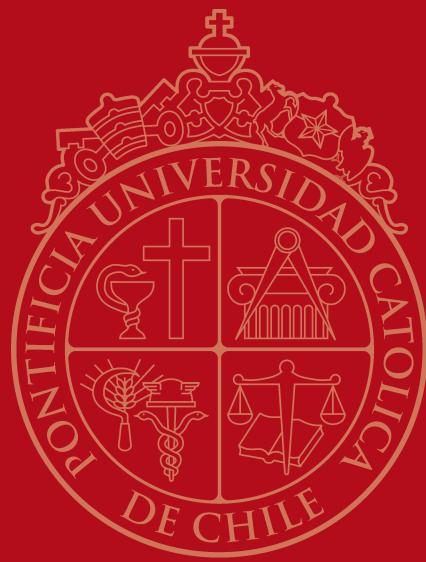


I N S T I T U T O   D E   E C O N O M Í A   T



T E S I S d e M A G Í S T E R

**2015**

Impacto de la Luminosidad Sobre los Accidentes  
de Tránsito y los Flujos Vehiculares en Chile

Diego Charlin B.



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE  
INSTITUTO DE ECONOMIA  
MAGISTER EN ECONOMIA**

**TESIS DE GRADO  
MAGISTER EN ECONOMIA**

**Charlin, Benavides, Diego**

**Diciembre, 2015**



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE  
INSTITUTO DE ECONOMIA  
MAGISTER EN ECONOMIA**

**IMPACTO DE LA LUMINOSIDAD SOBRE LOS ACCIDENTES DE  
TRÁNSITO Y LOS FLUJOS VEHICULARES EN CHILE**

**Diego Charlin Benavides**

Comisión

Eugenio Bobenrieth  
Juan Pablo Montero

**Santiago, Diciembre de 2015**

# Impacto de la Luminosidad sobre los Accidentes de Tránsito y los Flujos Vehiculares en Chile

Diego Charlin Benavides\*

TESIS DE MAGÍSTER EN ECONOMÍA  
Pontificia Universidad Católica de Chile

Diciembre 2015

## Resumen

En enero de 2015 el gobierno de Chile promulgó un decreto de ley que suprimió el cambio de huso horario de invierno, estableciendo el huso horario de verano de forma permanente durante todo el año. En el siguiente trabajo se analiza la relación entre la luminosidad ambiental y las tasas de accidentes de tránsito y los flujos vehiculares en la zona central de Chile. Se utiliza un test no-paramétrico de diferencias de medias para estimar dichos cambios. Los resultados evidencian que existe una disminución significativa de 24.1 % en la tasa de accidentabilidad por flujo vehicular entre las 18:18-19:18 horas. A su vez, se registró un aumento de 11.6 % en la misma tasa entre las 7:13-8:13 horas. Por otra parte, se encuentra evidencia de la relación entre la luminosidad ambiental y el ritmo de actividad diaria de las personas. Se produjo un incremento relativo del flujo vehicular en torno a un 2 % en los tramos horarios expuestos a una mayor luminosidad, y una disminución relativa de 4 % en el caso contrario. Por último se realiza un análisis de bienestar durante el año en el cual se aplica la medida. La política podría ser beneficiosa en materia de accidentes de tránsito, concordando con una disminución en la cantidad de accidentes, personas fallecidas y lesionadas en los intervalos horarios analizados durante el año 2015.

---

\*Tesis para optar al grado de Magíster en Economía, Instituto de Economía, Pontificia Universidad Católica de Chile. Quisiera agradecer los valiosos comentarios de los profesores Eugenio Bobenrieth y Juan Pablo Montero a lo largo de toda esta investigación. Además, le agradezco especialmente a Hugo Silva, Juan Carlos Herrera y Tomás Charlin por su ayuda e interés. Cualquier comentario al mail del autor: dcharlin@uc.cl

## 1. Introducción

Los accidentes vehiculares y sus causas han sido un foco de atención permanente a partir del siglo XX, aquello no es una sorpresa puesto que son actualmente una de las ocho principales causas de muerte de la población mundial (World Health Organization, 2013), provocando cerca de 1.24 millones de muertes y más de 30 millones de lesionados anualmente (Otero and Rau, 2014). Tan sólo en Chile las muertes por accidentes de tránsito representan cerca del 2.2% de la mortalidad anual (DEIS-MINSAL, 2011). Por lo que resulta de vital importancia estudiar cuales son las causas o factores que podrían ser determinantes en la cantidad de dichos accidentes.

La evidencia señala que gran porcentaje de los accidentes ocurren debido a errores humanos. Más de un 45 % de las muertes y lesiones (Tablas 1.6 y 1.7 del Anexo) producto de accidentes de tránsito en el país se producen por la imprudencia tanto de conductores como de peatones<sup>1</sup>, resultados que evidencian la gran importancia que tienen las equivocaciones humanas en este tipo de siniestros. Sin embargo, existen ciertas condiciones exógenas que influyen en la probabilidad de que estas desgracias ocurran. Es precisamente en uno de estos factores externos en el cual se centra este trabajo, específicamente se busca identificar la relación que tiene la presencia de luz solar (en comparación con un escenario de oscuridad) con las tasas de accidentes de tránsito y los flujos vehiculares.

La motivación de este trabajo nace a raíz de la política instaurada por el gobierno en enero de 2015 que elimina el cambio de huso horario en Chile, suprimiendo el horario de invierno (UTC-4)<sup>2</sup> y estableciendo de forma permanente el horario de verano (UTC-3) hasta marzo de 2017. El Ministerio de Energía remarcó una serie de argumentos a favor de la medida de utilizar un único huso horario durante todo el año. Mencionan el insignificante ahorro energético que representa el cambio de huso horario de invierno (Instituto de Asuntos Pùblicos, 2009; Departamento de Ingeniería Eléctrica, 2015), en conjunto con los nulos efectos que tiene la medida sobre los accidentes de tránsito y accidentes laborales en el corto plazo (Lahti et al., 2010). También se refieren a los efectos negativos sobre la salud que dicho cambio tiene producto de la alteración de los ciclos circadianos (Medina et al., 2015; Jiddou et al., 2013).

---

<sup>1</sup>Todos los datos de accidentes de tránsito utilizados en este trabajo provienen de la base de datos del SIEC-2 de Carabineros de Chile actualizada al 12 de noviembre de 2015.

<sup>2</sup>UTC corresponde a Tiempo Universal Coordinado, se abrevia de esta manera por que proviene del francés Temps Universel Coordonné y del inglés Coordinated Universal Time, para la mayoría de los propósitos es un sinónimo de GMT (Greenwich Mean Time).

Si bien dentro de los argumentos se puso en evidencia el posible efecto que dicha política podía tener en las tasas de accidentes vehiculares, sólo se tomó en consideración estudios sobre cambios en el corto plazo, es decir, durante los días en que se produce el cambio de huso horario. Por lo tanto, resulta de vital importancia evaluar la relación que existe entre dichos cambios y la tasa de accidentes de tránsito durante la totalidad del período en el cual se suprimió el cambio de hora, de manera de poder realizar un análisis sobre las tasas de accidentabilidad en los intervalos horarios expuestos a un cambio de luminosidad.

El objetivo principal de este trabajo se concentra en analizar la relación que tiene la luminosidad ambiental con la probabilidad de ocurrencia de accidentes de tránsito, así como también estudiar los posibles cambios en flujos vehiculares producto de un cambio en esta variable. A su vez se realiza una estimación de bienestar social de la medida, evaluando los cambios en accidentes y en la cantidad de personas fallecidas y lesionadas. El estudio abarca los cambios producidos en la zona central del país, específicamente en la región de Valparaíso, la región Metropolitana de Santiago y la región del Libertador General Bernardo O'Higgins. Para estimar los cambios posteriores a la medida se compararán los accidentes ocurridos durante mayo, junio y julio de 2014 con los datos de los mismos meses del año 2015.

Para el análisis se cuenta con una base de datos de accidentes de tránsito detallados por una serie de factores que permiten observar los cambios en intervalos específicos de tiempo afectados por un cambio de luminosidad. Junto con esto se cuenta con tres bases de datos de flujos vehiculares para la ciudad de Santiago y la zona central de Chile, de manera de ser capaces de identificar los cambios producto de una variación en la luminosidad de dichos intervalos.

Analizando los datos se encuentra evidencia de que existe una disminución significativa en la tasa de accidentes ocurridos durante el tramo horario de la tarde que se vio afectado por un aumento de la luminosidad ambiental, alineado con la literatura existente (Ferguson et al., 1995). Además se encuentra evidencia no-paramétrica significativa de un aumento en la tasas de accidentes durante el período matutino afectado por una disminución evidente de la luminosidad durante el año 2015. Más detalladamente, se observa una disminución significativa de un 23% y un 12% en los tramos entre las 18:30-19:00 horas y las 19:00-19:30 horas respectivamente, los cuales durante el año 2015 gozaron de completa luminosidad, en contraste con el año 2014 en donde se encontraban fuera del crepúsculo civil (Huang and Levinson, 2010). Para el tramo de las 7:30-8:00 horas ocurre totalmente

lo contrario, encontrándose un aumento de un 25 %. En cuanto a los flujos vehiculares, se evidencia una disminución relativa de los flujos en torno a un 4 % para los tramos punta de la mañana (7:30-8:30 horas) afectados por una disminución de luminosidad en el año 2015. Ocurre exactamente lo contrario para los tramos vespertinos, en los cuales existe un desplazamiento positivo en torno a un 2 % en los tramos que sufrieron un aumento de luminosidad. Para los demás tramos horarios se observa un aumento promedio en torno a un 6.4 % entre 2014 y 2015, resultado esperable producto de que el parque vehicular en la provincia de Santiago se espera que aumente un 7 % en el año 2015 (Registro de Inscripción de Vehículos Motorizados del Registro Civil).

A través del análisis de bienestar realizado se concluye que la medida decretada por el gobierno de instaurar un único huso horario (UTC-3) en Chile podría ser beneficiosa, producto que concuerda con una disminución significativa de un 4.5 % en la cantidad de accidentes, además de concordar con una disminución en la cantidad de personas fallecidas y lesionadas de diferente gravedad en la zona central del país en el año 2015.

La segunda sección del trabajo abarca la revisión de la literatura en materia de cambios en los accidentes de tránsito producto del llamado *Daylight Saving Time* (DST), medida que considera la utilización de dos Husos Horarios distintos a lo largo del año de modo de optimizar la utilización de la luz solar. Básicamente en la literatura existen dos líneas de investigación sobre este tema. Una primera aproximación considera el estudio de los accidentes de tránsito en el corto plazo (períodos de no más de 7 días) luego de un cambio de huso horario. Esta línea propone una serie de hipótesis acerca de los efectos negativos que tiene la medida sobre la salud de las personas. Un ejemplo de éstas es que el cambio de huso horario afecta los ritmos circadianos de las personas, generando un aumento del riesgo de infartos cardíacos (Kantermann et al., 2007; Janszky and Ljung, 2008) lo que a su vez afectaría la tasa de accidentes automovilísticos en el corto plazo luego de impuesta la medida. La otra línea de investigación, y en la cual está centrada este estudio, es analizar la relación de la medida con las tasas de accidentes de tránsito en los tramos horarios que se vieron afectados por un cambio de luminosidad durante el período completo en el que se aplica la medida, con el objetivo de cuantificar posibles diferencias en cuanto a las tasas de accidentabilidad de estos tramos horarios.

La tercera sección tiene por objetivo explicar en detalle la historia del huso horario oficial en Chile y la modificación al huso horario que se realizó en enero de 2015. Además, se analiza el concepto de luminosidad utilizado, los efectos directos que tiene el cambio de régimen horario sobre la luminosidad

de los distintos tramos horarios y el efecto sobre la duración de los días durante los meses de estudio entre 2014 y 2015.

En la cuarta sección se presentan los datos utilizados para realizar las estimaciones y un análisis descriptivo de ellos. En la quinta sección se explican los diferentes métodos no-paramétricos que se utilizaron para identificar los posibles cambios en accidentes y flujos. Luego, en la sexta sección se presentan los resultados obtenidos, para después, en la séptima sección realizar un análisis de bienestar social para determinar los beneficios reales que tuvo la medida; y por último, en la octava sección se expone una breve conclusión sobre los resultados obtenidos.

## 2. Revisión de la literatura

Como se dijo anteriormente, se hará una revisión de la literatura que analiza los cambios de “largo plazo” de las medidas DST. Esto quiere decir que se evaluará el impacto sobre el período completo que abarca el cambio de huso horario o una fracción importante de éste, y no se centrará en evaluar los efectos de corto plazo de la medida (al día o a la semana siguiente de efectuado el cambio).

La relación del efecto luminosidad sobre la tasa de accidentes automovilísticos ha sido un tema bastante discutido en las últimas décadas. Por un lado, se encuentra abundante evidencia de una reducción de los accidentes totales de tránsito tanto en accidentes automovilísticos como de peatones cuando se adelanta una hora hacia el horario de verano, es decir, se oscurece una hora más tarde (Ferguson et al., 1995; Sood and Ghosh, 2007; Meyerhoff, 1978).

Por otro lado, existe evidencia de que la tasa de accidentes de automóviles no se reduce significativamente luego de una medida DST, sin embargo, sí lo hace la tasa de accidentes que involucran peatones o ciclistas (Sullivan and Flannagan, 2002). En la misma línea existen estudios que demuestran una mayor probabilidad de accidentes durante la noche en vías urbanas y rurales (Herd et al., 1980).

Existen estudios realizados en Estados Unidos que a través del uso de simulaciones de ecuaciones trigonométricas evalúan el impacto que tiene la posición del sol sobre la tasa de accidentes de tránsito, éstos concluyen que la oscuridad conlleva a una mayor cantidad de accidentes y que la severidad de los accidentes aumenta a medida que la luminosidad disminuye (Broughton and Stone, 1998). Por otro lado, analizando períodos de tiempo en los que se ha suprimido el cambio de huso horario de invierno

en Gran Bretaña se encuentra evidencia de una disminución significativa en la tasa de accidentes de tránsito en los tramos horarios expuestos a una mayor luminosidad ambiental, así como también una disminución de la cantidad de personas fallecidas en los mismos (Broughton and Sedman, 1989).

Los estudios anteriores utilizan generalmente modelos paramétricos para dimensionar las variaciones, los modelos más utilizados son regresiones OLS en donde se utiliza como variable dependiente el logaritmo del nivel de accidentes para un período determinado (Ferguson et al., 1995; Sood and Ghosh, 2007). Dentro de la línea de investigación de corto plazo es posible encontrar la utilización de modelos con distribuciones Poisson y Binomiales negativas, ampliamente reconocidas en modelos con datos de conteo (Lahti et al., 2010; Lord et al., 2005).

En este trabajo intentaremos identificar la relación entre la luminosidad y la tasa de accidentes de tránsito y los flujos vehiculares para la zona central de Chile. Para realizar esto se hará uso de estimaciones no-paramétricas de diferencias de medias. Más adelante se expondrán argumentos por los cuales no es correcto utilizar métodos paramétricos para estimar econométricamente cambios en las tasas de accidentes de tránsito producto de variaciones en la luminosidad ambiental.

### **3. Cambio de Huso Horario y Luminosidad**

#### **3.1. Historia de la Hora Oficial en Chile**

Para comprender la decisión que toma el gobierno en torno a la eliminación del cambio de huso horario, es necesario analizar la historia nacional de dichos cambios y su finalidad. Todo comienza en enero de 1910 cuando por primera vez se establece un único huso horario para toda la República, se implementa entonces la hora del meridiano 75° oeste que corresponde al huso horario GMT-5<sup>3</sup>. La utilización de dos Husos Horarios diferenciados se efectúa en Chile por primera vez en 1927 con el objetivo de tener un mejor aprovechamiento de la luz. Se estableció el horario de GMT-5 para el invierno y el horario de GMT-4 para el verano, efectuándose los cambios el 1° de abril y el 1° de septiembre de cada año.

Luego, en 1946 ante la incapacidad de las plantas hidroeléctricas de satisfacer las demandas de energía eléctrica para la industria, comercio, residencias y alumbrado público<sup>4</sup>, se determinó un horario

---

<sup>3</sup>Se utiliza esta notación ya que la convención internacional del UTC se crea a partir del año 1960.

<sup>4</sup>Fuente del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA).

diferenciado de verano (GMT-3) para Santiago y la zona central, y un horario de GMT-4 para el resto del país por el período de un año. En el año 1947 se vuelve al huso horario único de invierno (GMT-4) para todo el territorio nacional.

En 1968 producto de la sequía más grande del siglo XX en Chile y de una alta dependencia hidroeléctrica, el gobierno de Eduardo Frei Montalva decretó la medida de adelantar los relojes (UTC-3) durante la época de verano con el objetivo de disminuir la demanda eléctrica de aquellos años. A esta medida se le llamó la “hora económica”. Como el año siguiente también fue seco, se decidió volver a aplicar el cambio de horario de verano UTC-3 con el mismo objetivo. Finalmente en 1970 el Ministerio del Interior decreta oficialmente la política del huso horario diferenciado para las épocas de verano e invierno en el país, estableciéndose el horario de verano desde el segundo sábado del mes de octubre hasta el segundo Sábado del mes de marzo próximo.

Desde aquel año hasta el 2014 el horario de invierno y verano siempre se ha respetado a pesar de que las fechas en las cuales se han adelantado y retrasado los relojes han variado por diversas razones. Sin embargo, nunca el horario de invierno se había retrasado más allá del 8 de mayo. Las fechas en las cuales se han realizado los cambios de huso horario en los últimos años se pueden observar en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1: Cambios de huso horario en los últimos años

Año	Huso Horario	Período
2012	UTC-3	Desde las 00:00 Horas del 21-08-2011 hasta las 24:00 Horas del 27-04-2012
	UTC-4	Desde las 00:00 Horas del 28-04-2012 hasta las 24:00 Horas del 07-09-2012
2013	UTC-3	Desde las 00:00 Horas del 08-09-2012 hasta las 24:00 Horas del 26-04-2013
	UTC-4	Desde las 00:00 Horas del 27-04-2013 hasta las 24:00 Horas del 07-09-2013
2014	UTC-3	Desde las 00:00 Horas del 08-09-2013 hasta las 24:00 Horas del 26-04-2014
	UTC-4	Desde las 00:00 Horas del 27-04-2014 hasta las 24:00 Horas del 06-09-2014
2015	UTC-3	Desde las 00:00 Horas del 07-09-2014 hasta las 24:00 Horas del 25-03-2017

En enero de 2015 el gobierno decide suprimir el horario de invierno utilizando como principal argumento el escaso ahorro energético que este produce (Instituto de Asuntos Pùblicos, 2009; Departamento de Ingeniería Eléctrica, 2015). Se menciona que la dependencia hidroeléctrica ha disminuido notablemente en las últimas décadas, lo que ha permitido que el suministro de energía eléctrica no dependa exclusivamente de las precipitaciones, por lo que las sequías ya no serían la principal causa

de los problemas energéticos. Se incluyen además argumentos como el hecho de que el 75 % de la población mundial vive bajo un único régimen horario, los nulos efectos que la medida tiene sobre los accidentes vehiculares en el corto plazo y que la implementación de dos husos horarios diferenciados durante el año provoca una serie de efectos dañinos sobre la salud de las personas (Comisión de Energía y Minería, 2015).

Debido a lo anterior, resulta interesante analizar el impacto que tiene esta medida sobre los accidentes que ocurren en las horas en las cuales efectivamente se produce un cambio en la luminosidad durante el año 2015. A su vez, evaluar como fluctúa la tasa de accidentes por unidad de flujo vehicular en dichos tramos horarios. Se evalúan los meses en que rige el nuevo huso horario impuesto por el gobierno (mayo, junio y julio de 2015), en contraste con los accidentes ocurridos en el año anterior para el mismo período. Los cambios en los horarios de amanecer y atardecer<sup>5</sup> que provoca la medida en el año 2015 pueden ser observados en la Tabla 3.2, donde se tabulan los días número 21 de cada mes.

Tabla 3.2: Amanecer y atardecer días 21 de cada mes año 2015 Región Metropolitana

Horario de Verano (UTC-3)		Horario de Invierno (UTC-4)			
	Amanecer	Atardecer			
Enero	6:26	21:21	Enero	5:26	20:21
Febrero	6:58	20:54	Febrero	5:58	19:54
Marzo	7:22	20:18	Marzo	6:22	19:18
Abril	7:44	19:39	Abril	6:44	18:39
Mayo	8:05	19:14	Mayo	7:05	18:14
Junio	8:19	19:10	Junio	7:19	18:10
Julio	8:15	19:23	Julio	7:15	18:23
Agosto	7:49	19:43	Agosto	6:49	18:43
Septiembre	7:09	20:03	Septiembre	6:09	19:03
Octubre	6:29	20:26	Octubre	5:29	19:26
Noviembre	6:01	20:57	Noviembre	5:01	19:57
Diciembre	6:00	21:21	Diciembre	5:00	20:21

### 3.2. Luminosidad

Se ha hablado anteriormente sobre cambios en la luminosidad ambiental, sin embargo, aún no se han explicado las definiciones que se toman en cuenta para analizar los cambios de luminosidad en los

<sup>5</sup>Entendidos como Aurora Civil y Crepúsculo Civil que serán explicados en la sección de Luminosidad.

diferentes tramos horarios durante el día. El estudio se centra en analizar los cambios en accidentes automovilísticos y flujos vehiculares en la zona central de Chile, en específico, las regiones de estudio son la región de Valparaíso, la región Metropolitana de Santiago y la región del Libertador General Bernardo O'Higgins.

Para identificar la variación de luminosidad vamos a utilizar las definiciones de **Crepúsculo Civil** y **Aurora Civil** proporcionadas por la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC), entidad a cargo del Ministerio de Defensa Nacional de Chile.

La Aurora Civil comienza cuando el centro del Sol se encuentra  $6^{\circ}$  grados sexagesimales por debajo del horizonte. En este instante, empiezan a desaparecer las estrellas de primera magnitud y los planetas, los objetos pueden distinguirse fácilmente y el horizonte del mar es claramente visible (DGAC). En este momento ya no es necesaria la utilización de iluminación artificial y comienza a amanecer.

Por el otro lado, el Crepúsculo Civil termina cuando el centro del Sol se encuentra  $6^{\circ}$  grados sexagesimales por debajo del horizonte. En este instante, empiezan a aparecer las estrellas de primera magnitud y los planetas, los objetos dejan de distinguirse fácilmente y el horizonte del mar ya no es claramente visible (DGAC). Cuando el Sol se encuentra por debajo de esta posición, las actividades en las ciudades requieren de iluminación artificial, comúnmente lo que se conoce como atardecer.

Tabla 3.3: Horarios amanecer y atardecer principales ciudades

Fecha	Aurora Civil			Crepúsculo Civil		
	Mayo	Junio	Julio	Mayo	Junio	Julio
<b>Viña del Mar</b>						
Año 2015	8:07	8:22	8:18	19:18	19:14	19:28
Año 2014	7:07	7:22	7:18	18:18	18:14	18:28
<b>Santiago</b>						
Año 2015	8:05	8:19	8:15	19:14	19:10	19:23
Año 2014	7:05	7:19	7:15	18:14	18:10	18:23
<b>Rancagua</b>						
Año 2015	8:06	8:21	8:17	19:13	19:09	19:23
Año 2014	7:06	7:21	7:17	18:13	18:09	18:23

Por lo tanto, entenderemos como tramos horarios que gozan de luminosidad ambiental los tramos

comprendidas desde que comienza la Aurora Civil matutina hasta que termina el Crepúsculo Civil vespertino, el resto de los tramos se asume que no gozan de luminosidad ambiental. En la Tabla 3.3 se observan los horarios de Auroras y Crepúsculos Civiles para las principales ciudades de las regiones estudiadas los días 21 de cada mes.

Por ende, los tramos horarios en los que se centrará el análisis, serán los tramos que durante un año se encontraban dentro del período diurno y el siguiente año pasaron a formar parte del período nocturno y viceversa.

## 4. Datos y Estadística Descriptiva

### 4.1. Datos

Los datos utilizados para analizar los accidentes de tránsito corresponden a la información entregada a nivel nacional por el Sistema Integrado Estadístico de Carabineros (SIEC-2)<sup>6</sup> y la Comisión Nacional de Seguridad de Tránsito (CONASET) para el período entre enero del año 2000 y agosto del año 2015. Por accidente de tránsito se entiende que “*es el suceso imprevisto producido por la participación de un vehículo o más en las vías o carreteras y que ocasiona daños materiales, lesiones en las personas y hasta la muerte de las mismas*”<sup>7</sup>. Con la información anterior se creó un panel de accidentes de tránsito detallados por fecha (día, hora y minutos), causa, tipo de accidente, cantidad de lesionados por gravedad y muertos, comuna, región, tipo de calzada, condiciones de calzada, estado de calzada, condiciones meteorológicas, entre otras características. Éste permite desglosar la información de manera de poder identificar los siniestros en cada uno de intervalos horarios sobre los cuales vamos a estimar la relación con la luminosidad que estamos buscando.

Los datos de carreteras corresponden a los flujos vehiculares de las tres principales concesionarias de Santiago Metropolitano (Grupo Costanera SpA, Vespucio Norte Express y Autopista Central) y las concesiones interurbanas de la zona central de Chile. Se cuenta con la información entre los meses de enero y agosto de los años 2014 y 2015 proporcionada por el Departamento de Coordinación de Concesiones de Obras Públicas, entidad dependiente del Ministerio de Obras Públicas. Con la infor-

<sup>6</sup>Información corroborada a día 12 de noviembre de 2015.

<sup>7</sup>Para incluir un accidente de tránsito en el registro del SIEC-2, es necesario que este accidente haya sido denunciado a Carabineros, sin importar si Carabineros concurre o no al sitio del suceso. Los accidentes en los cuales solo se deja una constancia para efectos de seguros, fines generales o de otro tipo, no son incluidos en el sistema.

mación se creó un nuevo panel con los flujos vehiculares de cada pórtico<sup>8</sup> de las diferentes autopistas con su fecha (día, hora) y el tipo de vehículo medido. Los detalles para las zonas urbana e interurbana se presentan en las Tablas 1.8 y 1.9 del Anexo.

Además, se cuenta con la base de datos de los Detectores para Censo proporcionada por la Unidad Operativa de Control de Tránsito (UOCT) para los meses de marzo a julio de los años 2014 y 2015. Se creó un tercer panel con los flujos vehiculares de cada punto de medición<sup>9</sup>, el detalle se presenta en la Tabla 1.10 del Anexo. La información contiene los flujos de cada pórtico, por fecha y hora de cada uno de ellos.

Se obtuvo la serie de feriados oficiales de Chile a partir de la información del Diario Oficial, el sitio Ley Chile y de la Biblioteca del Congreso Nacional recopilados por Miguel Farah (Tabla 1.11 del Anexo). Para la serie de pre-emergencias ambientales y emergencias ambientales se utilizó la base de datos proporcionada por UOCT (Tabla 1.12 del Anexo). Para los niveles anuales de parque vehicular se utilizaron datos del Instituto Nacional de Estadísticas (INE). Los datos mensuales de transporte público para Santiago, tanto de Transantiago como de Metro S.A, fueron proporcionados por el Directorio de Transporte Público Metropolitano (DTPM) a través del Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones (MTT).

Por último, la serie de controles policiales a vehículos<sup>10</sup> y la serie de delitos<sup>11</sup> fueron proporcionadas por el departamento de Información pública y Lobby de Carabineros de Chile.

#### 4.2. Estadística Descriptiva

Como ya se ha descrito, el trabajo se enfocará en el impacto que provocó la medida del cambio de huso horario sobre los accidentes de tránsito y los flujos vehiculares de la zona central de Chile en los tramos en que existió un cambio evidente de luminosidad desde el año 2014 al año 2015. Cuando se hable de zona central del país, corresponderá al territorio de las regiones de Valparaíso, región Metropolitana de Santiago y región del Libertador General Bernardo O'Higgins<sup>12</sup> (Figura 1.18 del

<sup>8</sup>Para la zona urbana se utilizó la información de 84 pórticos, se excluyeron dos pórticos que no estaban instalados en 2014 en la Autopista Central. Para la zona interurbana se utilizó la información de 46 pórticos.

<sup>9</sup>De los 20 puntos de medición para censo que arrojan valores reales, se excluyeron 4 puntos por construcciones en Vicuña Mackenna y errores de medición en Pocuro y Francisco Bilbao sentido Poniente - Oriente, además se eliminaron períodos de tiempo en cada una de los puntos que presentaban fallas.

<sup>10</sup>Corresponden a todos los controles policiales realizados por Carabineros de Chile a nivel nacional.

<sup>11</sup>Corresponde al registro de denuncias y detenciones de los delitos de hurto, robo con violencia, intimidación y sorpresa registrados a nivel nacional por Carabineros de Chile.

<sup>12</sup>Corresponden a la V, XIII y VI región respectivamente.

Anexo).

Se eligió la zona central de Chile para este estudio por diversas razones. La primera, es que en dicho territorio ocurren cerca del 50% de los accidentes de tránsito del país, por lo que se considera una muestra suficientemente representativa de los siniestros. En segundo lugar, es fundamental poder evaluar el comportamiento de los flujos vehiculares en estas horas críticas, con el objetivo de poder calcular el cambio en la tasa de accidentalidad por unidad de flujo vehicular de dichos tramos posterior a la implementación de la medida.<sup>13</sup> En tercer lugar, la medida afecta de manera diferente a las distintas zonas geográficas del país. En las zonas extremas de Chile el cambio de luminosidad se produce en tramos horarios distintos a los de la zona de estudio, por lo tanto, se espera que el impacto sea totalmente distinto. La razón para descartar estas zonas es que no se cuenta con una cantidad de observaciones suficiente en dichas regiones que nos permitan realizar análisis estadísticos para cada una de ellas. Por último, se comprobó que los tramos que sufren cambios de luminosidad en la zona central concuerdan con los horarios de mayores flujos de actividad, cualidad que nos permite observar de mejor manera la relación que tiene la luminosidad sobre la tasa de accidentes.

Prácticamente toda la estadística que se mencione en esta sección corresponderá a datos entre mayo y julio de los años 2014 y 2015 a nivel de la zona central, a menos que se especifique lo contrario. Cuando se hable de horario punta de la mañana y de la tarde, se referirá a los tramos de flujo *peak* para la Región Metropolitana establecidos por el Directorio de Transporte Público Metropolitano (DTPM, entidad gubernamental que regula Transantiago y Metro S.A.), que corresponden al intervalo de las 7:00-9:00 horas y al intervalo de las 18:00-20:00 horas respectivamente.

Lo primero que se analizó fue que hubo una disminución de los accidentes de tránsito a nivel nacional durante el año 2015 con respecto al año anterior de un 1.7%, como se indica en la Figura 4.1. Si bien la disminución es pequeña al analizar la fluctuación de la serie, una de las primeras hipótesis que podrían estar explicando esta disminución son los controles policiales, ya que es posible que un aumento en dicha variable afecte negativamente la tasa de accidentes vehiculares en nuestro país.

En la Figura 4.2 se puede observar que no existe una relación permanente entre niveles de controles policiales y accidentes, así como tampoco se observa una relación entre la variación porcentual de dichas diferencias, pudiendo descartar que la disminución haya sido provocada por un alza en dicha variable.

---

<sup>13</sup>Los datos de flujos vehiculares disponibles en Chile se encuentran principalmente en esta zona.

Figura 4.1: Total de accidentes mayo-junio-julio en Chile

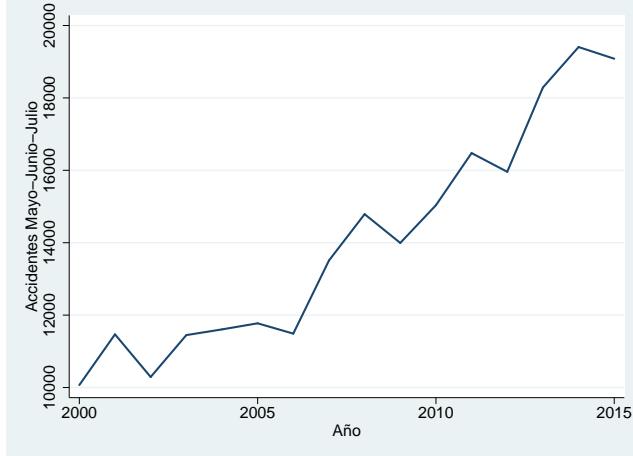
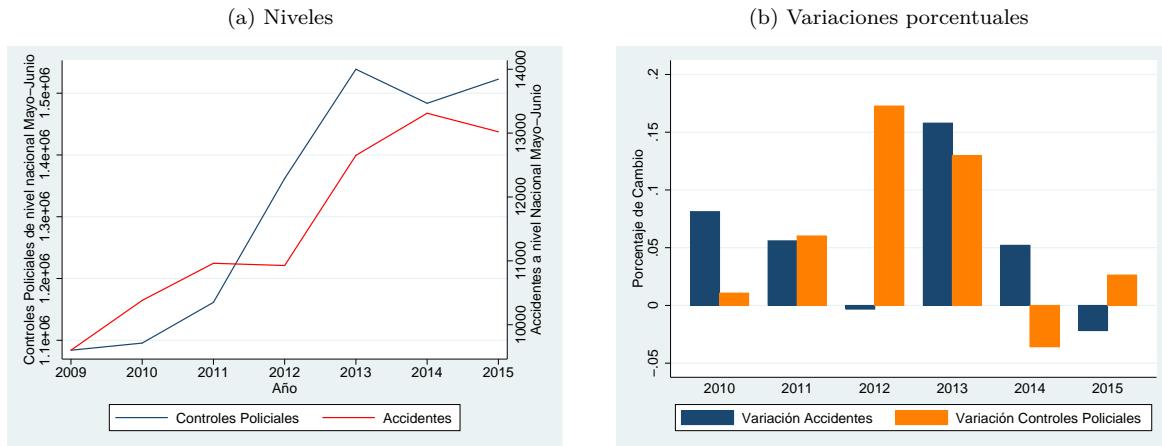


Figura 4.2: Controles policiales v/s accidentes de tránsito período mayo-junio



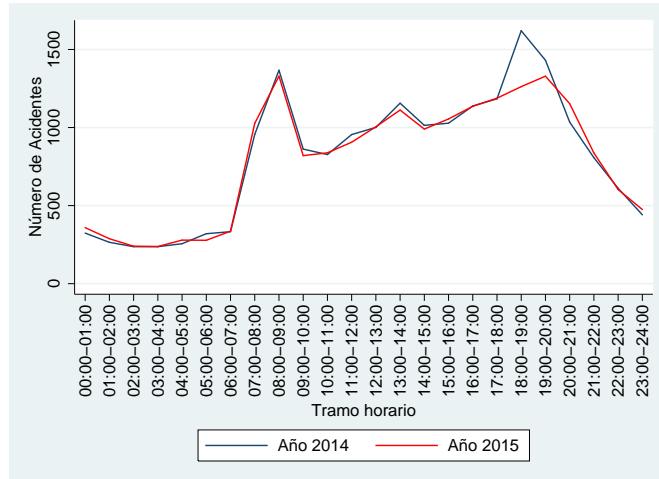
Si bien es importante analizar el comportamiento de los niveles totales de accidentes, nuestro principal objetivo son los tramos horarios específicos en los cuales existió un cambio de luminosidad evidente entre el año 2014 y el año 2015. Basándonos en las definiciones de Aurora Civil (también llamado Crepúsculo Civil Matutino) y Crepúsculo Civil (también llamado Crepúsculo Civil Vespertino) explicadas anteriormente, y utilizando las tablas de la DGAC para las capitales de cada región (como se puede observar en la Tabla 1.13 del Anexo), se concluye que dichos intervalos corresponden en

promedio a las 7:13-8:13 horas de la mañana y a las 18:18-19:18 durante la tarde.<sup>14</sup>.

Para identificar donde se produce la mayor disminución de accidentes, vamos a desglosar los dos últimos años de la Figura 4.1 en tramos de una hora. Los resultados se observan en la Figura 4.3.

Si analizamos las horas que corresponden a los tramos que nos interesan, podemos observar como la magnitud de disminución es bastante evidente en los accidentes del período punta de la tarde. Para la mañana se observa un aumento de un 7.4 % para el período de las 7:00-8:00 horas, que abarca en su mayoría al tramo en el cual se produce un descenso notorio en la luminosidad durante el 2015. Además se observa una disminución de un 2.8 % para el período de las 8:00-9:00 horas, período que en su mayoría se encuentra con una luminosidad similar de un año para otro (a excepción del intervalo de las 8:00-8:13 horas). Para la tarde, observamos una disminución de un 22.1 % para el período de las 18:00-19:00 horas y una disminución de un 7.1 % para el período de las 19:00-20:00 horas. Resultados que concuerdan con la literatura, en que un aumento de la visibilidad afecta negativamente la tasa de accidentes de tránsito.

Figura 4.3: Total de accidentes mayo-junio-julio 2014 y 2015 en Chile



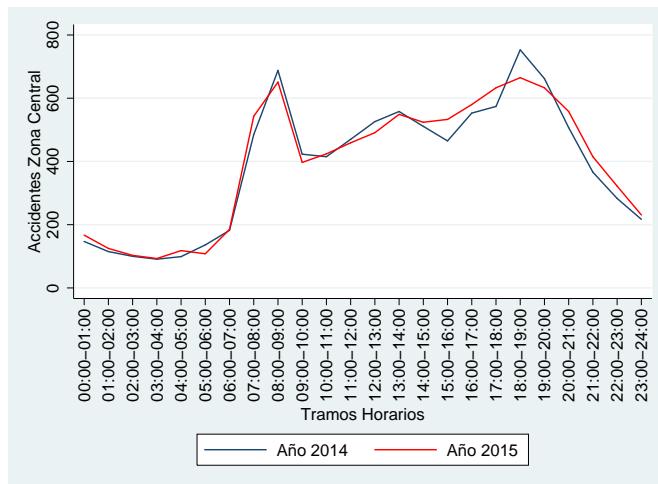
Como se dijo en las secciones anteriores, el cambio de huso horario en Chile modificó la luminosidad de los horarios punta de la mañana y de la tarde. Por lo tanto, por un lado es esperable encontrar

<sup>14</sup>Se realizó un promedio simple con las Auroras Civiles y los Vespertinos Civiles diarios de las tres tablas de la DGAC de la zona central para cada año.

un aumento en dichos siniestros durante la hora matutina que se vio afectada por una disminución de la visibilidad ambiental (7:13-8:13 horas), y por el otro es esperable una disminución de accidentes en la hora vespertina que se vio afectada por un aumento de dicha visibilidad (18:18-19:18 horas). Esto siempre y cuando supongamos *ceteris paribus* para las demás variables que puedan afectar dicha cantidad de accidentes, como por ejemplo, los flujos vehiculares, tema que abordaremos más adelante.

A continuación, vamos a realizar el mismo análisis por hora pero para nuestra zona de estudio, correspondiente a las regiones de la zona central de nuestro país. Los resultados se observan en la Figura 4.4.

Figura 4.4: Total de accidentes mayo-junio-julio 2014 y 2015 en zona central



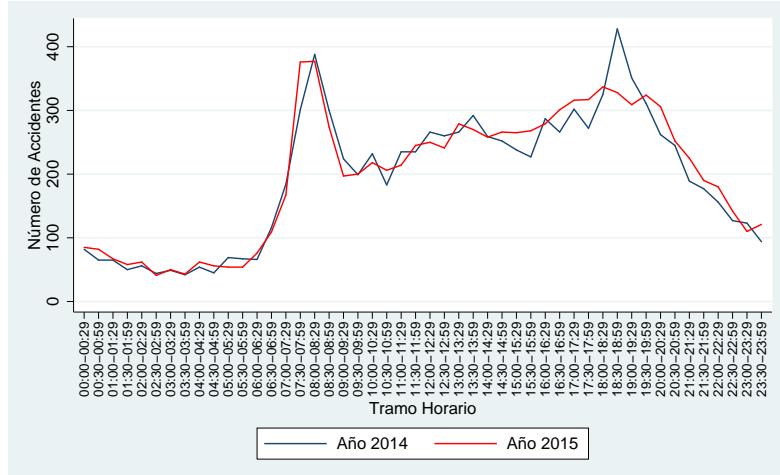
Podemos ver que se mantienen los resultados obtenidos a nivel nacional. En el primero de los tramos que corresponden al horario punta de la tarde (18:00-19:00 horas) se observa una disminución de un 11.7% y para el segundo tramo de la punta se puede apreciar una disminución de un 4.4%. Por el otro lado, el tramo 7:00-8:00 horas presenta un aumento de un 12% y el tramo 8:00-9:00 horas presenta una disminución de un 5.4% (tramo que en su mayoría no se encuentra afectado por la luminosidad). Estos resultados concordarían con la hipótesis planteada anteriormente, de que el factor luminosidad estaría afectando dichos cambios, a excepción del segundo tramo de la mañana, aunque que éste se encuentra parcialmente afectado por la luminosidad. Este problema nos lleva a realizar una modificación con respecto a la ventana de tiempo que se está utilizando para agrupar los siniestros de manera de poder identificar de mejor manera los tramos afectados por un cambio de

luminosidad.

Por lo tanto, para identificar mejor aun los cambios ocurridos en los tramos de interés vamos a utilizar intervalos de 30 minutos para observar las diferencias entre un año y otro, recordando que los tramos que nos interesa evaluar son las 7:13-8:13 horas en la mañana y las 18:18-19:18 horas en la tarde. Los resultados se encuentran en la Figura 4.5.

Ahora hemos podido identificar tramos que se vieron completamente afectados por un cambio en la luminosidad desde el año 2014 al año 2015. Se observa un aumento de un 24.9 % en el tramo que corresponde a las 7:30-8:00 horas. También podemos notar disminuciones de un 23.4 % en el tramo que corresponde a las 18:30-19:00 horas (el cual se encuentra afectado en un 100 % por el cambio de luminosidad) y de un 12 % en el tramo correspondiente a las 19:00-19:30 horas (el cual se encuentra afectado en un 60 %). Dichos resultados concuerdan con lo que esperábamos obtener en cuanto a que el cambio en la luminosidad ambiental afecta considerablemente el nivel de accidentes de tránsito.

Figura 4.5: Total de accidentes zona central mayo-junio-julio 2014 y 2015



Se realizó el mismo análisis para los diferentes tipos de accidentes para chequear si los resultados se mantienen, efectivamente para el caso de choques, colisiones y atropellos se comprueba que los cambios son similares al nivel agregado de todos los siniestros (Figuras 1.19 y 1.20 del Anexo). Sin embargo, es necesario advertir que la variable de atropellos reacciona con mayor sensibilidad al cambio de luminosidad, ya que se observa un aumento promedio de un 53.6 % de los atropellos en los tramos

horarios matutinos (7:00-8:30) y una disminución de un 40.3% en los tramos horarios vespertinos (18:00-19:30). Esta mayor volatilidad concuerda con la literatura existente (Sullivan and Flannagan, 2002). Al mismo tiempo es necesario decir que esta variable presenta mayor ruido, puesto que estamos hablando de tan solo un 12% de los accidentes de tránsito totales durante los períodos de estudio (Tabla 1.14 del Anexo). Ambos gráficos confirman el comportamiento esperado de los siniestros entre períodos. Es necesario advertir que la significancia de los resultados obtenidos dependerá de las pruebas no-paramétricas que realizaremos en la siguiente sección.

Si bien los resultados en tasas de accidentes pueden ser significativos, lo que principalmente nos interesa estudiar es el cambio en la tasa de accidentabilidad de dichos tramos, es decir, la cantidad de accidentes por unidad de flujo vehicular para cada uno de ellos. Por lo que resulta de suma importancia realizar el análisis de accidentes conjuntamente con un análisis de los flujos vehiculares.

Lo que haremos será analizar los cambios en los flujos vehiculares (en la zona central del país durante los meses de estudio) para determinar si efectivamente la medida tiene alguna relación con la actividad vehicular. En especial vamos a analizar cómo cambiaron los flujos vehiculares de cada uno de los tramos horarios desde el año 2014 al año 2015, filtrando la información por una serie de factores que nos permitan dilucidar si existe un traslado de flujos posterior al cambio de huso horario impuesto por el gobierno.

Trabajaremos con tres bases de datos distintas para analizar los flujos vehiculares. La primera de ellas corresponde a los flujos de las autopistas concesionarias urbanas de Santiago (el mapa de las autopistas se puede observar en la Figura 1.21 del Anexo).

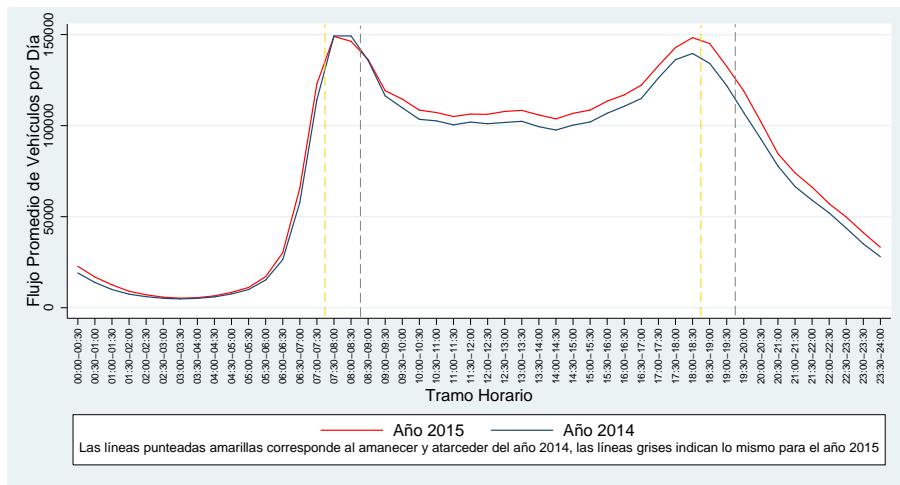
Para evaluar los cambios producidos en cada uno de los tramos horarios (en este caso intervalos de 30 minutos) lo que se hizo fue sumar para cada uno de los intervalos de tiempo los flujos diarios contabilizados en cada uno de los pórticos de medición, luego se calculó el promedio de dicha suma durante los tres meses de estudio de cada uno de los años para cada intervalo de tiempo.<sup>15</sup> Los resultados obtenidos se presentan en la Figura 4.6.

Las líneas punteadas corresponden al horario promedio del amanecer y el atardecer de ambos años (líneas doradas corresponden al año 2014). Los flujos vehiculares en el año 2015 son mayores a los observados en el año 2014 para la mayoría de los tramos. Como era de esperarse, ya que según datos

<sup>15</sup>Se contabilizaron los flujos vehiculares de todos los pórticos que existían en ambos años y se filtraron los días feriados y fines de semana según la Tabla 1.11 del Anexo.

del Registro Civil, para el año 2015 se espera que el parque vehicular aumente en torno al 7% para la Región Metropolitana. El promedio de flujos diarios de nuestra muestra aumentó un 6.4% el año 2015. Sin embargo, es posible apreciar una disminución de un 2% en el flujo de las 8:00-8:30 horas, resultado que va a ser digno de investigar en profundidad. De hecho, se analizaron los meses de marzo y abril como contrafactuales, ya que para estos meses la luminosidad era la misma entre un año y otro. En la Figura 1.22 del Anexo es posible observar como esta disminución de accidentes en la mañana desaparece. Por otro lado, en el tramo de las 18:30-19:30 horas se observa un aumento de 8.4% de los flujos, evidencia preliminar de que el factor luminosidad podría estar desplazando parte de los flujos más elásticos en el horario punta de la mañana y de la tarde hacia los tramos horarios que evidencian una mayor luz ambiental.

Figura 4.6: Flujos vehiculares diarios de Santiago mayo-junio-julio 2014 y 2015

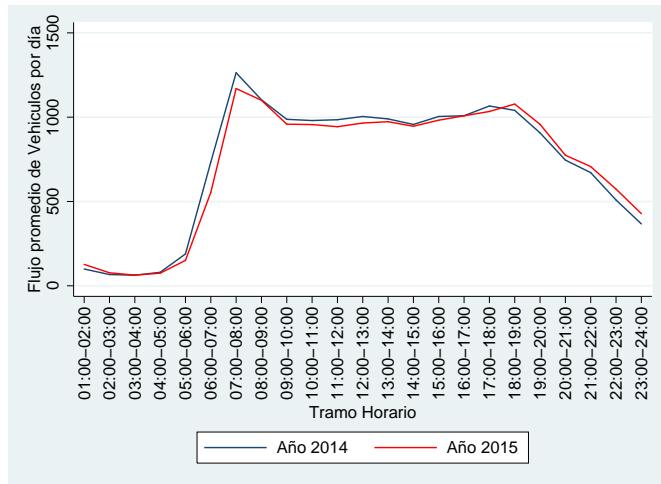


La segunda fuente de flujos corresponde a los obtenidos en calles al interior de la ciudad de Santiago por la UOCT a través de espiras electromagnéticas en el pavimento. Los puntos de medición son los observados en la Tabla 1.10 del Anexo y sus ubicaciones geográficas pueden ser observadas en la Figura 1.23 del mismo. Es necesario decir que dichos datos presentaban varios problemas de medición durante los períodos de muestra, los que fueron excluidos para realizar el análisis.

Para analizar los cambios de los flujos del año 2015 se realizó el mismo procedimiento que para los datos de las concesionarias urbanas (el intervalo disponible es de una hora en este caso). Se filtraron los días en que existieron marchas en días hábiles autorizadas por la Intendencia de Santiago, partidos de

la selección Chilena de fútbol, días interferiados (comúnmente llamados “sandwich”) y una Emergencia Ambiental según la Tabla 1.15 del Anexo. Los resultados se observan en la Figura 4.7.

Figura 4.7: Flujos vehiculares diarios UOCT mayo-junio-julio 2014 y 2015



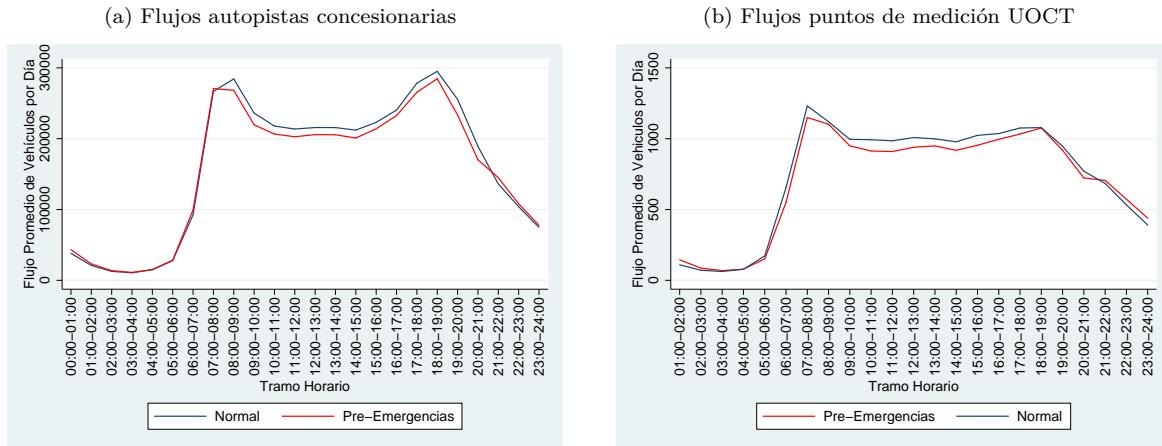
Lo interesante de estos resultados es que se observa una disminución de un 7.4% en el tramo correspondiente a las 7:00-8:00 horas de la mañana. Segundo, es posible observar como el horario *peak* de flujo de la tarde se traslada una hora hacia adelante hasta las 18:00-19:00 horas. Por último, en vez de observarse un aumento proporcional en torno a un 6% a lo largo del día producto del aumento del parque vehicular, se observa una disminución de los flujos durante el día en torno al 1.5%. Consultando la opinión de varias personas expertas en estudios de flujos vehiculares del departamento de transportes de la Pontificia Universidad Católica de Chile se recomendó tener cautela con los resultados obtenidos en cuanto a los datos obtenidos por la UOCT, debido a que por la ubicación y la escasa cantidad de puntos de medición podrían ser resultados no representativos de la provincia de Santiago. En esta sección se continuará la evaluación de esta base de datos para la ciudad de Santiago con el objetivo de testear la hipótesis planteada. Sin embargo, la información que se asumirá como representativa de la región será la proporcionada por las autopistas concesionarias urbanas.

Antes de continuar es necesario analizar una serie de hipótesis alternativas acerca de otros factores que podrían estar afectando los flujos vehiculares en los diferentes tramos horarios durante el día, ya que los cambios observados podrían ser explicados a través de otras variables diferentes al cambio de la luminosidad ambiental entre un período y otro, las que analizaremos a continuación.

La primera de ellas es que una parte de las disminuciones de flujos encontradas tanto en las autopistas concesionarias como en las mediciones de la UOCT se deban a que en 2015 existió una gran cantidad de pre-emergencias ambientales y una emergencia ambiental que impusieron restricciones vehiculares al 20 % y al 40 % de los autos catalíticos de la provincia de Santiago respectivamente, cuando en 2014 solo se decretó una pre-emergencia en dicho mes.

Para calcular en qué medida este fenómeno afecta a los flujos diarios, se compararon los flujos en días hábiles<sup>16</sup> sin restricciones vehiculares, versus días con restricción en los meses de junio y julio del año 2015. Los resultados obtenidos se encuentran en la Figura 4.8.

Figura 4.8: Comparación flujos días con y sin restricciones vehiculares junio-julio de 2015



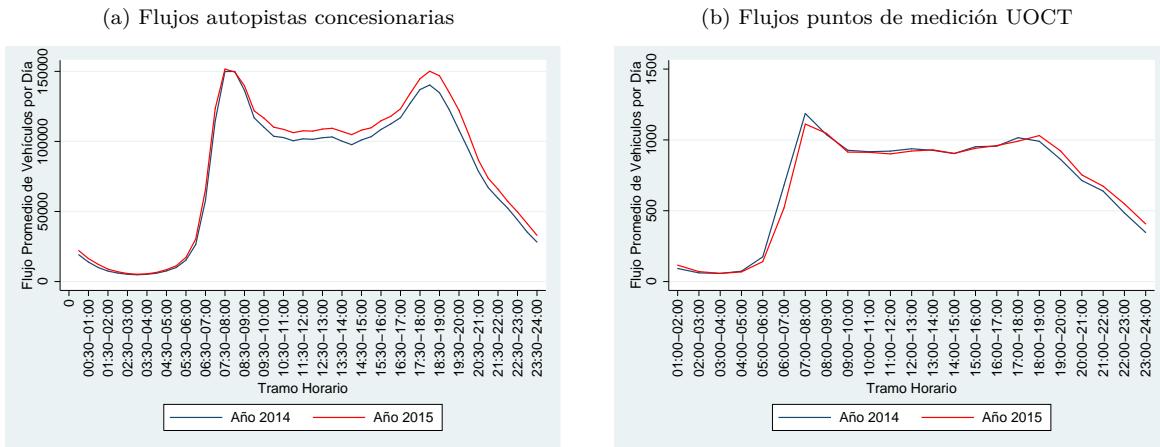
Los resultados obtenidos son similares a la literatura existente para la ciudad de Santiago (De Grange and Troncoso, 2011), encontrándose una disminución en torno a un 5 % para cada uno de los tramos comprendidos dentro de la restricción vehicular (7:30 a 21:00 para vehículos particulares), resultados que confirman la calidad de los datos de flujos analizados.

Por lo tanto, las disminuciones matutinas que habíamos observado anteriormente pueden estar influenciadas en parte por este aumento de pre-emergencias ambientales. Si excluimos el efecto de las pre-emergencias ambientales en nuestros datos, las diferencias encontradas anteriormente se atenúan. Esto se puede observar en la Figura 4.9.

<sup>16</sup>Una vez filtrados los días que se expusieron anteriormente para ambas bases de datos.

En las autopistas urbanas prácticamente desaparece la disminución en el tramo de las 8:00-8:30 horas, y se incrementa el aumento proporcional de los flujos vehiculares durante todo el día. Para el caso de las calles medidas por la UOCT al interior de Santiago, si bien desaparece la pequeña diferencia de flujos observada durante todo el día, persiste la diferencia observada en la mañana, ya que el flujo del tramo de las 7:00-8:00 horas sigue presentando una disminución de un 6.9 %. Por lo que esta hipótesis no es capaz de explicar los cambios en flujos vehiculares observados en los diferentes tramos horarios afectados por un cambio en la luminosidad ambiental.

Figura 4.9: Flujos vehiculares diarios excluyendo pre-emergencias mayo-junio-julio 2014 y 2015



Una segunda hipótesis plantea que parte de este porcentaje podría estar afectado por el paro del sindicato de profesores que afectó a más de la mitad de los colegios municipales desde el 1º junio al 27 de julio de 2015. Sin embargo, al analizar el mes de mayo como contrafactual los comportamientos se mantienen. En el caso de la información de la UOCT perdura una disminución de más de un 4 % en el tramo de las 7:00-8:00 horas (Figura 1.24 del Anexo). Evidencia suficiente para descartar esta hipótesis como posible explicación a los cambios encontrados.

Una tercera hipótesis que podría explicar por qué los flujos al interior de la ciudad de Santiago disminuyeron en la mañana, es debido a que la gente haya optado por elegir el transporte público. Hipótesis que a su vez es rechazada ya que según datos obtenidos del DTPM, la totalidad de pasajeros del primer semestre de 2014 en comparación con el mismo semestre de 2015 bajó un 2.1 %, es más, en ningún mes se reportó mayor cantidad de viajes que en el año anterior. La empresa atribuye esta

disminución a que mayo del presente año tuvo un día hábil menos y un feriado más, además de explicar que esta disminución de 6.9 millones de viajes se explica producto de la disminución de la actividad económica del país.<sup>17</sup>

Una última suposición que nos permitiría explicar en parte el por qué los flujos en las calles al interior de Santiago no experimentan un aumento proporcional al aumento del parque vehicular como lo hacen las autopistas durante el 2015, es que en los últimos años se ha incrementado el uso de transporte no motorizado a través un plan de construcción de ciclovías en diferentes comunas de Santiago. Según datos de la Secretaría de Planificación de Transporte (SECTRA) la construcción de infraestructura de ciclovías a crecido a una tasa de 25 % en los últimos años. Conjuntamente con una gran ampliación de la infraestructura durante el 2014, han comenzado a aparecer diferentes actores que promueven dicho transporte. Analizamos el proyecto de Bikesantiago<sup>18</sup>, al cual en 2014 se incorporaron progresivamente las comunas de Lo Barnechea, Ñuñoa y Providencia y en 2015 lo hicieron las comunas de Santiago, Recoleta e Independencia. Éstas últimas corresponden a las comunas donde se encuentran la mayoría de los puntos de medición de flujos de la UOCT. Hoy existen 25.000 usuarios activos, más de 1800 vehículos de transporte y cerca de 130 estaciones que han logrado superar los 1.2 millones de viajes (la gran cantidad de estaciones es posible observarla en la Figura 1.25 del Anexo).

Si incluso asumieramos dicha hipótesis como válida, es decir, que efectivamente el aumento del uso del transporte no motorizado ha ayudado a disminuir en parte la gran congestión vehicular que presenta la ciudad de Santiago, aún seguimos sin poder explicar la disminución relativa que sufren los flujos en los tramos específicos que se vieron afectados por una disminución de la luminosidad, y un aumento relativo de aquellos que se vieron afectados por un aumento de dicha variable. Por lo que ante la ausencia de otros factores que expliquen los cambios observados volveremos a la hipótesis inicial que concuerda con los datos encontrados, la cual plantea que parte de este desplazamiento de los flujos vehiculares en Santiago serían provocados por el cambio de la luminosidad en dichos tramos horarios durante el año 2015.

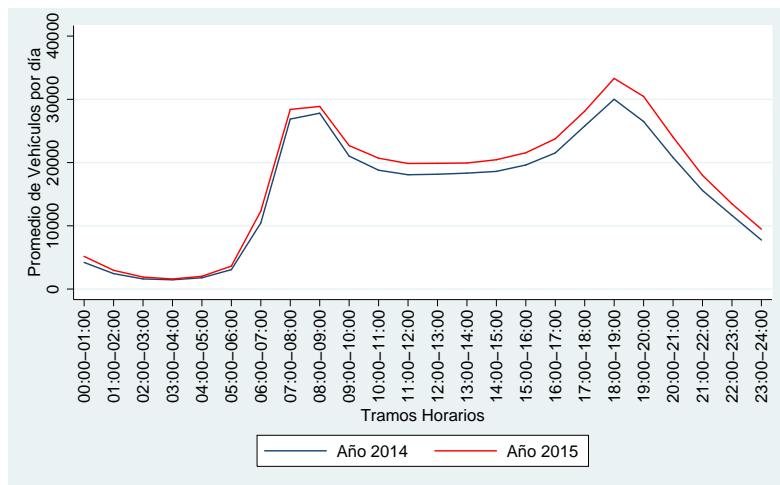
A continuación analizaremos la tercera base de datos que se encuentra disponible. Se trata de la información de los flujos de las concesiones de carreteras interurbanas dentro de la zona central de

<sup>17</sup>Un día hábil transporta aproximadamente 2.3 millones de pasajeros, por lo tanto, la disminución atribuida a la disminución de la actividad económica del país sería de 2.3 millones de pasajeros.

<sup>18</sup>Proyecto inaugurado en octubre de 2013 por B-Cycle Latam y Banco Itaú que consiste en una red de arriendo de bicicletas que permite tomar uno de los vehículos en una comuna y devolverlo en otro punto de la ciudad, que partió en la comuna de Vitacura con cerca de 30 estaciones y 300 bicicletas.

Chile que estamos analizando. La información de las concesionarias se puede observar en la Tabla 1.9 del Anexo y la localización geográfica de cada una de ellas se encuentra en la Figura 1.26 del mismo. Esta base de datos contiene los flujos vehiculares dentro de la zona central del país pero fuera de la ciudad de Santiago, permitiéndonos completar el análisis de flujos buscado. Realizando el mismo procedimiento que para las otras bases de datos, se obtuvieron los resultados que se observan en la Figura 4.10.

Figura 4.10: Flujos vehiculares interurbanos diarios mayo-junio-julio de 2014 y 2015



Al igual que en los otros dos casos, se observa el mismo fenómeno antes descrito. Es decir, una disminución relativa en los flujos que pertenecen al período punta de la mañana (aumento de 4.8 %) en comparación con los promedios diarios (10.9 %) y un aumento de los flujos de la tarde en comparación con dichos promedios (aumento de 13 %). Los desplazamientos observados son más elásticos que los encontrados para la ciudad de Santiago, resultado probable considerando que el tipo de flujos en autopistas interurbanas en días hábiles es diferente a los flujos vehiculares al interior de una ciudad.

Luego de analizar el impacto que provocó el cambio de huso horario sobre los accidentes de tránsito y los flujos vehiculares en los intervalos que vieron afectada su luminosidad entre ambos años, se puede resumir la evidencia encontrada para la zona central de Chile<sup>19</sup> de la siguiente forma:

1. Existe un aumento de un 25 % de los accidentes en el tramo horario correspondiente a las 7:30-

<sup>19</sup>Durante los meses de mayo, junio y julio de 2015 en comparación con 2014.

8:00 horas.

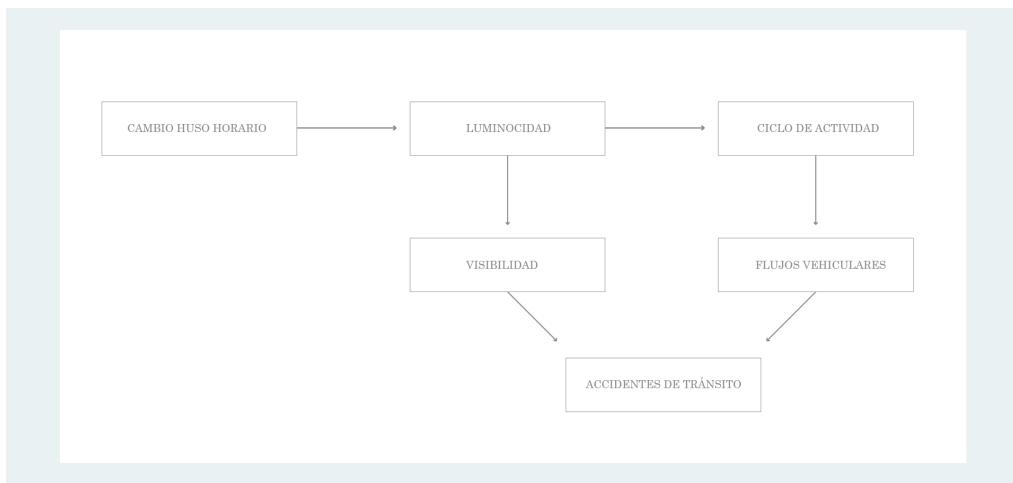
2. Hay una disminución de un 23% y de un 12% en los tramos correspondientes a las 18:30-19:00 horas y las 19:00-19:30 horas respectivamente.
3. Se observó un desplazamiento negativo de flujo vehicular durante los tramos horarios matutinos entre las 7:00-8:30 horas según dos de las tres fuentes de información, que sería atribuible a la disminución de luminosidad ambiental de dichos tramos horarios. Específicamente para las autopistas concesionarias urbanas, entre las 7:30-8:30 los flujos vehiculares disminuyeron un 1.1%. En el caso de las calles al interior de Santiago, se registró una disminución en alrededor de un 7% para el tramo 7:00-8:00 horas. Por último en las carreteras interurbanas se produjo un aumento de un 4.8% entre las 7:00-9:00 horas (cuando el promedio diario de aumento alcanzó un 10.9%). En las tres bases de datos se puede observar una disminución relativa de los flujos en torno a un 4% en estos tramos, comparando el cambio de flujo del intervalo con respecto al cambio promedio de los flujos durante el día para cada una de las bases de datos.
4. Encontramos un desplazamiento positivo de flujo vehicular durante los tramos horarios vespertinos entre las 18:30-19:30 horas según las tres fuentes de información, que sería atribuible al aumento de luminosidad ambiental en dichos tramos. Para las autopistas concesionarias urbanas entre las 18:30-19:30, los flujos vehiculares aumentaron un 8.4%. En el caso de las calles al interior de Santiago se registró un cambio en la hora punta de la tarde pasando de las 17:00-18:00 horas a las 18:00-19:00 horas y se reportó un aumento de un 3.6% para dicho tramo. Por último en las carreteras interurbanas se produjo un aumento de un 13% entre las 18:00-20:00 horas. En las tres bases de datos se puede observar un aumento relativo de los flujos en torno a un 2% en estos tramos, comparando el cambio de flujo del intervalo con respecto al cambio promedio de los flujos durante el día para cada una de las bases de datos.

La información anterior nos permite preliminarmente entender el impacto que tiene la medida del cambio de huso horario sobre los accidentes de tránsito y los flujos vehiculares. Por un lado se observa como claramente una mayor luminosidad ambiental, y por ende una mejor visibilidad de los conductores, afecta negativamente la tasa de accidentes vehiculares. Resultado coherente con la hipótesis planteada. Lo interesante de los resultados es que se observa por un lado cómo existe un desplazamiento positivo de los flujos vehiculares, provocado por un cambio en el ciclo de actividad de

las personas, hacia los tramos donde existe mayor luminosidad ambiental. Y por el otro lado, como existe una disminución relativa de los flujos en el intervalo matutino afectado por una disminución de luz solar.

Este desplazamiento de los flujos a favor de la luz ambiental, junto con el aumento de los accidentes durante los tramos correspondientes a la mañana y la disminución de los accidentes durante los tramos de la tarde, confirman los resultados que finalmente estábamos buscando en cuanto a la tasa de accidentabilidad por unidad de flujo. La hipótesis principal del trabajo supone que la tasa de accidentabilidad por unidad de flujo vehicular, lo que es similar a la probabilidad de ocurrencia de un accidente de tránsito, se ve afectada negativamente por la luminosidad ambiental. El mecanismo de impacto sobre los accidentes y los flujos se puede observar en el siguiente diagrama (Figura 4.11).

Figura 4.11: Mecanismo del impacto del cambio de huso horario sobre accidentes



El mecanismo descrito se resume de la siguiente manera: Lo primero que ocurre es que se decreta una política que modifica el huso horario en un período determinado. Dicha política tiene un impacto directo en la luminosidad de dos tramos horarios durante el día, la Aurora Civil matutina y el Crepúsculo Civil vespertino. Este cambio de luminosidad en dichos tramos genera a su vez dos efectos, por un lado tenemos un efecto claro sobre la visibilidad tanto de conductores como de peatones, que afecta directamente las tasas de accidentes de tránsito. Por el otro lado, existe un efecto sobre el ciclo de actividad de ciertas personas. Este ciclo de actividad se encuentra fuertemente relacionado

a la luminosidad ambiental, un cambio en ésta última va a provocar un desplazamiento del ciclo de actividad de éstas personas. A su vez, este cambio en el ciclo de actividad provoca un desplazamiento de los flujos vehiculares a favor del ciclo, es decir, se genera un desplazamiento negativo en los tramos que ven disminuida de luminosidad ambiental y un desplazamiento positivo hacia los tramos que comienzan a gozar de ella. Por último este cambio en los flujos vehiculares afecta directamente las tasas de accidentabilidad por unidad de flujo, que son el objetivo principal a analizar de este trabajo.

Lo que haremos en la próxima sección será definir la metodología para testear la significancia estadística de los resultados obtenidos hasta ahora, de manera de poder establecer conclusiones acerca del cambio observado en los accidentes de tránsito y en los flujos vehiculares para los tramos horarios de interés durante el año 2015.

## 5. Estrategia de Identificación

En esta sección se discutirá acerca de la estrategia de identificación y las metodologías de estimación utilizadas. Se discute la posibilidad de utilizar regresiones paramétricas para calcular el impacto de la luminosidad sobre la tasa de accidentes de tránsito en función de los flujos vehiculares. Debido a que existen problemas de endogeneidad al utilizar este método y no se cuenta con instrumentos robustos para la variable de flujos vehiculares, se utilizan métodos no-paramétricos de diferencias de medias que logran identificar de forma correcta los cambios ocurridos tanto en accidentes de tránsito como en flujos vehiculares durante el año 2015.

### 5.1. Regresiones paramétricas

Una posible estrategia de identificación es a través de la utilización de regresiones paramétricas<sup>20</sup> asumiendo una distribución conocida para la variable dependiente.<sup>21</sup> En este caso la variable de interés es el número de accidentes de tránsito ocurridos en un intervalo de tiempo definido dentro de la zona de estudio. Como se expuso anteriormente, varios trabajos han utilizado esta estrategia de identificación para estimar los cambios en accidentes de tránsito. Analizaremos tres trabajos anteriores a modo de exponer las carencias de estos modelos. El primer modelo corresponde a la estimación de largo plazo

---

<sup>20</sup>Tanto lineales como no lineales.

<sup>21</sup>Generalmente cuando estamos utilizando datos de accidentes automovilísticos es común en la literatura que se utilicen distribuciones tales como Poisson, Binomial Negativa o Zero-Inflated Poisson (Lord et al., 2005).

del paper *The short and long run effects of daylight saving time on fatal automobile crashes* (Sood and Ghosh, 2007, página 5). El modelo se puede representar por una regresión Poisson de la forma:

$$Y_t = \alpha + \beta_1 * DST + \beta_2 * year + \beta_3 * week + \epsilon \quad (1)$$

Donde la variable  $Y_t$  corresponde al número de accidentes por período  $t$  (semana) pertenecientes a una asignación geográfica. La variable  $DST$  corresponde al efecto producido por el cambio de huso horario, que corresponde a una variable *dummy* de interacción entre los años de tratamiento (en los cuales si existió un cambio de horario) y las semanas posteriores al cambio de huso horario en esos años. La variable  $year$  corresponde al efecto fijo por año y la variable  $week$  al efecto fijo por semana.

Una de las carencias importantes de esta estrategia es que no toma en consideración los efectos contrarios producidos durante la mañana y durante la tarde, ya que no se separan los accidentes por tramos horarios durante el día. Es decir, solo se está midiendo el efecto neto que produce el DST. Un segundo problema es que no toma en consideración los cambios en cuanto a flujos vehiculares que pueda estar provocando la medida, omisión de una variable relevante que genera estimadores sesgados. El principal error que tiene esta estrategia es que no considera el problema de endogeneidad presente en dicha omisión. La hipótesis detrás de esto es que los flujos vehiculares responden a la expectativa de accidentes de tránsito, la variable dependiente. De esta forma estamos frente a un problema de simultaneidad que genera estimadores sesgados e inconsistentes. La explicación detrás de esta hipótesis es que parte de los individuos que conforman la masa de flujo vehicular determinan sus decisiones de traslado en función de las expectativas de accidentabilidad en cada uno de los tramos horarios, cambiando sus patrones de actividad en base a estas expectativas, causalidad bidireccional que provoca el problema de endogeneidad en la regresión econométrica.

Un segundo modelo corresponde al paper *Daylight saving time and motor vehicle crashes: the reduction in pedestrian and vehicle occupant fatalities* (Ferguson et al., 1995, página 93). Este modelo identifica los cambios en accidentes de tránsito mortales en diferentes tramos horarios durante el día luego de un cambio de huso horario. El modelo se puede representar por una regresión lineal de la forma:

$$Y_t = \alpha + \beta_1 * Light + X'_t * \delta + \epsilon \quad (2)$$

Donde  $Y_t$  corresponde al logaritmo natural de accidentes mortales para un intervalo horario  $t$ ,  $Light$  corresponde a una variable discreta de luminosidad ambiental con tres niveles y  $X'_t$  es una serie de efectos fijos que controlan por estacionalidad, semanas y tramos horarios. Si bien este modelo se encarga de separar los efectos producidos en accidentes durante los tramos de la mañana y de la tarde, al igual que el trabajo anterior, no considera el impacto que puede tener el cambio de huso horario sobre los flujos vehiculares de dichos tramos horarios, omisión que como vimos anteriormente genera una endogeneidad econométrica que provoca el sesgo e inconsistencia de los estimadores.

El tercer ejemplo que veremos será el paper *Daylight saving time transitions and road traffic accidents* (Lahti et al., 2010, página 2). Este modelo mide los efectos de corto plazo que tiene un cambio de huso horario sobre la tasa de accidentes de tránsito. El modelo se puede representar por una regresión Poisson de la forma:

$$Y_t = \alpha + \beta_1 * DST + \beta_2 * traffic + \beta_3 * year + \beta_4 * season + X'_t * \delta + \epsilon \quad (3)$$

Donde la variable  $Y_t$  corresponde al número de accidentes por período  $t$  (semana). La variable  $DST$  corresponde a una variable *dummy* que toma el valor positivo en las semanas posteriores al cambio de huso horario en cada año. La variable *year* corresponde a una variable continua de los efectos por año (construida a partir de un *natural spline smoother*). La variable *season* corresponde al efecto fijo por estación del año, la variable *traffic* es el nivel de flujo vehicular por período y  $X'_t$  son las diferentes interacciones entre las variables anteriores. Si bien este modelo toma en consideración los flujos vehiculares como variable de control, no realiza ninguna consideración acerca de la endogeneidad que ésta variable genera.

Al parecer en la literatura no se ha tomado en consideración el problema de endogeneidad existente cuando se intenta identificar la expectativa de accidentes de tránsito en función de los flujos vehiculares. Trabajos en esta línea de investigación como *Estimating the relationship between accident frequency and homogeneous and inhomogeneous traffic flows* (Hiselius, 2004) realizan regresiones paramétricas entre ambas variables sin considerar el problema de causalidad reversa en dichas estimaciones.

Lo correcto en estos casos sería considerar la endogeneidad producida y corregirla. Para este caso en particular como no se cuenta con instrumentos robustos para la variable de flujo vehicular para todos los tramos horarios del día<sup>22</sup> se decide descartar esta estrategia de identificación para el estudio

---

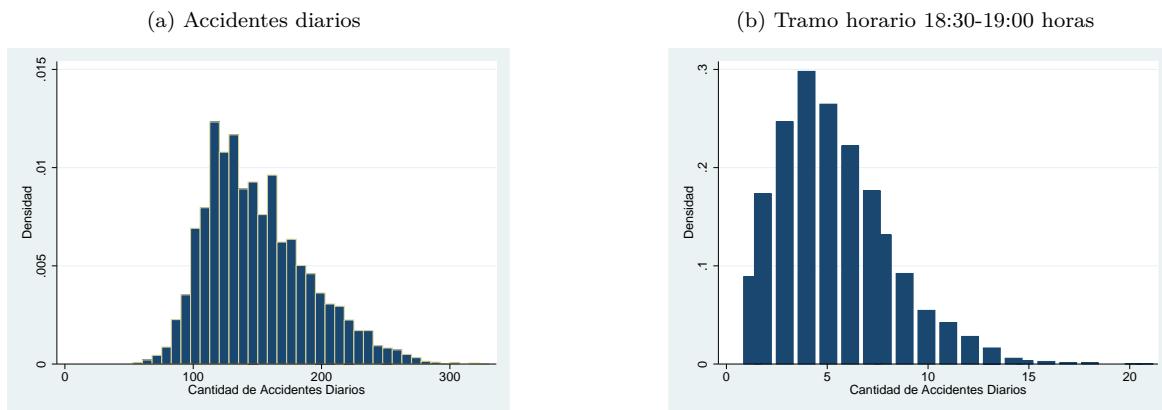
<sup>22</sup>Existen estudios que han instrumentalizado los flujos vehiculares a través de las emisiones de monóxido de carbono

realizado.

## 5.2. Estadística no-paramétrica

Para lograr identificar tanto las diferencias observadas en los accidentes de tránsito como en los flujos vehiculares durante el año 2015, recurriremos a métodos no-paramétricos que nos permitan calcular su significancia. Se justifica ampliamente la utilización de métodos no-paramétricos cuando no se posee información suficiente acerca de la distribución de donde provienen las observaciones y no es posible asumir una distribución paramétrica de los datos. En nuestro caso podemos observar claramente en la Figura 5.12 como no es posible asumir una distribución simétrica de los datos (distribución Normal) si evaluamos la serie de accidentes de tránsito. Queremos evaluar en primer lugar, si los cambios en las tasas de accidentes en cada uno de los diferentes tramos horarios son significativos. En segundo lugar testearemos la significancia de los cambios producidos en los flujos vehiculares. La principal desventaja de utilizar esta estrategia es que las pruebas no-paramétricas no prueban causalidad, sino que solo miden (dentro de otras cosas) si existen diferencias significativas entre las muestras.

Figura 5.12: Distribución accidentes de tránsito en Chile en los últimos 15 años



Como nos interesa saber si la tasa de accidentes efectivamente tuvo un cambio significativo, lo que haremos será utilizar un método no-paramétrico de diferencia de medias adecuado para evaluar si esta tasa varió significativamente de un año a otro.

(CO) por tramo horario (Gallego et al., 2013), sin embargo, este instrumento solo es confiable para los tramos horarios matutinos.

Usaremos un test dentro de la estadística no-paramétrica que nos permita cuantificar las diferencias encontradas en el primer momento central de dos muestras, los llamados *tests for the location problem*.

Con el objetivo de encontrar un test apropiado para nuestros datos, el primer supuesto que debemos descartar es la independencia de ambas muestras, tanto en accidentes como en flujos vehiculares, producto de que es altamente probable que las muestras dependen una de la otra y que provengan de la misma población. Lo anterior se entiende de la siguiente forma, en el caso de los flujos vehiculares es bastante obvio que la masa de flujo vehicular en la ciudad de Santiago en su gran mayoría es la misma entre un año y otro, por lo tanto una gran parte del flujo vehicular corresponde a los mismos vehículos (o personas) en ambos años, razón por la cual no se puede suponer que ambas muestras sean independientes. Lo mismo ocurre para la variable de accidentes si consideramos que gran parte de la masa de flujo vehicular se mantiene constante, ya que la expectativa de accidentes de tránsito en ambos años depende de las personas y vehículos expuestos a dichos siniestros, razón por la cual también debemos descartar que ambas muestras sean independientes. Es por esto que el test apropiado se encuentra dentro de la rama de la estadística no-paramétrica con muestras relacionadas.

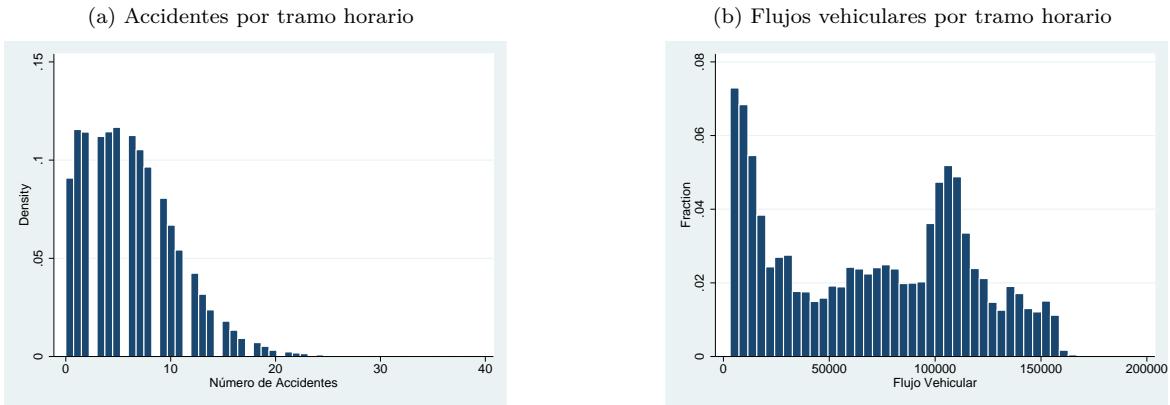
Segundo, las variables específicas que testearemos serán el número de accidentes de tránsito y el nivel de flujo vehicular por día, para cada uno de los tramos de treinta minutos dentro de la zona de estudio, comparando la distribución de los accidentes de mayo, junio y julio de 2014 con la distribución para los mismos meses del año 2015. Como podemos observar en la Figura 5.13 ambas variables en nuestro caso son discretas, por lo tanto el test apropiado para nuestros datos no puede asumir que las poblaciones de donde provienen las observaciones sean continuas.

Tomando en consideración las propiedades de los datos anteriormente descritas, el método utilizado corresponde a una modificación de la *Prueba de los Rangos con Signo de Wilcoxon* (Wilcoxon, 1945), llamada “*Modified Wilcoxon Signed-Rank Test*” (Oyeka and Ebuh, 2012).

El *Wilcoxon Signed-Rank Test* a diferencia de otros test de diferencias de medias (Snedecor and Cochran, 1989), toma en consideración no solo el signo sino también la magnitud de las diferencias entre las observaciones. Además relaja la condición de que ambas muestras necesariamente deben tener la misma cantidad de observaciones. Los supuestos implícitos bajo este test es que ambas muestras tienen una función de distribución acumulada continua y estrictamente creciente (al menos en la vecindad de la mediana), y que ambas muestras tienen una mediana (Gibbons and Chakraborti, 2011).

Las limitaciones de este test es que excluye las parejas de observaciones con diferencias nulas,

Figura 5.13: Distribuciones variables de interés zona de estudio



además de no permitir empates en la magnitud de las diferencias, que generan un efecto conservador en el sentido en que se tenderá a no rechazar la hipótesis nula de no diferencias cuando en realidad ésta debería ser rechazada.<sup>23</sup>

Si nos involucramos con los supuestos implícitos del test vemos claramente como nuestras variables de interés no cumplen con el supuesto de que las poblaciones de donde provienen los datos sean continuas, por lo que no es apropiado realizar este test en nuestro caso. Lo que ocurre es que a pesar de que este test resulta ser una buena aproximación para muestras grandes, el supuesto de continuidad permite establecer al menos de forma teórica que las probabilidades de obtener diferencias nulas y diferencias con valores absolutos iguales (empates) sean cero. Por lo que estructuralmente el test no realiza provisiones para estos dos casos, admisión que no es correcta cuando las poblaciones de donde provienen los datos son discretas. Ya que si bien estas probabilidades se reducen en muestras grandes, éstas no convergen a cero asintóticamente.

A raíz de las últimas limitaciones mencionadas y de no ser un test apropiado para nuestros datos vamos a utilizar una modificación del test anterior llamada “*Modified Wilcoxon Signed-Rank Test*” (Oyeka and Ebuh, 2012). Esta modificación permite la incorporación de diferencias nulas y también de empates en los valores absolutos de las diferencias, reduciendo la probabilidad de error de Tipo II antes cometido. A su vez permite calcular las probabilidades de ocurrencia de éstos casos, conocidos como *zeros and ties*. El supuesto implícito relajado detrás de esto es que las poblaciones de donde

<sup>23</sup>Cuando dos o más diferencias coinciden en valor absoluto se le asigna a cada una el promedio de los rangos que les serían asignados si no existiese un empate.

provienen los datos no necesariamente son continuas, éstas también pueden ser discretas, como lo es en nuestro caso. Es por esto que el test anterior asumía las probabilidades de que las diferencias fueran cero y que las diferencias tuvieran la misma magnitud como nulas. Esta modificación estructuralmente hace provisiones para estas probabilidades las cuales pueden tener valores positivos. La modificación del test sigue requiriendo implícitamente que las poblaciones sean cuantitativas, que al menos tengan una escala de ordenamiento (ordinal o cardinal) y que ambas muestras tengan una mediana.

Todos los supuestos implícitos del test anterior se cumplen para nuestros datos, ya que son variables de números cardinales y la mediana existe en ambos casos.

Al relajar el supuesto de continuidad de las poblaciones estudiadas, el test modificado resulta ser más eficiente que el anterior. La eficiencia relativa los autores la demuestran al comparar el ratio entre las varianzas de los estadísticos que permiten a los test ser capaces de aceptar una hipótesis nula verdadera o rechazar una hipótesis falsa. Este ratio entre el estadístico original y la modificación puede ser expresado de la siguiente forma:

$$\text{Relative Ratio} = \frac{1}{1 - \pi_0} \quad (4)$$

Donde  $\pi_0$  es la probabilidad de que las diferencias entre las parejas de ambas muestras sean cero. Este ratio es creciente a medida que esta probabilidad va aumentando, es decir, a medida que existen más diferencias nulas entre ambas muestras el test modificado es más eficiente que el test original. Solo en el caso en que no exista ninguna pareja de observaciones cuya diferencia sea nula, la eficiencia del test modificado es la misma que el test original. Por lo tanto, a no ser que este sea el caso de un experimento en particular, el test modificado posee un criterio más amplio y poderoso (en términos de eficiencia) en comparación al test original. El test se estructura de la siguiente forma:

**Hipótesis Nula:** La hipótesis nula establece que la mediana de las diferencias entre ambas muestras es cero. Al asumir que las dos muestras provienen de una misma población, por ende, postula que sus distribuciones son iguales y que su tendencia central también lo es.

**Hipótesis Alternativa:** En este caso la hipótesis alternativa supone que la tendencia central de una muestra difiere de la otra. Es el equivalente a realizar un test-t de diferencia de medias cuando no gozamos de independencia entre las muestras y las distribuciones no son normales.

Este método será utilizado para testear la hipótesis nula de no diferencias en cada tramo horario

tanto en accidentes de tránsito como en flujos vehiculares durante el año 2015. Los resultados se presentan en la siguiente sección.

## 6. Resultados

A continuación se presentan los resultados de las estimaciones no-paramétricas de acuerdo al método *Modified Wilcoxon Signed-Rank Test* (Oyeka and Ebuh, 2012). Se evalúan los cambios en las tasas de accidentes de tránsito y en los flujos vehiculares en la zona central de Chile entre el período de mayo, junio y julio de 2014 versus el mismo período en el año 2015.

Los resultados en cuanto a accidentes se pueden observar en la Tabla 6.4. En la mayoría de los tramos horarios no es posible rechazar la hipótesis nula de que las muestras provienen de poblaciones idénticas, es decir, no podemos concluir que las muestras presentan diferencias significativas en su primer momento central. Este resultado es esperable puesto que el nivel total de los accidentes entre los años estudiados varió solo un 1.7%. Por el contrario, si observamos los tramos en los cuales existió un evidente cambio de luminosidad entre períodos, se obtienen cambios significativos. Específicamente, el tramo de las 7:30-8:00 horas es significativo al 10% y el tramo correspondiente a las 18:30-19:00 horas presenta una significancia menor a un 1%. Estos resultados muestran evidencia favorable de un cambio significativo en la tasa de accidentes vehiculares ante un cambio en la luminosidad ambiental. Se asume como supuesto que los accidentes entre los diferentes tramos horarios son independientes, por lo que no existe interdependencia entre los resultados de los tests realizados a cada uno de ellos.

Los resultados concuerdan con la literatura en que por un lado el aumento de la luminosidad, y por ende de la visibilidad, tendría un impacto negativo sobre la tasa de accidentes vehiculares, y por el otro lado, una disminución de esta variable genera el efecto contrario. Estos resultados presentan evidencia favorable de que la luminosidad se relaciona notoriamente con la cantidad de accidentes especialmente en los tramos en los cuales hubo un cambio evidente de luz solar durante el año 2015. Sin embargo, al ser un test no-paramétrico de diferencia de medias no estamos evaluando la causalidad del efecto de la luminosidad ambiental sobre los accidentes de tránsito, sino que solo podemos concluir que efectivamente existieron cambios significativos en los tramos horarios en los cuales existió un evidente cambio de esta variable y que en el resto de los tramos estos cambios no fueron significativos.

Los resultados en cuanto a flujos vehiculares se pueden observar en la Tabla 6.5. Como es posible

observar la gran mayoría de los tramos son significativos al 1%, es decir, la gran mayoría de los cambios observados en los gráficos anteriores son significativos y dan cuenta de un cambio en el promedio de los flujos vehiculares. Es necesario precisar que la variable de flujo vehicular presenta una variabilidad intrínseca bastante menor que la variable de accidentes de tránsito, es por esto que un cambio porcentual de la misma magnitud tiene una mayor significancia estadística. Los resultados obtenidos eran esperables puesto que el promedio de los flujos vehiculares varió un 6.4% entre los años estudiados. Los tramos que no presentan cambios significativos son exactamente los tramos afectados por una disminución de luminosidad ambiental durante al año 2015. Como habíamos anticipado, estos tramos sufrieron una disminución relativa de los flujos en torno a un 4%, por lo que prácticamente no tuvieron cambios significativos durante el año 2015.

Debemos ser cuidadosos al interpretar los tests realizados a flujos vehiculares por tramos horarios, ya que éstos podrían presentar una interdependencia entre intervalos. El supuesto que asumiremos es que esta interdependencia no afecta la validez de los tests realizados a cada tramo en sí mismos. Sin embargo, si es necesario considerar esta característica a la hora de interpretar los resultados de los gráficos, dado que producto de esta interdependencia debiese existir una dependencia entre las variaciones de cada tramo.<sup>24</sup> Lo que buscamos con este análisis es simplemente identificar si las diferencias observadas en los gráficos de flujos vehiculares son en su mayoría significativas.

Estos resultados son importantes, ya que evidencian que las variaciones observadas en los flujos vehiculares corresponden a cambios significativos, alineándose con nuestra hipótesis de que la luminosidad ambiental tiene directa relación con el ciclo de actividad de las personas.

Por lo tanto, es posible concluir que los cambios en las tasas de accidentabilidad son aun mayores. Por un lado, en el caso de los accidentes de la tarde, existe un aumento relativo de flujo vehicular en torno a un 2% hacia los tramos que gozaron de una mayor luminosidad ambiental el año 2015, por lo que este aumento junto con la disminución en la tasa de accidentes reducen aun más la probabilidad de accidentabilidad por unidad de flujo vehicular en estos horarios. A su vez, existe una disminución relativa en torno a un 4% de los flujos en los tramos horarios afectados por una disminución de luminosidad ambiental en el año 2015. Este último cambio, al igual que el anterior, aumentan aun más la probabilidad de accidentabilidad por unidad de flujo vehicular en los horarios matutinos.

---

<sup>24</sup>Un ejemplo que refleja esta situación es el de una persona que debe presentarse a trabajar durante la mañana de cada día. Se puede inferir que si dicha persona no se presentó a trabajar en un intervalo horario específico, entonces se presentará en un intervalo próximo al anterior.

Tabla 6.4: Test no-paramétrico de accidentes de tránsito

Tramo	Modified Wilcoxon Signed-Rank Test
00:00-00:29	0.6417
00:30-00:59	0.2792
01:00-01:29	0.6580
01:30-01:59	0.6769
02:00-02:29	0.3947
02:30-02:59	0.6040
03:00-03:29	0.4828
03:30-03:59	0.9201
04:00-04:29	0.4392
04:30-04:59	0.7585
05:00-05:29	0.4373
05:30-05:59	0.4288
06:00-06:29	0.4671
06:30-06:59	0.7494
07:00-07:29	0.6250
07:30-07:59	0.0985*
08:00-08:29	0.8959
08:30-08:59	0.7050
09:00-09:29	0.3488
09:30-09:59	0.7733
10:00-10:29	0.5608
10:30-10:59	0.1999
11:00-11:29	0.1570
11:30-11:59	0.5585
12:00-12:29	0.6134
12:30-12:59	0.4586
13:00-13:29	0.9809
13:30-13:59	0.3849
14:00-14:29	0.9115
14:30-14:59	0.6101
15:00-15:29	0.1293
15:30-15:59	0.3071
16:00-16:29	0.9764
16:30-16:59	0.0946*
17:00-17:29	0.5982
17:30-17:59	0.0668*
18:00-18:29	0.5910
18:30-18:59	0.0075***
19:00-19:29	0.1932
19:30-19:59	0.6013
20:00-20:29	0.0742*
20:30-20:59	0.9182
21:00-21:29	0.0488**
21:30-21:59	0.4380
22:00-22:29	0.2476
22:30-22:59	0.6606
23:00-23:29	0.3897
23:30-23:59	0.1361

Standard errors in parentheses

\*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1

Tabla 6.5: Test no-paramétrico flujos vehiculares

Tramo	Modified Wilcoxon Signed-Rank Test
00:00-00:29	0.0001***
00:30-00:59	0.0003***
01:00-01:29	0.0001***
01:30-01:59	0.0006***
02:00-02:29	0.0032***
02:30-02:59	0.0131**
03:00-03:29	0.0500*
03:30-03:59	0.0129**
04:00-04:29	0.0006***
04:30-04:59	0.0000***
05:00-05:29	0.0000***
05:30-05:59	0.0000***
06:00-06:29	0.0000***
06:30-06:59	0.0000***
07:00-07:29	0.0015***
07:30-07:59	0.9713
08:00-08:29	0.1423
08:30-08:59	0.4078
09:00-09:29	0.0551*
09:30-09:59	0.0023***
10:00-10:29	0.0002***
10:30-10:59	0.0007***
11:00-11:29	0.0010***
11:30-11:59	0.0020***
12:00-12:29	0.0002***
12:30-12:59	0.0000***
13:00-13:29	0.0000***
13:30-13:59	0.0000***
14:00-14:29	0.0000***
14:30-14:59	0.0000***
15:00-15:29	0.0003***
15:30-15:59	0.0012***
16:00-16:29	0.0041***
16:30-16:59	0.0093***
17:00-17:29	0.0173**
17:30-17:59	0.0115**
18:00-18:29	0.0001***
18:30-18:59	0.0000***
19:00-19:29	0.0000***
19:30-19:59	0.0000***
20:00-20:29	0.0001***
20:30-20:59	0.0000***
21:00-21:29	0.0000***
21:30-21:59	0.0000***
22:00-22:29	0.0000***
22:30-22:59	0.0000***
23:00-23:29	0.0000***

Standard errors in parentheses

\*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1

Utilizaremos ambos resultados, tanto los cambios en tasas de accidentes como en flujos vehiculares, para evidenciar el impacto real de la tasa de accidentabilidad por unidad de flujo de los tramos afectados por un cambio de la luminosidad ambiental durante el 2015. Claramente existe un trade-off entre un aumento de costo social durante los tramos de la mañana versus un beneficio en la tarde, por esto resulta crucial analizar el impacto total que tuvo la medida para la zona central de nuestro país. El análisis de bienestar social se presenta a continuación.

## 7. Análisis de Bienestar

En las secciones anteriores se expuso toda la evidencia a favor de que la luminosidad, y por tanto la visibilidad de los conductores y peatones, se relaciona con la cantidad de accidentes vehiculares. Junto con esto se expuso la relación que tiene la luminosidad sobre un porcentaje de los flujos automovilísticos, que se desplazan hacia los tramos donde efectivamente existe una mayor visibilidad, evidenciando a su vez como se relaciona la luz solar con el ciclo de actividad de las personas.

En esta sección lo que haremos será analizar la relación de la medida con las tasas de accidentabilidad de un grupo de variables. Específicamente lo que haremos será medir el cambio en la cantidad de accidentes vehiculares de cada variable, corrigiendo por el cambio en los flujos vehiculares ocurridos de un año a otro. El análisis se realiza para los mismos períodos que se han utilizado durante el trabajo, es decir, los meses de mayo, junio y julio de 2014 y 2015 para la zona central de Chile.<sup>25</sup>

Se utiliza el mismo método anterior para calcular los intervalos horarios promedio en los cuales existió un cambio de luminosidad desde el año 2014 al año 2015. Para toda esta sección se definirán aquellos tramos como:

**MAÑANA:** Corresponde al tramo horario comprendido entre las 7:13-8:13 horas, período que durante el 2014 gozaba de completa luminosidad y que durante 2015 permanece totalmente oscuro.

**TARDE:** Corresponde al tramo horario comprendido entre las 18:18-19:18 horas, período que durante el 2014 se encontraba completamente oscuro y que durante 2015 goza de completa luminosidad ambiental.

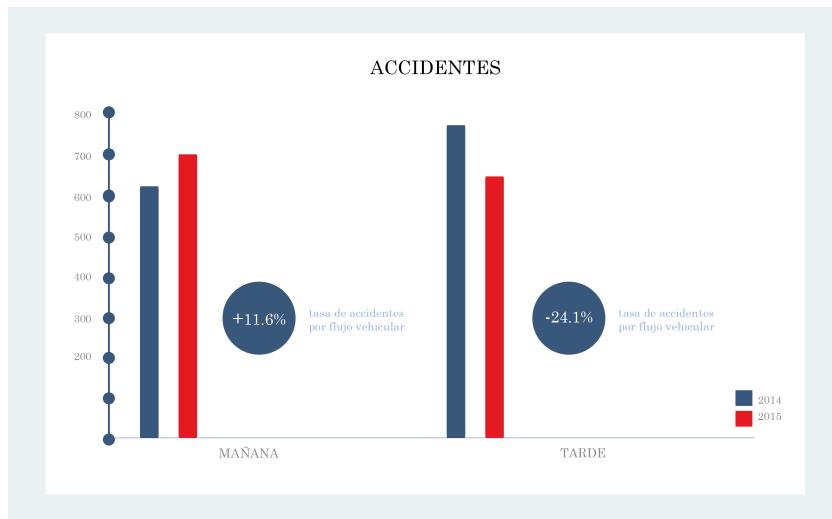
En cuanto a la corrección por flujos vehiculares, se utilizan los promedios de los flujos en días hábiles no feriados en las autopistas concesionarias urbanas de ambos años. Para el intervalo de la

---

<sup>25</sup>V Región, VI Región y XIII Región.

mañana se ajusta por el cambio de los flujos entre las 7:00-8:30 horas y para el intervalo de la tarde se utiliza el cambio en flujos durante las 18:00-19:30 horas. El cambio para el tramo entre las 7:00-8:30 horas fue un aumento de 1.3 % y para el tramo entre las 18:00-19:30 horas fue un aumento de 7.6 %.<sup>26</sup> El primer análisis se realiza con la variable de accidentes totales ocurridos en los períodos señalados. Los resultados obtenidos se pueden observar en la Figura 7.14. Como se viene ilustrando a lo largo del trabajo, los accidentes correspondientes al año 2015 se representan con color rojo y los accidentes del año 2014 con color azul.

Figura 7.14: Cambio en la tasa de accidentabilidad por unidad de flujo vehicular



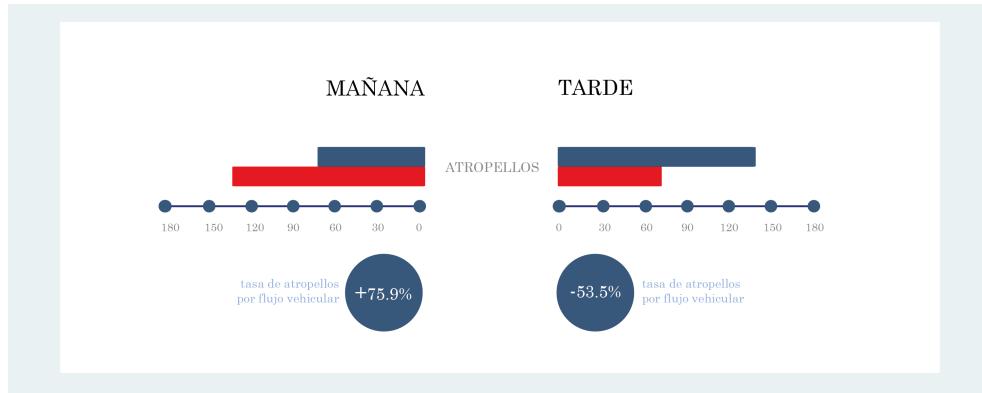
Este primer resultado se alinea con la evidencia encontrada anteriormente. Por un lado, la tasa de accidentabilidad por unidad de flujo vehicular aumenta en un 11.6 % para el tramo correspondiente a la mañana, como es de esperar debido a la menor visibilidad durante el año 2015 para dicho intervalo. Por el otro lado, la misma tasa cae sorprendentemente en un 24.1 % para el intervalo de la tarde. Esta evidencia concuerda con la mayor significancia encontrada anteriormente para los tramos horarios de la tarde en las estimaciones no-paramétricas, alineándose con la evidencia encontrada en la literatura (Huang and Levinson, 2010; Sood and Ghosh, 2007).

En las secciones anteriores se analizó el cambio en la cantidad de atropellos, ya que se observó

<sup>26</sup>Esta metodología se utiliza para poder representar la tasa de accidentabilidad por unidad de flujo vehicular, ampliamente utilizada en la literatura. El supuesto que hay detrás es la relación positiva entre flujo vehicular y cantidad de accidentes.

que este subconjunto de accidentes pareciera reaccionar de manera más sensible a los cambios de luminosidad. A continuación se analizarán los cambios en la variable de atropellos por unidad de flujo vehicular para los intervalos ya mencionados. Los resultados se encuentran en la Figura 7.15.

Figura 7.15: Cambio en la tasa de atropellos por unidad de flujo vehicular



Se encuentra un aumento en la tasa de atropellos de un 75.9 % para el intervalo de la mañana y una disminución de un 53.9 % en la misma tasa para el intervalo de la tarde. Los resultados reafirman una vez más la gran sensibilidad de esta variable con respecto a la luminosidad ambiental, y por ende, frente a la visibilidad de los conductores. Resultados acordes a la literatura existente (Ferguson et al., 1995; Sullivan and Flannagan, 2002).

Otras variables fundamentales a considerar si estamos analizando el impacto de la medida, son el cambio que ésta provoca sobre la cantidad de fallecidos y lesionados (clasificados por gravedad) por unidad de flujo vehicular. Los resultados se encuentran en la Figura 7.16.

Por un lado, en el intervalo de la mañana, todas las tasas de accidentes que involucran fallecidos y lesionados humanos se ven aumentadas. Llama especialmente la atención la sensibilidad de la cantidad de fallecidos por unidad de flujo vehicular que provoca la ausencia de luminosidad. Por el otro lado, durante el intervalo de la tarde, dichas variables presentan disminuciones aun más significativas que los aumentos de la tarde (a excepción de los fallecidos).

A raíz de estos resultados, es evidente que existe un trade-off entre un aumento de las tasas de accidentabilidad, muertes y lesionados durante la mañana, versus una disminución de dichas tasas durante el intervalo de la tarde. A modo de poder analizar las variaciones globales posteriores a la

Figura 7.16: Impacto sobre fallecidos y lesionados zona central



medida, se analiza el cambio de todas las variables contrarrestando ambos efectos. Los resultados se observan en la Figura 7.17.

Figura 7.17: Impacto global sobre la zona central



Como se puede observar, claramente el impacto de disminución de la tarde domina al aumento de los siniestros en la mañana. Específicamente se encuentran disminuciones de un 4.5% para el total de accidentes entre el año 2014 y 2015. Lo mismo ocurre con la tasa de atropellos (-4.5%), fallecidos (-13 %) y lesionados graves y menos graves (-13.1%), mientras que para los lesionados leves se encuentra

una pequeña variación positiva de 0.3 %. Nuevamente estos resultados confirman la robustez de la evidencia encontrada anteriormente, en la cual la disminución de los accidentes durante la tarde es bastante más significativa que el aumento de los accidentes en la mañana.

Teniendo especial cautela cuando se hacen análisis de bienestar sobre variables que implican pérdidas humanas, se procederá a realizar un análisis costo-beneficio de la política implementada. Es necesario advertir que la medida afecta una serie variables que se encuentran fuera del espectro de este trabajo, por lo que para realizar un análisis de bienestar global de la política, es necesario observar el impacto sobre todas ellas. Ejemplos de estas variables son la posible disminución de la productividad agrícola durante las horas matutinas, el aumento o la disminución de enfermedades psicológicas, posibles ahorros energéticos por un mejor aprovechamiento de la luz solar durante la tarde o el cambio en los delitos producto de la medida. Los cambios de éstos últimos pueden ser observados en la Figura 1.27 del Anexo, evidenciando una clara disminución de los delitos vespertinos.

Consciente de lo anterior, en este trabajo se acotará dicho análisis al cambio que provoca la medida sobre las tasas de accidentes y la cantidad de fallecidos y lesionados en la zona central del país. Se concluye que el decreto de ley promulgado por el gobierno de Chile en 2015 resulta ser beneficioso. La medida se relaciona con una disminución significativa en las tasas de accidentabilidad por flujo vehicular y una disminución de las personas fallecidas y lesionadas en la zona central del país durante el año 2015.

Sin embargo, estos resultados deben interpretar con cuidado, ya que existen diferentes factores que podrían influir en que los accidentes ocurridos en la mañana estén asociados a un mayor costo social en comparación con los accidentes ocurridos en la tarde. Estos argumentos encuentran su principal sustento en que las colisiones en la madrugada tienen un mayor costo asociado para los involucrados, puesto que éstas interrumpen el cumplimiento de sus jornadas laborales. Además, en este intervalo se produce la entrada de la mayoría de los colegios, por lo que una gran cantidad de menores de edad están expuestos a tasas más altas de accidentabilidad durante el trayecto a sus establecimientos, viéndose afectado el beneficio neto producido por la política.

## 8. Conclusión

Este estudio es conclusivo en demostrar la relación que existe entre la luminosidad ambiental y las tasas de accidentes de tránsito y los flujos vehiculares en la zona central de Chile.

En primer lugar los hallazgos de este estudio indican que el método no-paramétrico utilizado arroja resultados similares a la literatura en cuanto al cambio producido en la tasa de accidentes vehiculares. Se encuentra evidencia de una disminución significativa de 18.3 % con respecto a 2014, en la cantidad de accidentes ocurridos en el intervalo horario expuesto a una mayor luminosidad ambiental (Ferguson et al., 1995). A su vez, se encuentra evidencia significativa de un aumento de 13.1 % con respecto a 2014, en la cantidad de accidentes ocurridos en el intervalo horario expuesto a una menor luminosidad ambiental. En esta misma línea se evidencia la gran sensibilidad que tienen los atropellos frente a cambios en la luminosidad, en donde se reportan cambios de hasta un 100 % con respecto a 2014, en contexto con estudios anteriores (Sullivan and Flannagan, 2002).

En segundo lugar, se encuentra evidencia de la relación entre de la luminosidad ambiental y el ritmo de actividad diaria de las personas. Los resultados muestran que existe un incremento relativo del flujo vehicular en torno a un 2 % con respecto al año 2014, en los tramos horarios expuestos a una mayor luminosidad ambiental. A su vez, se encontró una disminución relativa del flujo vehicular en torno a un 4 % con respecto al año 2014, en los tramos horarios expuestos a una menor luminosidad.

En tercer lugar, la tasa de accidentabilidad del intervalo horario expuesto a una mayor luminosidad, corregida por flujo vehicular, evidencia una disminución de 24.1 % con respecto a 2014. Por otra parte, se registró un aumento de 11.6 % en la misma tasa en el intervalo horario expuesto a una menor luminosidad ambiental.

En este sentido la eliminación del cambio de huso horario presenta un trade-off entre los dos intervalos horarios afectados. Si bien por un lado aumentó la tasa de accidentabilidad durante la mañana, por otro lado, la misma tasa de accidentes durante la tarde tiene un impacto negativo aun mayor, que contrarresta dicho aumento. A través del análisis de bienestar realizado, se concluye que el decreto de ley promulgado por el gobierno de Chile en 2015 pareciera ser beneficioso. La medida concuerda con una disminución significativa en las tasas de accidentabilidad por flujo vehicular y una disminución de las personas fallecidas y lesionadas en la zona central del país durante el año 2015.

Si bien en materia de tasas de accidentabilidad y de pérdidas humanas la política pareciera ser

beneficiosa, es necesario realizar estudios acerca del impacto que podría tener el cambio de huso horario sobre otras variables para realizar conclusiones acerca del impacto global de la medida.

## Referencias

- Broughton, J., and Sedman, R. J.** (1989). *The potential effects on road casualties of double British summer time*. (No. RR 228).
- Broughton, J., and Stone, M.** (1998). *A new assessment of the likely effects on road accidents of adopting SDST*. Transport Research Laboratory.
- Comisión de Minería y Energía** (2015). *Justificación Horario Único*. Presentación Cámara de Diputados. Ministerio del Interior.
- De Grange, L., and Troncoso, R.** (2011). *Impacts of vehicle restrictions on urban transport flows: The case of Santiago, Chile*. Transport Policy, 18(6), 862-869.
- DEIS-MINSAL** (2011). *Tasas de mortalidad por causas*. Departamento de Estadísticas e Información de Salud. Ministerio de Salud.
- Departamento de Ingeniería Eléctrica** (2015). *Cambio de Horario y su Efecto en el Consumo de Energía Eléctrica*. Universidad de Santiago de Chile.
- Ferguson, S. A., Preusser, D. F., Lund, A. K., Zador, P. L., and Ulmer, R. G.** (1995). *Daylight saving time and motor vehicle crashes: the reduction in pedestrian and vehicle occupant fatalities*. American Journal of Public Health, 85(1), 92-95.
- Gallego, F., Montero, J. P., and Salas, C.** (2013). *The effect of transport policies on car use: Evidence from Latin American cities*. Journal of Public Economics, 107, 47-62.
- Gibbons, J. D., and Chakraborti, S.** (2011). *Nonparametric statistical inference*. (pp. 977-979). Springer Berlin Heidelberg.
- Green, H.** (1980). *Some effects on accidents of changes in light conditions at the beginning and end of British summer time*. (No. TRRL-SR-587).

- Herd, D. R., Agent, K. R., and Rizenbergs, R. L.** (1980). *Traffic accidents: day versus night*. Transportation research record, 753, 25-30.
- Hiselius, L. W.** (2004). *Estimating the relationship between accident frequency and homogeneous and inhomogeneous traffic flows*. Accident analysis & prevention, 36(6), 985-992.
- Huang, A., and Levinson, D.** (2010). *The effects of daylight saving time on vehicle crashes in Minnesota*. Journal of safety research, 41(6), 513-520.
- Instituto de Asuntos Públicos** (2009). *Efecto en el Consumo de Energía Eléctrica del Cambio de Horario en Chile*. Universidad de Chile.
- Janszky, I., and Ljung, R.** (2008). *Shifts to and from daylight saving time and incidence of myocardial infarction*. New England Journal of Medicine, 359(18), 1966-1968.
- Jiddou, M. R., Pica, M., Boura, J., Qu, L., and Franklin, B. A.** (2013). *Incidence of myocardial infarction with shifts to and from daylight savings time*. The American journal of cardiology, 111(5), 631-635.
- Kantermann, T., Juda, M., Merrow, M., and Roenneberg, T.** (2007). *The human circadian clock's seasonal adjustment is disrupted by daylight saving time*. Current Biology, 17(22), 1996-2000.
- Lahti, T., Nysten, E., Haukka, J., Sulander, P., and Partonen, T.** (2010). *Daylight saving time transitions and road traffic accidents*. Journal of environmental and public health.
- Lord, D., Washington, S. P., and Ivan, J. N.** (2005). *Poisson, Poisson-gamma and zero-inflated regression models of motor vehicle crashes: balancing statistical fit and theory*. Accident Analysis & Prevention, 37(1), 35-46.
- Medina, D., Ebben, M., Milrad, S., Atkinson, B., and Krieger, A. C.** (2015). *Adverse Effects of Daylight Saving Time on Adolescents' Sleep and Vigilance*. Journal of clinical sleep medicine: JCSM: official publication of the American Academy of Sleep Medicine.
- Meyerhoff, N. J.** (1978). *The influence of daylight saving time on motor vehicle fatal traffic accidents*. Accident Analysis & Prevention, 10(3), 207-221.

- Otero, S., and T. Rau** (2014). *New Evidence of the Effects of Zero Tolerance Laws on Drinking and Driving. The Case of Chile*. Tesis de Magíster. Instituto de Economía Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Oyeka, I. C. A., and Ebuh, G. U.** (2012). *Modified Wilcoxon signed-rank test*. Open Journal of Statistics, 2(02), 172.
- Snedecor, G. W., and W. G. Cochran** (1989). *Statistical Methods*. 8th ed. Ames, IA: Iowa State University Press.
- Sood, N., and Ghosh, A.** (2007). *The short and long run effects of daylight saving time on fatal automobile crashes*. The BE Journal of Economic Analysis & Policy, 7(1).
- Sprent, P., and Smeeton, N. C.** (2007). *Applied nonparametric statistical methods*. CRC Press.
- Sullivan, J. M., and Flannagan, M. J.** (2002). *The role of ambient light level in fatal crashes: inferences from daylight saving time transitions*. Accident Analysis & Prevention, 34(4), 487-498.
- World Health Organization** (2013). *Global Status Report on Road Safety 2013: supporting a decade of action*.
- Wilcoxon, F.** (1945). *Individual comparisons by ranking methods*. Biometrics bulletin, 80-83.

## A. Anexo

Tabla 1.6: Fallecidos en accidentes de tránsito en Chile por causa

Causa	Fallecidos en Chile 2000-2015	Porcentaje
ALCOHOL EN CONDUCTOR	2,870	11.2 %
ALCOHOL EN PASAJERO	16	0.1 %
ALCOHOL EN PEATON	1,778	7.0 %
CAUSAS NO DETERMINADAS	432	1.7 %
DEFICIENCIAS VIALES	63	0.2 %
DESOBEDIENCIA A SEÑALIZACION	1,167	4.6 %
DROGAS Y/O FATIGA EN CONDUCTOR	671	2.6 %
FALLAS MECANICAS	318	1.2 %
IMPRUDENCIA DEL CONDUCTOR	5,312	20.8 %
IMPRUDENCIA DEL PASAJERO	102	0.4 %
IMPRUDENCIA DEL PEATON	5,939	23.2 %
OTRAS CAUSAS	937	3.7 %
PERDIDA CONTROL VEHICULO	3,945	15.4 %
VELOCIDAD IMPRUDENTE	1,995	7.8 %

Tabla 1.7: Lesionados en accidentes de tránsito en Chile por causa

Causa	Lesionados en Chile 2000-2015	Porcentaje
ALCOHOL EN CONDUCTOR	70,020	8.8 %
ALCOHOL EN PASAJERO	343	0.0 %
ALCOHOL EN PEATON	7,896	1.0 %
CAUSAS NO DETERMINADAS	43,441	5.4 %
DEFICIENCIAS VIALES	5,575	0.7 %
DESOBEDIENCIA A SEÑALIZACION	113,745	14.2 %
DROGAS Y/O FATIGA EN CONDUCTOR	12,204	1.5 %
FALLAS MECANICAS	23,523	2.9 %
IMPRUDENCIA DEL CONDUCTOR	294,063	36.8 %
IMPRUDENCIA DEL PASAJERO	9,032	1.1 %
IMPRUDENCIA DEL PEATON	59,988	7.5 %
OTRAS CAUSAS	35567	4.5 %
PERDIDA CONTROL VEHICULO	88,699	11.1 %
VELOCIDAD IMPRUDENTE	34,158	4.3 %

Tabla 1.8: Concesiones urbanas provincia de Santiago

Concesiones	Pórticos	Mediciones
Internacional Sistema Oriente - Poniente (Autopista Costanera Norte)	22	705,190
Sistema Norte - Sur (Autopista Central)	28	59,998
Variante Vespucio - El Salto - Kennedy (Túnel San Cristóbal)	2	576,249
Sistema Américo Vespucio Nor - Poniente, Av. El Salto - Ruta 78 (Vespucio Norte)	17	441,360
Sistema Américo Vespucio Sur - Ruta 78 - Av. Grecia (Vespucio Sur)	15	951,079

Tabla 1.9: Concesiones interurbanas zona central de Chile

Concesionarias	Pórticos	Mediciones
Acceso Nor-Oriente a Santiago	3	105,984
Autopista Santiago - San Antonio	13	803,712
Camino Nogales - Puchuncaví	1	61,824
Camino Santiago - Colina - Los Andes	5	309,120
Concesión Internacional Ruta 5 Tramo Santiago - Los Vilos	2	123,648
Concesión Internacional Ruta 5 Tramo Santiago - Talca y Acceso Sur a Santiago	20	1,236,480
Túnel El Melón	1	61,824
Variante Melipilla	1	61,824

Tabla 1.10: Puntos de medición para censo de la UOCT

Eje	Calle Uno	Calle Dos	Sentido Medición	Tipo Pista	Comuna
5 De Abril	Asturias	Sevilla	Poniente - Oriente	Normal	Estación Central
5 De Abril	Asturias	Sevilla	Oriente - Poniente	Normal	Estación Central
Alameda	J. Toribio Medina	Brasil	Poniente - Oriente	Normal	Santiago
Cardenal Jose María Caro	Jose Miguel De La Barra	Purísima	Poniente - Oriente	Normal	Santiago
Cardenal Jose María Caro	Jose Miguel De La Barra	Purísima	Poniente - Oriente	Reversible	Santiago
Cardenal Jose María Caro	Jose Miguel De La Barra	Purísima	Oriente - Poniente	Normal	Santiago
Cardenal Jose María Caro	Jose Miguel De La Barra	Purísima	Oriente - Poniente	Reversible	Santiago
Eliodoro Yañez	Marchant Pereira	Matilde Salamanca	Oriente - Poniente	Normal	Providencia
Fermín Vivaceta	Inglaterra	Francia	Sur - Norte	Normal	Independencia
Fermín Vivaceta	Inglaterra	Francia	Norte - Sur	Normal	Independencia
Francisco Bilbao	Hernando De Aguirre	Jorge Matte	Oriente - Poniente	Normal	Providencia
Libertador Bernardo O'Higgins	Portugal	Lira	Poniente - Oriente	Normal	Santiago
Mapocho	Herrera	Chacabuco	Poniente - Oriente	Normal	Santiago
Tobalaba	Camilo Mori	Quilín	Sur - Norte	Normal	Peñalolén
Tobalaba	Camilo Mori	Quilín	Sur - Norte	Reversible	Peñalolén
Tobalaba	Camilo Mori	Quilín	Norte - Sur	Normal	Peñalolén

Tabla 1.11: Feriados legales de Chile durante el período de estudio

Fecha	Día de la Semana	Motivo
1 de mayo de 2014	Jueves	Día Nacional del Trabajo
21 de mayo de 2014	Miércoles	Día de las Glorias Navales
29 de junio de 2014	Domingo	San Pedro y San Pablo
16 de julio de 2014	Miércoles	Día de la Virgen del Carmen
1 de mayo de 2015	Viernes	Día Nacional del Trabajo
21 de mayo de 2015	Jueves	Día de las Glorias Navales
29 de junio de 2015	Lunes	San Pedro y San Pablo
16 de julio de 2015	Jueves	Día de la Virgen del Carmen

Tabla 1.12: Restricciones a vehículos Catalíticos años 2014 y 2015

Fecha	Día de la Semana	Tipo de Episodio
18 de Junio de 2014	Miércoles	Pre-Emergencia Ambiental
5 de Junio de 2015	Viernes	Pre-Emergencia Ambiental
16 de Junio de 2015	Martes	Pre-Emergencia Ambiental
19 de Junio de 2015	Viernes	Pre-Emergencia Ambiental
20 de Junio de 2015	Sábado	Pre-Emergencia Ambiental
21 de Junio de 2015	Domingo	Pre-Emergencia Ambiental
22 de Junio de 2015	Lunes	Emergencia Ambiental
23 de Junio de 2015	Martes	Pre-Emergencia Ambiental
27 de Junio de 2015	Sábado	Pre-Emergencia Ambiental
29 de Junio de 2015	Lunes	Pre-Emergencia Ambiental
30 de Junio de 2015	Martes	Pre-Emergencia Ambiental
1 de Julio de 2015	Miércoles	Pre-Emergencia Ambiental
2 de Julio de 2015	Jueves	Pre-Emergencia Ambiental
3 de Julio de 2015	Viernes	Pre-Emergencia Ambiental
4 de Julio de 2015	Sábado	Pre-Emergencia Ambiental
22 de Julio de 2015	Miércoles	Pre-Emergencia Ambiental
24 de Julio de 2015	Viernes	Pre-Emergencia Ambiental
26 de Julio de 2015	Domingo	Pre-Emergencia Ambiental

Figura 1.18: Regiones de la zona central de estudio

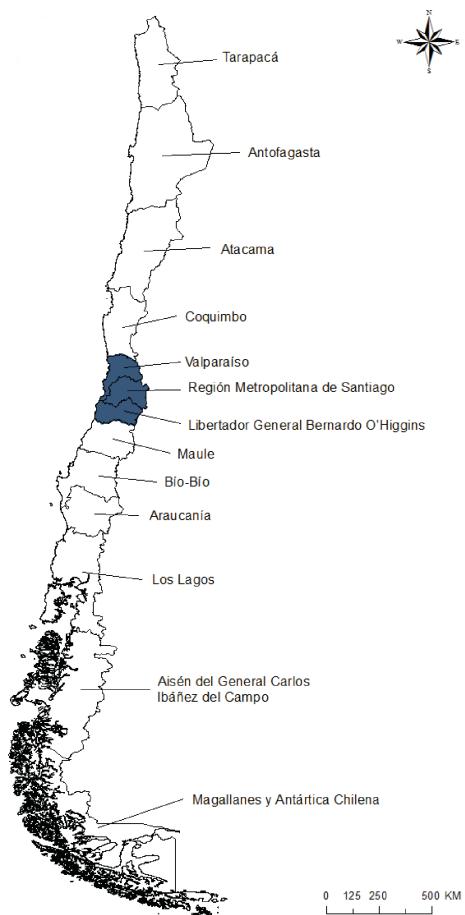


Tabla 1.13: Tabla de comienzo del Crepúsculo Civil Matutino y fin del Crepúsculo Civil Vespertino

Comienzo de Aurora Civil y término de Crepúsculo Civil Región Metropolitana					
Fecha	Aurora Civil	Crepúsculo Civil	Fecha	Aurora Civil	Crepúsculo Civil
1 de Mayo	7:51	19:28	16 de Junio	8:18	19:09
2 de Mayo	7:52	19:28	17 de Junio	8:18	19:09
3 de Mayo	7:52	19:27	18 de Junio	8:18	19:09
4 de Mayo	7:53	19:26	19 de Junio	8:19	19:10
5 de Mayo	7:54	19:25	20 de Junio	8:19	19:10
6 de Mayo	7:54	19:24	21 de Junio	8:19	19:10
7 de Mayo	7:55	19:23	22 de Junio	8:19	19:10
8 de Mayo	7:56	19:22	23 de Junio	8:19	19:11
9 de Mayo	7:57	19:22	24 de Junio	8:20	19:11
10 de Mayo	7:57	19:21	25 de Junio	8:20	19:11
11 de Mayo	7:58	19:20	26 de Junio	8:20	19:11
12 de Mayo	7:59	19:19	27 de Junio	8:20	19:12
13 de Mayo	7:59	19:19	28 de Junio	8:20	19:12
14 de Mayo	8:00	19:18	29 de Junio	8:20	19:12
15 de Mayo	8:01	19:17	30 de Junio	8:20	19:13
16 de Mayo	8:01	19:17	1 de Julio	8:20	19:13
17 de Mayo	8:02	19:16	2 de Julio	8:20	19:14
18 de Mayo	8:03	19:16	3 de Julio	8:20	19:14
19 de Mayo	8:03	19:15	4 de Julio	8:20	19:14
20 de Mayo	8:04	19:14	5 de Julio	8:20	19:15
21 de Mayo	8:05	19:14	6 de Julio	8:20	19:15
22 de Mayo	8:05	19:14	7 de Julio	8:20	19:16
23 de Mayo	8:06	19:13	8 de Julio	8:20	19:16
24 de Mayo	8:06	19:13	9 de Julio	8:19	19:17
25 de Mayo	8:07	19:12	10 de Julio	8:19	19:17
26 de Mayo	8:08	19:12	11 de Julio	8:19	19:18
27 de Mayo	8:08	19:11	12 de Julio	8:19	19:18
28 de Mayo	8:09	19:11	13 de Julio	8:18	19:19
29 de Mayo	8:09	19:11	14 de Julio	8:18	19:19
30 de Mayo	8:10	19:10	15 de Julio	8:18	19:20
31 de Mayo	8:11	19:10	16 de Julio	8:17	19:21
1 de Junio	8:11	19:10	17 de Julio	8:17	19:21
2 de Junio	8:12	19:10	18 de Julio	8:17	19:22
3 de Junio	8:12	19:10	19 de Julio	8:16	19:22
4 de Junio	8:13	19:09	20 de Julio	8:16	19:23
5 de Junio	8:13	19:09	21 de Julio	8:15	19:23
6 de Junio	8:14	19:09	22 de Julio	8:15	19:24
7 de Junio	8:14	19:09	23 de Julio	8:14	19:25
8 de Junio	8:15	19:09	24 de Julio	8:14	19:25
9 de Junio	8:15	19:09	25 de Julio	8:13	19:26
10 de Junio	8:15	19:09	26 de Julio	8:12	19:27
11 de Junio	8:16	19:09	27 de Julio	8:12	19:27
12 de Junio	8:16	19:09	28 de Julio	8:11	19:28
13 de Junio	8:17	19:09	29 de Julio	8:10	19:28
14 de Junio	8:17	19:09	30 de Julio	8:10	19:29
15 de Junio	8:17	19:09	31 de Julio	8:09	19:30

Figura 1.19: Total de choques y colisiones zona central mayo-junio-julio 2014 y 2015

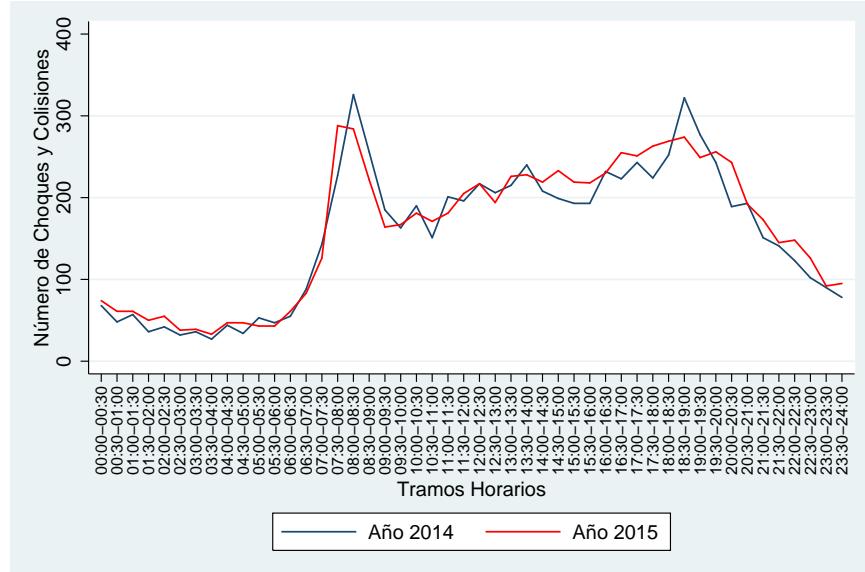


Figura 1.20: Total de atropellos zona central mayo-junio-julio 2014 y 2015

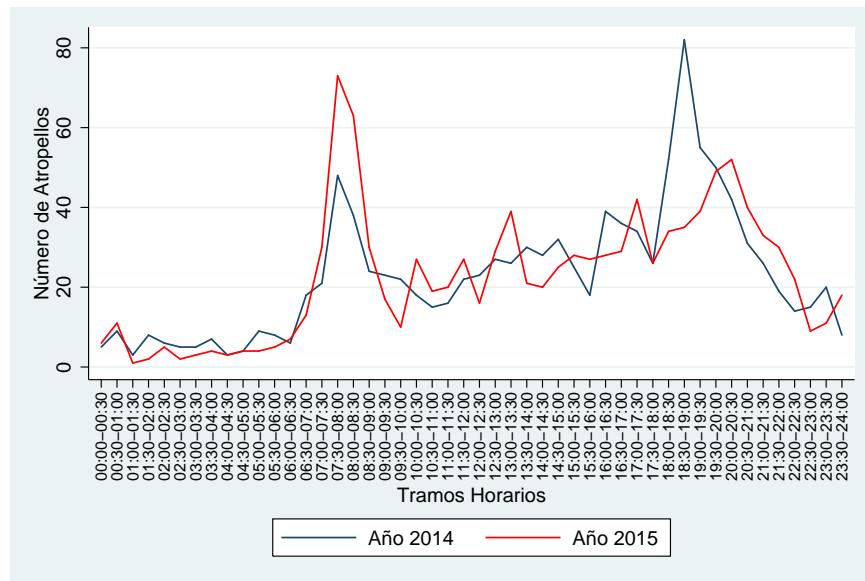


Tabla 1.14: Accidentes clasificados por tipo mayo-junio-julio años 2014 y 2015 en Chile

Tipo de Accidente	Número de Accidentes	Porcentaje
ATROPELLO	4,741	12.3 %
CAIDA	805	2.1 %
CHOQUE	10,158	26.4 %
COLISION	20,011	52.0 %
INCENDIO	4	0.0 %
OTRO TIPO	809	2.1 %
VOLCADURA	1,960	5.1 %

Figura 1.21: Autopistas urbanas provincia de Santiago

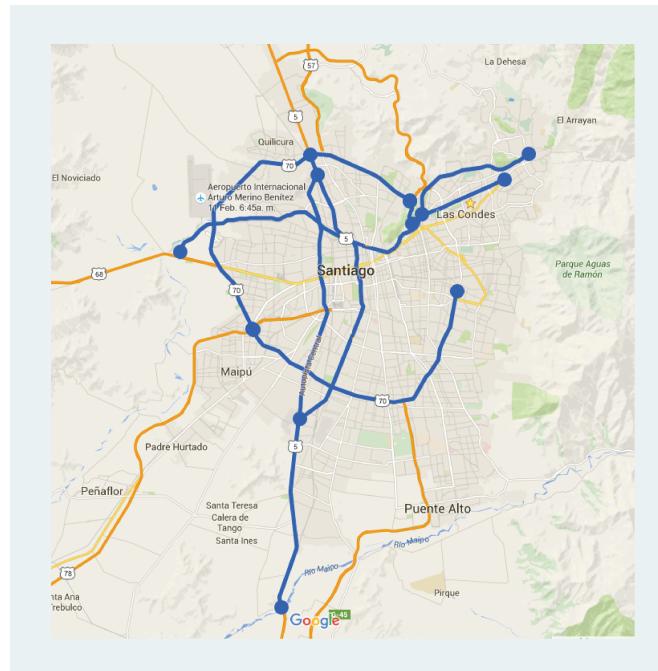


Figura 1.22: Flujos vehiculares diarios Santiago marzo-abril 2014 y 2015

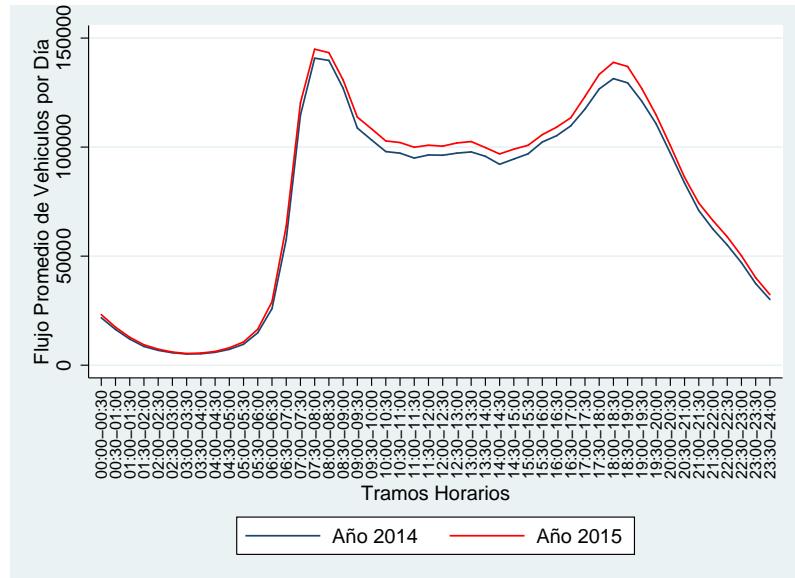


Figura 1.23: Puntos de detectores para censo de la UOCT

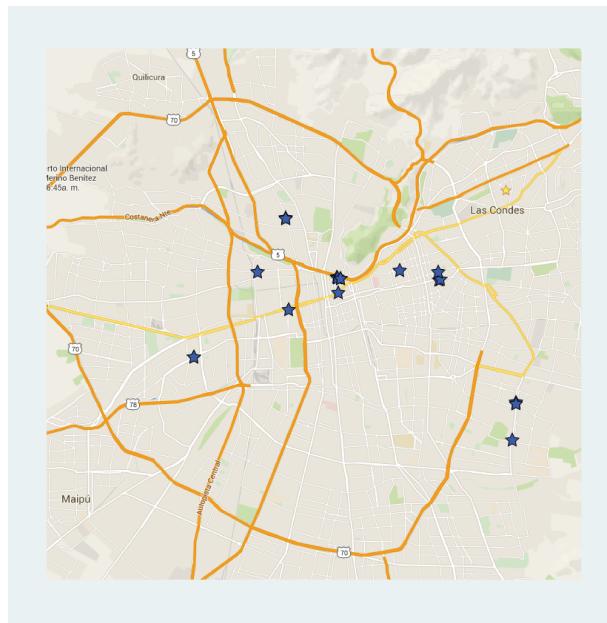


Tabla 1.15: Días filtrados mediciones UOCT

Fecha	Día de la Semana	Tipo de Episodio
2 de mayo de 2014	Viernes	Interferiado
8 de mayo de 2014	Jueves	Marcha Autorizada por la Intendencia de Santiago
10 de junio de 2014	Martes	Marcha Autorizada por la Intendencia de Santiago
23 de junio de 2014	Lunes	Partido de la Selección Chilena de Fútbol
24 de julio de 2014	Jueves	Marcha Autorizada por la Intendencia de Santiago
14 de mayo de 2015	Jueves	Marcha Autorizada por la Intendencia de Santiago
22 de mayo de 2015	Viernes	Interferiado
28 de mayo de 2015	Jueves	Marcha Autorizada por la Intendencia de Santiago
1 de junio de 2015	Lunes	Marcha Autorizada por la Intendencia de Santiago
10 de junio de 2015	Miércoles	Marcha Autorizada por la Intendencia de Santiago
22 de junio de 2015	Lunes	Emergencia Ambiental
25 de junio de 2015	Jueves	Marcha Autorizada por la Intendencia de Santiago
17 de julio de 2015	Viernes	Interferiado

Figura 1.24: Flujos vehiculares diarios mayo 2014 y 2015

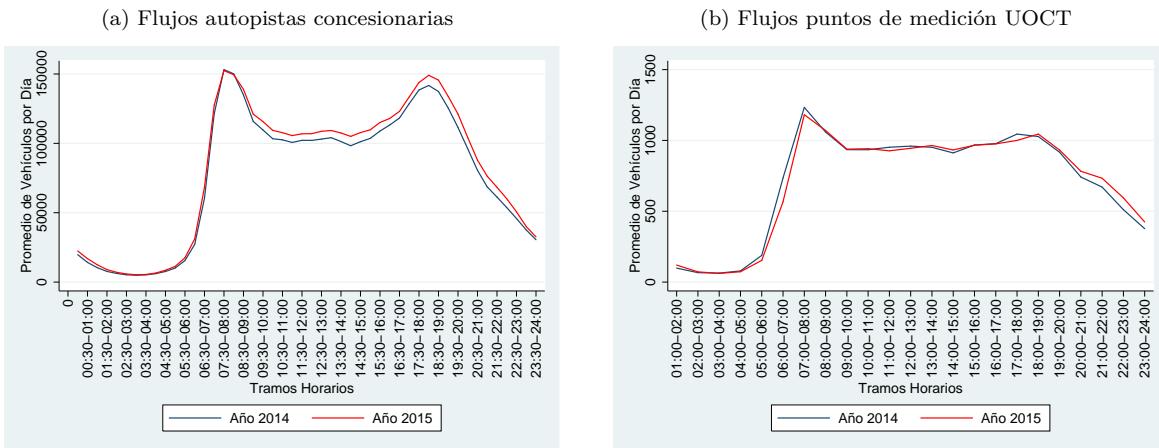


Figura 1.25: Estaciones de bicicletas Bikesantiago

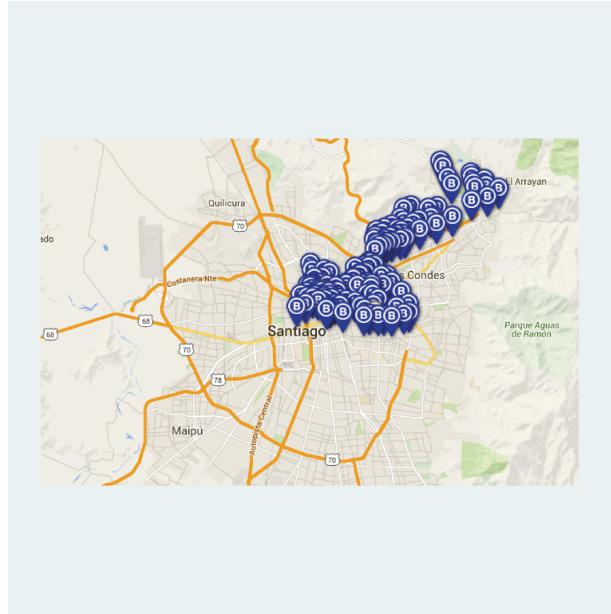


Figura 1.26: Concesionarias a nivel interurbano

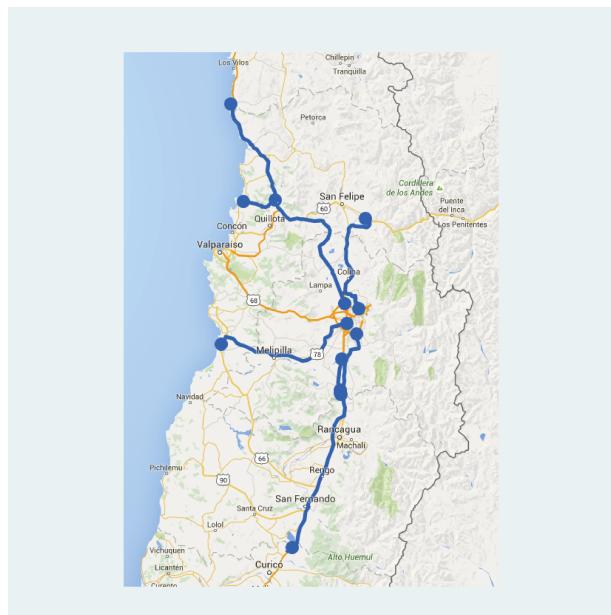


Figura 1.27: Delitos en Santiago en mayo-junio-julio de 2014 y 2015 por tramo horario

