



Desarrollo y Sociedad

ISSN: 0120-3584

revistadesarrolloy sociedad@uniandes.ed

u.co

Universidad de Los Andes  
Colombia

González, Juan F.; Prada, Sergio I.

Cámaras de fotodetección y accidentalidad vial. Evidencia para la ciudad de Cali

Desarrollo y Sociedad, núm. 77, julio-diciembre, 2016, pp. 131-181

Universidad de Los Andes

Bogotá, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169146817004>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

## Cámaras de fotodetección y accidentalidad vial. Evidencia para la ciudad de Cali

### *Photo Detection Cameras and Road Accidents. Evidence for the City of Cali*

Juan F. González<sup>1</sup>  
Sergio I. Prada<sup>2</sup>

DOI: 10.13043/DYS.77.4

### Resumen

Este artículo busca evaluar el impacto sobre la accidentalidad de 19 cámaras de fotodetección instaladas en la ciudad de Cali en el 2012. Usando un total de 10.146 intersecciones con accidentes registrados entre el 2010 y el 2013, se emplea un algoritmo de emparejamiento para construir un grupo de control. Utilizando diferentes estimadores se evalúa el registro total de accidentes, con daños y con heridos en las intersecciones tratadas, en comparación con el grupo de control, en el periodo posterior a la instalación de las cámaras. Se encuentra un aumento en todos los registros de accidentes para las cuatro intersecciones tratadas en enero del 2012. Este efecto se reduce en las cinco intersecciones tratadas en mayo y desaparece en las diez tratadas en agosto.

---

1 Consultor independiente. Calle 28N n.º 2BN-39, Cali, Colombia. Correo electrónico: juan.felipe@cali.gov.co.

2 Universidad ICESI, Facultad de Ciencias Administrativas y Económicas, Departamento de Economía. Calle 18 n.º. 122-135, Cali, Colombia. Código postal 760031. Correo electrónico: siprada@proesa.org.co.

Este artículo fue recibido el 17 de noviembre del 2015, revisado el 21 de diciembre del 2015 y finalmente aceptado el 21 de junio del 2016.

Se concluye que no hubo reducción de los accidentes debido al programa y que la accidentalidad no fue el criterio de asignación del programa.

*Palabras clave:* Colombia, seguridad del transporte, política gubernamental, análisis cuantitativo (Thesaurus).

*Clasificación JEL:* R41, H76, I18, Y9.

## Abstract

This paper aims to evaluate the impact of photo detection cameras installed in the city of Cali (Colombia) in 2012 on road accidents. Using 10.146 intersections with accident records for the period 2010-2013, a matching algorithm is used to identify a control group. Using different estimators, an evaluation of total accidents, damages and injuries is carried for treated intersections, compared to the control group, after the cameras were installed. Findings show an increase in all types of accident records on the four intersections treated in January 2012, this effect is reduced for those intersections treated in May, and it disappears in those treated in August. The main conclusions are that accidents were not reduced by the camera program and that accident history was not the criterion for treatment assignment.

*Key words:* Colombia, transport safety, public policy, quantitative analysis (Thesaurus).

*JEL classification:* R41, H76, I18, Y9.

## Introducción

Los accidentes de tránsito son una de las principales causas de mortalidad y morbilidad en el mundo. Más de un millón de personas mueren anualmente por este motivo, cifra que supera las muertes por VIH, tuberculosis y malaria. Para los jóvenes varones con edad entre 4 y 29 años es la causa principal de defunción (BM, 2014). Los pronósticos indican que esta situación no mejorará en las próximas décadas. Se estima que si se mantiene esta tendencia, para el 2030 los accidentes ocuparán el quinto puesto entre las principales causas mundiales de mortalidad, por tanto, la seguridad vial es uno de los

problemas de salud pública más apremiantes de la actualidad (OMS, 2013). El primer reporte de carga global de morbilidad por transporte motorizado estima que para el 2010, más de 78 millones de heridos requirieron atención médica. Se atribuye a los accidentes de tránsito la pérdida de 79,8 millones de años de vida saludable, que representan el 3,2% del total de la carga global de morbilidad (BM, 2014).

En el 2010, la tasa de mortalidad vial promedio para países de América fue de 16,1 muertos por cada 100.000 habitantes (OMS, 2013). En Colombia, esta misma tasa fue de 11,9, lo que sitúa a este país por debajo del promedio del continente, y cerca de Estados Unidos, cuya tasa es 10,9 muertos por cada 100.000 habitantes (OMS, 2013). Según el Fondo de Prevención Vial (FPV, 2013), en el 2012 murieron en Colombia 5.917 personas por accidentes de tránsito. El 42,4% fueron motociclistas, el 28,4% peatones, el 7,4% se movilizaban en transporte particular, el 4,9% en bicicleta, el 3,2% en transporte de pasajeros, el 2,3% en transporte de carga y el 0,5% en otros medios de transporte; no se cuenta con información para el 10,8% de los siniestros. En la estadística por rangos de edad se tiene que el 30% de personas fallecidas tenían entre 30 y 49 años; el 28% entre 19 y 29 años y el 20% eran mayores de 60 años. Las muertes por accidentes aumentaron un 7% entre el 2011 y el 2012, en lo que constituye el crecimiento más fuerte registrado en los últimos 20 años (FPV, 2013). En general, el número de muertos entre el 2003 y el 2011 se mantuvo entre 5.632 y 5.408, mientras que el parque automotor ha venido creciendo de 2.276.071 vehículos en 1995 a 8.412.507 en el 2012. En relación con lo anterior, en el 2007 se tenía una tasa de 10,4 muertes por cada 10.000 vehículos, la cual ha disminuido anualmente, hasta ubicarse en 7 muertes por cada 10.000 vehículos en el 2012 (FPV, 2013).

La ciudad de Cali registró 296 muertos y 2.202 heridos en el 2012 en accidentes de tránsito. Entre los muertos, el 38% fueron motociclistas y el 42% peatones; entre los heridos, el 55% fueron motociclistas y el 18% peatones (FPV, 2013). La gravedad de los accidentes está directamente relacionada con la velocidad. Se estima que la probabilidad de morir en un accidente a una velocidad de impacto de 80 km/h es 20 veces más grande que en un accidente a 30 km/h. De los peatones que son chocados por un vehículo con una velocidad de 32 km/h, muere el 20%; a 48 km/h, muere el 45%, y a 64 km/h, muere el 85% (ETSC, 1995). La relación entre la velocidad y la gravedad de las heridas es también directa: a mayor velocidad del vehículo, mayor es la energía que absorben

los ocupantes debido al brusco cambio de velocidad que ocurre en una colisión (Wilson, Willis, Hendrikz, Le Brocque y Bellamy, 2010). Se ha estimado que una reducción de la velocidad promedio en 1 km/h implica una reducción del 3% en las colisiones (Finch, Kompfner, Lockwood y Maycock, 1994).

Con el objetivo de reducir el exceso de velocidad, la cantidad de accidentes y su gravedad, a finales de los años ochenta se instalaron las primeras cámaras de fotodetección de velocidad en Inglaterra y Australia. Desde entonces su uso se ha extendido con gran rapidez, sobre todo en países de ingresos altos. Por ejemplo, en el estado de Queensland (Australia) se instalaron las primeras cámaras en 1997, y para finales del 2001 ya existían más de 2.500 dispositivos (Newstead y Cameron, 2003). Este tipo de estrategia para mejorar la seguridad vial ha sido objeto de estudio, como se puede corroborar en la siguiente sección. Existe consenso en la literatura respecto al efecto significativo de las cámaras en la reducción del exceso de velocidad y el número de accidentes; sin embargo, la magnitud exacta del efecto todavía es motivo de debate (Mountain, Hirst y Maher, 2004; Pilkington y Kinra, 2005; Wilson *et al.*, 2010).

En Colombia, la ciudad de Medellín fue pionera en la implementación de cámaras para captar las infracciones al Código Nacional de Tránsito (Ley 769 del 2002, modificada por la Ley 1383 del 2010). En el 2011 entraron a operar las primeras cámaras en esta ciudad (Álvarez, 2014). En el 2012, la Secretaría de Tránsito y Transporte Municipal (STM) habilitó veinte cámaras de fotodetección en la ciudad de Cali (Alcaldía de Santiago de Cali, 2012a), de las cuales las primeras cinco se instalaron en enero, las cinco siguientes en marzo y las diez restantes a partir de agosto. En el 2013 se instalaron otras veinte, hasta el punto de que hoy en día existen 40 dispositivos instalados, y se está planeando aumentar su número.

La instalación de estos dispositivos implica una importante inversión de recursos públicos, por lo que resulta pertinente hacer una evaluación de la efectividad de estos programas para asegurar que estos recursos se utilicen de manera eficiente (Tay, 2010). En particular, algunos de los costos relevantes en este contexto son: el costo de comprar, instalar y mantener las cámaras y los costos legales asociados a los trámites pertinentes para la expedición y cobro de multas. Por otra parte, los potenciales beneficios son: el ahorro en vidas humanas y heridos, además de la reducción en los daños a la propiedad; el ahorro que experimenta la policía y los servicios de emergencia al atender

menos accidentes; el ahorro experimentado por los servicios de salud al tener que atender menos víctimas de accidentes; el recaudo originado por las multas generadas y las posibles mejoras en el flujo vehicular a través de un mejor "entorno" en las vías (Hooke, Knox y Portas, 1996).

El efecto que tienen las cámaras de fotodetección sobre la velocidad y la accidentalidad está bien documentado. El desafío para su estimación es la construcción del escenario contrafactual que responde a la pregunta de qué hubiera pasado en ausencia del programa. Típicamente se emplea un grupo de referencia o de control y se estima usando el método ingenuo de antes-después o el método bayesiano empírico (véase la sección revisión de literatura). Sin embargo, es probable que existan factores no observados que hagan que el grupo tratado y el grupo de control sean sistemáticamente diferentes, y se introduzca un sesgo en la estimación. Por tanto, la elección del grupo de control es crítica para la evaluación de impacto.

A diferencia de los métodos mencionados, en este artículo se emplea un algoritmo de emparejamiento para identificar el grupo de control, luego se estima el efecto promedio de las cámaras de fotodetección instaladas en el 2012 en la accidentalidad total de Cali, y sobre los accidentes con daños, con heridos, con muertos y con motocicletas. Usando el mismo grupo de control se emplea el estimador de diferencias en diferencias para controlar por características no observables de las vías; luego se contrastan los resultados empleando diferentes tamaños para el grupo de control y diferentes especificaciones para el emparejamiento.

El artículo está organizado de la siguiente forma. En la sección I se hace una revisión de la literatura. En la sección II se presentan los datos para el análisis. En la sección III se desarrolla la metodología. En la sección IV se muestran los resultados. Y finalmente, en la sección V, se discuten los resultados y las conclusiones.

## I. Revisión de la literatura

En los últimos veinte años se ha producido una extensa literatura que busca medir el efecto que tienen las cámaras de fotodetección sobre la accidentalidad. En general existe consenso sobre la efectividad de la medida, aunque la

magnitud del efecto todavía es motivo de debate. Pilkington y Kinra (2005) hacen un estado del arte sobre el tema, en el cual reseñan 14 artículos, seleccionados de un total de 92, donde encuentran que las reducciones en la cantidad de accidentes oscilan entre el 5% (PA Consulting, 2003) y el 69% (Highways Agency, 1997) en el Reino Unido. La cantidad de heridos se ha reducido entre el 12% (Highways Agency, 1997) y el 65% (PA Consulting, 2003), y la cantidad de muertes, el 17% en Canadá en el estado de British Columbia (Chen, Wilson, Meckle y Cooper, 2000) y el 71% en el Reino Unido (Highways Agency, 1997). La diferencia entre los efectos estimados se debe a que los estudios se efectúan para diferentes periodos y diferentes lugares, pero sobre todo a la heterogeneidad de los métodos. Más recientemente, Wilson *et al.* (2010), en un ejercicio similar, escogieron 35 estudios de 69 identificados, anotando que la calidad metodológica de los artículos revisados es moderada, y que solo 11 podrían ser considerados como de calidad alta. En general, encuentran que la reducción en la accidentalidad en los sitios con cámara oscila entre un 8% en Victoria-Australia (Rogerson, Newstead y Cameron, 1994) y un 49% en Arizona (Estados Unidos) (Shin, Washington y Van Schalkwyk, 2009). La heterogeneidad de los métodos hace que un metanálisis para esta literatura no sea apropiado (Wilson *et al.*, 2010).

Metodológicamente, la literatura se dividió en tres tipos de estudio. Los primeros asumieron que la cantidad de accidentes en el periodo previo a la medida era el mejor estimador para el periodo posterior (Elvik, 2008). Este tipo de análisis es común a los estudios denominados como de antes y después (Ali, Al-Saleh y Koushki, 1997; Chin, 1999; Holland y Connor, 1996; Hook, Kirkwood y Evans, 1995; Lund, Brodersen y Jorgensen, 1977). Luego, se mostró que este estimador simple sufre de un sesgo considerable debido a que la diferencia con los accidentes observados es grande y sistemática (Hauer, 1985; Hauer y Persaud, 1984). Con el fin de corregir este sesgo, un segundo grupo de estudios utilizó el método bayesiano empírico (Elvik, 1997; Mountain, Hirst y Maher, 2005; Newstead *et al.*, 2003; Shin *et al.*, 2009). Más recientemente, Li, Graham y Majumdar (2013) emplearon por primera vez en la literatura la metodología de emparejamiento para corregir este tipo de sesgo. Tanto la naturaleza del sesgo, como los dos métodos utilizados para su corrección, se presentan a lo largo de esta sección.

Hauer (1997) formalizó el método bayesiano empírico (EB) en evaluaciones de impacto sobre seguridad vial, la cual es medida por el número de accidentes

ocurridos en un tramo de vía estudiado por unidad de tiempo, en un periodo determinado. Muchos han calificado este método como la herramienta más recomendada para la estimación de la cantidad esperada de accidentes (Elvik, 2008). El método parte de la premisa de que el tramo de vía que se está evaluando pertenece a una población de individuos similares, que se denomina población de referencia o grupo de control. Cuando se tiene información sobre la accidentalidad en esta población, esta puede usarse como indicador de la accidentalidad futura en el individuo bajo estudio. La principal dificultad radica en la elección de un grupo de control para una individuo en particular (Hauer, 1992). Una vez se identifica el grupo de control, se puede construir un pronóstico de la accidentalidad en los sitios con cámara posterior a su fecha de instalación; por último, se compara este pronóstico con los registros reales para ver la diferencia y de esta manera, cuantificar el impacto del programa (Chen *et al.*, 2002; Cunningham *et al.*, 2008; De Pauw *et al.*, 2014; Elvik, 1997; Jones, Sauerzapf y Haynes, 2008; Li *et al.*, 2013; Mountain, Hirst y Maher, 2004; Mountain *et al.*, 2005; Shin *et al.*, 2009).

El método EB considera que la mejor manera de estimar la seguridad de un tramo de vía es usando información de seguridad vial proveniente de dos fuentes: la fuente primaria, que contiene las características propias de la vía (ancho, flujo vehicular, límite de velocidad, etc.); y la fuente secundaria, que es su historia de accidentalidad (Hauer, 1997). Se supone que el estimador del número de accidentes normal de un tramo de vía con determinadas características es  $(E(\lambda | r))$ , que se obtiene de una combinación lineal entre el número de accidentes observado ( $r$ ) y el número esperado de accidentes ( $\lambda$ ). Este último es estimado por un modelo de predicción de accidentes basado en la información primaria<sup>3</sup>, por ejemplo, las características de la vía en cuestión (Hauer, 1997).

Este tipo de análisis tiene dos grandes bondades: permite controlar de forma razonable por el fenómeno de regreso a la media y la tendencia general de la accidentalidad. El fenómeno de regreso a la media se produce por lo general en los sitios que son incluidos en el programa, debido a su historia reciente

---

3 La combinación lineal entre  $r$  y  $\lambda$  se asume de la forma  $E(\lambda | r) = \alpha\lambda + (1 - \alpha)r$ , donde  $\alpha$  es una ponderación que se construye asumiendo que el número de accidentes sigue una distribución gamma con parámetro de forma  $k$  y que el número registrado de accidentes sigue una distribución de Poisson. El mejor estimador de  $\alpha$  es  $\alpha = \frac{1}{1 + (\lambda / k)}$ ,  $k$  se obtiene aplicando el método de momentos o el de máxima verosimilitud (Hauer, 1997).



de alta accidentalidad (Hauer, 1997). Según las leyes de las probabilidades, la accidentalidad promedio en los sitios con cámara debería tender a su promedio poblacional con el tiempo, aun en ausencia del programa (Hauer, 1980). Este hecho dificulta la labor de identificar cuál parte de la reducción en la accidentalidad posterior a la medida se debe a la cámara o al fenómeno descrito. En general, los estudios que no tienen en cuenta este efecto de regreso a la media tienden a sobrestimar el impacto de la medida (Jones *et al.*, 2008). En la práctica, el efecto de regreso a la media se estima como la diferencia entre el número observado de accidentes ( $r$ ) y un estimador del número "normal" de accidentes que se esperaría para ese tramo de vía.

La tendencia de la accidentalidad se relaciona generalmente con cambios en las condiciones de seguridad de las vías a lo largo del tiempo. Algunos ejemplos son la introducción de un nuevo sistema de transporte público, patrones climáticos o estacionales, eventos especiales, cambios en los volúmenes del tráfico, cambios en la combinación de conductor y vehículo, cambios en la legislación vial o cambios en los hábitos de conducción (Mountain *et al.*, 2004). Este efecto se controla por medio del registro de accidentes en el grupo de referencia o de control. Se considera que el cociente entre los accidentes previos a la medida y los accidentes posteriores es el factor que corrige por la tendencia, suponiendo que la distribución de accidentes en el grupo de control es igual a la del grupo que recibió el tratamiento.

Además, puede producirse un fenómeno de migración de la accidentalidad que puede afectar la evaluación de impacto. Esto podría ocurrir por dos razones: por una parte, puede que algunos conductores adopten de manera intencional rutas alternas a las que tienen cámara; y, por otra, puede que reduzcan su velocidad o cambien su manera de conducir únicamente en la zona de influencia de la cámara (Mountain *et al.*, 2005). En ambas situaciones se podría esperar que una parte de la reducción de los accidentes en la zona de influencia de la cámara se esté compensando con un aumento de la accidentalidad en las vías alternas o en tramos de la vía donde el rango de alcance del dispositivo no llega. La mejor manera de controlar si los conductores adoptan vías alternas es teniendo información del flujo vehicular para diferentes periodos, mientras que si la migración ocurre por la segunda razón expuesta, se debe estimar el efecto de la cámara definiendo un tramo de vía más largo.

Elvik (1997) fue el primero en evaluar el impacto de la instalación de cámaras de fotodetección en la seguridad vial de Noruega, aplicando el método bayesiano empírico, con el propósito de controlar por el fenómeno de regreso a la media y la tendencia temporal. Los datos corresponden a 64 tramos de carreteras con cámara, y el grupo de control lo compone el total de accidentes en el país. El estudio encuentra una reducción del 20% en los accidentes con heridos; también encuentra que el porcentaje de reducción en el número de accidentes debido a las cámaras es menor en vías con promedios de velocidad y accidentalidad más bajos. Por último, concluye que el efecto de regreso a la media es mínimo. Una de las limitaciones de este estudio es que las cámaras no operaban permanentemente por no ser digitales, de manera que los conductores no sabían si el dispositivo estaba operando o no; por tanto, es bastante probable que una porción de infracciones no fuera registrada, con el efecto que esta situación puede tener en el comportamiento de los conductores en la vía.

Mountain *et al.* (2005) efectúan un análisis comparativo del impacto de diferentes medidas de reducción de velocidad sobre la velocidad promedio y la accidentalidad en carreteras con límite de 30 mph. Usando como grupo de control el total de accidentes en el Reino Unido, desarrollan su propio modelo predictivo para la accidentalidad con base en el flujo vehicular de la carretera en el periodo anterior, la distancia correspondiente al tramo de carretera y la cantidad de intersecciones menores. Después, aplican el método bayesiano empírico controlando por el efecto de los cambios en el flujo vehicular, en la tendencia temporal, la velocidad promedio y el regreso a la media. Encuentran que las cámaras de fotodetección reducen los accidentes con heridos en un 20%, mientras que los dispositivos verticales (resaltos) los reducen en un 42%.

Shin *et al.* (2009) presentan los resultados de la implementación del programa de cámaras de fotodetección en la autopista urbana 101 de Scottsdale (Arizona, Estados Unidos) en el 2006. En su estudio evalúan el impacto sobre el número de accidentes usando tres variantes del método de Hauer (1997): un estudio de AD con grupo de comparación, un estudio de AD con corrección por flujo vehicular y un estudio de AD bayesiano con corrección por la tendencia temporal de la accidentalidad. Las magnitudes del efecto estimado varían entre cada método. La reducción en los accidentes totales se encuentra entre un 46% y 56%, siendo el método bayesiano el que arroja efectos más grandes, una vez se controla por el regreso a la media y la tendencia temporal.

Encuentran que la velocidad promedio se redujo en 9 mph con la implementación del programa.

Hasta el día de hoy, las evaluaciones publicadas no especifican claramente la manera como se construyó o se seleccionó el grupo de control (Li *et al.*, 2013). En muchos casos simplemente se toma la accidentalidad agregada del país o la región (Elvik, 2007; Mountain *et al.*, 2004). En respuesta a esta falla metodológica, Li *et al.* (2013) utilizaron por primera vez el método de Propensity Score Matching (PSM) para identificar un grupo de control y evaluar el impacto del programa de cámaras de fotodetección en el Reino Unido. Este método de emparejamiento fue propuesto originalmente por Rosenbaum y Rubin (1983). Lo que motiva a los autores a usar el PSM son la bondades que ha aportado en evaluaciones de programas económicos, sociales y de salud. El método consiste en estimar la probabilidad de que a una vía se le instale un dispositivo dadas ciertas características, en particular, la historia de accidentalidad en los sitios, el tipo de carretera, el límite de velocidad y el número de intersecciones. Los autores encuentran que los accidentes con heridos se reducen entre un 23% y 29% con la introducción de la cámaras. También concluyen que los resultados obtenidos por PSM son comparables a los que se obtienen por el análisis bayesiano empírico, y que el uso del grupo de control emparejado por PSM mejora las estimaciones del análisis bayesiano.

## II. Datos

Los datos corresponden al registro de accidentes de la STM desde enero del 2010 hasta diciembre del 2013, elaborados a partir del informe de los guardas de tránsito en el lugar de los hechos. Incluyen localización, gravedad, número de vehículos involucrados, tipo de vehículo, placa del vehículo y fecha. La figura 1 muestra un detalle de la forma como vienen presentados los datos originales. La primera columna (nro\_radicado) corresponde al número de radicado, es un identificador interno del documento elaborado por el funcionario de tránsito en el lugar del accidente. Por ejemplo, las filas 2 y 3 de la figura 1 corresponden al número de radicado 270.495, esto indica que hubo dos vehículos involucrados en este accidente con heridos: un vehículo de clase desconocida<sup>4</sup> y una motocicleta (última columna). Este accidente ocurrió en la carrera 8 con

---

4 Probablemente porque huyó del lugar de los hechos.

calle 25, el 31 de enero del 2012, a las 6:30 p. m. También se registran las placas de los vehículos. Es importante tener en cuenta que la localización es ingresada al sistema de forma manual.

Figura 1. Detalle de la base de datos original de la STM

nro_radicado	gravedad_accidente	direccion		fecha_accidente	hora_accidente	numero_placa	desc_clase
278494	CON HERIDOS	Carrera 94	X Calle 2	2012/01/31 00:00:00	1900/01/01 13:00:00		DESCONOCIDA
278495	CON HERIDOS	Carrera 8	X Calle 25	2012/01/31 00:00:00	1900/01/01 18:30:00		DESCONOCIDA
278495	CON HERIDOS	Carrera 8	X Calle 25	2012/01/31 00:00:00	1900/01/01 18:30:00		MOTOCICLETA
278509	CON HERIDOS	Calle 23	X Carrera 29	2012/01/31 00:00:00	1900/01/01 07:00:00		BUS
278509	CON HERIDOS	Calle 23	X Carrera 29	2012/01/31 00:00:00	1900/01/01 07:00:00		MOTOCICLETA
278510	CON HERIDOS	Calle 15	X Carrera 35	2012/01/31 00:00:00	1900/01/01 02:02:00		AUTOMOVIL
278510	CON HERIDOS	Calle 15	X Carrera 35	2012/01/31 00:00:00	1900/01/01 02:02:00		MOTOCICLETA
278513	CON HERIDOS	Calle 70	X Carrera 7	2012/01/28 00:00:00	1900/01/01 14:30:00		AUTOMOVIL
278513	CON HERIDOS	Calle 70	X Carrera 7	2012/01/28 00:00:00	1900/01/01 14:30:00		MOTOCICLETA
278513	CON HERIDOS	Calle 70	X Carrera 7	2012/01/28 00:00:00	1900/01/01 14:30:00		MOTOCICLETA
278513	CON HERIDOS	Calle 70	X Carrera 7	2012/01/28 00:00:00	1900/01/01 14:30:00		MOTOCICLETA

Fuente: Secretaría de Tránsito Municipal (2014). Datos entregados a petición de los autores.

Hay tres categorías para gravedad: daños, heridos y muertos. En el cuadro 1 se recogen algunas clasificaciones de la accidentalidad. La clasificación tipo de vehículos tiene más de 20 categorías, aunque alrededor del 70% de los vehículos involucrados en accidentes son automóviles, motocicletas, camionetas y bicicletas (cuadro 1). No se registra si hubo peatones involucrados en un accidente. En el 2010 y el 2011 se registraron 47.195 accidentes, en el 61,5 % de los casos hubo heridos. La cantidad de accidentes con muertos fue de 154, un 0,3% del total. El 43% de los accidentes ocurrió en la franja horaria entre los dos pico y placa, de 10 a. m. a 5 p. m. Finalmente, los viernes y los sábados la proporción de accidentes es mayor que en los otros días de la semana. La base de datos original se transformó de manera que en cada fila se tenga la cantidad mensual de accidentes para cada intersección. Hay 10.146 intersecciones ( $N = 10.146$ ) que registran al menos un accidente en los 4 años analizados.

La localización de las cámaras fue suministrada por la STM, pero las fechas oficiales de instalación no. Estas se aproximaron a partir de anuncios oficiales publicados en la prensa local, donde se informa sobre los grupos de cámaras que se van a instalar y la ubicación de las intersecciones. El primer grupo de cinco cámaras se instaló en enero del 2012 (Diario *El País*, 2012a), el segundo grupo de cinco cámaras fue instalado en mayo del 2012 (Diario *El País*, 2012b; Alcaldía de Santiago de Cali, 2012a). El grupo tres, compuesto de diez cámaras, se anunció para agosto (Diario *El País*, 2012c; Alcaldía de Santiago de Cali, 2012b). Estos tres primeros grupos van a ser el foco del análisis. En febrero del 2013, se instalaron las siguientes nueve; en agosto cinco y en octubre seis. Estas

20 intersecciones se excluyen del análisis, puesto que no existe suficiente información posterior a su instalación. Por ejemplo, para las cámaras de octubre solamente se dispone de dos meses de información posterior al programa. En definitiva, se instalaron 20 cámaras en el 2012 y 20 en el 2013.

**Cuadro 1.** Accidentes por categorías (2010-2011)

Variable	Total	%	%
Accidentes	47.195	100	-
Vehículos	796.49	-	100
No identificados	4.872	-	6,1
Automóviles	30.306	-	38,0
Motos	22.766	-	28,6
Camionetas	4.409	-	5,5
Bicicletas	3.540	-	4,4
Otro vehículo	13.756	-	17,3
Muertos	154	0,3	-
Heridos	29.030	61,5	-
Daños	18.011	38,2	-
12 p. m. - 7 a. m.	8.660	18,3	-
7 a. m. - 10 a. m.	7.159	15,2	-
10 a. m. - 5 p. m.	20.171	42,7	-
5 p. m. - 8 p. m.	7.558	16,0	-
8 p. m. - 12 p. m.	3.647	7,7	-
Lunes	6.634	14,0	-
Martes	6.851	14,6	-
Miércoles	6.812	14,4	-
Jueves	6.619	14,0	-
Viernes	7.522	15,9	-
Sábado	7.147	15,1	-
Domingo	5.610	11,9	-

Fuente: Secretaría de Tránsito Municipal (2014).

En la figura 2 se puede apreciar la distribución de 20 cámaras instaladas en el 2012, sobre las que se enfoca este trabajo<sup>5</sup>.

5 La cámara instalada en enero del 2012 en la calle 70 con carrera 5N se excluye porque en la base de datos no es posible diferenciar los accidentes que ocurrieron allí de los que ocurrieron en la calle 70 con carrera 5.

**Figura 2.** Distribución de las cámaras instaladas en el 2012 y fecha de instalación

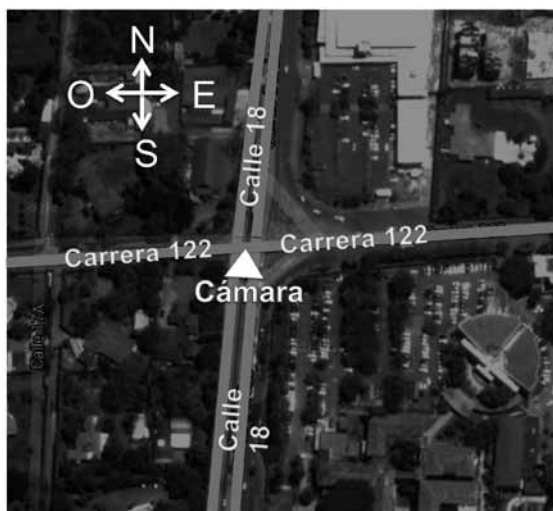


Fuente: construcción propia.

Estas cámaras, además de medir la velocidad, también identifican otro tipo de violaciones al código vial como la invasión de la cebra para peatones cuando los vehículos están detenidos, pasarse el semáforo en rojo y no acatar la restricción a la circulación vehicular basada en el número del registro o placa (Alcaldía de Santiago de Cali, 2012b). El registro de la cámara ocurre únicamente en una dirección, en sentido descendente o hacia la parte trasera de los vehículos que se alejan de la cámara, es decir, que si una determinada vía tiene circulación vehicular en doble sentido, las infracciones cometidas por vehículos que van en dirección de la cámara no se registran. Por ejemplo, en la figura 3 se puede observar la localización de la cámara instalada sobre la calle 18 con carrera 12 (triángulo blanco), la cual apunta en dirección norte y, por restricciones técnicas, solo captura las infracciones de los vehículos que circulan en dirección sur-norte. El video grabado se direcciona a un centro de infracciones donde un equipo técnico juzga su gravedad. No todas las infracciones se convierten en multas (por seguridad, algunos horarios nocturnos son eximidos de multas). Cuando se identifica una infracción, la STM genera una multa que llega por correo físico a la dirección registrada del vehículo. La medida se ampara en la Ley 769 del 2002 (modificada en el 2010), que ordena que: "Las autoridades competentes podrán contratar el

servicio de medios técnicos y tecnológicos que permitan evidenciar la comisión de infracciones o contravenciones, el vehículo, la fecha, el lugar y la hora".

Figura 3. Cámara en una intersección



Fuente: construcción propia a partir de Google Maps.

La cantidad de accidentes registrados en los tres primeros grupos tratados se puede observar en el cuadro 2 para el periodo 2010-2011, esta se descompone por gravedad y se elabora un *ranking* para determinar su importancia relativa. Se tiene que solo 8 intersecciones se ubican entre las 50 con mayor registro de accidentes (columna 3). Una de las primeras cámaras fue instalada en la calle 52 con carrera 1, la cual registró un total de 166 accidentes, ubicándose en la posición 16 del *ranking*. Estos se pueden descomponer entre los 100 con solamente daños, 66 con heridos y ninguno con muertos. La intersección tratada que registra la mayor accidentalidad en el periodo es la calle 13 con carrera 23, con un total de 168 accidentes que la ubican en la posición 15 del *ranking*. La calle 73 con diagonal 15 registra 2 accidentes con muertos; es la única intersección con cámara que registra muertos en 2010-2011.

El Plan de Ordenamiento Territorial de Santiago de Cali (Acuerdo 0373 de diciembre del 2014) jerarquiza las calles que conforman el sistema vial urbano, atendiendo a la función que desempeñan dentro del sistema de transportes. De acuerdo con esto, las vías arterias son las vías primarias en suelo urbano, que se

encargan de canalizar los movimientos metropolitanos de larga distancia. Cumplen con las funciones de conexión y distribución de los vehículos dentro del entorno urbano. Las vías colectoras son las calles que tienen funciones de distribución de los tráficos urbanos desde la red arterial hasta la red local.

**Cuadro 2.** Cámaras en el *ranking* de accidentalidad (2010-2011)

	Fecha de instalación	Cantidad de accidentes	Posición en el <i>ranking</i> de accidentes	Cantidad de accidentes con daños	Posición en el <i>ranking</i> de accidentalidad	Cantidad de accidentes con heridos	Posición en el <i>ranking</i> de heridos	Cantidad de accidentes con muertos
<b>Grupo 1<sup>a</sup></b>								
Calle 13 con carrera 66	Enero del 2012	96	43	59	18	37	48	0
Calle 36 con carrera 46	Enero del 2012	93	45	32	39	61	26	0
Calle 52 con carrera 1	Enero del 2012	166	16	100	6	66	23	0
Calle 73 con diagonal 15	Enero del 2012	92	46	27	44	63	25	2
<b>Grupo 2</b>								
Calle 13 con carrera 23	Mayo del 2012	168	15	45	28	123	7	0
Calle 13 con carrera 100	Mayo del 2012	112	32	74	12	38	47	0
Calle 26 con avenida 6	Mayo del 2012	5	128	3	68	2	83	0
Calle 47 con avenida 6	Mayo del 2012	6	127	2	69	4	81	0
Calle 52 con avenida 3	Mayo del 2012	16	117	8	63	8	77	0

(Continúa)



Cuadro 2. Cámaras en el *ranking* de accidentalidad (2010-2011) (continuación)

	Fecha de instalación	Cantidad de accidentes	Posición en el <i>ranking</i> de accidentes	Cantidad de accidentes con daños	Posición en el <i>ranking</i> de accidentalidad	Cantidad de accidentes con heridos	Posición en el <i>ranking</i> de heridos	Cantidad de accidentes con muertos
Grupo 3								
Calle 10 con carrera 15	Agosto del 2012	39	94	11	60	28	57	0
Calle 13 con carrera 50	Agosto del 2012	59	74	38	34	21	64	0
Calle 18 con carrera 122	Agosto del 2012	37	96	19	52	18	67	0
Calle 23 con carrera 5	Agosto del 2012	19	114	4	67	15	70	0
Calle 23 con carrera 23	Agosto del 2012	83	53	37	35	46	39	0
Calle 5 con carrera 80	Agosto del 2012	92	46	50	25	42	43	0
Calle 5 con carrera 66	Agosto del 2012	86	51	44	29	42	43	0
Calle 70 con carrera 1A	Agosto del 2012	15	118	2	69	13	72	0
Calle 9 con carrera 50	Agosto del 2012	100	40	47	27	53	32	0
Calle 9 con carrera 38	Agosto del 2012	18	115	9	62	9	76	0

<sup>a</sup> La cámara instalada en enero del 2012 en la calle 70 con carrera 5N se excluye porque en la base de datos no es posible diferenciar los accidentes que ocurrieron allí de los que ocurrieron en la calle 70 con carrera 5. Fuente: Secretaría de Tránsito Municipal (2013).

Estas vías son intermedias, a menudo sin continuidad en itinerarios interurbanos. Por último, se encuentran las vías locales, que son aquellas cuya función principal es dar acceso a las propiedades colindantes y a los usos ubicados en sus márgenes. De acuerdo con esta clasificación, las cámaras se encuentran en nueve intersecciones de una vía arteria principal con una vía arteria secundaria (VAP con VAS), en seis intersecciones de dos vías arterias principales (VAP con VAP), en dos de una vía arteria principal con una vía local (VAP con VL), en

una se cruza una vía arteria principal con una vía colectora y una última donde se cruzan una vía arteria secundaria con una vía local (cuadro 3). El análisis de intensidad de tráfico en tramos críticos en la franja de la mañana en el 2013, elaborado en el marco del Plan Integral de Movilidad Urbana de Cali, divide en cuartiles el flujo vehicular de acuerdo con el número de vehículos que circulan en dicha franja horaria. Las categorías son: flujo bajo (1 a 1.469 vehículos); flujo bajo-medio (1.470 a 2.938); flujo medio (2.939 a 4.407) y flujo alto (4.408 a 5.876). En el presente estudio se fusionan las categorías de bajo y bajo-medio, debido a la imposibilidad de georreferenciar individualmente cada una de las vías que pertenecen a estas categorías. Esto, en cambio, sí se llevó a cabo para las vías de las categorías medio y alto. La clasificación utilizada es entonces:

- Bajo: menos de 2.938 vehículos.
- Medio: entre 2.939 y 4.407 vehículos.
- Alto: más de 4.408 vehículos

**Cuadro 3.** Características de las intersecciones con cámara

Instalación	Dirección	Importancia	Flujo
<b>Grupo 1</b> Enero del 2012	Calle 13 con carrera 66	VAP con VAS	Bajo
	Calle 36 con carrera 46	VAP con VAS	Bajo
	Calle 52 con carrera 1	VAP con VAS	Bajo
	Calle 73 con diagonal 15	VAP con VAS	Bajo
<b>Grupo 2</b> Mayo del 2012	Calle 13 con carrera 23	VAP con VAP	Bajo
	Calle 13 con carrera 100	VAP con VAP	Bajo
	Calle 26 con avenida 6	VAP con VL	Bajo
	Calle 47 con avenida 6	VAP con VC	Bajo
	Calle 52 con avenida 3	VAP con VAS	Bajo
<b>Grupo 3</b> Agosto del 2012	Calle 10 con carrera 15	VAP con VAP	Bajo
	Calle 13 con carrera 50	VAP con VAP	Bajo
	Calle 18 con carrera 122	VAP con VAP	Bajo
	Calle 23 con carrera 5	VAP con VAP	Medio
	Calle 23 con carrera 23	VAP con VAS	Bajo
	Calle 5 con carrera 80	VAP con VAS	Alto
	Calle 5 con carrera 66	VAP con VAS	Medio
	Calle 70 con carrera 1A	VAP con VL	Medio
	Calle 9 con carrera 50	VAP con VAS	Bajo
	Calle 9 con carrera 38	VAS con VL	Bajo

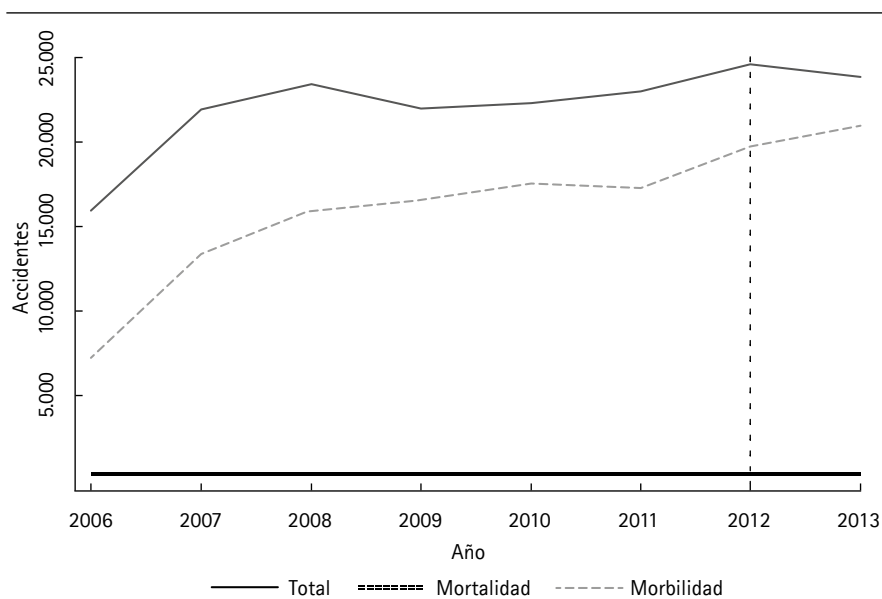
Nota: VAP: vía principal; VAS: vía secundaria; VC: vía colectora; VL: vía local.

Fuente: Secretaría de Tránsito Municipal (2013).

Por tanto, se tiene que en quince intersecciones tratadas el flujo vehicular es bajo (cuadro 3). Puesto que la información de flujo vial suministrada no es mensual sino es un promedio para todo el periodo 2010-2013, no es posible controlar el fenómeno de migración de la accidentalidad por causa de la instalación de las cámaras.

La figura 4 recoge la tendencia mensual de los accidentes totales y con heridos en Cali entre el 2006 y el 2013. Teniendo en cuenta que la introducción de las primeras cámaras ocurrió en enero del 2012, el patrón de la accidentalidad no muestra una tendencia particular para el periodo.

Figura 4. Accidentalidad en Cali (2006-2013)



Fuente: Cali en cifras. Departamento Administrativo de Planeación Municipal de Cali (2014).

### III. Metodología

#### A. Efecto del tratamiento

Con base en la literatura se identificó que uno de los principales desafíos para la evaluación del programa de fotodetección es la construcción del escenario contrafactual, que responde a la pregunta de qué hubiera pasado en ausen-

cia del programa. A diferencia de los métodos anteriores, en el presente trabajo se emplea un algoritmo de emparejamiento para identificar el grupo de control y cuantificar el impacto de las cámaras de fotodetección en la accidentalidad de Cali un año después del inicio de la política. Por tanto, se trata de obtener el estimador del efecto promedio del tratamiento sobre los tratados ( $\tau_{EPTT}$ ), formalmente esto consiste en:

$$\tau_{EPTT} = E[Y_i(1) | D_i = 1] - E[Y_i(0) | D_i = 1] \quad (1)$$

Donde  $D_i$  es una variable dicotómica que indica la presencia del tratamiento. Por tanto si  $D_i = 1$  la intersección  $i$  fue tratada y se le instaló una cámara. El resultado del tratamiento es  $Y_i(1)$  que en este caso corresponde al número de accidentes registrado después del tratamiento, mientras que  $Y_i(0)$  sería el número de accidentes que hubieran ocurrido si no se hubiera instalado la cámara. Finalmente  $\tau_{EPTT}$  es la diferencia del promedio de accidentes en los tratados con respecto a los accidentes que hubieran ocurrido si no se hubiera instalado la cámara.

Para acercarnos a este valor desconocido, necesitamos encontrar un grupo de control comparable al que recibió el tratamiento, es decir, intersecciones "gemelas" a las que tienen cámara. En ese caso el resultado en (1) se aproxima por:

$$\tau_{EPTT} = E[Y_i(1) | D_i = 1] - E[Y_i(0) | D_i = 0] \quad (2)$$

La robustez del estimador en (2) depende de forma crítica de la calidad del grupo de control. En particular, se debe cumplir la condición de independencia condicional (Rosenbaum y Rubin, 1983) que implica que la asignación del tratamiento es independiente de los resultados potenciales, formalmente esto es:

$$(Y(1), Y(0)) \perp D | X \quad (3)$$

Otra condición que se debe verificar es el soporte común que implica que la distribución de probabilidad de las características individuales sea comparable, esto se puede expresar como:

$$0 < P(D_i = 1 | X) < 1 \quad (4)$$

## B. Emparejamiento

El efecto del tratamiento sobre cada intersección  $i$  es  $\tau_i = Y_i(1) - Y_i(0)$  como se discutió arriba, donde solamente uno de los dos resultados potenciales se observa. El estimador propuesto por Abadie e Imbens (2002) imputa el resultado potencial faltante usando el resultado promedio en los individuos con valores similares en sus covariables. Formalmente, se denota  $X_i$  como el conjunto de covariables para el individuo  $i$  y  $\|x\|_V = (x'Vx)^{1/2}$  como la norma del vector con matriz definida positiva  $V$ . Se define  $\|z - x\|_V$  como la distancia entre los vectores  $x$  y  $z$  donde  $z$  representa el valor de las covariables para una pareja potencial de la intersección  $i$ . Sea además  $d_M(i)$  la distancia de las covariables de la intersección  $i$ ,  $X_i$ , a la  $M$ -ésima pareja más cercana sin tratamiento. Permitiendo la posibilidad de empates, a esta distancia menos de  $M$  unidades se encuentran más cerca de  $i$  que  $d_M(i)$  y al menos  $M$  unidades se encuentran tan cerca como  $d_M(i)$ .

El método de emparejamiento fue implementado por Abadie, Drukker, Leber Herr e Imbens (2004), la discusión detallada de este y las propiedades de los estimadores se pueden encontrar en Abadie e Imbens (2002). Una de sus principales ventajas es que permite controlar de manera razonable por variables que pueden afectar tanto el resultado como la decisión del tratamiento, puesto que una vez identificado el grupo de control, las características individuales empleadas en el emparejamiento no deberían explicar la probabilidad de asignación del tratamiento<sup>6</sup>. El estimador del efecto promedio sobre los tratados es entonces:

$$\hat{\tau}_{EPT} = \frac{1}{N} \sum_{D_i=1} \{Y_i - \hat{Y}_i(0)\} \quad (5)$$

Puesto que existe la posibilidad de que hayan diferencias sistemáticas entre cada intersección por características no observables para el investigador, se usa el estimador de diferencias en diferencias (DID) que se obtiene por mínimos cuadrados ordinarios (Bernal y Peña, 2010; Heckman, Ichimura y Todd, 1997):

$$\Delta Y_i = \beta D_i + \Delta e_{it} \quad (6)$$

---

6 Esto se verifica estimando un modelo *probit* donde la variable dependiente es el indicador de tratamiento y las covariables son las características de emparejamiento.

Donde  $\Delta Y_i = Y_{i, \text{después}} - Y_{i, \text{antes}}$  representa la variación en la cantidad de accidentes entre el año previo y el año posterior a la instalación de la cámara para los individuos en la muestra. El estimador de DID es  $\beta$  un caso particular del estimador de primeras diferencias en un modelo con datos de panel con dos periodos (Wooldridge, 2002).

### C. Implementación

Con el objetivo de tener un criterio de consistencia en las estimaciones, la identificación del grupo de control se efectuó para tres especificaciones con base en las siguientes variables:

- 1) Variables de georreferenciación (*Dirección<sub>i</sub>*).
- 2) La cantidad de accidentes registrados durante el año inmediatamente anterior a la instalación de la cámara (*Accidentes<sub>i, antes</sub>*).
- 3) Identificadores del tipo de vías que se cruzan en cada intersección (*Importancia<sub>i</sub>*).
- 4) Identificadores de flujo vehicular bajo (*Flujo<sub>i</sub>*).

*Dirección<sub>i</sub>* contiene dos variables de georreferenciación que permiten que el grupo de control tenga intersecciones cercanas geográficamente. Puesto que se va a estimar de manera independiente el impacto sobre el registro de accidentes totales, con daños, con heridos, con muertos y con motos, la variable *Accidentes<sub>i, antes</sub>* tomará valores específicos para cada tipo de accidentalidad por intersección. Por ejemplo, para determinar el  $\tau_{EPT}$  sobre el registro de accidentes totales de la calle 52 con carrera 1, emparejándola por la accidentalidad del año anterior al inicio del programa, se trata de encontrar una pareja que tenga el mismo número de accidentes registrados en el mismo periodo. Mientras que para estimar  $\tau_{EPT}$  sobre el registro de accidentes con heridos, la(s) pareja(s) a identificar deberá(n) tener un registro idéntico o cercano de accidentes con heridos en el mismo periodo, lo mismo se hace para las diferentes categorías de accidentes.

*Importancia<sub>i</sub>* contiene variables dicótomicas que identifican las seis clasificaciones de importancia de las intersecciones tratadas, de acuerdo con las vías que la componen: VAP con VAP, VAP con VAS, VAP con VC, VAP con VL y VAS con VL,

por ejemplo  $VAP$  con  $VAP_i = 1$  para todas las intersecciones de dos vías arterias principales y es igual a cero en caso contrario, etc. Finalmente, las variables dicótomicas pertenecientes a  $Flujo_i$  sirven para emparejar por el tipo de flujo vehicular registrado, que, como se señaló en la sección 3, se clasifica como bajo, medio o alto. Por tanto,  $Bajo_i = 1$  para intersecciones de flujo bajo y cero en caso contrario, la misma codificación se usa para las otras categorías de flujo.

Se puede observar en el cuadro 4 que en el primer emparejamiento se emplean las variables de georreferenciación ( $Dirección_i$ ), mientras que en los otros dos emparejamientos (tipo II y III) no. Este relajamiento permite que el algoritmo encuentre controles con un número de accidentes más similar al de las intersecciones con cámara. En particular, en el emparejamiento tipo III se especifica que los controles tengan un número de accidentes lo más idéntico posible al de los tratados (emparejamiento exacto). Para cada tipo de emparejamiento se construyen grupos de control con diferentes cantidades de individuos, en particular  $M = 1$ ,  $M = 5$  y  $M = 10$ . El objetivo es ganar precisión en los estimadores y controlar mejor por el fenómeno de regreso a la media. De igual manera, se busca aprovechar el hecho de que el número de cámaras es muy pequeño ( $N_{D=1} = 20$ ) en relación con el número de intersecciones disponibles en la base de datos, por tanto, hay muchos candidatos para construir el grupo de control.

Cuadro 4. Tipo de emparejamiento por variable

Variables	Emparejamiento		
	Tipo I	Tipo II	Tipo III
$Dirección_i$	SÍ		
$Accidentes_{i,antes}$	SÍ	SÍ	EXACTO <sup>a</sup>
$Importancia_i$	SÍ	SÍ	SÍ
$Flujo_i$	SÍ	SÍ	SÍ

<sup>a</sup> Restricción de emparejamiento exacto.  
Fuente: construcción propia.

Se puede resumir el procedimiento completo en el siguiente orden:

- 1) Se agregan los accidentes en la base de datos de manera que se puedan agrupar por intersección.

- 2) Para cada grupo tratado de intersecciones, se calcula la variable de emparejamiento correspondiente al registro de accidentalidad en el año inmediatamente anterior a la fecha de instalación de la cámara ( $Accidentes_{i,antes}$ ). Para el grupo 1 se trata de los accidentes registrados entre enero del 2011 y diciembre del 2012, para el grupo 2 entre mayo del 2011 y abril del 2012 y para el grupo 3 entre agosto del 2011 y agosto del 2012. Lo mismo se hace para la variable de resultado, es decir, los accidentes registrados en el año siguiente al tratamiento ( $Accidentes_{i,después}$ ), por ejemplo, para el grupo 1, este va de febrero del 2012 a enero del 2013, etc.<sup>7</sup>.
- 3) Con cada grupo de cámaras se ejecuta el algoritmo para cada uno de los tres tipos de emparejamiento señalados en el cuadro 4.
- 4) Se efectúan pruebas de balance, que consisten en comprobar la calidad del emparejamiento y la condición de soporte común.
- 5) Se estima el EPTT y el DID<sup>8</sup>. Donde

$$EPTT = \frac{1}{N} \sum_{i:D_i=1} \left( Accidentes_{i,después}^{tratado} - Accidentes_{i,después}^{control} \right)$$

## IV. Resultados

### A. Emparejamiento

La calidad del emparejamiento cambia según la especificación. En el cuadro 5 se pueden comparar las características de cada uno de los tratados del grupo 1 (enero del 2012) con respecto al grupo de tratados identificado por cada tipo de emparejamiento, con  $M = 1$  (una pareja por cada tratado). Por ejemplo, se observa que para el emparejamiento tipo I, donde se emplean las variables

7 Siguiendo la recomendación de uno de los evaluadores de este artículo, se utilizaron otras especificaciones para esta variable, por ejemplo, se utilizó el número acumulado de accidentes del 2010, por una parte, y los del 2011, por otra, para todas las intersecciones. Esto no modifica de ninguna manera las conclusiones presentadas en la sección V.

8 Los resultados presentados en la sección IV se estiman usando los accidentes del año corrido inmediatamente después de la instalación de la cámara. Atendiendo la recomendación de uno de los evaluadores, se utilizaron alternativamente los accidentes totales del 2013 para los tres grupos de cámaras, de manera que hubiera pasado un periodo de adaptación (cuatro meses para las últimas cámaras instaladas en agosto del 2012) y los efectos estacionales fueran los mismos. Los resultados obtenidos en la sección IV son robustos con estas estimaciones alternativas.



de georreferenciación, las direcciones del grupo de control (columna 1) corresponden a intersecciones sobre una de las dos vías que componen el cruce de cada intersección tratada; por ejemplo, la calle 13 con carrera 66 fue comparada con la calle 13 con carrera 56, la calle 36 con carrera 46 fue comparada con la calle 36 con carrera 39 y la calle 52 con carrera 1 fue comparada con la calle 44 con carrera 1. Para la calle 73 con diagonal 15, el emparejamiento con una vía similar se dificulta debido a que existen pocas diagonales en la ciudad en relación con el número de carreras y avenidas.

Otra variable de emparejamiento es la accidentalidad total previa, que aparece en la columna 2 (*Accidentes<sub>i,antes</sub>*). Usando el emparejamiento tipo I, vemos que la coincidencia no es muy cercana; por ejemplo, en la calle 13 con carrera 66 ocurrieron 57 accidentes, mientras que en su control de la calle 13 con carrera 56 ocurrieron 47. Sin embargo, la coincidencia en las características *Flujo* e *Importancia* es del 100% en todos los casos, es decir, las intersecciones seleccionadas en el grupo de control son exactamente iguales en términos de importancia y flujo con respecto a los tratados. Con el emparejamiento tipo II y III, donde se relaja la cercanía geográfica, se tiene por ejemplo que hay dos parejas para la intersección tratada en la calle 73 con diagonal 15 (columna 6), esto debido a que hay un empate en las características. Vemos que los valores en *Accidentes<sub>i,antes</sub>* se acercan más en el emparejamiento tipo II que en el tipo I. Por último, se tiene que en el emparejamiento tipo III los valores de *Accidentes<sub>i,antes</sub>* son casi idénticos, aunque esto tiene un costo: las parejas de la calle 52 con carrera 1 y la calle 73 con diagonal 1 no corresponden a un cruce de una vía principal (VAP) con una vía secundaria (VAS), por eso se registra dos veces un 0% en el emparejamiento por esta variable (columna 6).

La calidad del emparejamiento se puede verificar desde el cuadro A1.1 hasta el cuadro A1.8 del apéndice para todos los grupos de intersecciones, con respecto a la accidentalidad total. En general, se observa que el emparejamiento tipo III aproxima mejor los valores de *Accidentes<sub>i,antes</sub>* a costa de las características contenidas en *Flujo* e *Importancia*. Puesto que con  $M = 5$  y  $M = 10$  el grupo de control aumenta sustancialmente, solo se reportan el promedio y la desviación estándar de las características o el porcentaje de aciertos de las variables dicotómicas (cuadros A1.7 y A1.8 del apéndice).

**Cuadro 5.** Grupo 1 ( $M = 1$ ): calidad del emparejamiento por tipo, DID y efecto promedio del tratamiento sobre los tratados (EPTT)

Tratados							
Dirección	$Accidentes_{t-1}$	$Accidentes_t$	Importancia	Flujo			
Calle 13 con carrera 66	57	67	VAP con VAS	Bajo			
Calle 36 con carrera 46	56	69	VAP con VAS	Bajo			
Calle 52 con carrera 1	100	100	VAP con VAS	Bajo			
Calle 73 con diagonal 15	49	61	VAP con VAS	Bajo			
Controles							
Emparejamiento tipo I					Resultados (N = 8)		
Dirección	$Accidentes_{t-1}$	$Accidentes_t$	Importancia	Flujo	Parejas	DID	EPTT
Calle 13 con carrera 56	47	53	100%	100%	1		
Calle 36 con carrera 39	60	54	100%	100%	1	8,5	19***
Calle 44 con carrera 1	77	67	100%	100%	1	(5,77)	(4,05)
Calle 44 con carrera 8	36	47	100%	100%	1		
Emparejamiento tipo II					Resultados (N = 9)		
Dirección	$Accidentes_{t-1}$	$Accidentes_t$	Importancia	Flujo	Parejas	DID	EPTT
	56	42	100%	100%	1		
	56	42	100%	100%	1	13,95**	23,25***
	77	67	100%	100%	1	(5,87)	(5,06)
	47	(53;53)	100%	100%	2		
Emparejamiento tipo III					Resultados (N = 9)		
Dirección	$Accidentes_{t-1}$	$Accidentes_t$	Importancia	Flujo	Parejas	DID	EPTT
	56	42	100%	100%	1		
	56	42	100%	100%	1	24,95***	26***
	101	74	0%	100%	1	(5,17)	(2,48)
	48	(26; 44)	0%	100%	2		

1. \* $p < 0,1$ , \*\*  $p < 0,05$ , \*\*\* $p < 0,01$

2. Errores estándar entre paréntesis

3.  $DID = \hat{\theta}_2$  el estimador de diferencias en diferencias en  $\Delta Accidentes_t = \theta_1 + \theta_2 D_t + \varepsilon_t$  con  $\Delta Accidentes_t = Accidentes_t - Accidentes_{t-1}$

4.  $EPTT = \frac{1}{N} \sum_{i:D_i=1} (Accidentes_{t,después}^{tratado} - Accidentes_{t,después}^{control})$

Fuente: construcción propia.

## B. DID y EPTT

### 1. Accidentalidad total

El EPTT sobre el registro total de accidentes del grupo 1 es positivo en todas las especificaciones y para las diferentes parejas  $M$ , lo que indica un aumento significativo en el registro total de accidentes en relación con el grupo de control, mientras que, según el estimador de DID, no se puede concluir que el efecto sea diferente de cero. En el segundo grupo, ambos estimadores coinciden en identificar un aumento en los accidentes registrados con la instalación de las cámaras. El EPTT es sistemáticamente menor en el grupo 2 que en el grupo 1, por ejemplo con  $M = 10$  y el emparejamiento I, este pasa de 21 a 16; con el emparejamiento II, pasa de 20 a 15, y con el emparejamiento tipo III, de 18 a 9,4. En el tercer grupo, el efecto no es significativamente diferente de cero. La figura 5 resume los efectos estimados usando los tres tipos de emparejamiento, con  $M = 5$  y  $M = 10$ , para un nivel de confianza del 95%.

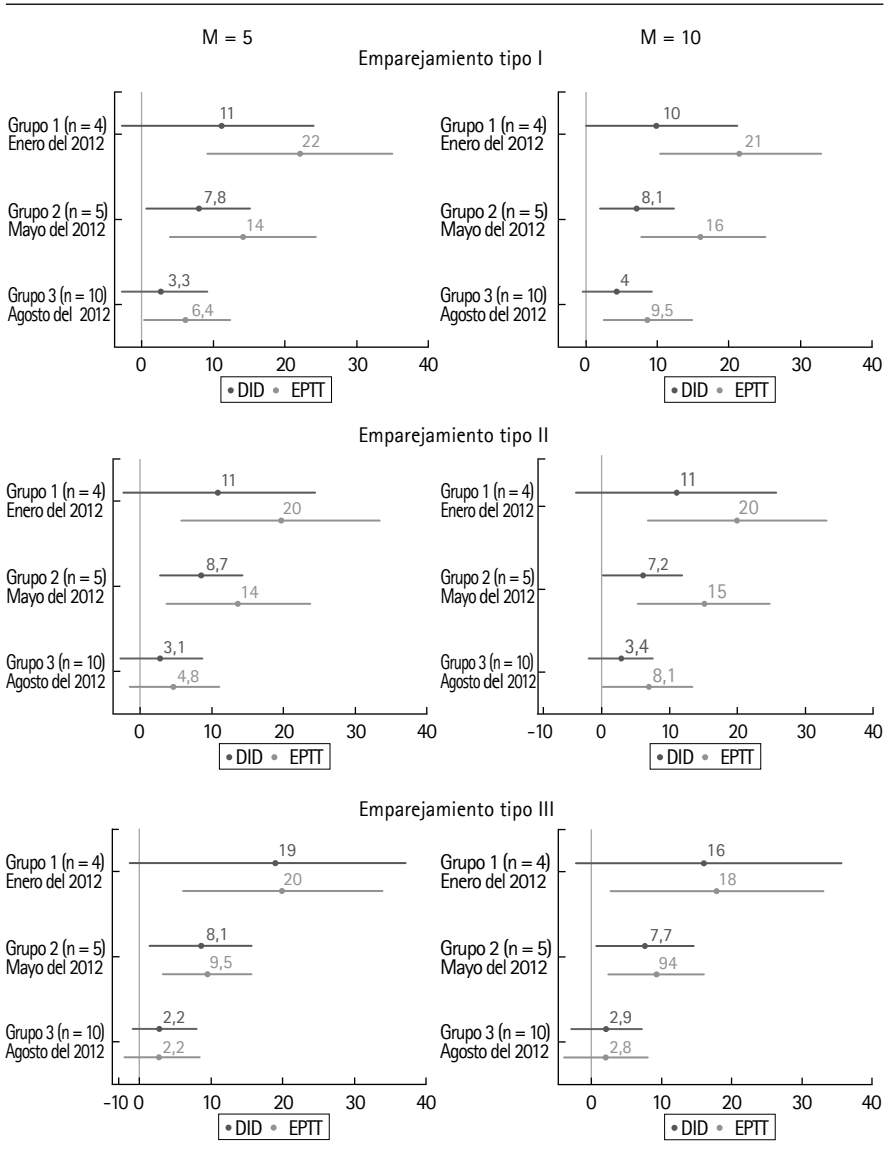
Con  $M = 1$  y usando el primer tipo de emparejamiento, se estima que se registran en promedio 19 accidentes más en los tratados que en el grupo de control, esto es un aumento del 34%<sup>9</sup>; con el segundo tipo de emparejamiento, se registran 23 accidentes, es decir, un aumento del 45%; y con el tercer tipo, 26, o un aumento del 57% (cuadro 6). Para este mismo grupo y con  $M = 1$ , el estimador DID tiene errores estándar mayores debido a que el tamaño muestral es pequeño ( $N \leq 9$ ). El efecto del tratamiento no resultó significativo para el emparejamiento del primer tipo. Con el emparejamiento tipo II, el efecto estimado es de 14 con un nivel de confianza del 95%, esto indica que hay una diferencia de 14 accidentes en la variación de los accidentes registrados en el grupo tratados con respecto al grupo de control. Esto ocurre por que  $\Delta \text{Accidentes}_i^{\text{control}} \simeq -5$  y  $\Delta \text{Accidentes}_i^{\text{tratado}} \simeq 9$ . Con el emparejamiento tipo III, el DID es de 25 accidentes, como se puede comprobar en el cuadro 5.

En el grupo 2, el estimador de DID es 8, usando el emparejamiento tipo III con  $M = 1$ , por lo que la diferencia estimada se reduce en magnitud con respecto al grupo 1. Lo mismo ocurre con el EPTT, que pasa de 26 en el grupo 1 a 7 en el grupo 2 (cuadro A1.3 del apéndice), lo cual representa un aumento del 27%

---

9 Corresponde a  $\Delta\% \text{ Accidentes} = \frac{EPTT}{E[\text{Accidentes}_{i,\text{después}}^{\text{control}}]} \times 100$

**Figura 5.** Efecto del tratamiento sobre la accidentalidad total (IC 95%)



Fuente: construcción propia.

en los accidentes registrados. Para el tercer grupo de intersecciones tratadas, los efectos no son significativamente diferentes de cero para los diferentes niveles de confianza requeridos, y la magnitud del estimador se reduce,

como se observa en la figura 5. Este patrón en los estimadores se repite para los demás tipos de emparejamiento, es decir, el aumento en el registro de accidentes después del tratamiento se reduce entre el grupo de intersecciones tratadas en enero (grupo 1) y las de mayo (grupo 2) y desaparece en las tratadas en agosto (grupo 3) del 2012 (figura 5).

Se encontraron también algunas regularidades en los estimadores, en general, se tiene que el efecto medido por estimador de diferencias en diferencias (DID) es menor que el que arroja el EPTT, con pocas excepciones.

Los errores estándar son mayores usando DID, esto se debe en parte a que el EPTT tiene una varianza que se corrige por la existencia de empates y el hecho de que una intersección pueda servir de control para diferentes tratados (Abadie *et al.*, 2004). Sin embargo, ambos estimadores y sus respectivos errores estándar tienden a igualarse cuando se utiliza el emparejamiento tipo III y al aumentar  $M$  esto no es sorprendente si se tiene en cuenta que este emparejamiento es casi exacto en la accidentalidad previa, es decir, que  $Accidentes_{i,antes}^{tratado} \simeq Accidentes_{i,antes}^{control}$  por tanto si se define  $\theta_i$  tal que:

$$\hat{\theta}_i = \Delta Accidentes_i^{tratado} - \Delta Accidentes_i^{control}$$

se obtiene que:

$$\begin{aligned} \hat{\theta}_i &= (Accidentes_{i,después}^{tratado} - Accidentes_{i,antes}^{tratado}) - (Accidentes_{i,después}^{control} - Accidentes_{i,antes}^{control}) \\ &\simeq (Accidentes_{i,después}^{tratado} - Accidentes_{i,después}^{control}) \\ &\simeq \hat{\tau}_{EPTT} \end{aligned}$$

## 2. Accidentalidad con daños

El cuadro 6 resume las estimaciones obtenidas para el registro de accidentes con daños únicamente, con diferentes especificaciones y tamaños del grupo de control. Se tiene que para el grupo 1, el EPTT siempre es positivo y significativo. En la columna izquierda de la figura 6 se ilustran las estimaciones con  $M = 10$ ; por ejemplo, para el emparejamiento tipo III, se estima que se registraron en promedio 18 accidentes más en el año posterior al tratamiento; esto representa un aumento del 90% en relación con el grupo de referencia.

**Cuadro 6.** Impacto en la accidentalidad con daños

Tipo de emparejamiento	Grupo 1					
	M = 1		M = 5		M = 10	
	<i>DID</i>	<i>EPTT</i>	<i>DID</i>	<i>EPTT</i>	<i>DID</i>	<i>EPTT</i>
I	14,5	24***	10,3	24***	11,85	23,05***
	(7,63)	(8,59)	(7,18)	(7,62)	(8,16)	(6,85)
	N = 8	N = 8	N = 24	N = 24	N = 44	N = 44
II	21,25***	29,04***	2,70	21,17**	13,95	22***
	(5,83)	(7,40)	(7,59)	(8,57)	(8,31)	(7,82)
	N = 14	N = 14	N = 25	N = 25	N = 44	N = 44
III	22,75***	22,5**	15,3	15,6**	16,92*	18,06***
	(5,30)	(8,59)	(9,42)	(6,74)	(8,86)	(6,58)
	N = 8	N = 8	N = 24	N = 24	N = 45	N = 45
Tipo de emparejamiento	Grupo 2					
	M = 1		M = 5		M = 10	
	<i>DID</i>	<i>EPTT</i>	<i>DID</i>	<i>EPTT</i>	<i>DID</i>	<i>EPTT</i>
I	12,2**	9***	10,12**	14,84***	10,42**	18,28***
	(4,77)	(1,74)	(4,52)	(4,72)	(3,99)	(5,70)
	N = 10	N = 10	N = 30	N = 30	N = 55	N = 55
II	7,25***	16,15**	10,03**	15,79***	7,41***	16,56***
	(2,33)	(6,56)	(4,01)	(5,40)	(2,62)	(5,67)
	N = 33	N = 33	N = 45	N = 45	N = 167	N = 167
III	6,71***	10,15***	6,33	7,27	6,19	7,11
	(2,03)	(2,94)	(6,81)	(6,08)	(3,77)	(5,06)
	N = 33	N = 33	N = 48	N = 48	N = 171	N = 171
Tipo de emparejamiento	Grupo 3					
	M = 1		M = 5		M = 10	
	<i>DID</i>	<i>EPTT</i>	<i>DID</i>	<i>EPTT</i>	<i>DID</i>	<i>EPTT</i>
I	3,2	4,3	2,3	6,12*	2,62	10,47***
	(4,88)	(3,83)	(3,32)	(3,52)	(3,04)	(3,75)
	N = 20	N = 20	N = 60	N = 60	N = 110	N = 110
II	1,95	2,58	2,21	4,70	2,15	7,72*
	(4,27)	(3,10)	(3,06)	(3,32)	(3,10)	(4,28)
	N = 26	N = 26	N = 75	N = 75	N = 121	N = 121
III	-1,23	-3,16	0,79	-0,61	1,40	1,23
	(4,34)	(4,92)	(3,50)	(4,25)	(3,53)	(4,10)
	N = 24	N = 24	N = 91	N = 91	N = 158	N = 158

1. \* $p < 0,1$ , \*\* $p < 0,05$ , \*\*\* $p < 0,01$

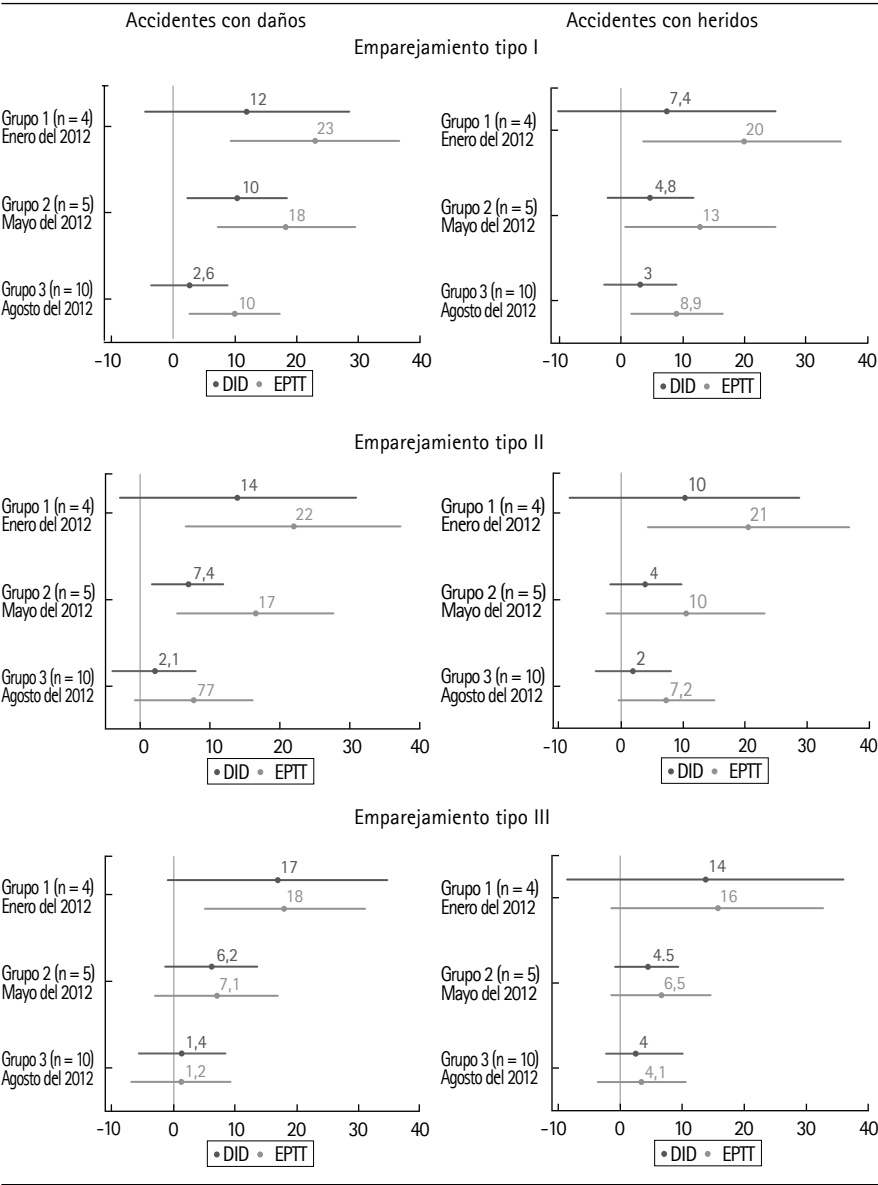
2. Errores estándar entre paréntesis

3.  $DID = \hat{\theta}_2$  el estimador de diferencias en diferencias en  $\Delta Accidentes_i = \theta_1 + \theta_2 D_i + \varepsilon_i$  con  $\Delta Accidentes_i = Accidentes_i - Accidentes_{i-1}$

4.  $EPTT = \frac{1}{N} \sum_{iD_i=1} (Accidentes_{i,después}^{tratado} - Accidentes_{i,después}^{control})$

Fuente: construcción propia.

Figura 6. Efecto del tratamiento sobre los accidentes con daños y con heridos con  $M = 10$  (IC 95%)



Fuente: construcción propia.

Con  $M = 5$  se estima un EPTT de 16, esto es un aumento del 80%. El efecto medido por el estimador de DID indica que el programa no tuvo efecto

sobre el grupo 1 en todos los casos, pero sí en el grupo 2, con el emparejamiento tipo I y II. Para el grupo 3 no se observan efectos significativos, esto se puede confirmar en la sección inferior del cuadro 6 y en la figura 6.

### 3. Accidentalidad con heridos

El registro de accidentes con heridos sigue el mismo patrón entre grupos que el de accidentes totales. Los efectos estimados tienden a disminuir en promedio al pasar del grupo 1 al grupo 2, y a su vez del grupo 2 al grupo 3. En el grupo 1 de cámaras, el EPTT resulta significativo al 90% para ocho de las nueve especificaciones presentadas en el cuadro A1.9 del apéndice; sin embargo, con el estimador DID estos resultados solamente se confirman con  $M = 1$  en el emparejamiento tipo II y tipo III. En el grupo 2, los emparejamientos tipo II y tipo III arrojan una diferencia cercana a 4 en los tratados para  $M = 1$  y  $M = 5$  con el estimador de DID, mientras el efecto promedio sobre los tratados no fue significativo en ningún caso con un nivel de confianza del 95%. Una vez más, los efectos estimados para el grupo 3 no son significativos al 95% para todos los métodos empleados, esto se puede confirmar en el cuadro A1.8 del apéndice. En la columna derecha de la figura 6, se pueden observar las estimaciones con  $M = 10$ . Si se comparan con las de la columna izquierda, se tiene que las magnitudes son siempre mayores cuando hay solamente daños (columna izquierda), esto parece indicar que los efectos sobre la accidentalidad total estarían jalonados por el aumento en los accidentes con daños. Este resultado se confirma con las diferentes especificaciones del número de parejas por tratado  $M$ .

## V. Discusión y conclusiones

En general, existe consenso en la literatura sobre la reducción de la accidentalidad vial a raíz de la instalación de cámaras de fotodetección en las vías. En donde no hay consenso, es en el método para estimar este impacto. Tanto el método bayesiano empírico como el método de emparejamiento, buscan controlar explícitamente por el fenómeno de regreso a la media y la tendencia temporal en la accidentalidad. El primer método hace fuertes supuestos sobre las distribuciones de probabilidad de la accidentalidad en la población, además de no tener un criterio definido *a priori* de elección del grupo de control. El método de emparejamiento no hace supuestos distribucionales, su



objetivo es construir un grupo de control que sea lo suficientemente parecido al tratado, de manera que las diferencias observadas después del tratamiento solo puedan ser atribuidas a este. Para este tipo de estudio, este método resulta particularmente atractivo, puesto que se pueden verificar una a una las similitudes y las diferencias entre los grupos de intersecciones que se están comparando, haciendo que los resultados y la metodología puedan ser entendidos por una audiencia amplia.

La evaluación realizada en este trabajo construye numerosos grupos de control para cada cohorte de cámaras instaladas en el 2012, usando diferentes criterios de emparejamiento. En general, se encuentra un aumento del registro total de accidentes en las intersecciones tratadas en enero del 2012, en el año siguiente a su instalación. Este efecto se mantiene en las intersecciones tratadas en mayo y desaparece en las tratadas en agosto. Este resultado es consistente para diferentes especificaciones utilizadas para construir el grupo de control. Cuando se descomponen los accidentes por gravedad, el patrón es similar para el registro de accidentes con daños. En los accidentes con heridos también se observa este patrón, aunque es menos consistente; además, las magnitudes estimadas son menores que en los accidentes con daños.

Los resultados contradicen lo encontrado en la literatura, por lo que el aumento de los registros de accidentes constituye un fenómeno que merece estudiarse con mayor profundidad; en particular, surge la pregunta sobre el uso efectivo y eficiente de los recursos públicos. Posiblemente, el análisis costo-beneficio tenga un balance positivo si se compara el recaudo generado por este programa frente a la inversión realizada en los dispositivos. Sin embargo, con respecto al ahorro generado por una reducción en la accidentalidad, el balance apunta a que esta medida no fue costo-efectiva, aunque sería necesario llevar a cabo un análisis adicional de valoración económica de la accidentalidad generada en las intersecciones con cámara, lo cual se sale del alcance de este estudio. Además, el carácter local del estudio no permite asegurar que el efecto encontrado se pueda extrapolar a otros escenarios temporales o espaciales.

En realidad no es posible determinar si los hallazgos presentados vengan de un problema de subregistro de la accidentalidad o si realmente las cámaras han afectado el comportamiento de los conductores de manera tal que se produjeran más accidentes, en particular, cuando se instalaron los primeros dispositivos en enero del 2012. Incluso pueden estar ocurriendo los dos fenó-

menos al tiempo. En relación con la primera posibilidad, cabe señalar que en Cali el subregistro es una realidad, puesto que las partes involucradas en un accidente pueden decidir no llamar a las autoridades, y esto es especialmente viable si no hay heridos o muertos. En ese orden de ideas, podría pensarse que para las intersecciones del grupo 1 y 2, cuando recién se dio inicio al programa, el aumento en el registro total haya sido jalonado por los accidentes con daños, lo cual se confirma en los datos y fue discutido arriba. En general, se trata de la categoría que tiene mayor aumento del registro, a pesar de que los accidentes con heridos representaron el 61% de los accidentes entre el 2010 y el 2011. Una posible explicación para este fenómeno es que al principio del programa, los conductores mal informados temían que la presencia de la cámara tuviera algún un efecto fiscalizador más allá de la simple emisión de infracciones, en el sentido de que los accidentes ocurridos en su zona de influencia pudieran quedar grabados. De esta manera, pudo crearse un incentivo para llamar a la autoridad: puesto que siempre hay al menos un responsable en un accidente de tránsito, este podría creer (de manera equivocada) que a pesar del arreglo acordado con las demás partes involucradas, el dispositivo le va a generar una multa o una citación de tipo disciplinario.

También pudo haber ocurrido el segundo escenario, es decir, que las cámaras en realidad hayan aumentado los accidentes ocurridos en las intersecciones tratadas, de manera análoga a lo hallado por Kapoor y Magesan (2014) en Toronto con la instalación de nuevos semáforos peatonales. Nuestra hipótesis para este fenómeno sería que, como las cámaras son pocas en relación con el número de intersecciones en Cali, los conductores poco habituados a este tipo de dispositivo podrían estar frenando abruptamente al visualizar la cámara, lo que se traduciría en un mayor número de colisiones con el vehículo que viene detrás. Sin embargo, no se cuenta con suficiente información sobre la naturaleza del accidente para confirmar esta hipótesis. Por otro lado, las estimaciones adicionales realizadas luego de un periodo de adaptación por parte de los conductores después de la instalación de los dispositivos, arrojan resultados idénticos a los presentados.

Además del impacto estimado, se encuentra que las cámaras de fotodetección en Cali no se asignaron a las intersecciones con mayor número de accidentes, tal como se ha hecho en todos los países desarrollados donde se ha medido y documentado su impacto. En un comunicado oficial, la Alcaldía Municipal de Cali informó que las cámaras se instalaron en intersecciones

identificadas por su alto nivel de infracciones del código vial por parte de los conductores. La asignación de cámaras en puntos de mayor infracción y no en aquellos de mayor accidentalidad, plantea un debate importante de política pública en torno a esta decisión, en particular, por los costos y beneficios de la reducción de la accidentalidad en heridos y muertos frente a aquellos asociados a infracciones y contravenciones.

## Reconocimientos

La investigación desarrollada para escribir este artículo no tuvo ninguna financiación institucional.

## Referencias

1. Abadie, A., & Imbens, G. (2002). *Simple and bias-corrected matching estimators* (Technical Report). Department of Economics, University of California, Berkeley.
2. Abadie, A., Drukker, D., Leber Herr, J., & Imbens, G. (2004). Implementing matching estimators for average treatment effects in STATA. *Stata Journal*, 4(3), 290-311.
3. Alcaldía de Santiago de Cali, Departamento Administrativo de Planeación. (2014). *Cali en Cifras*. Disponible en [http://planeacion.cali.gov.co/DirPlanDesa/Cali\\_en\\_Cifras/Caliencifras2014.pdf](http://planeacion.cali.gov.co/DirPlanDesa/Cali_en_Cifras/Caliencifras2014.pdf).
4. Alcaldía de Santiago de Cali, Secretaría de Tránsito y Transporte. (2012a). *Calidad, prevención y seguridad vial con la fotodetección de infracciones* (comunicado de prensa). Disponible en [http://www.cali.gov.co/transito/publicaciones/calida\\_prevencin\\_y\\_seguridad\\_vial\\_con\\_la\\_fotodeteccin\\_de\\_infracciones\\_pub](http://www.cali.gov.co/transito/publicaciones/calida_prevencin_y_seguridad_vial_con_la_fotodeteccin_de_infracciones_pub).
5. Alcaldía de Santiago de Cali, Secretaría de Tránsito y Transporte. (2012b). *En agosto, se instalarán 11 nuevas cámaras de fotodetección en la ciudad* (comunicado de prensa). Disponible en [http://www.cali.gov.co/publicaciones/en\\_agosto\\_se\\_instalarn\\_11\\_nuevas\\_cmaras\\_de\\_fotodeteccin\\_en\\_la\\_ciudad\\_pub](http://www.cali.gov.co/publicaciones/en_agosto_se_instalarn_11_nuevas_cmaras_de_fotodeteccin_en_la_ciudad_pub).

6. Ali, S. Y., Al-Saleh, O., & Koushki, P. A. (1997). Effectiveness of automated speed monitoring cameras in Kuwait. *Transportation Research Record*, 1595, 20-26.
7. Álvarez, J. (2014). *Evaluación de impacto de las cámaras de fotodetección en la ciudad de Medellín*. Trabajo de grado presentado para optar al título de magíster en Economía, Universidad EAFIT, Medellín.
8. Banco Mundial & Institute for Health Metrics and Evaluation. (2014). *Transport for health: The global burden of disease from motorized road transport*. Seattle, WA: IHME; Washington, DC: The World Bank.
9. Bernal, R., & Peña, X. (2010). *Guía práctica para la evaluación de impacto*. Bogotá: Ediciones Uniandes.
10. Chen, G., Meckle, W., & Wilson, J. (2002). Speed and safety effect of photo radar enforcement on a highway corridor in British Columbia. *Accident Analysis and Prevention*, 34(2), 129-138.
11. Chen, G., Wilson, J., Meckle, W., & Cooper, P. (2000). Evaluation of photo radar program in British Columbia. *Accident Analysis and Prevention*, 32, 517-526.
12. Chin, H. C. (1999). An investigation into the effectiveness of the speed camera. Proceedings of the Institution of Civil Engineers Transportation. *Journals Dept*, 135, 93-101.
13. Cunningham, C. M., Findley, D. J., Schroeder, B., & Foyle, R. S. (2008). *Traffic operational impacts of contemporary multi-pump island fueling centers*. Raleigh, NC: Institute for Transportation Research and Education North Carolina State University.
14. De Pauw, E., Daniels, S., Brijis, T., Hermans, E., & Wets, G. (2014). Automated section speed control on motorways: An evaluation of the effect on driving speed. *Accident Analysis & Prevention*, 73, 313-322.

15. Diario *El País*. (2012a). *Conozca las direcciones donde estarán ubicadas las nuevas diez cámaras de fotomulta de Cali* [nota de prensa]. Disponible en <http://www.elpais.com.co/elpais/cal/noticias/finales-ano-habria-100-camaras-fotomulta-en-cali-secretario-transito>.
16. Diario *El País* (2012b). *Instalarán cinco nuevas cámaras de fotomultas en el centro, sur y norte de Cali* [nota de prensa]. Disponible en <http://www.elpais.com.co/elpais/cal/noticias/instalaran-cinco-nuevas-camaras-fotomultas-en-centro-sur-y-norte-cali>.
17. Diario *El País*. (2012c). *Conozca dónde estarán ubicadas las nuevas once cámaras de fotomulta de Cali* [nota de prensa]. Disponible en <http://www.elpais.com.co/elpais/cal/noticias/conozca-donde-estaran-ubicadas-nuevas-11-camaras-fotomulta-pondran-en-cali>.
18. Elvik, R. (1997). Effects on accidents of automatic speed enforcement in Norway. *Transportation Research Record*, 1595, 14–19.
19. Elvik, R. (2007). *State-of-the-art approaches to road accident black spot management and safety analysis of road networks* (Report 883). Oslo: Institute of Transport Economics.
20. Elvik, R. (2008). The predictive validity of empirical Bayes estimates of road safety. *Accident Analysis and Prevention*, 40, 1964–1969.
21. ETSC. (1995). *Reducing traffic injuries resulting from alcohol impairment*. Brussels: European Transport Safety Council.
22. Fondo de Prevención Vial. (2013). 2012: *balance mixto para la seguridad vial en Colombia*. Bogotá.
23. Finch, D. J., Kompfner, P., Lockwood, C. R., & Maycock, G. (1994). *Speed, speed limits and accidents*. Project Report 58. Crowthorne: Transport Research Laboratory.
24. Hauer, E. (1980). Bias-by-selection: Overestimation of the effectiveness of safety countermeasures caused by the process of selection for treatment. *Accident Analysis and Prevention*, 12, 113–117.

25. Hauer, E. (1985). On the estimation of expected number of accidents. *Accident Analysis and Prevention*, 18(1), 1-12.
26. Hauer, E., & Persaud, B. N. (1984). A comparison of two methods for de-biasing before and after accident studies. *Transportation Research Record*, 975, 43-49.
27. Hauer, E. (1992). Empirical bayes approach to the estimation of "unsafety": The multivariate regression method. *Accident Analysis and Prevention*, 24, 457-477.
28. Hauer, E. (1997). Observational before-after studies in road safety: *Estimating the effect of highway and traffic engineering measures on road safety*. Oxford, Reino Unido: Pergamon/Elsevier Science Ltd.
29. Heckman, J. J., Ichimura, H., & Todd, P. E. (1997). Matching as an econometric evaluation estimator: Evidence from evaluating a job training program. *The Review of Economic Studies*, 64, 605-654.
30. Highways Agency. (1997). *West London speed camera demonstration project: Analysis of accident data 36 months before and after implementation*. Londres: London Accident Analysis Unit.
31. Hook, D., Kirkwood, A., & Evans, D. (1995). Speed cameras in Oxfordshire. *Highways and Transportation*, 42(2), 11-13.
32. Holland, C. A., & Connor, M. T. (1996). Exceeding the speed limit: An evaluation of the effectiveness of a police intervention. *Accident Analysis and Prevention*, 28(5), 587-597.
33. Hooke, A., Knox, J., & Portas, D. (1996). *Cost benefit analysis of traffic light & speed cameras* (Police Research Series 20). Londres: Dr. G. Laycock.
34. Imbens, G. (2004). Nonparametric estimation of average treatment effects under exogeneity: A review. *Review of Economics and Statistics*, 86(1), 4-29.

35. Jones, A. P, Sauerzapf, V., & Haynes, R. (2008). The effects of mobile speed camera introduction on road traffic crashes and casualties in a rural county of England. *Journal of Safety Research*, 39, 101-110.
36. Kapoor, S., & Magesan, A. (2014). Paging inspector sands: The costs of public information. *American Economic Journal: Economic Policy*, 1, 92-113.
37. Li, H., Graham, D. J., & Majumdar, A. (2013). The impacts of speed cameras on road accidents: An application of propensity score matching methods. *Accident Analysis & Prevention*, 60, 148-157.
38. Lund, H. V., Brodersen, F., & Jorgensen, N. O. (1977). A study of the effects of police enforcement on driver behaviour [Radet for Trafiksikkerhedsforskning: *Trafikantadfaerd under skaerpet politiovervagning*, Rapport 19, Kovenhavn]. Copenhagen, Dinamarca, 7-98.
39. Mountain, L. J., Hirst, W., & Maher, M. (2004). Costing lives or saving lives? A detailed evaluation of the impact of speed cameras on safety. *Traffic Engineering and Control*, 45(8), 280-287.
40. Mountain, L. J., Hirst, W., Maher, M. (2005) Are speed enforcement cameras more effective than other speed management measures? The impact of speed management schemes on 30 mph roads. *Accident Analysis and Prevention*, 37, 742-754.
41. Newstead, S.V., Cameron, M. (2003). *Evaluation of the crash effects of the Queensland speed camera program*. Monash University Accident Research Centre, Report No. 204, 1-35.
42. Organización Mundial de la Salud. (2013). *Global status report on road safety 2013: Supporting a decade of action*. Luxemburgo: Organización Mundial de la Salud.
43. PA Consulting Group-Department for Transport. (2003). *A cost recovery system for speed and red light cameras, a two year pilot evaluation*. Londres: Department for Transport.

44. Pilkington, P., & Kinra, S. (2005). Effectiveness of speed cameras in preventing road traffic collisions and related casualties: Systematic review. *BMJ*, 330, 331-334.
45. Rogerson, P., Newstead, S., & Cameron, M. (1994). *Evaluation of the speed camera program in Victoria 1990 -1991. Phase 3: Localised effects on casualty crashes and crash severity. Phase 4: General effects on speed* (Report 54, pp. 1-41). Monash University Accident Research Centre (MUARC).
46. Rosenbaum, P. R., & Rubin, D. B. (1983). The central role of the propensity score in observational studies for causal effects. *Biometrika*, 70(1), 41-55.
47. Shin, K., Washington, S. P., & van Schalkwyk I. (2009). Evaluation of the Scottsdale Loop 101 automated speed enforcement demonstration program. *Accident Analysis and Prevention*, 41, 393-403.
48. Tay, R. (2010). Improving safety or raising revenue. *Journal of Transport Economics and Policy*, 44, part 2, 247-257.
49. Wilson, C., Willis, C., Hendrikz, J. K., Le Brocque, R., & Bellamy, N. (2010). Speed cameras for the prevention of road traffic injuries and deaths (Review). *The Cochrane Library*, 11, 1-69.
50. Wooldridge, J. M. (2002). *Econometric analysis of cross section and panel data*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.



Apéndice

Cuadro A1.1. Grupo 1 (M = 5): Calidad del emparejamiento por tipo, DID y EPTT

Tratados							
Dirección	<i>Accidentes<sub>pre</sub></i>	<i>Accidentes<sub>post</sub></i>	<i>Importancia</i>	<i>Flujo</i>			
Calle 13 con carrera 66	57	67	VAP con VAS	Bajo			
Calle 36 con carrera 46	56	69	VAP con VAS	Bajo			
Calle 52 con carrera 1	100	100	VAP con VAS	Bajo			
Calle 73 con diagonal 15	49	61	VAP con VAS	Bajo			
Controles							
Emparejamiento tipo I						Resultados (N = 24)	
Dirección	<i>Accidentes<sub>pre</sub></i>	<i>Accidentes<sub>post</sub></i>	<i>Importancia</i>	<i>Flujo</i>	<i>Parejas</i>	<i>DID</i>	<i>EPTT</i>
-	51,2 (6,38)	49,2 (5,72)	100%	100%	5		
-	54,2 (6,83)	49 (5,96)	100%	100%	5	10,55	22,15***
-	70,4 (11,93)	71,2 (30,38)	100%	100%	5	(6,46)	(6,63)
-	39,8 (11,37)	39 (13,40)	100%	100%	5		
Emparejamiento tipo II						Resultados (N = 26)	
Dirección	<i>Accidentes<sub>pre</sub></i>	<i>Accidentes<sub>post</sub></i>	<i>Importancia</i>	<i>Flujo</i>	<i>Parejas</i>	<i>DID</i>	<i>EPTT</i>
	56,17 (7,78)	52,65 (10,10)	100%	100%	6		
	54,2 (6,38)	49 (5,96)	100%	100%	5	10-97	19,86***
	70,4 (11,93)	71,2 (30,38)	100%	80%	5	(6,60)	(6,96)
	39,8 (11,37)	44,83 (10,83)	100%	100%	6		
Emparejamiento tipo III						Resultados (N = 8)	
Dirección	<i>Accidentes<sub>pre</sub></i>	<i>Accidentes<sub>post</sub></i>	<i>Importancia</i>	<i>Flujo</i>	<i>Parejas</i>	<i>DID</i>	<i>EPTT</i>
	55,83 (1,16)	44,67 (12,68)	17%	67%	6		
	55,4 (0,55)	44,4 (14,15)	20%	60%	5	18,89*	19,88***
	99 (4)	85 (40,21)	0%	40%	5	(10,15)	(8,33)
	47,6 (0,55)	43, 4 (11,10)	40%	80%	5		

1.  $*p < 0,1$ ,  $**p < 0,05$ ,  $***p < 0,01$
2. Errores estándar entre paréntesis
3.  $DID = \hat{\theta}_2$  el estimador de diferencias en diferencias en  $\Delta Accidentes_i = \theta_1 + \theta_2 D_i + \varepsilon_i$  con  $\Delta Accidentes_i = Accidentes_{i,t} - Accidentes_{i,t-1}$
4.  $EPTT = \frac{1}{N} \sum_{i:D_i=1} (Accidentes_{i,después}^{tratado} - Accidentes_{i,después}^{control})$

Fuente: construcción propia.

**Cuadro A1.2.** Grupo 1 (M = 10): Calidad del emparejamiento por tipo, DID y EPTT

Tratados							
Dirección	<i>Accidentes<sub>pre</sub></i>	<i>Accidentes<sub>post</sub></i>	<i>Importancia</i>	<i>Flujo</i>			
Calle 13 con carrera 66	57	67	VAP con VAS	Bajo			
Calle 36 con carrera 46	56	69	VAP con VAS	Bajo			
Calle 52 con carrera 1	100	100	VAP con VAS	Bajo			
Calle 73 con diagonal 15	49	61	VAP con VAS	Bajo			
Controles							
Emparejamiento tipo I						Resultados (N = 44)	
Dirección	<i>Accidentes<sub>pre</sub></i>	<i>Accidentes<sub>post</sub></i>	<i>Importancia</i>	<i>Flujo</i>	<i>Parejas</i>	<i>DID</i>	<i>EPTT</i>
-	53 (13,49)	49,2 (5,72)	100%	100%	10		
-	48,9 (11,46)	49 (5,96)	100%	100%	10	10,225	20,5***
-	78,3 (16,59)	71,2 (30,38)	60%	90%	10	(8,22)	(7,77)
-	40,7 (8,93)	39 (13,40)	100%	100%	10		
Emparejamiento tipo II						Resultados (N = 45)	
Dirección	<i>Accidentes<sub>pre</sub></i>	<i>Accidentes<sub>post</sub></i>	<i>Importancia</i>	<i>Flujo</i>	<i>Parejas</i>	<i>DID</i>	<i>EPTT</i>
	53,8 (12,35)	52,65 (10,10)	100%	100%	10		
	48,45 (10,74)	49 (5,96)	100%	100%	11	10,68	19,95***
	76 (17,14)	71,2 (30,38)	70%	80%	10	(8,55)	(7,73)
	46,7 (9,52)	44,83 (10,83)	100%	100%	10		
Emparejamiento tipo III						Resultados (N = 46)	
Dirección	<i>Accidentes<sub>pre</sub></i>	<i>Accidentes<sub>post</sub></i>	<i>Importancia</i>	<i>Flujo</i>	<i>Parejas</i>	<i>DID</i>	<i>EPTT</i>
	55,7 (1,95)	44,67 (12,68)	20%	80%	10		
	54,81 (1,47)	44,4 (14,15)	9%	82%	11	15,94	17,6***
	96,2 (8,8)	85 (40,21)	10%	60%	10	(9,8)	(7,72)
	48,36 (1,75)	43,4 (11,10)	36%	27%	11		

1. \* $p < 0,1$ , \*\*  $p < 0,05$ , \*\*\*  $p < 0,01$

2. Errores estándar entre paréntesis

3.  $DID = \hat{\theta}_2$  el estimador de diferencias en diferencias en  $\Delta Accidentes_i = \theta_1 + \theta_2 D_i + \varepsilon_i$  con  $\Delta Accidentes_i = Accidentes_i - Accidentes_{i-1}$

4.  $EPTT = \frac{1}{N} \sum_{i:D_i=1} (Accidentes_{i,después}^{tratado} - Accidentes_{i,después}^{control})$

Fuente: construcción propia.

Cuadro A1.3. Grupo 2 (M = 1): Calidad del emparejamiento por tipo, DID y EPTT

			Tratados				
Dirección	Accidentes <sub>pre</sub>	Accidentes <sub>post</sub>	Importancia	Flujo			
Calle 13 con carrera 100	50	53	VAP con VAP	Bajo			
Calle 13 con carrera 23	72	88	VAP con VAP	Bajo			
Calle 26 con avenida 6	1	8	VAP con VL	Bajo			
Calle 47 con avenida 6	2	9	VAP con VC	Bajo			
Calle 52 con avenida 3	5	14	VAP con VAS	Bajo			
Controles							
Emparejamiento tipo I						Resultados (N = 10)	
Dirección	Accidentes <sub>pre</sub>	Accidentes <sub>post</sub>	Importancia	Flujo	Parejas	DID	EPTT
Calle 15 con carrera 23	33	32	100%	100%	1		
Calle 15 con carrera 23	33	32	100%	100%	1	13,2**	10***
Calle 27 con avenida 6	1	3	100%	100%	1	(5,4)	(2,06)
Calle 45 con avenida 6	2	0	100%	100%	1		
Calle 42 con carrera 1	5	10	100%	100%	1		
Emparejamiento tipo II						Resultados (N = 27)	
Dirección	Accidentes <sub>pre</sub>	Accidentes <sub>post</sub>	Importancia	Flujo	Parejas	DID	EPTT
	47	37	100%	100%	1		
	61	52	100%	100%	1	8,63**	14,95***
	1	1,76 (3,05)	100%	100%	17	(2,08)	(4,61)
	2	1,5 (2,12)	100%	100%	2		
	3	5	100%	100%	1		
Emparejamiento tipo III						Resultados (N = 39)	
Dirección	Accidentes <sub>pre</sub>	Accidentes <sub>post</sub>	Importancia	Flujo	Parejas	DID	EPTT
	49	33 (9,9)	0%	100%	2		
	72	96	0%	100%	1	7,69**	
	1	1,76 (3,05)	100%	100%	17	(3,41)	(3,74)
	2	1,5 (2,12)	100%	100%	2		
	5	6,67 (6,15)	100%	100%	12		

1.  $*p < 0,1$ ,  $**p < 0,05$ ,  $***p < 0,01$
2. Errores estándar entre paréntesis
3.  $DID = \hat{\theta}_2$  el estimador de diferencias en diferencias en  $\Delta Accidentes_i = \theta_1 + \theta_2 D_i + \varepsilon_i$  con  $\Delta Accidentes_i = Accidentes_{i,t} - Accidentes_{i,t-1}$
4.  $EPTT = \frac{1}{N} \sum_{i:D_i=1} (Accidentes_{i,después}^{tratado} - Accidentes_{i,después}^{control})$

Fuente: construcción propia.

**Cuadro A1.4.** Grupo 2 (M = 5): Calidad del emparejamiento por tipo, DID y EPTT

Tratados							
Dirección	Accidentes <sub>pre</sub>	Accidentes <sub>post</sub>	Importancia	Flujo			
Calle 13 con carrera 100	50	53	VAP con VAP	Bajo			
Calle 13 con carrera 23	72	88	VAP con VAP	Bajo			
Calle 26 con avenida 6	1	8	VAP con VL	Bajo			
Calle 47 con avenida 6	2	9	VAP con VC	Bajo			
Calle 52 con avenida 3	5	14	VAP con VAS	Bajo			
Controles							
Emparejamiento tipo I						Resultados (N = 30)	
Dirección	Accidentes <sub>pre</sub>	Accidentes <sub>post</sub>	Importancia	Flujo	Parejas	DID	EPTT
-	38,2 (6,42)	39,8 (8,76)	100%	100%	5		
-	57,2 (22,59)	48,8 (15,24)	100%	100%	5	7,84**	14,16***
-	0,6 (0,55)	3,4 (3,21)	100%	100%	5	(3,51)	(5,17)
-	1 (0,71)	1,8 (1,3)	100%	100%	5		
-	1,4 (1,34)	7,4 (2,1)	100%	100%	5		
Emparejamiento tipo II						Resultados (N = 45)	
Dirección	Accidentes <sub>pre</sub>	Accidentes <sub>post</sub>	Importancia	Flujo	Parejas	DID	EPTT
	46 (8,89)	44,4 (7,92)	100%	100%	5		
	57,2 (22,59)	48,8 (15,24)	100%	100%	5	8,67***	13,78***
	1 (0)	1,76 (3,05)	100%	100%	17	(2,83)	(5,1)
	1,25 (0,46)	2,125 (2,10)	100%	100%	8		
	2,2 (0,45)	6 (1,58)	100%	100%	5		
Emparejamiento tipo III						Resultados (N = 52)	
Dirección	Accidentes <sub>pre</sub>	Accidentes <sub>post</sub>	Importancia	Flujo	Parejas	DID	EPTT
	49,6 (0,89)	45,2 (13,16)	0%	%	5		
	70 (2,55)	68,8 (17,94)	0%	60%	5	8,14**	9,49*
	1 (0)	1,76 (3,05)	100%	100%	17	(3,35)	(3,57)
	1,25 (0,46)	2,25 (2,1)	100%	100%	8		
	5 (0)	6,67 (6,15)	100%	100%	12		

1. \* $p < 0,1$ , \*\*  $p < 0,05$ , \*\*\* $p < 0,01$

2. Errores estándar entre paréntesis

3.  $DID = \hat{\theta}_2$  el estimador de diferencias en diferencias en  $\Delta Accidentes_i = \theta_1 + \theta_2 D_i + \varepsilon_i$  con  $\Delta Accidentes_i = Accidentes_{i,t} - Accidentes_{i,t-1}$

4.  $EPTT = \frac{1}{N} \sum_{D=1}^{iD_i=1} (Accidentes_{i,despu\acute{e}s}^{tratado} - Accidentes_{i,despu\acute{e}s}^{control})$

Fuente: construcción propia.

Cuadro A1.5. Grupo 2 (M = 10): Calidad del emparejamiento por tipo, DID y EPTT

Tratados							
Dirección	<i>Accidentes<sub>pre</sub></i>	<i>Accidentes<sub>post</sub></i>	<i>Importancia</i>	<i>Flujo</i>			
Calle 13 con carrera 100	50	53	VAP con VAP	Bajo			
Calle 13 con carrera 23	72	88	VAP con VAP	Bajo			
Calle 26 con avenida 6	1	8	VAP con VL	Bajo			
Calle 47 con avenida 6	2	9	VAP con VC	Bajo			
Calle 52 con avenida 3	5	14	VAP con VAS con VL	Bajo			
Controles							
Emparejamiento tipo I					Resultados (N = 55)		
Dirección	<i>Accidentes<sub>pre</sub></i>	<i>Accidentes<sub>post</sub></i>	<i>Importancia</i>	<i>Flujo</i>	<i>Parejas</i>	<i>DID</i>	<i>EPTT</i>
-	37,3 (11,22)	36,3 (10,79)	100%	100%	10		
-	50,3 (18,79)	45,6 (12,83)	100%	80%	10	8,08***	16,22***
-	0,3 (0,48)	2 (2,62)	100%	100%	10	(2,95)	(5,19)
-	0,5 (0,71)	1,5 (1,18)	100%	100%	10		
-	0,9 (1,20)	5,5 (3,24)	100%	100%	10		
Emparejamiento tipo II					Resultados (N = 94)		
Dirección	<i>Accidentes<sub>pre</sub></i>	<i>Accidentes<sub>post</sub></i>	<i>Importancia</i>	<i>Flujo</i>	<i>Parejas</i>	<i>DID</i>	<i>EPTT</i>
	36 (11,48)	35,91(10,32)	100%	100%	11		
	56,4 (21,53)	56,9 (33,16)	100%	70%	10	7,18**	14,60***
	1 (0)	1,76 (3,05)	100%	100%	17	(3,40)	(5,74)
	0,4 (0,65)	1,48 (1,53)	100%	100%	25		
	0,42 (0,90)	2,92 (3,03)	100%	100%	26		
Emparejamiento tipo III					Resultados (N = 84)		
Dirección	<i>Accidentes<sub>pre</sub></i>	<i>Accidentes<sub>post</sub></i>	<i>Importancia</i>	<i>Flujo</i>	<i>Parejas</i>	<i>DID</i>	<i>EPTT</i>
	49,75 (2,09)	44,67(10,83)	92%	67%	12		
	68,1 (5,63)	69,9 (18,57)	90%	60%	10	8,35**	9,35*
	1 (0)	1,76 (3,05)	100%	100%	17	(3,45)	(3,47)
	1,75 (0,44)	2,25 (2,1)	100%	96%	28		
	5 (0)	6,67 (6,15)	100%	100%	12		
1. * $p < 0,1$ ,** $p < 0,05$ , *** $p < 0,01$							
2. Errores estándar entre paréntesis							
3. $DID = \hat{\theta}_2$ el estimador de diferencias en diferencias en $\Delta Accidentes_i = \theta_1 + \theta_2 D_i + \varepsilon_i$ con $\Delta Accidentes_i = Accidentes_{it} - Accidentes_{it-1}$							
4. $EPTT = \frac{1}{N} \sum_{i:D_i=1} (Accidentes_{i,despu\acute{e}s}^{tratado} - Accidentes_{i,despu\acute{e}s}^{control})$							

Fuente: construcción propia.

**Cuadro A1.6.** Grupo 3 (M = 1): Calidad del emparejamiento por tipo, DID y EPTT

Tratados							
Dirección	Accidentes <sub>pre</sub>	Accidentes <sub>post</sub>	Importancia	Flujo			
Calle 10 con carrera 15	17	16	VAP con VAP	Bajo			
Calle 13 con carrera 50	20	30	VAP con VAP	Bajo			
Calle 18 con carrera 122	23	31	VAP con VAP	Bajo			
Calle 23 con carrera 5	9	6	VAP con VAP	Medio			
Calle 23 con carrera 23	51	42	VAP con VAS	Bajo			
Calle 5 con carrera 80	53	53	VAP con VAS	Alto			
Calle 5 con carrera 66	43	61	VAP con VAS	Medio			
Calle 70 con carrera 1A	21	42	VAP con VL	Medio			
Calle 9 con carrera 50	42	34	VAP con VAS	Bajo			
Calle 9 con carrera 38	15	4	VAS con VL	Bajo			
Controles							
Emparejamiento tipo I					Resultados (N = 20)		
Dirección	Accidentes <sub>pre</sub>	Accidentes <sub>post</sub>	Importancia	Flujo	Parejas	DID	EPTT
Calle 10 con carrera 23	21	22	100%	100%	1		
Calle 15 con carrera 8	18	28	100%	100%	1		
Calle 18 con carrera 23	28	18	100%	100%	1		
Calle 36 con carrera 5	5	7	0%	100%	1		
Calle 25 con carrera 100	43	39	0%	100%	1	2,4	3
Calle 25 con carrera 70	47	46	100%	100%	1	(3,93)	(3,03)
Calle 5 con carrera 56	44	48	100%	100%	1		
Calle 70 con carrera 24	24	23	100%	100%	1		
Calle 6 con carrera 50	40	42	100%	100%	1		
Calle 9 con carrera 36	18	16	100%	100%	1		

(Continúa)

Cuadro A1.6. Grupo 3 (M = 1): Calidad del emparejamiento por tipo, DID y EPTT (continuación)

Controles							
Emparejamiento tipo II						Resultados (N = 26)	
Dirección	Accidentes <sub>pre</sub>	Accidentes <sub>post</sub>	Importancia	Flujo	Parejas	DID	EPTT
	17	12 (7,07)	100%	100%	2		
	20	26	100%	100%	1		
	23	27	100%	100%	1		
	8	17	0%	100%	1		
	43	39	0%	100%	1	1,875	2,32
	47	46	100%	100%	1	(3,56)	(2,38)
	44	48	100%	100%	1		
	21	33	100%	100%	1		
	42	33	100%	100%	1		
	15 (0)	14,8 (2,12)	100%	100%	6		
Emparejamiento tipo III						Resultados (N = 26)	
Dirección	Accidentes <sub>pre</sub>	Accidentes <sub>post</sub>	Importancia	Flujo	Parejas	DID	EPTT
	17 (0)	12 (7,07)	100%	100%	2		
	20	26	100%	100%	1		
	23	27	100%	100%	1		
	8	17	0%	0%	1		
	50	74	0%	0%	1	-0,1875	-2,28
	53	57	0%	0%	1	(3,98)	(3,85)
	44	48	100%	100%	1		
	21	33	100%	100%	1		
	42	33	100%	100%	1		
	15 (0)	14,8 (7,03)	100%	100%	6		

1. \* $p < 0,1$ , \*\*  $p < 0,05$ , \*\*\*  $p < 0,01$

2. Errores estándar entre paréntesis

3.  $DID = \hat{\theta}_2$  el estimador de diferencias en diferencias en  $\Delta Accidentes_i = \theta_1 + \theta_2 D_i + \varepsilon_i$  con  $\Delta Accidentes_i = Accidentes_{it} - Accidentes_{it-1}$

4.  $EPTT = \frac{1}{N} \sum_{i:D_i=1} (Accidentes_{i,después}^{tratado} - Accidentes_{i,después}^{control})$

Fuente: construcción propia.

**Cuadro A1.7.** Grupo 3 (M = 5): Calidad del emparejamiento por tipo, DID y EPTT

Tratados							
Dirección	Accidentes <sub>pre</sub>	Accidentes <sub>post</sub>	Importancia	Flujo			
Calle 10 con carrera 15	17	16	VAP con VAP	Bajo			
Calle 13 con carrera 50	20	30	VAP con VAP	Bajo			
Calle 18 con carrera 122	23	31	VAP con VAP	Bajo			
Calle 23 con carrera 5	9	6	VAP con VAP	Medio			
Calle 23 con carrera 23	51	42	VAP con VAS	Bajo			
Calle 5 con carrera 80	53	53	VAP con VAS	Alto			
Calle 5 con carrera 66	43	61	VAP con VAS	Medio			
Calle 70 con carrera 1A	21	42	VAP con VL	Medio			
Calle 9 con carrera 50	42	34	VAP con VAS	Bajo			
Calle 9 con carrera 38	15	4	VAS con VL	Bajo			
Controles							
Emparejamiento tipo I					Resultados (N = 60)		
Dirección	Accidentes <sub>pre</sub>	Accidentes <sub>post</sub>	Importancia	Flujo	Parejas	DID	EPTT
-	16 (4)	12,4 (6,77)	100%	100%	5		
-	18,2 (3,42)	20,4 (9,40)	100%	100%	5		
-	21,2 (4,6)	18,2 (7,40)	100%	100%	5		
-	7,6 (6,7)	9,4 (6,73)	0%	100%	5		
-	36,6 (3,78)	36,4 (13,54)	0%	100%	5	3,3	6,42**
-	54 (14,32)	49,2 (9,36)	80%	100%	5	(2,91)	(3,08)
-	41,2 (11,45)	42,4 (19,69)	100%	100%	5		
-	19,8 (4,76)	22,6 (8,08)	100%	100%	5		
-	36,6 (7,16)	34,6 (9,18)	100%	100%	5		
-	11,6 (3,65)	9,2 (5,89)	100%	100%	5		
Emparejamiento tipo II					Resultados (N = 64)		
Dirección	Accidentes <sub>pre</sub>	Accidentes <sub>post</sub>	Importancia	Flujo	Parejas	DID	EPTT
	16,83 (1,60)	15,83 (8,33)	100%	100%	6		
	19,29 (2,21)	21,29 (7,34)	100%	100%	7		
	23 (2,55)	29 (7,62)	100%	100%	5		
	7,2 (5,85)	8,6 (5,94)	0%	100%	5		

(Continúa)



Cuadro A1.7. Grupo 3 (M = 5): Calidad del emparejamiento por tipo, DID y EPTT (continuación)

Emparejamiento tipo II						Resultados (N = 64)	
Dirección	Accidentes <sub>pre</sub>	Accidentes <sub>post</sub>	Importancia	Flujo	Parejas	DID	EPTT
	42 (10,58)	31,2 (1219)	0%	100%	5	3,07	4,80
	54 (14,31)	49,2 (9,36)	80%	100%	5	(2,87)	(3,18)
	41,2 (11,45)	42,4 (19,69)	100%	100%	5		
	22 (2,12)	22,2 (8,29)	100%	100%	5		
	37,2 (6,22)	36,4 (6,62)	100%	100%	5		
	15 (0)	14,83 (7,03)	100%	100%	6		
Emparejamiento tipo III						Resultados (N = 65)	
Dirección	Accidentes <sub>pre</sub>	Accidentes <sub>post</sub>	Importancia	Flujo	Parejas	DID	EPTT
	17,17 (0,41)	15,5 (10,25)	50%	100%	6		
	20 (0,63)	17,17 (8,06)	50%	100%	6		
	23 (1,26)	24,83 (8,93)	50%	100%	6		
	8,6 (0,55)	10,4 (7,47)	0%	100%	5		
	50,8 (0,84)	53,4 (16,52)	20%	60%	5	2,24	2,18
	52,8 (1,48)	53,6 (9,07)	40%	20%	5	(3,13)	(3,51)
	43 (0,71)	43 (7,91)	80%	40%	5		
	21,17 (0,75)	21 (9,27)	33%	100%	6		
	42,2 (0,84)	43,4 (5,86)	100%	100%	5		
	15 (0)	14,83 (7,03)	100%	100%	6		

1. \* $p < 0,1$ , \*\*  $p < 0,05$ , \*\*\* $p < 0,01$

2. Errores estándar entre paréntesis

3.  $DID = \hat{\theta}_2$  el estimador de diferencias en diferencias en  $\Delta Accidentes_i = \theta_1 + \theta_2 D_i + \varepsilon_i$  con  $\Delta Accidentes_i = Accidentes_{it} - Accidentes_{it-1}$

4. 
$$EPTT = \frac{1}{N} \sum_{i:D_i=1} (Accidentes_{i,después}^{tratado} - Accidentes_{i,después}^{control})$$

Fuente: construcción propia.

**Cuadro A1.8.** Grupo 3 (M = 10): Calidad del emparejamiento por tipo, DID y EPTT

Tratados							
Dirección	Accidentes <sub>pre</sub>	Accidentes <sub>post</sub>	Importancia	Flujo			
Calle 10 con Carrera 15	17	16	VAP con VAP	Bajo			
Calle 13 con Carrera 50	20	30	VAP con VAP	Bajo			
Calle 18 con Carrera 122	23	31	VAP con VAP	Bajo			
Calle 23 con Carrera 5	9	6	VAP con VAP	Medio			
Calle 23 con Carrera 23	51	42	VAP con VAS	Bajo			
Calle 5 con Carrera 80	53	53	VAP con VAS	Alto			
Calle 5 con Carrera 66	43	61	VAP con VAS	Medio			
Calle 70 con Carrera 1A	21	42	VAP con VL	Medio			
Calle 9 con Carrera 50	42	34	VAP con VAS	Bajo			
Calle 9 con Carrera 38	15	4	VAS con VL	Bajo			
Controles							
Emparejamiento tipo I					Resultados (N = 110)		
Dirección	Accidentes <sub>pre</sub>	Accidentes <sub>post</sub>	Importancia	Flujo	Parejas	DID	EPTT
-	13 (4,22)	9,8 (6,16)	100%	100%	10		
-	17,6 (3,44)	18,1 (8,06)	100%	100%	10		
-	22,1 (5,74)	21,3 (9,41)	100%	100%	10		
-	10,7 (10,61)	11 (7,54)	0%	100%	10		
-	36,7 (9,17)	33,8 (12,20)	0%	100%	10	3,98	9,48**
-	48 (17,89)	42,6 (15,44)	40%	100%	10	(2,75)	(3,76)
-	27,6 (16,91)	28,1 (20,20)	100%	100%	10		
-	18,8 (5,88)	16,7 (9,02)	100%	100%	10		
-	32,3 (12,49)	31,8 (9,09)	100%	100%	10		
-	12,2 (2,66)	11 (4,92)	100%	100%	10		
Emparejamiento tipo II					Resultados (N = 118)		
Dirección	Accidentes <sub>pre</sub>	Accidentes <sub>post</sub>	Importancia	Flujo	Parejas	DID	EPTT
	16,7 (2,95)	16 (8,22)	100%	100%	10		
	19 (3,30)	21,2 (10,59)	100%	100%	10		
	21,4 (3,92)	23,7 (9,13)	100%	100%	10		
	10,5 (10,20)	10,4 (6,47)	0%	100%	10		
	36,7 (9,17)	33,8 (12,20)	0%	100%	10	3,42	8,13**

(Continúa)

Cuadro A1.8. Grupo 3 (M = 10): Calidad del emparejamiento por tipo, DID y EPTT (continuación)

Emparejamiento tipo II						Resultados (N = 118)	
Dirección	Accidentes <sub>pre</sub>	Accidentes <sub>post</sub>	Importancia	Flujo	Parejas	DID	EPTT
	48 (17,89)	42,6 (15,44)	40%	100%	10	(2,81)	(3,87)
	27,6 (16,91)	28,1 (20,20)	100%	100%	10		
	18,82 (5,13)	17,64 (9,03)	100%	100%	11		
	32,36 (11,52)	30,91 (8,92)	100%	100%	11		
	15,125 (0,81)	13,31 (5,96)	100%	100%	16		
Emparejamiento tipo III						Resultados (N = 138)	
Dirección	Accidentes <sub>pre</sub>	Accidentes <sub>post</sub>	Importancia	Flujo	Parejas	DID	EPTT
	16,95 (0,83)	15,4 (6,37)	30%	100%	20		
	19,77 (0,73)	21,08 (8,99)	38%	92%	13		
	22,73 (1,01)	23,27 (8,21)	27%	100%	11		
	8,8 (0,42)	10,7 (6,18)	0%	80%	10		
	50,5 (1,84)	48,5 (14,06)	10%	50%	10	2,86	2,85
	52,8 (2,49)	52,9 (12,44)	40%	10%	10	(2,98)	(3,20)
	43,09 (0,94)	42,18 (10,24)	54%	27%	11		
	21,08 (0,49)	22,46 (12,91)	38%	54%	13		
	42 (1,05)	40,7 (5,86)	40%	100%	10		
	15 (0)	13,35 (6,14)	30%	100%	20		

1. \* $p < 0,1$ , \*\*  $p < 0,05$ , \*\*\* $p < 0,01$

2. Errores estándar entre paréntesis

3.  $DID = \hat{\theta}_2$  el estimador de diferencias en diferencias en  $\Delta Accidentes_i = \theta_1 + \theta_2 D_i + \varepsilon_i$  con  $\Delta Accidentes_i = Accidentes_{it} - Accidentes_{it-1}$

4.  $EPTT = \frac{1}{N} \sum_{i:D_i=1} (Accidentes_{i,después}^{tratado} - Accidentes_{i,después}^{control})$

Fuente: construcción propia.

Cuadro A1.9. Impacto en la accidentalidad con heridos

Tipo de emparejamiento	Grupo 1					
	M = 1		M = 5		M = 10	
	DID	EPTT	DID	EPTT	DID	EPTT
I	9	16,25***	8,25	19,95***	7,4	19,725***
	(6,23)	(3,82)	(6,52)	(6,92)	(8,80)	(8,22)
II	12,25***	18,75***	8,95	17,9***	10,25	20,575***
	(4,87)	(4,30)	(6,70)	(7,11)	(9,15)	(8,29)
III	32,25***	32,25***	13,8	15,05	13,675	15,375*
	(9,20)	(6,68)	(13,16)	(10,63)	(11,04)	(8,70)
Tipo de emparejamiento	Grupo 2					
	M = 1		M = 5		M = 10	
	DID	EPTT	DID	EPTT	DID	EPTT
I	10,4	6,8	4,72	10,36*	3,78	12,78
	(8,41)	(5,46)	(4,45)	(5,90)	(3,42)	(8,59)
II	4,15***	10,84*	4,17***	10,85*	4,04	10,44
	(1,13)	(6,03)	(1,98)	(5,71)	(2,81)	(8,59)
III	3,82***	1,44	4,62*	7,12	4,45*	6,55
	(1,41)	(2,70)	(2,40)	(4,37)	(2,51)	(4,10)
Tipo de emparejamiento	Grupo 3					
	M = 1		M = 5		M = 10	
	DID	EPTT	DID	EPTT	DID	EPTT
I	2,9	5,3	3,3	6,1*	3,03	8,95***
	(4,45)	(4,01)	(3,10)	(3,22)	(2,98)	(3,77)
II	2,53	1,68	2,19	4,52	1,99	7,21*
	(3,33)	(3,54)	(3,23)	(3,60)	(8,59)	(3,98)
III	1,7	-0,52	2,65	2,70	3,95	4,09
	(3,77)	(4,70)	(8,59)	(3,66)	(3,12)	(3,59)

1. \* $p < 0,1$ , \*\* $p < 0,05$ , \*\*\* $p < 0,01$

2. Errores estándar entre paréntesis

3.  $DID = \hat{\theta}_2$  el estimador de diferencias en diferencias en  $\Delta Accidentes_i = \theta_1 + \theta_2 D_i + \varepsilon_i$  con  $\Delta Accidentes_i = Accidentes_t - Accidentes_{t-1}$

4.  $EPTT = \frac{1}{N} \sum_{iD_i=1} (Accidentes_{i,después}^{tratado} - Accidentes_{i,después}^{control})$

Fuente: construcción propia.

