

Conduciendo bajo la lluvia. Desafíos para la economía.

Sebastián Mussini

23 de Abril, 2024

Resumen

Los factores climáticos pueden impactar sobre resultados económicos relevantes.

Estudio aquí el impacto que tiene la lluvia sobre los accidentes de tránsito - la literatura previa señala importantes costos de los accidentes (lesiones graves, gastos para la sociedad en términos de policiamiento, sistema judicial, atascos y horas laborales perdidas) - en Montevideo. Como puede existir sesgo en el tipo de personas que deciden conducir bajo lluvia, centro el análisis en un tipo de día y horario que permite pensar que la lluvia, al menos en esos momentos y con las debidas variables empleadas como controles, se comporta de manera exógena. Encuentro indicios de que la lluvia no afecta la cantidad de accidentes - o incluso puede llegar a disminuirlos - ni la gravedad de los mismos, y sugiero algunas razones al respecto. Otro resultado de la presente investigación es que las lluvias sí aumentan la chance de que haya un peatón involucrado como víctima del accidente: en el diseño de la política de seguridad vial podría tenerse en cuenta este resultado.

Introducción

La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2023) señala que, en 2021, la cantidad estimada de personas fallecidas a nivel mundial debido a accidentes de tránsito se sitúa en 1.19 millones. Además, al menos hasta 2019, los accidentes de tráfico son la principal causa de muerte en niños y jóvenes de 5 a 29 años. Dos tercios de las muertes ocurren en personas en edad laboral (18-59 años), causando un costo significativo para la sociedad. En Uruguay, la Unidad Nacional de Seguridad Vial (UNASEV, 2022) indica que, durante el año 2022, se produjeron 20210 siniestros de

tránsito en el país, resultando lesionadas un total de 25164 personas (21555 heridos leves, 3178 heridos graves y 431 fallecidos). Paolillo et al. (2016) estiman que el costo de hospitalización por accidente grave de tránsito en Uruguay es de USD 7437. Blanco et al. (2021) estiman que el valor estadístico de una vida humana en Uruguay es de USD 2346000.

A la literatura económica le ha interesado el efecto del clima (Dell et al., 2014) siendo un ejemplo reciente de ello la investigación de Anthony Heyes & Soodeh Saberian (2019), donde se analiza el impacto de la temperatura exterior en las decisiones tomadas por jueces de inmigración de los Estados Unidos, en el cual se encuentra que un aumento de 10 grados Fahrenheit en la temperatura del día del caso reduce las decisiones favorables al solicitante en un 6.55 por ciento (Heyes & Saberian, 2019, p. 238). Para ello, los investigadores examinan 207000 expedientes evaluados durante un período de cuatro años por los 266 jueces de inmigración en los 43 tribunales federales de inmigración de los Estados Unidos ubicados en la mayoría de las principales ciudades de EE.UU, siendo su principal enfoque de estimación un modelo de probabilidad lineal similar al que empleo en la presente investigación. En su especificación preferida, los autores incluyen efectos fijos por juzgado¹ y por ciudad-mes (además de realizar cluster por ésta última, con el objetivo de ajustar la estimación de los errores estándar considerando la posible correlación entre las observaciones dentro de un mismo grupo²), así como controles para otras mediciones ambientales, logrando de esta manera que el efecto de la temperatura sea *as good as random*.

¹ Al incluir efectos fijos por juzgado se está controlando por las características específicas asociadas con cada uno de ellos.

² Si los errores están correlacionados y ello no se tiene en cuenta al calcular los errores estándar, se podría estar subestimando la variabilidad real de los coeficientes, con lo cual los p-valor serían menores de lo que en realidad son, impactando ello en que los coeficientes podrían presentarse como estadísticamente significativo cuando en realidad no lo son.

Excluyendo eventos extremos con presencia de lluvia como pueden ser huracanes e inundaciones, la mayor parte de los trabajos de la literatura de Economía de la Salud se centran en estudiar los efectos de la temperatura (y no la lluvia, como es nuestro caso) en la salud y la mortalidad. Algunas excepciones a lo anteriormente expuesto pueden observarse en Maccini & Yang (2009) y en Kudamatsu et al. (2012) donde sí estudian el impacto de la lluvia sobre la salud. Otras investigaciones económicas analizan el efecto de la lluvia pero sobre temáticas diferentes a la salud - por ejemplo, sobre el ingreso monetario (Barrios et al., 2010), la producción de cereales (Levine & Yang, 2006), la salud de los árboles (Carnicer et al., 2011), la elección entre trabajo/ocio (Connolly, 2008), los conflictos civiles (Miguel et al., 2004).

En mi caso, procuro identificar el efecto de la lluvia sobre los accidentes de tránsito de la siguiente manera. Con el fin de superar la preocupación de que la lluvia pueda sesgar el tipo de conductores que salen a la calle - podría suceder que quienes optan por conducir en condiciones climáticas adversas sean más propensos al riesgo o le resten importancia a la seguridad - en la especificación preferida del modelo se analizan solamente los accidentes de las horas pico de la tarde (16:00 a 19:00 hs) para los días hábiles (lunes a viernes, excluidos los días festivos) en los cuales no se registraron lluvias durante las horas pico de la mañana (07:00 a 10:00). De esa manera, sería bastante razonable suponer que todos los conductores que salieron de sus casas (por trabajo, educación, etc.) en la hora pico de la mañana conduciendo algún vehículo o compartiéndolo, no tienen alternativa y deben volver a sus casas conduciendo aunque llueva y sean ellos adversos al riesgo. En resumen, la persona que salió de su casa de mañana conduciendo cuando no llovía, circula en la calle en la hora pico de la tarde porque necesita devolver el auto a su casa, y

algunas veces lo hará con lluvia y otras veces sin lluvia. Esta variación - presumiblemente exógena - es lo que explota como estrategia de identificación.

El análisis descubre indicios de que la lluvia no incrementa el número de accidentes sino que incluso parecería disminuirlos significativamente: para el caso de los lugares de la ciudad que concentran la mayor cantidad de accidentes, 1 milímetro de lluvia en las horas pico de la tarde, disminuye la cantidad de accidentes en 0.01 accidentes, lo que representa una disminución de 20.9% (dado que la cantidad promedio de accidentes en las cercanías de cada radar, en las horas pico de la tarde que no llueve, es 0.0478). A su vez, también se encuentran resultados significativos al analizar el efecto de la lluvia sobre el involucramiento de peatones como víctimas en los accidentes en todas las especificaciones realizadas, siendo el coeficiente (0.125) asociado a la especificación preferida³: un aumento en 1 milímetro en la cantidad de lluvia en las horas pico de la tarde aumenta en 0.125 la probabilidad de participación de un peatón en el accidente, lo que representa un aumento de 65% (dado que la probabilidad de que un peatón esté involucrado en un accidente en las horas pico de la tarde en las que no llueve es 0.192). Este resultado permite a la Economía de la Salud aportar información relevante para el diseño de políticas de prevención asociadas a la seguridad y educación vial en Montevideo.

Datos

Los datos provienen de cuatro fuentes de información cuyo acceso es público:

1) Lo referido a accidentes tiene origen en el Portal Geográfico Ciudadano de la Unidad Nacional de Seguridad Vial (UNASEV). Cada observación de esa base de

³ Dicha especificación incluye controles de volumen de tráfico, velocidad máxima del viento, duración del día, mes de agosto, efectos fijos por día de la semana y por radar además de realizar cluster radar.

datos corresponde a una persona accidentada (Fecha, Edad, Rol - conductor, acompañante, etc. -, Calle, Zona, Tipo de resultado - ileso, herido leve, herido grave y fallecido -, Tipo de siniestro, Usa cinturón, Usa casco, Día de la semana, Sexo, Hora, Departamento, Localidad, Tipo de Vehículo, Coordenadas geográficas(X, Y)).

2) Los registros de lluvia provienen del INUMET y se cuenta con la cantidad de milímetros de lluvia por día y por hora medidos en la estación meteorológica ubicada en el Prado (Montevideo).

3) El volumen de vehículos se obtiene del Centro de Gestión de Movilidad de la Intendencia Municipal de Montevideo e informa la cantidad de vehículos que se registran, en cada uno de los 239 radares instalados en la ciudad, en los cinco minutos anteriores a la hora señalada⁴.

4) La velocidad del viento diaria (medida en km/hora) así como la duración del día (medida en segundos) tienen como fuente la web Open-Meteo.

Se definió trabajar con el período 03/Agosto/2018 - 31/Agosto/2019 porque cuento con los datos de las cuatro fuentes. El total de personas accidentadas para el período 03/Agosto/2018 - 31/Agosto/2019 (sin restricciones de día y horas⁵) asciende a 20048, de las cuales 11062 resultaron ilesas, 7876 heridos leves, 998 heridos graves, y 112 fallecidos. Todas estas personas accidentadas, se asocian a un total de 8648 accidentes⁶.

Metodología

⁴ Por ejemplo, si para la hora 17:00 informa 80 vehículos, significa que entre las 16:55 y las 17:00 horas se contó el pasaje de dicha cantidad de vehículos por la ubicación del radar.

⁵ Se toman en cuenta todos los accidentes ocurridos en todos los días y todas las horas del período de interés, sin restricciones adicionales.

⁶ Se considera que los registros de personas accidentadas que coinciden en fecha, hora y calle forman parte de un mismo accidente.

El primer análisis que realizo es una regresión lineal explorando el eventual efecto de la lluvia sobre la cantidad de accidentes para todos los días y horas del período elegido (03/Agosto/2018 - 31/Agosto/2019), sin tener en cuenta la posible existencia de sesgo por el tipo de conductor que sale a manejar bajo la lluvia.

Como la base de datos de UNASEV sólo contiene los días y horas en los que se constataron accidentes, antes de correr la regresión completé la base de datos incluyendo los días y horas en las que no hubo accidentes⁷.

$$Y_{it} = \alpha + \beta.Lluvia_{it} + \epsilon_{it}$$

donde Y_{it} es la cantidad de accidentes en la hora i del día t , $Lluvia_{it}$ es el valor que toma la lluvia en milímetros en la hora i del día t , y β el coeficiente de interés. Los resultados se resumen en la Tabla 1 presentada a continuación.

⁷ El período de análisis contiene 393 días y 24 horas cada día, lo que corresponde a 9432 observaciones - en la Tabla 1 aparecen 9256 y la diferencia se explica por inexistencia de datos de lluvia para algunas horas de algunos días.

Tabla 1
Efecto de la lluvia sobre la cantidad de accidentes en Montevideo
para el período 03/Agosto/2018 - 31/Agosto/2019

Variable dependiente	Cantidad de accidentes por hora
Lluvia por hora (mm)	0.017 (0.013)
Número de observaciones	9256

Notas:

- 1) Las observaciones son para todos los accidentes ocurridos en Montevideo para el período 03/Agosto/2018 - 31/Agosto/2019.
- 2) El error estándar asociado a cada coeficiente se encuentra presentado entre paréntesis.
- 3) Durante el período señalado, se registraron un total de 8648 accidentes.
- 4) El porcentaje de las horas en que se registró lluvia es de 7,46%

A continuación, selecciono las observaciones correspondientes a la hora pico vespertina (16:00 a 19:00) que tienen lugar en un día hábil (lunes a viernes, no feriado) para los cuales no se registró lluvia en la hora pico matutina (07:00 a 10:00) para cada uno de los 239 radares y agrupo las observaciones por radar y por fecha, obteniendo 32662 observaciones (de las cuales 505 registran accidentes⁸). A su vez, asigno a cada accidente el volumen de tráfico (cantidad de vehículos) registrado por el radar más cercano al lugar donde tuvo lugar el siniestro, siempre y cuando éste haya tenido lugar dentro de un radio máximo de 500 metros de la ubicación física del radar. La información descriptiva se presenta a continuación en la Tabla 2.

⁸ Asociados a 1196 personas afectadas, de las cuales 42 son consideradas como “heridos graves”. Defino un accidente como grave si en el evento se registra al menos un herido grave o fallecido. A partir de esto, se define una métrica asociada a cada accidente llamada “Porcentaje de fallecidos o heridos graves” calculado como el cociente entre “cantidad de fallecidos y/o heridos graves” y “cantidad de personas involucradas en el accidente”.

Tabla 2
Estadísticas descriptivas de horas pico vespertina (16:00 a 19:00 hs) los días hábiles

	Media	Desvio Std
Cantidad de accidentes por radar y por día	0.02	0.13
Lluvia promedio en la hora pico vespertina por día (mm)	0.07	0.37
Lluvia en la hora pico vespertina (Si/No)	0.07	0.25
Volumen de tráfico promedio por radar en las horas pico vespertinas (número de vehículos durante 5 minutos)	71.89	43.20
Velocidad máxima viento (por día en km/h)	23.98	7.25
Duración del día (en segundos)	42647.68	5683.26
Número de observaciones	32662	

Notas:

El número de observaciones corresponde a las registradas en la hora pico vespertina (16:00 a 19:00) que tienen lugar en un día hábil (lunes a viernes, no feriado) para los cuales no se registró lluvia en la hora pico matutina (07:00 a 10:00) para cada uno de los 239 radares, agrupadas por radar y por fecha, para el período 03/Agosto/2018 - 31/Agosto/2019.

El supuesto de identificación es que al restringir la muestra a las horas pico vespertinas de los días en los cuales no llovió durante las horas pico matutinas, y al agregarle controles relevantes, la asignación de lluvia a conductores se puede considerar razonablemente exógena. Con ese objetivo controlo por volumen de tráfico junto a otras variables climáticas (velocidad máxima del viento y duración del día), a la vez que aplico efectos fijos por día de la semana y mes de Agosto - la muestra incluye 13 meses y el que se repite es Agosto -, así como también implemento cluster y efectos fijos por radar⁹.

Nuestra especificación preferida se presenta a continuación:

⁹ Al incluir efectos fijos por radar, estoy controlando por las características específicas asociadas con cada radar de monitoreo de volumen de tráfico, para así capturar las diferencias sistemáticas que pueden existir entre las áreas monitoreadas por radares individuales (por ejemplo, diferencias en la calidad del pavimento o pendiente de la calle monitoreada por cada radar). A su vez, al realizar clustering por radar, estoy ajustando la estimación de los errores estándar para tener en cuenta la posible correlación entre las observaciones dentro de un mismo grupo.

$$Y_{it} = \alpha + \beta.Lluvia_t + \gamma.Volumen\ de\ tráfico_{it} + \delta.Velocidad\ máxima\ viento_t + \\ \theta.Duración\ del\ día_t + \lambda.Día\ de\ la\ semana_t + \tau.Mes\ de\ Agosto_t + \\ \varphi.Efectos\ fijos\ radar_i + \epsilon_{it}$$

Siendo la variable independiente $Lluvia_t$ la lluvia promedio en las horas pico vespertinas (en los días en que no llovió en las horas pico de la mañana, que es la muestra con la que estoy trabajando) del día t, medida en milímetros. Y_{it} es el número de accidentes ocurridos el día t en la zona cercana al radar i. El coeficiente de interés es β .

Resultados

Lluvia y número de accidentes de tránsito

Los resultados más relevantes se resumen en la Tabla 3. Allí se observa que la cantidad de lluvia no parecería afectar el número de accidentes en la ciudad. Sin embargo, si tomamos aquellos puntos de la ciudad con mayor concentración de accidentes, los resultados parecen indicar que la lluvia hace disminuir la cantidad de accidentes. La Tabla A1 del Anexo muestra el análisis de sensibilidad acerca de este último resultado. Allí se observa que la relación negativa y significativa entre el número de accidentes y la lluvia se mantiene si en lugar de los 10 radares con mayor número de accidentes, tomamos una cantidad mayor. Esto es una señal de robustez del resultado encontrado: la lluvia disminuye la cantidad de accidentes en los *hotspots* de accidentes¹⁰.

¹⁰ Otra señal de robustez de los resultados se observa en la Tabla A3. Allí se señala que el impacto negativo de la lluvia sobre el número de accidentes que se encontró para los 10 radares con mayor cantidad de accidentes, también se mantienen si tomo menos variables como controles.

Tabla 3
Efecto de la lluvia sobre la cantidad de accidentes en Montevideo para la hora pico (16:00 a 19:00 hs) los días hábiles

	(1)	(2)	(3)	(4)
Variable dependiente	Cantidad de accidentes por radar por día	Cantidad de accidentes por radar por día	Cantidad de accidentes por radar por día	Cantidad de accidentes por radar por día en los 10 radares con mayor cantidad de accidentes
Lluvia promedio en la hora pico vespertina por día (mm)	0.003 (0.002)	0.003 (0.002)	0.003 (0.002)	-0.010 * (0.006)
Volumen de tráfico promedio por radar en las horas pico vespertinas (número de vehículos durante 5 minutos)	NO	SI	SI	SI
Velocidad máxima viento (por día en km/h)	NO	NO	SI	SI
Duración del día (en segundos)	NO	NO	SI	SI
Día de la semana	NO	NO	SI	SI
Mes de Agosto	NO	NO	SI	SI
Clusters por radar	NO	SI	SI	NO
Efecto fijo por radar	NO	SI	SI	SI
Número de observaciones	32662	32662	32662	1822

Notas:

1) El número total de radares es de 239, con excepción de la columna (4) que solamente considera los 10 radares con mayor cantidad de accidentes.

2) Las observaciones son para los accidentes ocurridos durante la hora pico de la tarde para los días hábiles en que no llovió durante la hora pico matutina (07:00 a 10:00 hs).

3) * $p < 0.1$

4) El error estándar asociado a cada coeficiente se encuentra presentado entre paréntesis.

¿Por qué podría estar sucediendo que no se identifiquen los efectos de la lluvia sobre la cantidad de accidentes cuando éstos no suceden en los diez lugares con mayor cantidad de accidentes?¹¹ Una posible explicación sería un cambio en la conducta de los conductores: ante eventos de lluvia, son conscientes que deben conducir con un mayor grado de atención, aumentar la distancia con el vehículo que lo precede y disminuir la velocidad de circulación, por ejemplo. Y ¿por qué podría estar sucediendo que, en la cercanía de los radares donde se registran la mayor cantidad de accidentes, por cada milímetro de lluvia, la cantidad de accidentes disminuye en 0.01? Una interpretación podría ser que los conductores saben que en esos lugares suelen ocurrir un buen número de accidentes, por lo cual, ante condiciones climáticas adversas, estarían propensos a conducir con especial mayor

¹¹ La ausencia de impacto significativo de la lluvia en la cantidad de accidentes podría derivarse de un problema de poder estadístico: tomando una desviación estándar de 0.37 para la lluvia, una desviación estándar de 0.13 para el número de accidentes, un coeficiente del parámetro de interés de 0.003 y un 80% de poder estadístico, encuentro que el tamaño de muestra mínima necesaria es de 107643 observaciones, por lo cual no tengo el poder estadístico necesario porque la muestra que empleo en este estudio es de 32662 observaciones.

atención en dichos lugares¹². Un argumento en favor de esta eventual explicación es lo que se observa en la columna 4 de la Tabla A2: el impacto negativo de la lluvia sobre la cantidad de accidentes se da especialmente para los valores elevados de lluvia¹³: a más lluvia, los conductores parecerían volverse más cautelosos¹⁴. Si contara con datos de velocidad para las zonas cercanas a cada radar, podría testear si la lluvia impacta en la velocidad de circulación en esas zonas: podría ser un proxy de cambios en la conducta de quienes pasan a manejar bajo la lluvia. Queda para futuras ampliaciones del presente estudio.

Lluvia e impacto sobre los motociclistas y peatones

La Tabla 4 reporta el eventual efecto que tiene la lluvia sobre los accidentes en los que motociclistas y peatones están involucrados. No parece haber efecto de la lluvia sobre la probabilidad de que haya al menos un motociclista involucrado en el accidente¹⁵. En cambio, encuentro que la lluvia aumenta la probabilidad de que al menos un peatón esté involucrado en el accidente. En la especificación preferida, un aumento de 1 milímetro de lluvia genera un aumento de 0.125 en la probabilidad de que haya al menos un peatón involucrado en el accidente, esto representa un

¹² Billot et al. (2009) encuentran que los días de lluvia los conductores disminuyen su velocidad entre 8% y 12% a la vez que aumentan la distancia con el vehículo que los precede. En la misma línea, Ahmed & Ghasemzadeh (2018) en su investigación encuentran que la probabilidad de reducir la velocidad en más de 5 km/hora por debajo de la velocidad máxima autorizada por las señales viales es del 23% con lluvia ligera y del 29% con lluvia fuerte.

¹³ En el Anexo, Figura A1, se puede observar la distribución de la cantidad de lluvia en las horas pico de la tarde de los días en los que en las horas pico de la mañana no llovió.

¹⁴ Otro indicio de esto es lo que se observa en la Tabla A4, donde, en las zonas que concentran la mayor cantidad de accidentes, la lluvia parece disminuir la gravedad de los accidentes. De todos modos, este resultado no es muy robusto: en la Tabla A5 se observa que este resultado no soporta una variación en el número de radares seleccionados.

¹⁵ La ausencia de impacto significativo de la lluvia en la probabilidad de que haya al menos un motociclista involucrado en el accidente podría derivarse de un problema de poder estadístico: tomando una desviación estándar de 0.45 para la lluvia, una desviación estándar de 0.50 para la probabilidad de que haya al menos un motociclista implicado en el accidente, un coeficiente del parámetro de interés de -0.068 y un 80% de poder estadístico, encuentro que el tamaño de muestra mínima necesaria es de 2090 observaciones, por lo cual no tengo el poder estadístico necesario porque la muestra que empleo en este estudio es de 505 observaciones.

aumento del 65% (dado que la chance de encontrar un peatón en un accidente es 0.192).

Tabla 4
Efecto de la lluvia en la participación de motocicleta o peatones en accidentes en Montevideo para la hora pico (16:00 a 19:00 hs) los días hábiles

Variable dependiente	Motocicleta implicada en el accidente (1)	Motocicleta implicada en el accidente (2)	Motocicleta implicada en el accidente (3)	Peatón implicado en el accidente (1)	Peatón implicado en el accidente (2)	Peatón implicado en el accidente (3)
Lluvia promedio en la hora pico vespertina por día (mm)	-0.049 (0.046)	-0.081 (0.050)	-0.068 (0.051)	0.130 *** (0.044)	0.123 *** (0.042)	0.125 *** (0.044)
Volumen de tráfico promedio por radar en las horas pico vespertinas (número de vehículos durante 5 minutos)	NO	SI	SI	NO	SI	SI
Velocidad máxima viento (por día en km/h)	NO	NO	SI	NO	NO	SI
Duración del día (segundos)	NO	NO	SI	NO	NO	SI
Día de la semana	NO	NO	SI	NO	NO	SI
Mes de Agosto	NO	SI	SI	NO	SI	SI
Clusters por radar	NO	SI	SI	NO	SI	SI
Efecto fijo por radar	NO	SI	SI	NO	SI	SI
Número de observaciones	505	505	505	505	505	505

Notas:

1) El número total de radares es de 166.

2) Las observaciones son para los accidentes ocurridos durante la hora pico de la tarde para los días en que no llovió durante la hora pico Matutina (07:00 a 10:00 hs).

3) *** p < 0.01

4) El error estándar asociado a cada coeficiente se encuentra presentado entre paréntesis.

¿Por qué la lluvia impacta en una mayor participación de peatones en accidentes de tránsito? Quizás los peatones intentan cruzar la calzada sin prestar toda la atención que se requiere pues están distraídos por la lluvia, o están de peor humor y no respetan las señales de tránsito (la lluvia puede afectar el humor - Denissen et al., 2008) o, producto del piso mojado, resbalan en mayor proporción hacia la calle¹⁶. Para futuras ampliaciones de esta investigación pienso buscar registros sobre la visibilidad los días de lluvia, o mayor grado de detalle en el tipo de accidente en el que participan los peatones (UNASEV no ofrece esta información pero seguramente esté en los registros policiales del accidente).

Conclusiones

En el presente trabajo, investigo acerca del efecto de la lluvia sobre los accidentes de tránsito, aplicando una estrategia de identificación causal que procura eliminar - o al menos disminuir - los sesgos de selección. Un primer resultado interesante es que la lluvia no aumenta el número de accidentes sino que incluso parecería disminuirlos en las zonas de la ciudad que concentran la mayor cantidad de accidentes. Esto sugiere un posible cambio de conducta de quienes manejan bajo lluvia, alentando la posibilidad de que los conductores se vuelven más cautelosos en los momentos de lluvia. Algo similar se podría decir de los accidentes donde participa alguna motocicleta: no se observa un impacto de la lluvia sobre esa variable. ¿Los motociclistas conducen más cautelosos cuando el clima es adverso? Queda para una futura investigación.

¹⁶ Sun et al. (2015) encuentran que cuando llueve, los peatones tienden a subestimar la velocidad real de los vehículos si éstos circulan a más de 45 km/hora, así como también subestiman la distancia de frenado necesaria del vehículo si éste circula a más de 65 km/hora. A su vez, Horswill & Plooy (2008) encuentran que las gotas de lluvia afectan la visión de los peatones.

Otro resultado de interés es lo que sucede con los accidentes en los que hay peatones involucrados: en este tipo de accidente sí se constata que la lluvia parece aumentar el número de accidentes donde hay al menos un peatón involucrado. Estos resultados pueden contribuir a la concientización de los costos que se generan en términos de peatones accidentados y, por ende, a que el diseñador de la política vial pueda tener en cuenta la prevención de accidentes de peatones en los momentos de climas adversos. También este estudio busca motivar a estudiar los cambios de las conductas de las personas que están frente a un vehículo en situaciones de mayor riesgo.

Limitaciones y futuras ampliaciones de la presente investigación

Empleé como estrategia de identificación el enfocarme únicamente en las horas pico de la tarde cuando en las horas pico de la mañana no llovió, para evitar un sesgo de selección en la muestra (sesgo: que los que manejan en momentos de lluvia pueden ser más propensos al riesgo que el resto de los conductores). Para una futura ampliación de la investigación querría incorporar datos sobre los pronósticos de lluvia: podría estar pasando que, quienes salen conduciendo de sus casas en las horas pico de la mañana que no llueve, no sean una muestra representativa de los conductores habituales sino que son más propensos al riesgo: saben que va a haber lluvia en la tarde e igual salen conduciendo en las horas de la mañana aunque tengan que volver a sus casas bajo lluvia.

Sería deseable también obtener información de mejor calidad referida al volúmen de tráfico¹⁷ y velocidad de circulación de los vehículos. A su vez, sería

¹⁷ El conteo de vehículos se informa para el transcurso de los cinco minutos anteriores a una hora específica. A su vez, se detectaron una cantidad importante de momentos en los cuales los radares no funcionaron (debido a roturas u otros eventos).

interesante agregar variabilidad geográfica a una futura versión de la investigación, de forma tal de captar efectos si llueve en Montevideo mientras que no lo hace en otra ubicación geográfica con características similares¹⁸. Asimismo, resultaría conveniente ampliar el horizonte temporal de las fuentes de información: contaría así con mayor número de observaciones para aumentar el poder estadístico y la validez externa de los resultados. En la misma línea, resaltar que en el presente trabajo estoy observando el efecto de la lluvia solamente sobre accidentes ocurridos durante la hora pico vespertina para días hábiles en los que no se registraron lluvias durante la hora pico matutina, por lo que flexibilizar estas condiciones manteniendo la lluvia como un evento aleatorio sería más que oportuno para obtener conclusiones más generalizables. Para finalizar - y como se ha mencionado previamente en el documento - convendría obtener más información sobre cada accidente (datos con los cuales actualmente no cuento) para explorar posibles mecanismos, con el fin de entender mejor la conducta de los conductores y los peatones (Denissen et al., 2008). Ramírez y Scartascini (2024) ofrecen la sistematización más reciente sobre sesgos conductuales en el comportamiento vial de conductores, acompañantes y peatones, y estrategias exitosas para combatir esos sesgos. Algunos de los sesgos comportamentales más habituales que pueden influir en la seguridad vial son (a) el sesgo de exceso de confianza (los usuarios de la vía pública demasiado confiados pueden creerse mejores manejando situaciones riesgosas de lo que realmente son), (b) el sesgo de normalidad (tendencia a subestimar la probabilidad de que ocurra un accidente porque la situación que conoce hasta el momento ha sido bastante “normal”, sin grandes sobresaltos), (c) sesgo de confirmación (tendencia de las personas a buscar, interpretar, favorecer y

¹⁸ Aplicando técnicas de emparejamiento o controles sintéticos, si se contara con datos para implementarlas (por ejemplo, registros de volumen de tráfico en otras ciudades de Uruguay).

recordar información de manera de reafirmar sus preconceptos), (d) inconsistencia temporal (miopía para evaluar los beneficios futuros de conducir hoy con cuidado aunque estemos apurados). Comprender el modo en que los sesgos del comportamiento afectan la conducta de conductores, acompañantes y peatones puede facilitar el desarrollo de intervenciones que minimicen sus efectos. Esto motiva futuras investigaciones en esa línea de la economía del comportamiento.

Referencias

- Ahmed, M. M., & Ghasemzadeh, A. (2018). The impacts of heavy rain on speed and headway behaviors: An investigation using the SHRP2 naturalistic driving study data. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 91, 371-384.
- Barrios, S., Bertinelli, L., & Stobl, E. (2010). Trends in Rainfall and Economic Growth in Africa: A Neglected Cause of the African Growth Tragedy. *Review of Economics and Statistics*, 92 (2): 350–66.
- Blanco, M., Cabrera, J. M., Carozzi, F., and Cid, A. (2021). Mandatory Helmet Use and the Severity of Motorcycle Accidents. *Economía*, 21(2), 187-218.
- Billot, R., El Faouzi, N., & De Vuys, F. (2009). Multilevel Assessment of the Impact of Rain on Drivers' Behavior: Standardized Methodology and Empirical Analysis. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, 2107(1):134-142.
- Carnicer, J., Coll, M., Ninyerola, M., Pons, X., Sánchez, G., & Penuelas, J. (2011). Widespread Crown Condition Decline, Food Web Disruption, and Amplified Tree Mortality with Increased Climate Change-Type Drought. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108 (4): 1474–78.
- Connolly, M. (2008). Here Comes the Rain Again: Weather and the Intertemporal Substitution of Leisure. *Journal of Labor Economics*, 26 (1): 73–100.
- Dell M., Jones, B., & Olken, B. (2014). What Do We Learn from the Weather? The New Climate–Economy Literature. *Journal of Economic Literature*, 52(3), 740–798.

- Denissen, J.A., Butalid, J., Penke, L., & Van Aken, M. (2008). The Effects of Weather on Daily Mood: A Multilevel Approach. *Emotion*, 8(5): 662–67.
- Heyes, A., & Saberian, S. (2019). Temperature and Decisions: Evidence from 207,000 Court Cases. *American Economic Journal: Applied Economics*, 11(2): 238–265.
- Horswill, M. S., & Plooy, A. M. (2008). Reducing contrast makes speeds in a video-based driving simulator harder to discriminate as well as making them appear slower. *Perception*, 37(8): 1269–1275.
- Kudamatsu, M., Persson, T., & Strömberg, D. (2012). Weather and Infant Mortality in Africa. Center for Economic Policy and Research Discussion Paper, 9222.
- Levine, D., & Yang, D. (2006). A Note on the Impact of Local Rainfall on Rice Output in Indonesian Districts. Unpublished.
- Maccini, S., & Yang, D. (2009). Under the weather: Health, schooling, and economic consequences of early-life rainfall. *American Economic Review*, 99(3), 006-1026.
- Miguel, E., Satyanath, S., & Sergenti, E. (2004). Economic Shocks and Civil Conflict: An Instrumental Variables Approach. *Journal of Political Economy*, 112 (4): 725–53.
- Open Meteo. (s.f.). Historical Weather API. Recuperado de:
https://open-meteo.com/en/docs/historical-weather-api#latitude=-34.90334,-34.76274&longitude=-56.1929,-56.05063&hourly=&daily=temperature_2m_max,temperature_2m_min,temperature_2m_mean,rain_sum,precipitation_hours,wind_speed_10m_max,wind_gusts_10m_max,shortwave_radiation_sum

Ramírez, I., & Scartascini, C. (2024). Cómo aumentar la seguridad vial en América Latina y el Caribe: Lecciones de la economía del comportamiento.

Monografía del BID.

Sun, R., Zhuang, X., Wu, C., Zhao, G., & Zhang, K. (2015). The estimation of vehicle speed and stopping distance by pedestrians crossing streets in a naturalistic traffic environment. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* Volume 30, April 2015, Pages 97-106.

OMS. (2023). Global status report on road safety.

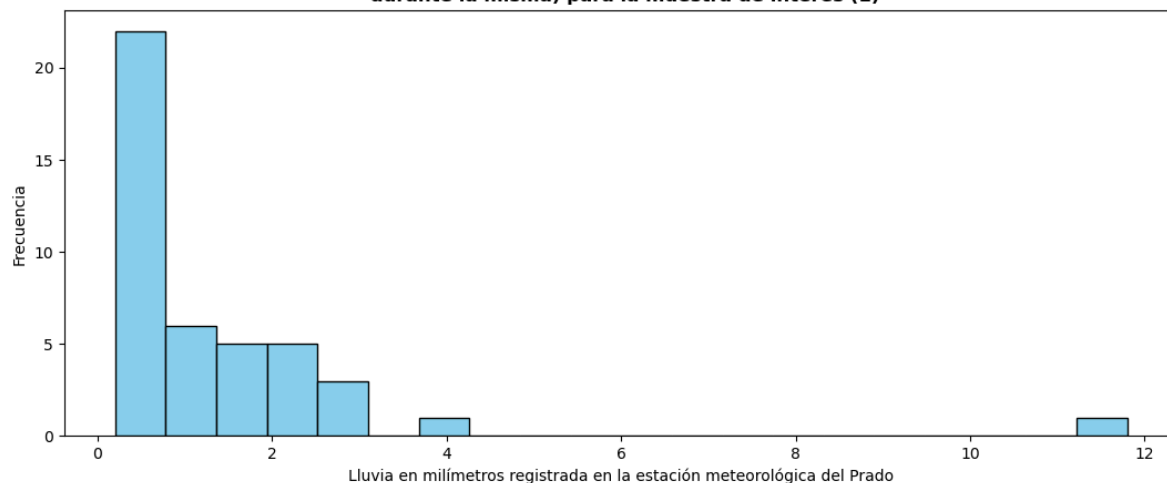
Paolillo, E., Scasso, A., Torres, F., Barrios, G., Tavares, G., Ahmed, Z., Genta, D., Tortorella, S., Tort, P. (2016). Siniestros de tránsito, los grupos relacionados por el diagnóstico y los costos hospitalarios. *Revista médica Uruguay*, 32(1): 41–50.

UNASEV. (2022). Tercer Informe de Gestión y Estadística de Seguridad Vial.

Anexos

Figura A1

Lluvia promedio diaria en la hora pico vespertina (sin considerar los días en los que no llueve durante la misma) para la muestra de interés (1)



(1) Nota: La muestra de interés son los días hábiles en los cuales no llovió en la hora pico matutina pudiendo haber llovido o no en la hora pico vespertina para el período 03/Agosto/2018 - 31/Agosto/2019

Tabla A1

Análisis de sensibilidad del coeficiente de interés (Lluvia promedio en la hora pico vespertina por día (mm)) al cambiar la cantidad de radares con mayor cantidad de accidentes (*hot spots*)

		Coeficiente de Lluvia promedio en la hora pico vespertina por día (mm)	Cantidad de observaciones
	8	-0.008 (0.006)	1397
	9	-0.011 * (0.006)	1618
	10	-0.010 * (0.006)	1822
	11	-0.010 * (0.005)	2016
	12	-0.011 ** (0.004)	2250
	13	-0.013 ** (0.005)	2477
Numero de radares que definen el <i>hot spot</i>	14	-0.013 ** (0.004)	2711

15	-0.013 *** (0.004)	2918
16	-0.012 *** (0.004)	3152
17	-0.011 *** (0.004)	3293
18	-0.011 *** (0.003)	3527
19	-0.006 (0.006)	3617
20	-0.006 (0.006)	3848

Notas:

- 1) La variable dependiente es Cantidad de accidentes por radar y por día.
- 2) Las observaciones son para los accidentes ocurridos durante la hora pico de la tarde para los días hábiles en que no llovió durante la hora pico matutina (07:00 a 10:00 hs).
- 3) * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$
- 4) El error estándar asociado a cada coeficiente se encuentra presentado entre paréntesis.
- 5) Nuestra elección es un *hot spot* definido por 10 radares.
- 6) El coeficiente corresponde a la especificación preferida.

Tabla A2
Efecto de la lluvia sobre la cantidad de accidentes en Montevideo para la hora pico (16:00 a 19:00 hs) los días hábiles

	(1)	(2)	(3)	(4)
Variable dependiente	Cantidad de accidentes por radar por día	Cantidad de accidentes por radar por día	Cantidad de accidentes por radar por día	Cantidad de accidentes por radar por día en los 10 radares con mayor cantidad de accidentes
0 < Lluvia promedio en la hora pico vespertina por día (mm) ≤ 0.5	-0.002 (0.004)	-0.001 (0.004)	-0.003 (0.004)	-0.016 (0.021)
0.5 < Lluvia promedio en la hora pico vespertina por día (mm) ≤ 1	0.007 (0.008)	0.007 (0.008)	0.006 (0.008)	0.017 (0.048)
1 < Lluvia promedio en la hora pico vespertina por día (mm) ≤ 1.5	0.012 (0.016)	0.012 (0.016)	0.013 (0.016)	-0.028 (0.022)
1.5 < Lluvia promedio en la hora pico vespertina por día (mm) ≤ 2	0.013 (0.012)	0.011 (0.012)	0.012 (0.012)	-0.044 ** (0.017)
2 < Lluvia promedio en la hora pico vespertina por día (mm)	0.005 (0.015)	0.005 (0.006)	0.004 (0.007)	-0.025 ** (0.011)
Volumen de tráfico promedio por radar en las horas pico vespertinas (número de vehículos durante 5 minutos)	NO	SI	SI	SI
Velocidad máxima viento (por día en km/h)	NO	NO	SI	SI
Duración del día (en segundos)	NO	NO	SI	SI
Día de la semana	NO	NO	SI	SI
Mes de Agosto	NO	NO	SI	SI
Clusters por radar	NO	SI	SI	NO
Efecto fijo por radar	NO	SI	SI	SI
Número de observaciones	32662	32662	32662	1822

Notas:

- 1) El número total de radares es de 239.
- 2) Las observaciones son para los accidentes ocurridos durante la hora pico de la tarde para los días en que no llovió durante la hora pico Matutina (07:00 a 10:00 hs).
- 3) ** $p < 0.05$
- 4) El error estándar asociado a cada coeficiente se encuentra presentado entre paréntesis.

Tabla A3

Efecto de la lluvia sobre la cantidad de accidentes en los 10 radares con mayor cantidad de accidentes en Montevideo para la hora pico (16:00 a 19:00 hs) los días hábiles

Variable dependiente	(1) Cantidad de accidentes por radar por día en los 10 radares con mayor cantidad de accidentes	(2) Cantidad de accidentes por radar por día en los 10 radares con mayor cantidad de accidentes
Lluvia promedio en la hora pico vespertina por día (mm)	-0.018 *** (0.004)	-0.020 *** (0.006)
Volumen de tráfico promedio por radar en las horas pico vespertinas (número de vehículos durante 5 minutos)	NO	SI
Velocidad máxima viento (por día en km/h)	NO	NO
Duración del día (segundos)	NO	NO
Día de la semana	NO	NO
Clusters por radar	NO	NO
Efecto fijo radar	NO	SI
Número de observaciones	1822	1822

Notas:

1) El número total de radares es de 10.

2) Las observaciones son para los accidentes ocurridos durante la hora pico de la tarde para los días en que no llovió durante la hora pico matutina (07:00 a 10:00 hs).

3) *** $p < 0.01$

4) El error estándar asociado a cada coeficiente se encuentra presentado entre paréntesis.

Tabla A4
Efecto de la lluvia sobre el porcentaje de fallecidos o heridos graves en los accidentes en Montevideo para la hora pico (16:00 a 19:00 hs) los días hábiles

	(1)	(2)	(3)	(4)
Variable dependiente	Porcentaje de fallecidos o heridos graves	Porcentaje de fallecidos o heridos graves	Porcentaje de fallecidos o heridos graves	Porcentaje de fallecidos o heridos graves en los 10 radares con mayor cantidad de accidentes
Lluvia en la hora pico vespertina (mm)	0.005 (0.015)	-0.013 (0.013)	-0.017 (0.018)	-0.113 ** (0.042)
Volumen de tráfico por radar en la hora pico vespertina (número de vehículos durante 5 minutos)	NO	SI	SI	SI
Velocidad máxima viento (por día en km/h)	NO	NO	SI	SI
Duración del día (en segundos)	NO	NO	SI	SI
Día de la semana	NO	NO	SI	SI
Mes de Agosto	NO	NO	SI	SI
Clusters por radar	NO	SI	SI	NO
Efecto fijo por radar	NO	SI	SI	SI
Número de observaciones	514	514	514	85

Notas:

1) El número total de radares es de 166, con excepción de la columna (4) que solamente considera los 10 radares con mayor cantidad de accidentes.

2) Las observaciones son para los accidentes ocurridos durante la hora pico de la tarde para los días hábiles en que no llovió durante la hora pico matutina (07:00 a 10:00 hs).

3)** p < 0.05

4) El error estándar asociado a cada coeficiente se encuentra presentado entre paréntesis.

Tabla A5
Análisis de sensibilidad del coeficiente de interés (Lluvia en la hora pico vespertina (mm)) al cambiar la cantidad de radares con mayor cantidad de accidentes (*hot spots*)

	Coefficiente de Lluvia en la hora pico vespertina (mm)	Cantidad de observaciones
8	-0.108 (0.068)	65
9	-0.121 ** (0.044)	81
10	-0.113 ** (0.042)	85
11	-0.106 ** (0.040)	90
12	-0.093 * (0.045)	95
13	-0.085 (0.048)	109
14	-0.081 (0.050)	114
15	-0.077 (0.051)	120
16	-0.058 (0.060)	126

Numero de
radares que
definen el *hot
spot*

17	-0.047 * (0.024)	132
18	-0.038 (0.022)	141
19	-0.123 ** (0.049)	148
20	-0.128 ** (0.051)	152

Notas:

1) La variable dependiente es el Porcentaje de fallecidos o heridos graves en los accidentes en Montevideo para la hora pico (16:00 a 19:00 hs) los días hábiles.

2) Las observaciones son para los accidentes ocurridos durante la hora pico de la tarde para los días hábiles en que no llovió durante la hora pico matutina (07:00 a 10:00 hs).

3) * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$

4) El error estándar asociado a cada coeficiente se encuentra presentado entre paréntesis.

5) Nuestra elección es un *hot spot* definido por 10 radares.

6) El coeficiente corresponde a la especificación preferida.