fricción (en condiciones similares al presente caso), se concluye que la distribución del coeficiente de fricción tiene una media de $0,76 \pm 0,061$. Si bien el trabajo menciona que “la curva normal no termina de adecuarse (curtosis +0,76 y asimetría -0,49) a los datos, la media y la desviación estándar igualmente se ven como buenos descriptores”. Estos resultados se presentan en el gráfico 4.

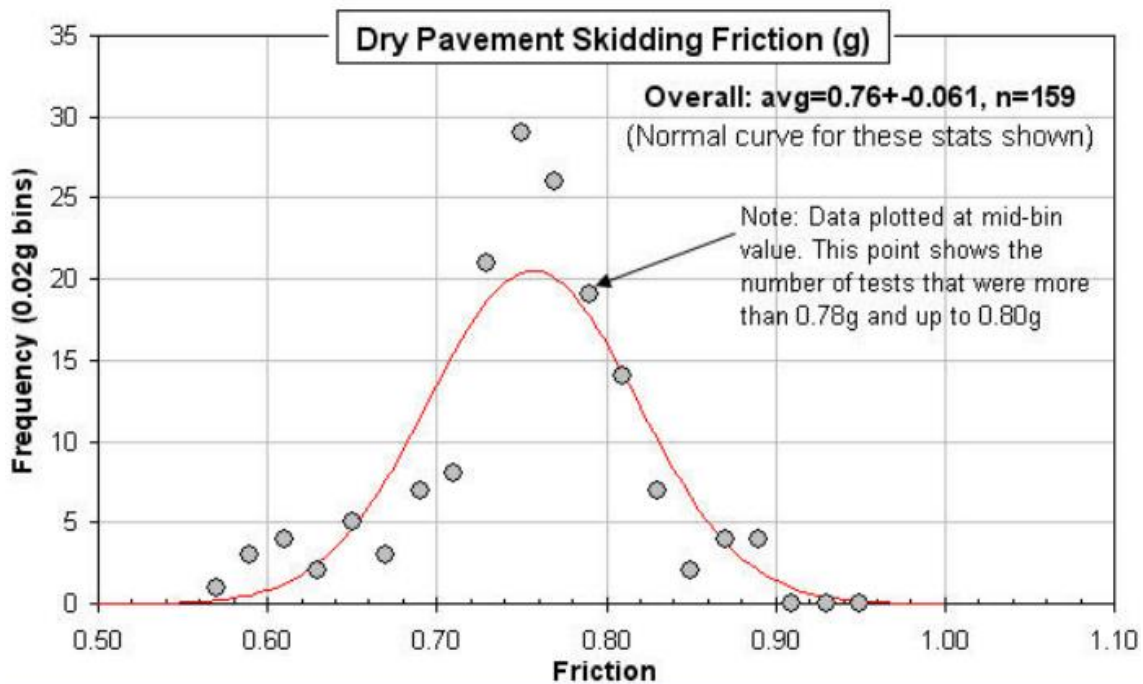


Gráfico 4 – Distribución de datos para valores de fricción (g) en pavimento seco. Fuente: Mechanical Forensic Engineering Services.

Los parámetros específicos utilizados en la segunda simulación fueron los siguientes:

	Distribución	Parámetros
Coefficiente de fricción	Normal	Media 0,76 y Desv. Std 0,06
Longitud de las huellas	Uniforme	[21,9:22,1] m

Los resultados obtenidos se presentan en los gráficos 5,6,7 y en la tabla 7.

Simulation Results

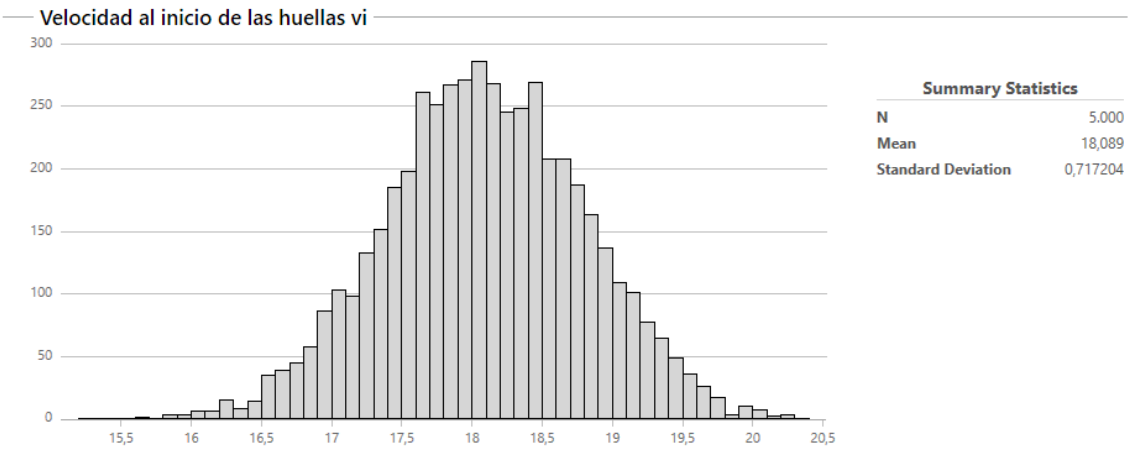


Gráfico 5 – Resultados de Simulación Montecarlo para variable Velocidad al inicio de las huellas vi con distribución normal. Fuente: Elaboración propia (Minitab Companion).

Descriptives

	Coefficiente de fricción μ	Velocidad al inicio de las huellas vi
N	5000	5000
Missing	0	0
Mean	0.759	18.1
Median	0.758	18.1
Standard deviation	0.0601	0.717
Variance	0.00361	0.514
Minimum	0.539	15.3
Maximum	0.953	20.3
Skewness	0.0487	-0.0666
Std. error skewness	0.0346	0.0346
Kurtosis	-0.0639	-0.0268
Std. error kurtosis	0.0692	0.0692
Shapiro-Wilk W	0.999	0.999
Shapiro-Wilk p	0.196	0.115

Tabla 7 – Estadísticas descriptivas de las variables coeficiente de fricción y velocidad al inicio vi de las huellas para el ejemplo de distribución normal. Fuente: Elaboración Propia (Jamovi).

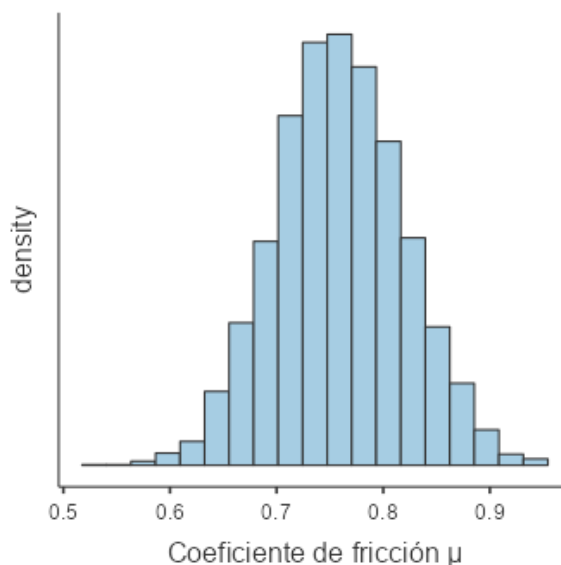
Histograma de Coeficiente de fricción μ 

Gráfico 6 – Histograma para la variable Coeficiente de fricción μ para el ejemplo de distribución normal. Fuente: Elaboración Propia (Jamovi).

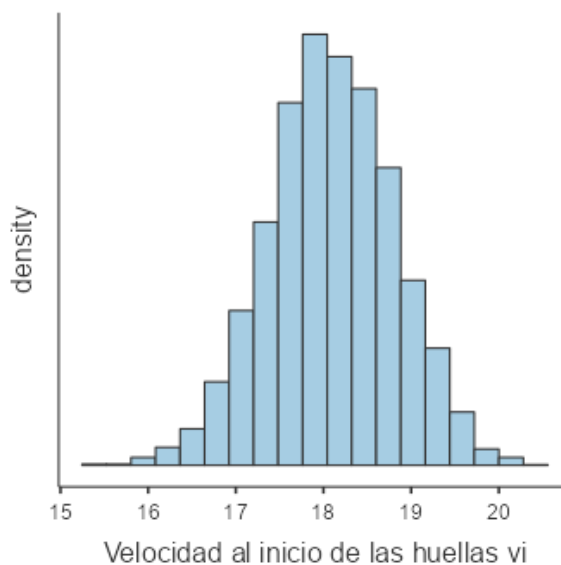
Histograma de Velocidad al inicio de las huellas v_i 

Gráfico 7 – Histograma para la variable Velocidad al inicio de las huellas v_i para el ejemplo de distribución normal. Fuente: Elaboración Propia (Jamovi).

En este caso se puede observar que ambas distribuciones de datos resultan normales (para un 95% de certeza y con p-valores mayores a 0,1). Se desprende entonces que la velocidad inicial se puede determinar como el valor medio ± 2 desviaciones estándar, es decir, $18,1 \pm 2 \cdot 0,717$ m/s. Traducido a km/h el intervalo es de 60km/h a 70,3km/h.

Habiendo validado el supuesto de que la velocidad inicial se puede aproximar por un modelo normal, se puede estimar la probabilidad de ocurrencia de que el vehículo haya circulado a una velocidad mayor a 16,7 m/s (60 km/h) y a 18,7 m/s (67 km/h), como parámetro de una velocidad que excede el 10% de tolerancia permitido por la ley, esto da como resultado lo siguiente:

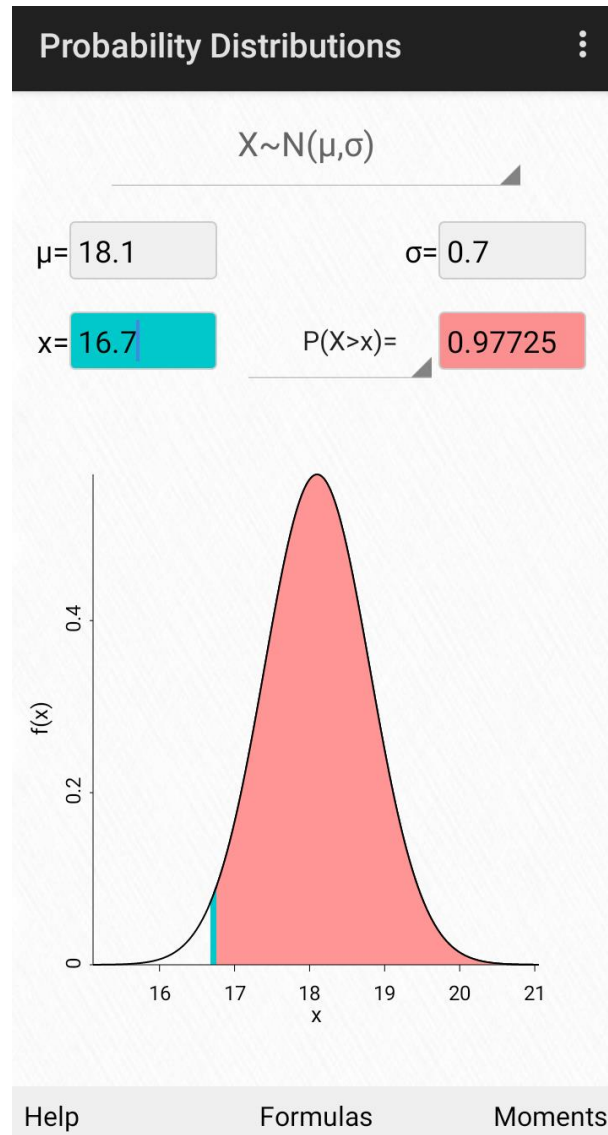


Gráfico 8 – Análisis de la probabilidad de un valor mayor a 16,67 m/s. Fuente: Elaboración Propia (APP Probability Distributions).

A través de lo observado, se puede concluir que la probabilidad de que la velocidad inicial al comienzo de las huellas de frenado sea mayor a 16,7 m/s (60 km/h) es de 97,8%.

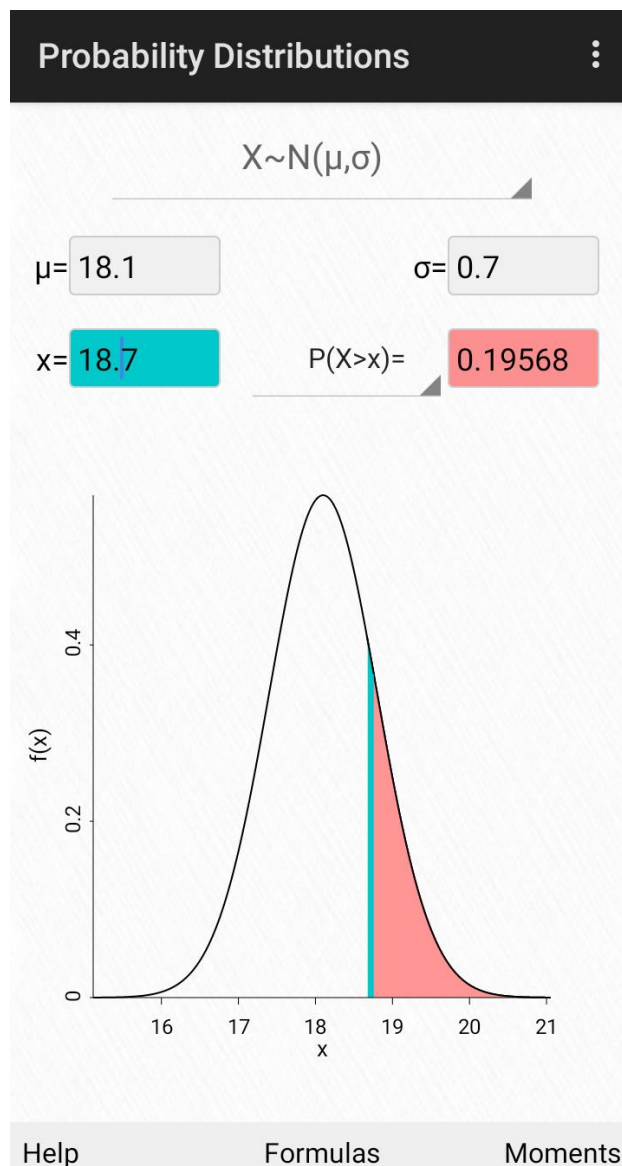


Gráfico 8 – Análisis de la probabilidad de un valor mayor a 18,61 m/s. Fuente: Elaboración Propia (APP Probability Distributions).

De igual manera, se puede concluir que la probabilidad de que la velocidad inicial v_i al comienzo de las huellas de frenado sea mayor a 18,6 m/s (67 km/h) es de 19,6%.

Habiendo llegado a este punto, la tarea del perito se vuelve más objetiva, teniendo que considerar 'qué significan' dichas probabilidades, los alcances y las limitaciones que ahora poseen las conclusiones que se deban redactar. Como primera instancia, se puede proponer la siguiente conclusión: En base a las huellas de frenadas relevadas en el lugar del hecho, la probabilidad de que el vehículo haya iniciado el proceso de frenado a una velocidad inferior a los 60 km/h es del 2,2%, sin embargo, la probabilidad de que el vehículo haya iniciado el proceso de frenado a una velocidad mayor a los 67 km/h es del 19,6%, una probabilidad minoritaria.

Discusión de resultados

El lector sagaz podrá darse cuenta de que los coeficientes de fricción fueron cambiados para el último método. Esto ha sido hecho con pura intención, para mostrar cómo puede variar el resultado y además tratando de dar una sugerencia la cual se considera importante: en primer lugar, hay que entender que las tablas y valores de fricción son una herramienta secundaria (si bien a veces es la única con la que

se puede contar), pero que no puede jamás reemplazar la posibilidad de realizar pruebas y experimentación sobre el vehículo a investigar, siempre y cuando se pueda. El hacer una deducción por datos 'generales' (y de experimentaciones de las cuales no siempre se conoce el detalle o el marco teórico de las mismas) tratando de aplicarlo a un caso individual tiene particularidades y efectos que deben ser considerados y advertidos previamente para no concluir erróneamente. Como escribió Juan José Alba López [6]:

Todo investigador debe ser consciente de que la tecnología de vehículos progresa día tras día y, por tanto, debe preocuparse por trabajar con parámetros de cálculo actualizados. Por ejemplo, seguir atribuyendo sistemáticamente un valor de 0,8 al coeficiente de rozamiento entre neumáticos y asfalto -ambos en buen estado- es, hoy en día una práctica alejada de la realidad y dice poco en favor de los técnicos que la aplican indiscriminadamente. (p 70, 2006).

El presente trabajo tuvo como finalidad evidenciar las limitaciones que poseen los métodos, lo cual no necesariamente debe traducirse como una valoración de estos, pero sí debe destacarse que, en casos como el presentado, hay limitaciones de estos las cuales deben ser entendidas y pormenorizadas para poder realizar un análisis más exhaustivo que permita responder o por lo menos acercarnos a la respuesta deseada con un criterio más científico.

La limitación que posee el método indirecto se encuentra en que se trata de un cálculo determinista, es decir, en donde el resultado está completamente determinado por las variables de entrada. Si se concluye con un resultado único, el cuestionamiento inmediato será del '¿por qué?' de ese valor asignado a alguna variable. Al introducir un intervalo de valores, existe la problemática de 'qué' valores elegir y 'qué' significa como conclusión. La solución por simulación numérica de método Montecarlo si bien admite una solución probabilística, solamente va a resultar siempre y cuando el perito conozca o asuma, responsablemente y con fundamentación, la distribución de las variables involucradas. El camino recorrido (método indirecto, directo y simulación Montecarlo) fue dispuesto intencionalmente, para poder mostrar el proceso de profundización de metodología de resolución para un mismo caso. Pudiendo, además, mostrar una posible solución a una problemática que puede surgir al utilizar método directo para casos similares al presentado.

Mediante el trabajo desarrollado se buscó mostrar, mediante un ejemplo simplificado, la problemática de la resolución numérica en accidentología 'a ciegas', esto es, cuando se cree que las fórmulas funcionan como un algoritmo o función, o sea, algo 'automático' que no merece la atención del perito. Si bien el ejemplo presentado en el presente trabajo es de los más sencillos que se pudo consignar, tanto la problemática como la complejidad y la responsabilidad del perito posiblemente crecerán proporcionalmente a medida que la reconstrucción sea más compleja. Como se mencionó anteriormente, el caso evaluado en el presente trabajo es sumamente sencillo (a propósito de fines demostrativos) pero se desea tomar como un llamado de atención hacia cálculos sensibles de mayor cantidad de variables como puede ser, por ejemplo, una reconstrucción analítica que involucre el cálculo de cantidad de movimiento para dos vehículos.

Respecto a la variabilidad de los datos, se considera necesario el desarrollo e interiorización de la incertidumbre respecto a los cálculos utilizados en la accidentología vial, no solamente para poder dar información con un mayor rigor técnico-científico, sino para sincerar y sanear la ilusoria capacidad que presentan algunas conclusiones respecto a velocidades como valor único, real e incuestionable, lo cual crea un daño no solamente en la ciencia criminalística sino en lo jurídico donde una incertidumbre fraccionaria o porcentaje de error es visto como una debilidad de un cálculo cuando en realidad es una fortaleza.

Conclusión

A través del presente trabajo, se pudo demostrar mediante un sencillo caso, la problemática de reconstruir un accidente vial con datos experimentales limitados. Es por esto por lo que se propone la profundización del análisis, incorporando métodos probabilísticos, como la simulación Montecarlo u otros, para poder indagar y conocer más respecto a las características del análisis y, si es posible, asignar probabilidades a los resultados respecto de cierto valor, no solamente por mero interés académico, sino para poder auxiliar a la justicia de forma óptima.

Esta propuesta no tiene como objetivo solamente la resolución numérica de una reconstrucción particular para un caso, sino sugerir una discusión respecto de la actualidad y actualización (o falta de ésta) respecto al conocimiento y alcance de la reconstrucción accidentológica, las variables, criterios y conclusiones que se presentan con este tipo de casos, como así también la adopción de nuevas técnicas para dar un salto de calidad a una mayor y mejor calidad de trabajo.

Finalmente, se considera importante hacer un llamado de atención a las metodologías no solamente que se utilizan, sino las que se enseñan y poder reflexionar respecto al conocimiento matemático que el perito debería tener, ya que lamentablemente las conclusiones que se brindan en las salas de audiencia de juicios frecuentemente no poseen asidero desde las premisas como así tampoco desde el proceso de cálculo, por lo que se considera necesario hacer una retroalimentación interna de los procesos utilizados en la accidentología vial para poder ofrecer mejores resultados y así también, en casos que no se pueda dar una respuesta con el grado de precisión que a veces la justicia exige (o que muchas veces la ciencia forense ha hecho creer que puede dar), poder ser honestos y presentar resultados quizá no tan 'exactos' pero consistentes y con fundamento científico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- [1] Reconstrucción de accidentes viales. Dr. Eduardo Osquiguil. 2010. Manual de evidencia científica. Editorial Finis Terra S.A.
- [2] Exploring monte carlo methods. Dunn, W. L., y Shultis, J. K. 2022. Elsevier.
- [3] Vehicle Accident Analysis and Reconstruction Methods. 2022. Brach, R Matthew et. Al. SAE International.
- [4] Friction Applications in Accident Reconstruction. Charles Y. Warner et al. 1983. SAE Technical Paper 830612. [Friction Applications in Accident Reconstruction \(sae.org\) https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/830612/](https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/830612/)
- [5] Skidding Friction: A Review of Recent Research. Mechanical Forensics Engineering Services, LLC. 2007. Extraído de [Mechanical Forensics: Friction Table Update \(mfes.com\) \(http://mfes.com/friction.html\)](http://mfes.com/friction.html)
- [6] Accidentes de tráfico: Manual básico de investigación y reconstrucción. 2006. Instituto de investigación en ingeniería de Aragón. Pons Editorial, S.L.