



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escola Tècnica
Superior d'Enginyeria
Informàtica

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Informàtica
Universitat Politècnica de València

Predicción de tráfico en las carreteras de la red de la Generalitat Valenciana

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Informática

Autor: Héctor Aleixandre Sevilla

Tutor: Cèsar Ferri Ramirez

Curso Académico 2014-2015



A María, sin su apoyo, empuje y comprensión nunca hubiese conseguido llegar hasta aquí.

A Neus y Julia, esos dispensadores de felicidad. Espero ser un buen ejemplo para ellas.

A mis padres, siempre a mi lado apoyándome en todo.

A Rubén, y a Bankia por enviarlo a Madrid y disponer de esas noches dedicadas a ayudarme con el R

Resumen

Los gestores de las redes de carreteras necesitan un plan de aforos que estudie el tráfico que circula por las mismas, tanto para la gestión y mantenimiento, como para la planificación de ampliaciones y mejoras de las mismas. Dichos planes de aforos no pueden obtener el muestreo completo de toda la red durante todo el año dado el alto número de puntos de toma de datos y los recursos necesarios para abarcarlos todos de forma permanente. Debido a esto se distribuyen los puntos en diversos tipos de estación según la frecuencia de muestreo de los mismos. Posteriormente se utilizan métodos de expansión sobre las estaciones con menor muestreo para obtener resultados anualizados mas fiables. El presente trabajo pretende contrastar los métodos actuales de expansión y análisis mediante herramientas estadísticas y obtener de esta forma conclusiones relevantes sobre su adecuación. Mediante las herramientas estadísticas propuestas se pretende igualmente complementar los procesos actuales de expansión mejorando y complementando con ello la explotación actual de los datos.

Palabras clave: Aforos, Tráfico, R, Generalitat Valenciana, Arima, Regresión Lineal, Perfiles Tráfico

Abstract

Road infrastructures managers require traffic plans analysing traffic being carried over its/the network in order to optimise its management and maintenance and adequately plan enlargements and improvements. Traffic plans do not provide however the complete sampling of the network due to the high number of sampling stations and budget restrictions. Thus, sampling stations are assigned to one of the three sampling categories according the data collection frequency. Subsequently expansion methods are applied to minor stations in order to obtain reliable annualised data. The objective of the present work is to contrast expansion and analysis methods currently used through statistical tools and draw relevant conclusions on their appropriateness. The proposed statistical tools will also contribute to improve current expansion methods and complement/improve the exploitation of data

Keywords : Gauging, Traffic, R, Generalitat Valenciana, Arima, Linear Regression, Traffic Profiles

Tabla de contenidos

1.	Introducción y motivación.....	8
1.1.	Los Aforos de Tráfico.....	8
1.2.	Motivación del presente estudio	9
1.3.	Problemáticas a estudiar	9
2.	Situación Actual	10
2.1.	Objetivo de un Plan de Aforos.....	10
2.2.	Desarrollo de un Plan de Aforos.	10
2.2.1.	Definición de tramos.....	10
2.2.2.	Diseño de muestreo.	11
2.2.3.	El muestreo del Plan de Aforos.....	14
2.2.4.	Expansión de muestras, afinidades y coeficientes de afinidad.....	14
2.2.5.	Cálculo de la Intensidad Media Diaria (IMD).....	16
2.3.	El Plan de Aforos de la Consellería de Vivienda, Obras Públicas y Vertebración del Territorio de la Generalitat Valenciana	18
2.3.1.	La red de estaciones de aforo de la Consellería.....	18
2.3.2.	Muestreo del plan de aforos.....	18
2.3.3.	Soporte informático utilizado	19
2.3.4.	Publicaciones generadas con la explotación de datos	20
3.	Preparación y extracción de datos	24
3.1.	Estructura de Datos.....	24
3.1.1.	Esquema Aforos	25
3.1.2.	Esquema Localización.....	30
3.2.	Extracción de datos	33
3.3.	Carga de datos	35
4.	Perfiles y Modelos de predicción	37
4.1.	Perfiles del tráfico en los tramos	37
4.1.1.	Perfiles semanales, horarios y mensuales	37
4.1.2.	Perfiles semanales y horarios estacionales.....	41
4.2.	Predicción de datos	44
4.2.1.	Predicción de datos a través del modelo Arima	45
4.2.2.	Predicción de datos a través de Regresión Lineal	50
4.3.	Herramientas utilizadas	54

5. Resultados obtenidos: conclusiones	55
6. Conclusiones	63
7. Bibliografía	65
Anexo 1 - Perfiles Semanales, Horarios y Mensuales.....	66
Estaciones Primarias.....	66
Estaciones Secundarias.....	74
Estaciones Coberturas.....	78
Anexo 2 - Perfiles Estacionales	83
Estaciones Primarias.....	83
Estaciones Secundarias.....	86
Anexo 3 – Arima y Regresión Lineal	88

1. Introducción y motivación

El “Centre de Gestió i Seguretat Viària” de la Generalitat Valenciana fue creado en el año 2006. Su finalidad fue la de agrupar en un mismo centro todas las tareas de gestión y estudio del tráfico de la red de carreteras competencia de la Generalitat Valenciana. Poco a poco se han ido asumiendo mas tareas que estaban dispersas por distintos departamentos de la Consellería de Vivienda, Obras Públicas y Vertebración del Territorio así como nuevas funciones que anteriormente no se realizaban y que con la infraestructura de personal y técnica que se ha creado se pueden ir asumiendo.

El centro tiene diversos cometidos, entre ellos el de gestionar las incidencias en la red de carreteras dependiente de la Generalitat Valenciana para mantener la vialidad de las mismas, mantener la base cartográfica digital de toda la red y proveer de datos de aforos de tráfico de toda la red al resto de departamentos de la Consellería de Vivienda, Obras Públicas y Vertebración del Territorio. Es sobre este último punto donde se sitúa el contenido del presente trabajo fin de grado.

Las tecnologías de la información forman parte de todo el proceso del Plan de Aforos, mediante el cual se consiguen los datos de aforos. Tanto las herramientas informáticas cómo el equipamiento de aforos ha evolucionado mucho durante los últimos años, por lo que hay que ir adaptándose en la medida de lo posible para aprovechar todos los recursos y sacar el máximo posible de ellos.

1.1. Los Aforos de Tráfico

Para conocer las características del tráfico, las administraciones titulares de carreteras necesitan desarrollar un plan de aforos ajustado a su red. El objeto principal de un Plan de Aforos es el de suministrar herramientas que el explotador de la infraestructura necesita para gestionar la red de carreteras de la que es titular. Dichas herramientas deben caracterizar el tráfico y son utilizadas para la toma de decisiones.

Las principales variables caracterizadoras del tráfico son el volumen de vehículos, su composición y su distribución. El volumen de tráfico es la suma de todos los vehículos que pasan por cada uno de los tramos de carretera en un determinado periodo. La composición indica qué tipo de vehículos circulan por cada uno de los tramos. Y la distribución hace referencia a cómo se presenta el tráfico en la variable temporal, así como a su disposición espacial en los distintos carriles. Mas adelante explicaré cómo se distribuyen los tipos de vehículos por tamaños, así como por las velocidades a las que circulan.

1.2. Motivación del presente estudio

El presente trabajo surge ante la posibilidad de mejora en la metodología empleada en algunas fases de la explotación de los datos de aforos. Actualmente las decisiones aplicadas en algunos de dichos procesos se basan únicamente en la experiencia y el conocimiento adquirido a lo largo de los años sobre la red viaria. El trabajo desarrollado en este TFG pretende contrastar dicha información a través del uso de métodos científicos, así como proveer nuevos procedimientos, que si no acaben por sustituir a los actuales, sí que complementen a estos y doten de un mayor rigor científico a los mismos.

Así mismo, a partir del presente trabajo se inicia una nueva línea de trabajo con una metodología nueva en el centro, que haciendo uso de las técnicas desarrolladas y el conocimiento extraído se vaya avanzando y abarcando con ellos mas partes del proceso de explotación de los datos de tráfico que se gestionan. También se abre un abanico de posibilidades nuevas en cuanto a la información que se provee desde el centro con la utilización de estas nuevas herramientas y métodos.

1.3. Problemáticas a estudiar

A través del presente trabajo se pretende complementar el proceso de estudio de los datos de tráfico en algunos de sus puntos mediante herramientas estadísticas.

De inicio se trataba de obtener las afinidades entre tramos de forma automática en base al histórico de datos de intensidades horarias que disponemos, en lugar de como se hace actualmente; el conocimiento de la red y las características del tráfico de cada carretera/tramo/comarca. Posteriormente y dada la problemática observada (detallada mas adelante) y con la infraestructura de datos preparada se amplió el estudio a la predicción y categorización del tráfico y los tramos respectivamente.

La predicción puede resultar muy útil desde dos puntos de vista. Primero de cara a presentar al personal de planificación de la red las previsiones sobre los posibles aumentos o disminución del volumen de tráfico en la red. En base a esta información pueden tomar las decisiones de donde actuar.

Por otro lado, y desde el punto de vista del plan de aforos, puede resultar muy útil para complementar aquellos periodos en los que no se han tomado datos de determinadas estaciones y así poder ofrecer una información mas completa.

2. Situación Actual

En la presente sección se realiza una exposición sobre la motivación y composición de un plan de aforos con el detalle suficiente para situar el estudio realizado en el presente trabajo.

La información ofrecida a continuación es un extracto adaptado al nivel necesario para el presente Trabajo Fin de Grado de la documentación publicada¹ por el departamento de aforos del “Centre de Gestió i Seguretat Viària” de la Generalitat Valenciana

2.1. Objetivo de un Plan de Aforos

La variable más importante a calcular en un Plan de Aforos es la Intensidad Media Diaria (IMD). Se obtiene como el volumen total dividido entre los 365 días del año, siendo el resultado, el tráfico correspondiente a un día, que es la media de todos los del año.

Además de la IMD, en cada campaña de aforos pueden recogerse muchas otras variables que sirven para la caracterización del tráfico y para la detección de determinados problemas o circunstancias en la red viaria. Se determina la composición atendiendo a la naturaleza de los vehículos, las velocidades características de cada tipología de vehículo definida, los niveles de servicio de cada tramo definido en el catálogo de aforos que actúan como indicadores de la fluidez de circulación y, las distribuciones temporales y por carriles de cada sección.

Todas estas variables obtenidas a lo largo de cada campaña se presentan en un informe anual que ayudan al titular a planificar y gestionar su red de carreteras.

2.2. Desarrollo de un Plan de Aforos.

2.2.1. Definición de tramos.

La red de carreteras de los que es titular la *Conselleria d'Infraestructures, Territori i Medi Ambient* durante la Campaña de Aforos del año 2014 dispone de un total de 496 tramos, entre red básica y red local de carreteras. Las variaciones en la tramificación entre campañas de aforos generalmente son debidas a transferencia de carreteras o a la división de tramos para mayor precisión de los resultados. El grado de discretización del que se dispone es elevado, si bien no se llega a establecer un tramo cada vez que en

¹ Disponible en <http://www.citma.gva.es/web/carreteras/aforos-car>

una carretera se presenta un evento como la conexión con otros viarios o accesos a núcleos de residencia o actividades.

Para la discretización de la red de carreteras se requiere un conocimiento previo, un análisis de los datos obtenidos en campañas anteriores y la experiencia del personal de campo. Como punto de partida se consideran los criterios generales mencionados a continuación, y que definen el origen y el final de los tramos:

- Los núcleos de población.
- Las intersecciones y enlaces con otras carreteras con una mínima entidad.
- Los centros de actividad comercial o industrial.

Los tramos que se definen suelen ser, la mayoría, de 5 o 6 kilómetros de longitud, siendo rara vez mayores de 15 kilómetros, ni menores de 1 kilómetro. Del grado de discretización de estos tramos dependerá la precisión de los resultados obtenidos al manejar la hipótesis de tráfico homogéneo que veremos mas adelante.

Hay que tener siempre presente que con esa tramificación se realiza una modelización, que realmente, es una simplificación de una red compleja y variada. Además, hay que tener en cuenta, que las carreteras son dinámicas y cambian a lo largo del tiempo, por lo que la red de aforos también ha de serlo. Por tanto, de manera regular, se realizan estudios de retramificación para valorar los cambios en la red y adaptar los tramos definidos a la realidad viaria conforme ésta va evolucionando.

Los tramos vienen nombrados por una referencia de 6 dígitos. Los tres primeros dígitos del nombre de cada tramo se refiere al identificador de la carretera (CV-32 viene reflejado como 032, CV-155 viene reflejada como 155, etc.), mientras que los tres dígitos posteriores corresponden al orden de los tramos en la carretera, en sentido kilométrico ascendente (el primer tramo será 010, el segundo 020,...). Además, vienen definidos por el punto kilométrico de inicio y el de finalización.

2.2.2. Diseño de muestreo.

Para comenzar cada campaña de aforos se ha de elaborar un plan que deberá seguirse para completarla. En dicho plan es necesario especificar:

- Los tramos en que se divide la red de carreteras.
- La frecuencia con la que se afora cada uno de los tramos.
- La duración de cada toma de datos.
- Las fechas en las que se realizan los aforos.

La red de carreteras ha de dividirse en una serie de tramos siguiendo unos criterios acordes con la hipótesis de tráfico homogéneo. Según dicha teoría, la intensidad de tráfico será constante en cada uno de los tramos, definiéndose cada tramo como el segmento entre dos puntos de la misma en los cuales exista una incorporación o salida de vehículos, sea el caso de un núcleo urbano, una intersección con otra vía de tráfico significativo o acceso a zonas en las que se establece una actividad económica de algún tipo. De este modo, se considera que la intensidad de vehículos en cualquier punto de un tramo será la misma en toda su longitud, al no encontrar incorporaciones ni salidas de importancia a la vía. Del grado de discretización de estos tramos dependerá la precisión de los resultados obtenidos al manejar esta hipótesis.

La frecuencia de aforo que se asigne a cada tramo determina la tipología de la estación.

Estas estaciones pueden ser:

- Permanente: se afora durante 365 días completos al año.
- Primaria: se realizan seis tomas anuales de una semana completa en meses alternos.
- Secundaria: se realizan seis tomas anuales de dos días laborables completos en meses alternos, extendiéndose una de ellas para incluir un fin de semana.
- Cobertura reforzada: se realizan dos tomas de datos a lo largo del año, de dos días laborables y un fin de semana completo.
- Cobertura: se realizan dos tomas de datos a lo largo del año, que serán de 24h de un día laborable.

Para obtener el dato de intensidad más exacto de cada uno de los tramos de aforo se debería colocar una estación permanente, de modo que, la IMD se obtendría como la media de las 365 intensidades diarias medidas. Esto resulta inviable desde el punto de vista de la asignación racional de recursos, por lo que se recurre al muestreo estadístico para la obtención de las IMDs. Dicho muestreo se plasma mediante la determinación de los cinco tipos de estación explicados anteriormente.

Con el muestreo algunos tramos se aforan más intensamente, y otros se aforan con menor frecuencia. Se trata de obtener muestras lo suficientemente representativas como para caracterizar el tráfico en cada tramo, de forma que la asignación de recursos sea óptima.

Por tanto, lo primero es seleccionar un conjunto reducido de tramos para aforar de forma permanente. Estos tramos deben soportar tráfico de diferentes características entre sí, tanto referidas al entorno como a las condiciones socioeconómicas de la zona. Al menos se intenta tener un tramo representativo de:

- Tráfico de carácter industrial en zona periurbana.
- Tráfico de carácter turístico en zona urbana o periurbana.
- Tráfico de carácter turístico en zona rural.
- Tráfico de carácter residencial en zona urbana o periurbana.
- Tráfico de carácter agrícola en zona rural.

Las estaciones **primarias**, como se ha indicado anteriormente, recogen datos de una semana completa en meses alternos, es decir, 42 días al año. Estas estaciones son capaces de representar por sí solas el comportamiento del tráfico de dicho tramo ya que recogen las diferencias entre los días laborables y los festivos, así como la evolución estacional, recogen incluso las diferencias entre los distintos laborables (no suele ser el mismo comportamiento el de un lunes, que el de un martes, ni un jueves respecto a un viernes). Este tipo de estación, por sí misma, es suficiente para determinar la IMD, calculando la media diaria de tráfico registrada en los 42 días de toma de datos, ya que recoge todas las variaciones en la distribución de tráfico.

Sigue siendo inabarcable que todas las estaciones, o la mayoría de ellas, sean primarias. Por ello se seleccionan, de nuevo, una serie de tramos representativos de cada una de las tipologías de tráfico identificadas, al menos, una para cada una de ellas.

El siguiente nivel son las estaciones **secundarias**. Estas estaciones registran la variabilidad estacional de días laborables (toma de dos días laborables en meses alternos), así como la distribución semanal (se toman datos tanto de días laborables como de un fin de semana completo una vez al año). Pero es necesario también considerar la variabilidad estacional del tráfico en los fines de semana de estas estaciones, por lo que con este propósito se establecen *afinidades* con estaciones de control permanentes o primarias antes de poder calcular la IMD.

A la similitud entre distribuciones de tráfico entre dos estaciones se le denomina afinidad entre estaciones. El propósito de aplicar estas afinidades antes de calcular la IMD es el de expandir la muestra tomada apoyándose en los registros de la estación afín, y poder así calcular los valores de intensidad media diaria (IMD) anuales de forma coherente, contrastada y partiendo de muestras limitadas de datos.

El uso de estas estaciones secundarias economiza en gran medida la necesidad de toma de datos, pero aún así la demanda de recursos sería excesivamente elevada si se extendiera este muestreo a toda la red autonómica de carreteras. Por ello, existe otro nivel de muestreo, las estaciones de **cobertura**. Estas consisten en una toma puntual de datos al año, que posteriormente será expandida siguiendo las afinidades entre estas estaciones y otras de control permanente, primario o secundario. Esta afinidad se establecerá independientemente tanto para días laborables como para días de fin de semana.

En las estaciones de **cobertura reforzada**, donde se disponen de datos de distribución semanal (se habrán obtenido datos tanto de día laborable como de fin de semana), la afinidad será utilizada para expandir la muestra en su variabilidad estacional. En las estaciones de cobertura simple, donde sólo se dispone de datos de un día laborable, la afinidad será utilizada primero para expandir la muestra a su

distribución semanal, y tras ello, ya ser expandida según la variabilidad estacional de la estación afín.

Esta estructura de muestreo y afinidades permite el cálculo de IMDs para toda la red de manera eficiente, con calidad de datos y aplicando unos recursos materiales y humanos acordes a los disponibles.

2.2.3. El muestreo del Plan de Aforos

A la vista de los criterios expuestos en el punto “Diseño del muestreo” se diseña el plan de distribución de muestreo de estaciones, asignando cada una de ellas a una tipología. Para ello hay que tener en cuenta los recursos materiales y humanos de los que se dispone para poder cumplir con el muestreo del plan anual de aforos resultante de dichas asignaciones. Este punto es muy importante para que al término del periodo del plan se haya obtenido todo el muestreo previsto de la red.

2.2.4. Expansión de muestras, afinidades y coeficientes de afinidad.

La pérdida de representatividad de las muestras debe compensarse mediante la expansión de las mismas, para lo cual, se requiere del establecimiento de afinidades entre las estaciones de control y las que no lo son.

Se denominan estaciones de control a aquellas que registran algún tipo de variabilidad propia del tráfico, por lo que pueden utilizarse para trasladar esta variabilidad a las estaciones de cobertura, que no cubren esta característica.

Las estaciones permanentes y primarias recogen la variación del tráfico tanto semanal como estacional, por lo tanto no necesitan ningún tipo de expansión muestral.

Las estaciones secundarias, recogen la variación estacional en sus días laborables, así como la variación semanal al realizar una toma de datos conjunta de días laborables y de fin de semana. Pero, necesitan del establecimiento de afinidades y aplicación de coeficientes para expandir las muestras de fin de semana de manera que reflejen su variabilidad estacional.

Las coberturas reforzadas recogen la variación semanal en una estación al realizar una toma de datos conjunta de días laborables y de fin de semana, pero necesitan de establecimiento de afinidades y aplicación de coeficientes para expandir las muestras tanto de días laborables como de fines de semana de manera que reflejen su variabilidad estacional.

Las coberturas simples, al comprender tan sólo 24 horas de un día laborable, requieren el establecimiento de afinidades y aplicación de coeficientes para expandir las muestras tanto para establecer la variabilidad semanal como la variabilidad estacional.

Sobre los datos reales de intensidad obtenidos en ellas durante el fin de semana, y habiendo establecido previamente y de manera contrastada una afinidad para los fines de semana entre ésta estación y otra estación de control tipo permanente o primaria, se procede a realizar la misma expansión a nivel anual de la intensidad de sábados y domingos. Es decir, dado un dato real, y teniendo un modelo de comportamiento establecido y contrastado, inferir el resultado real final de todo el año.

Se pueden identificar dos tipos de coeficientes: coeficientes de variabilidad estacional (L_m , S_m , y D_m) y coeficientes de variabilidad semanal (F), según si su objeto es ser utilizados en la expansión muestral estacional, o en la expansión muestral semanal. Los coeficientes de variabilidad estacional son doce, uno por cada mes, y se aplican como factor multiplicador de la intensidad diaria. En concreto ha de aplicarse el correspondiente al mes en que se toma el dato. El coeficiente de variabilidad semanal es solamente uno, y también se aplica como factor multiplicador de la intensidad diaria, pero en este caso solo de la de días laborables.

Las expansiones que requiere cada tipo de estación reflejada en esta campaña son:

- Permanentes (Per): NO requiere expansión de muestras.
- Primarias (Pri): NO requiere expansión de muestras.
- Secundarias (Sec): Requiere expansión estacional de los fines de semana.
- Reforzadas (Ref): Requieren expansión estacional tanto de laborables como de fin de semana.
- Coberturas (Cob): Requiere expansión estacional y semanal.

La nomenclatura de los coeficientes de afinidad es:

- L_m = coeficiente de expansión estacional de día laborable del mes m .
- S_m = coeficiente de expansión estacional de día sábado del mes m .
- D_m = coeficiente de expansión estacional de día domingo del mes m .
- F = coeficiente de fin de semana.

De los distintos tipos de estaciones se pueden obtener los siguientes coeficientes de afinidad:

- Estaciones permanentes: toda la serie L_m , S_m , D_m y F .
- Estaciones primarias: los 6 L_m , S_m , y D_m de los meses aforados y F .
- Estaciones secundarias: Los 6 L_m de los meses aforados.

2.2.5. Cálculo de la Intensidad Media Diaria (IMD)

Una vez realizada toda la toma de datos anual, se procede al cálculo de las Intensidades Medias Diarias (IMD) de cada uno de los tramos existentes. Para este cálculo es necesario haber determinado con anterioridad el sistema de afinidades, así como los coeficientes de afinidad. Con todo, se podrá calcular la IMD, dependiendo del tipo de estación de que se trate, del siguiente modo:

- Permanentes: $IMD = \text{Intensidad Media Diaria}$
- Primarias: $IMD = \text{Intensidad Media Diaria}$
- Secundarias: $IMD = ((5 * IM_L) + (I_S * CS_m) + (I_D * CD_m)) / 7$
- Reforzadas: $IMD = ((5 I_L * CL_m) + (I_S * CS_m) + (I_D * CD_m)) / 7$
- Coberturas: $IMD = I_L * CL_m * CF$

donde,

IM_L = Media de las intensidades diarias de día laborable recogidas en esa estación

I_L = Intensidad diaria en día laborable.

I_S = Intensidad diaria en día sábado.

I_D = Intensidad diaria en día domingo.

CL_m = Coeficiente de expansión estacional de día laborable, correspondiente al mes m.

CS_m = Coeficiente de expansión estacional de día sábado, correspondiente al mes m.

CD_m = Coeficiente de expansión estacional de día domingo, correspondiente al mes m.

CF = Coeficiente de festivos

Cálculo de los coeficientes de afinidad

Para estaciones Primarias:

$$CL_m = \text{Intensidad Total Laborables} / \text{Intensidad Total Laborables del mes } m * 6$$

$$CS_m = \text{Intensidad Total Sábados} / \text{Intensidad Total Sábados del mes } m * 6$$

$$CD_m = \text{Intensidad Total Domingos} / \text{Intensidad Total Domingos del mes } m * 6$$

$$CF = \text{Intensidad Total} * 42 / \text{Intensidad Laborables} * 30$$

Para estaciones Secundarias:

$$CL_m = \text{Intensidad Total Laborables} / \text{Intensidad Total Laborables del mes } m * 6$$

Las estaciones del tipo Cobertura no ofrecen coeficientes de afinidad, únicamente utilizan aquellos de sus estaciones afines de tipo Primaria y/o Secundaria para realizar la expansión de los datos.

2.3. El Plan de Aforos de la Consellería de Vivienda, Obras Públicas y Vertebración del Territorio de la Generalitat Valenciana

Una vez conocida la definición y características esenciales de un plan de aforos se detalla a continuación el caso concreto que nos ocupa, el plan de aforos de la Consellería de Vivienda, Obras Públicas y Vertebración del Territorio de la Generalitat Valenciana.

2.3.1. La red de estaciones de aforo de la Consellería.

La red de estaciones de aforos de la Consellería de Vivienda, Obras Públicas y Vertebración del Territorio está constituida por dos tipos básicos de estaciones:

- Estaciones fijas: estaciones instaladas en carretera basadas en detección de vehículos por inducción magnética.
- Estaciones portátiles: estaciones donde se instalan dispositivos portátiles, como detectores de tráfico de tubos neumáticos o bien dispositivos tipo radar.

La red está dividida en 496 tramos, de los que 339 son medidos mediante estaciones de aforos fijas, que además de aportar datos de intensidad, aportan velocidades, tipo de vehículos, tráfico por carril o tráfico por sentido. El resto de tramos, 157, son aforados mediante estaciones portátiles, las cuales aportan datos de intensidad de tráfico principalmente.

Tanto para garantizar e incrementar la seguridad laboral, la de los usuarios de la vía como para aumentar la calidad de los datos, el objetivo es transformar paulatinamente todas las estaciones portátiles en estaciones fijas de inducción magnéticas. Actualmente con la excepción de 10 puntos, todos los tramos con IMD superior a 5.000 vehículos/día disponen ya de instalaciones de lazos inductivos, conocidos como espiras. De estos tramos, si la intensidad de tráfico es elevada se disponen estaciones portátiles no intrusivas (tipo radar) para garantizar la seguridad del personal técnico y no afectar al tráfico.

2.3.2. Muestreo del plan de aforos

En la siguiente tabla se recoge el reparto de asignaciones a las diferentes estaciones de las tipologías de estudio.

Por provincias, la configuración de la red de aforos es la que se presenta en la siguiente tabla:

PROVINCIA	Estación Espiras	Estación Portátil	Total
Castelló	76	48	124
Valencia	148	49	197
Alacant	115	60	175
COMUNITAT	339	157	496

2.3.3. Soporte informático utilizado

Desde el punto de vista informático, en el desarrollo del plan de aforos de la Generalitat Valenciana se utilizan principalmente las siguientes herramientas:

- Gestor de base de datos PostgreSQL. Es donde se guarda toda la información referente tanto al volumen de tráfico obtenido de la red de carreteras, cómo el inventario de las carreteras y los tramos junto con todas sus características.
- Interfaz web basada en Java para la explotación y mantenimiento de los datos del catálogo.
- Applet Java para la importación de datos de aforos desde los ficheros de texto plano que genera el equipamiento aforador instalado en campo.
- Editor de SQL para el diseño y ejecución de las consultas que nos permiten obtener los datos necesarios para la creación y publicación de los informes pertinentes.
- Hojas de cálculo y editor de textos para el tratamiento y formateo de los datos finales.

Cálculo de las velocidades características: Para el aforo total realizado en cada una de las estaciones, se calculan las velocidades características V50, V85 y V99. Estos estadísticos indican la velocidad máxima a la que circulan el 50%, 85% y 99% de los vehículos respectivamente. Los datos son de especial interés para valorar el uso que se hace de la red de carreteras, la saturación de las vías, así como profundizar en estudios de siniestralidad y seguridad vial.

Carretera	Tramo	Tipo Via	Intens.	V ₅₀	V ₈₅	V ₉₉
CV-124	124015	Convencional	325	74	89	107
CV-129	129010	Convencional	439	-	-	-
CV-129	129020	Convencional	605	-	-	-
CV-135	135010	Convencional	390	79	94	119
CV-135	135030	Convencional	2.543	74	89	108
CV-160	160020	Convencional	1.219	83	99	124
CV-160	160030	Convencional	1.148	77	92	117
CV-160	160050	Convencional	3.698	70	81	99
CV-162	162010	Convencional	1.069	-	-	-
CV-162	162020	Convencional	524	-	-	-
CV-183	183010	Convencional	5.183	90	106	130
CV-185	185010	Convencional	12.298	80	93	119
CV-190	190040	Convencional	84	-	-	-
CV-190	190050	Convencional	108	-	-	-
CV-191	191010	Convencional	2.476	76	92	110
CV-194	194010	Convencional	569	-	-	-
CV-194	194020	Convencional	118	-	-	-
CV-195	195010	Convencional	1.532	60	73	89
CV-195	195030	Convencional	130	-	-	-
CV-198	198010	Convencional	39	-	-	-
CV-205	205010	Convencional	216	-	-	-
CV-222	222010	Convencional	5.127	74	89	110
CV-222	222020	Convencional	9.845	58	70	89
CV-223	223010	Convencional	3.360	78	92	110
CV-223	223020	Convencional	338	-	-	-
CV-223	223030	Convencional	3.231	55	63	76
CV-230	230010	Convencional	938	-	-	-
CV-230	230025	Convencional	8.454	59	71	86
CV-230	230030	Convencional	2.666	64	76	91
CV-235	235010	Convencional	814	-	-	-
CV-245	245010	Convencional	139	76	91	119
CV-245	245020	Convencional	550	-	-	-
CV-245	245030	Convencional	295	-	-	-
CV-300	300020	Desdoblada	15.554	69	81	104
CV-300	300035	Desdoblada	9.553	77	92	112
CV-300	300040	Convencional	15.205	38	47	59

Velocidades Características

Ficha de caracterización de los tramos: Para cada uno de los tramos se genera una ficha de caracterización, en la cual se recoge toda la información de cada uno de los tramos estudiados.

Carretera: CV-10 **Tramo:** **010040**

Situación

Datos del tramo

Tipología: Estación Primaria

Inicio: CV-20

Final: CV-17

PK: 10+000

Calzada: Desdoblada

Datos Afors 2013

IMD: 33.637

IMDp: 6.207

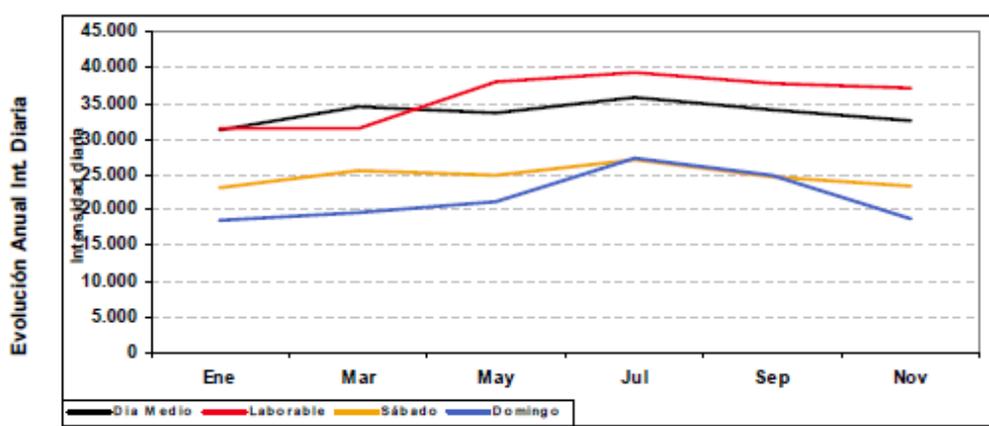
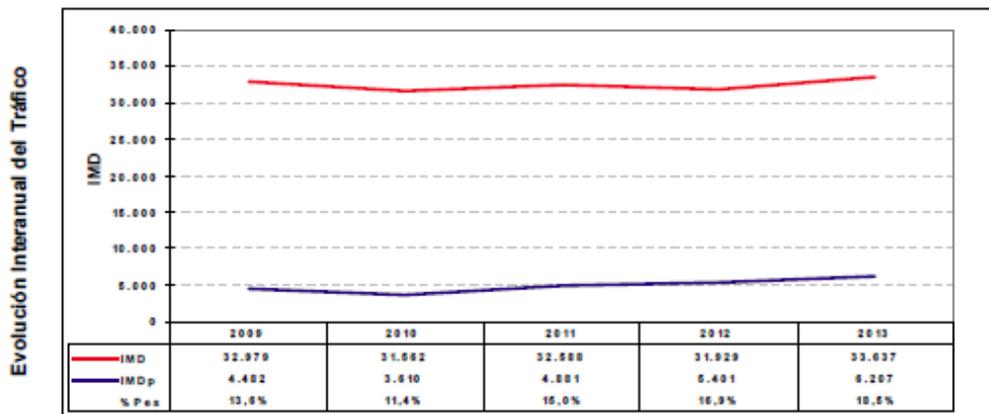
% Pesados: 18,5%

Peor Nivel Servicio: C

IH Máxima: 6592 (08:00)

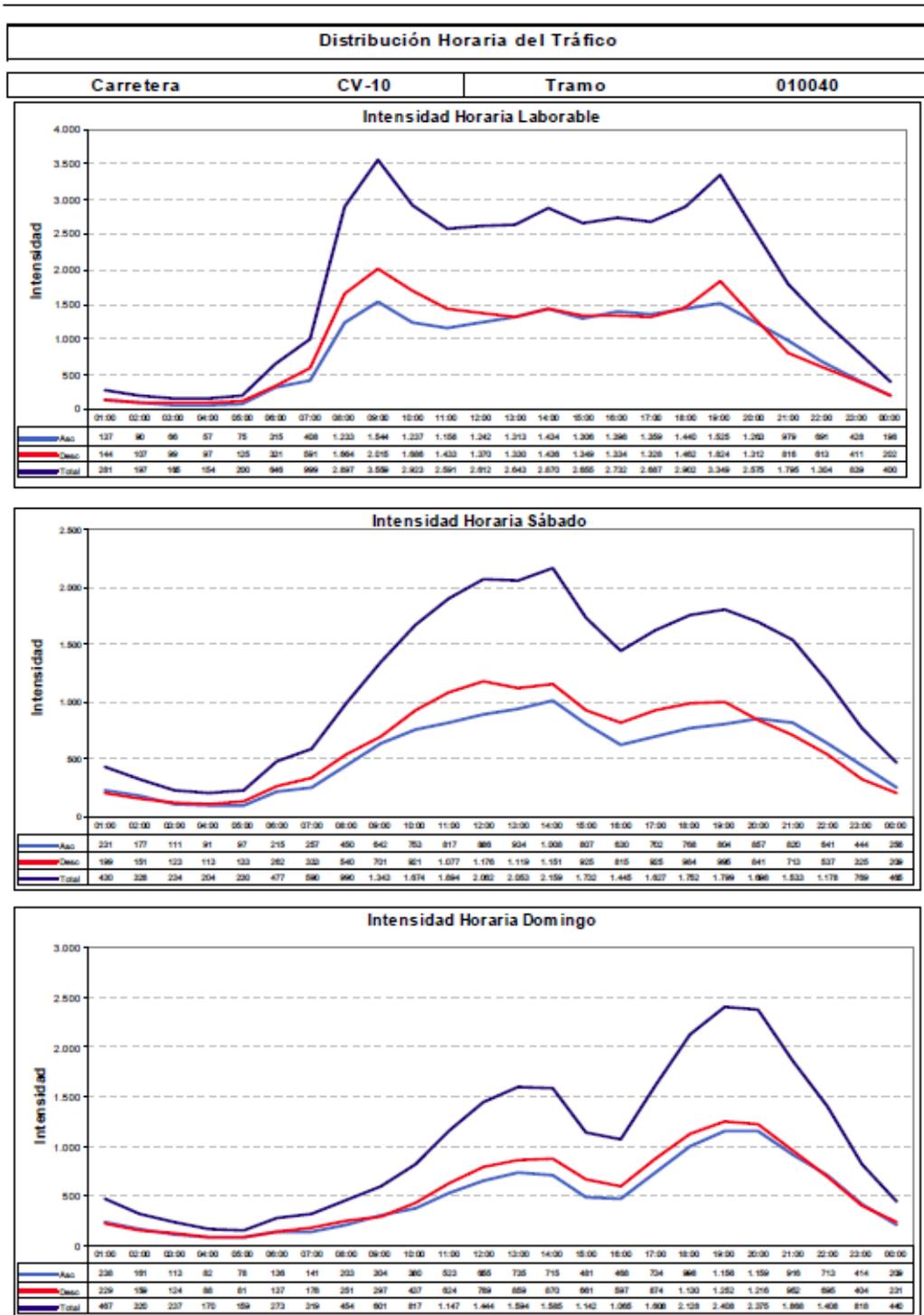
Velocidad: Asc Desc Total

V ₅₀	107	111	109
V ₈₅	124	126	125
V ₉₉	149	152	151



Mes	Día Medio			Día Laborable			Día Sábado			Día Domingo		
	Int. Total	Int. Pes.	% Pes.	Int. Total	Int. Pes.	% Pes.	Int. Total	Int. Pes.	% Pes.	Int. Total	Int. Pes.	% Pes.
Ene	31.231	6.232	20,0%	31.482	7.913	25,1%	23.107	2.767	12,1%	18.573	2.135	11,5%
Mar	34.426	6.810	19,8%	31.482	7.913	25,1%	25.638	3.135	12,2%	19.669	2.515	12,8%
May	33.723	6.339	18,8%	38.021	7.875	20,7%	24.800	2.755	11,1%	21.155	2.243	10,6%
Jul	35.887	6.094	17,0%	39.358	7.670	19,5%	27.052	2.312	8,5%	27.372	1.995	7,3%
Sep	34.047	5.360	15,7%	37.755	6.792	18,0%	24.734	1.882	7,6%	24.819	1.682	6,8%
Nov	32.510	6.407	19,7%	37.105	7.955	21,4%	23.320	2.997	12,9%	18.726	2.076	11,1%

Ficha de caracterización de un Tramo 1



Ficha de caracterización de un Tramo 2

3. Preparación y extracción de datos

El proceso de análisis de los datos de aforos pasa primero por estudiar cual es la información de la que disponemos para el estudio y sobre ella generar nuestra vista minable para el proceso de estudio.

En nuestro caso disponemos de la información en bruto que se extrae de los equipos aforadores en ficheros de texto plano, la gran mayoría de los casos, y algún caso, las estaciones permanentes, son recogidos de forma automática en una base datos.

Posteriormente toda esta información se inserta, tras un control de calidad de la misma por parte del personal del departamento de aforos en la base de datos de aforos propiamente dicha, la cual sirve posteriormente de base para todo el proceso de explotación. Es sobre esta base de datos donde realizaremos la extracción de los datos que vamos a utilizar en todo el proceso de análisis.

A continuación se detalla el proceso seguido y los métodos utilizados para extraer y formatear la información de tráfico en la red viaria del sistema.

3.1. Estructura de Datos

Los datos referentes a los aforos están almacenados a través del gestor PostgreSQL mediante varios esquemas, para así ajustarse al estándar definido por la DGT, que es el establecido en el sector de la gestión de tráfico en España. Existe una normativa UNE que establece el diseño de las bases de datos utilizadas en los centros de control de tráfico.

Se decidió utilizar este gestor de base de datos debido a que es libre y que dispone del plugin PostGIS a través del cual nos permite la georreferenciación de la información de forma nativa. Esta característica nos es muy útil ya que también gestionamos el catálogo de todos los elementos de la red viaria, tales como señales, carteles, barreras, etc...

A continuación paso a detallar los esquemas de la BD que contienen la información relevante para el presente trabajo.

Descripción y detalle de algunas de las tablas mas importantes que componen el esquema. Junto con la definición de los campos que componen cada tabla se adjuntan las referencias de la misma con otras tablas con el fin de clarificar su utilidad dentro de la base de datos.

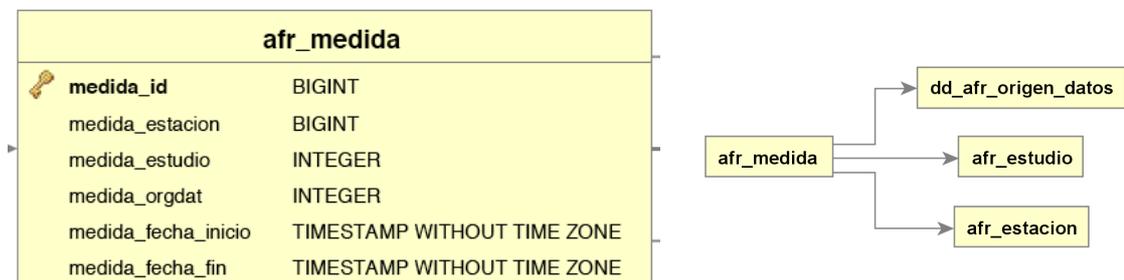
afr_aforo



En esta tabla se almacenan los datos de aforos propiamente dichos. Sobre cada valor de aforo, cantidad de vehículos, se indica la fecha del dato, el periodo de duración del conteo (habitualmente 1 hora), en que carril se tomó el dato, la franja de tamaños de vehículo, la franja de velocidad.

Esta tabla se referencia con otra, afr_medida, a través de la cual sabremos a que tramo hace referencia el aforo.

afr_medida



El concepto medida que se almacena en esta tabla hace referencia a cada medición que se realiza sobre una estación. Por medición entendemos el paquete generado con los aforos de un periodo determinado de varios días. Con la medida informamos en que estación se realizó, cual fue la fecha de inicio y la fecha fin. Así como a que estudio hace referencia, plan anual de aforos, estudio concreto, refuerzo, etc...

dd_afr_velocidades y dd_afr_longitudes

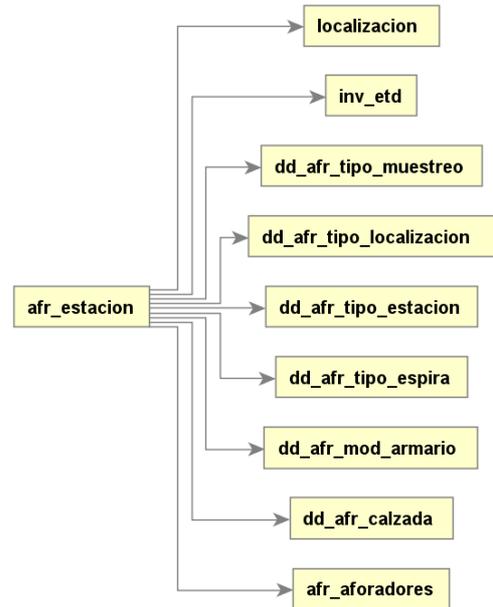
dd_afr_velocidades	
 dd_vel_id	INTEGER
dd_vel_min	NUMERIC
dd_vel_max	NUMERIC
dd_vel_obs	CHARACTER VARYING(250)
dd_vel_dd_version	INTEGER

dd_afr_longitudes	
 dd_long_id	INTEGER
dd_long_min	NUMERIC
dd_long_max	NUMERIC
dd_long_obs	CHARACTER VARYING(250)
dd_long_dd_version	INTEGER
espesado	BOOLEAN

Estas dos tablas contienen el diccionario de datos para la codificación de los distintos grupos de velocidades y longitudes de los vehículos aforados. Según la normativa establecida estos deben de ser 4 segmentos de tamaños y 10 de velocidades. Al disponer de un diseño de BD cómo el presente tenemos la posibilidad de incluir todos los segmentos que necesitemos para ajustarnos a cualquier equipo de medición.

afr_estacion

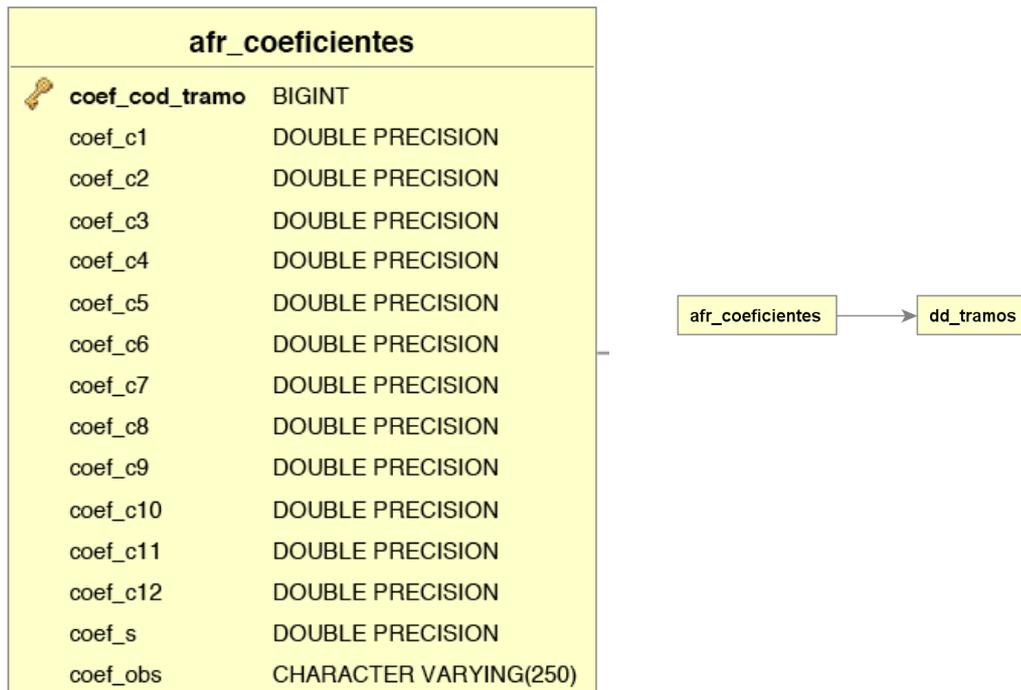
afr_estacion	
estac_id	BIGINT
estac_carril_asc	SMALLINT
estac_carril_des	SMALLINT
estac_tipoest	INTEGER
estac_tipoloc	INTEGER
estac_localizacion	BIGINT
estac_fecha_inst	TIMESTAMP WITHOUT TIME ZONE
estac_fecha_mantenimiento	TIMESTAMP WITHOUT TIME ZONE
estac_armario	SMALLINT
estac_modarm	INTEGER
estac_calz	INTEGER
estac_espira	INTEGER
estac_conector	INTEGER
estac_aforador	INTEGER
estac_obs	CHARACTER VARYING(250)
estac_mantenimiento	CHARACTER VARYING(250)
estac_etd	BIGINT
estac_tipo_muestreo	INTEGER
estac_datos_afectados	CHARACTER VARYING(2)
estac_esmotos	CHARACTER VARYING(2)
estac_num_adrs	INTEGER



En esta tabla almacenamos las estaciones de aforos. Por estación entendemos el punto donde tenemos la instalación ya sea de espiras electromagnéticas, el armario para el ADR o simplemente el punto en la vía donde se instalan las gomas para tomar las medidas.

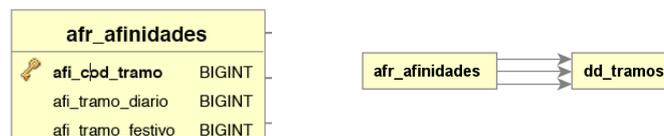
De cada estación guardamos toda la información que nos es útil para posteriores cálculos, así como para mantenimiento e inventario.

afr_coeficientes



En la tabla coeficientes almacenamos para su uso en cálculos posteriores los coeficientes de afinidad que ofrece cada estación. Estos coeficientes serán utilizados después en la expansión de muestras de aquellas estaciones que tengan afinidad y necesiten expansión de sus muestras.

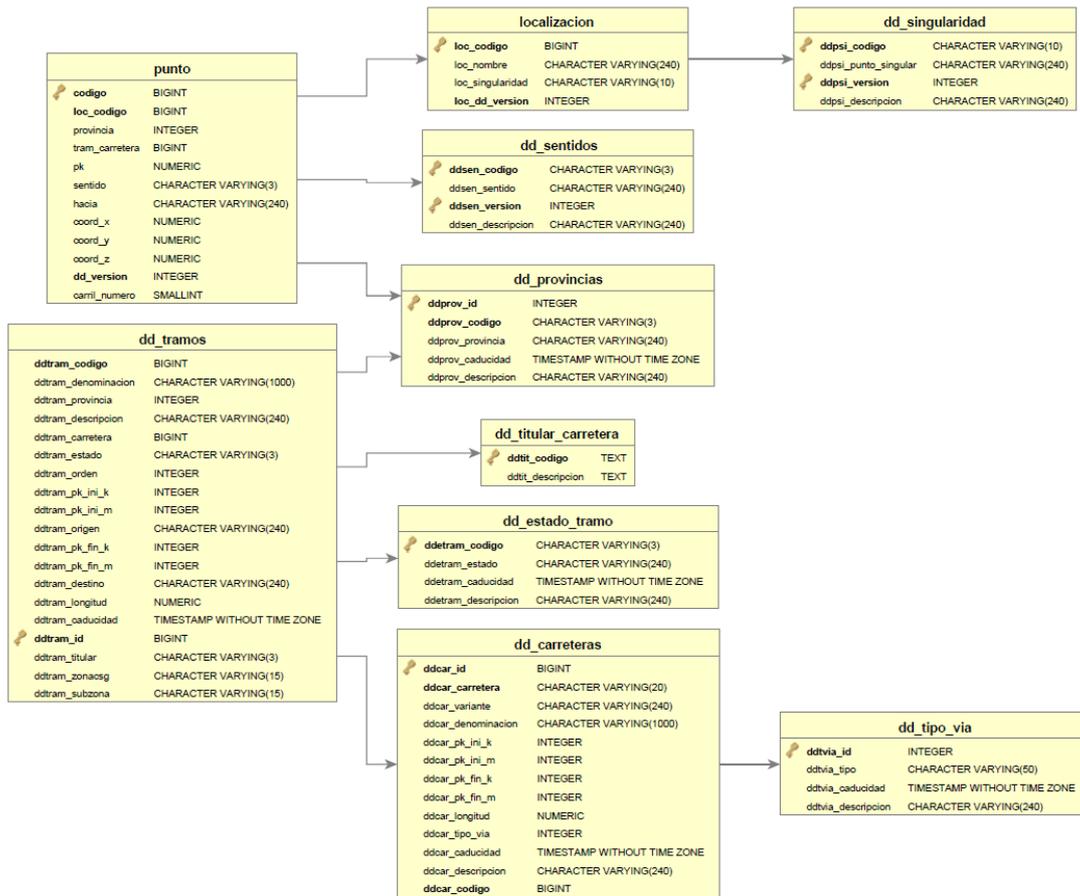
afr_afinidades



Los tramos de aforos tienen dos tipos de estaciones afines, la estación afín para días laborales y la estación afín para días festivos, sábados y domingos. En esta tabla se mantiene dicha información.

3.1.2. Esquema Localización

El esquema localización contiene la información referente al posicionamiento de todos los puntos de aforo de la red, así como a la relación entre estos y las distintas carreteras que forman parte de la red viaria.



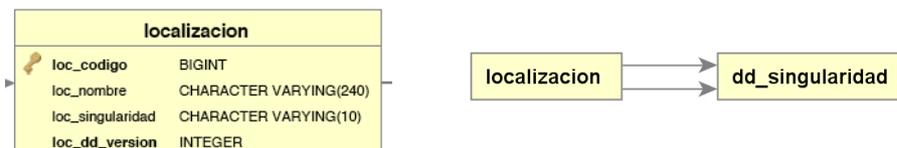
Descripción y detalle de algunas de las tablas más importantes que componen el esquema. Junto con la definición de los campos que componen cada tabla se adjuntan las referencias de la misma con otras tablas con el fin de clarificar su utilidad dentro de la base de datos.

punto



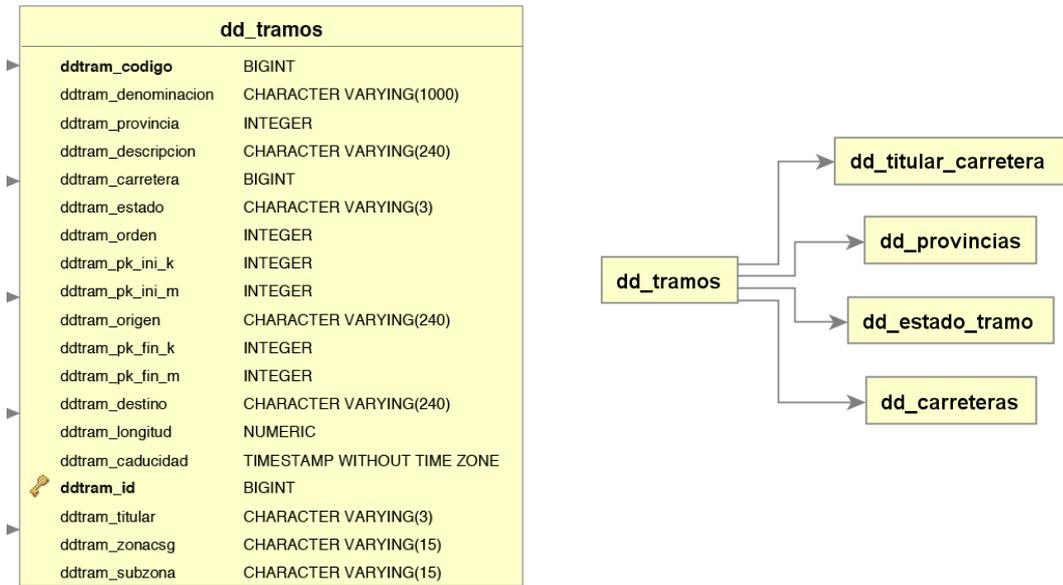
La tabla punto contiene la información exacta referente al punto donde se realiza la toma de aforos de tráfico. Tener diferenciado el punto respecto del tramo es útil pensando en la posibilidad de realizar aforos en diferentes sitios dentro de un mismo tramo de aforos. La realidad es que esta circunstancia nunca se ha dado, pero puede que alguna vez sea necesario hacer uso de ello

localización



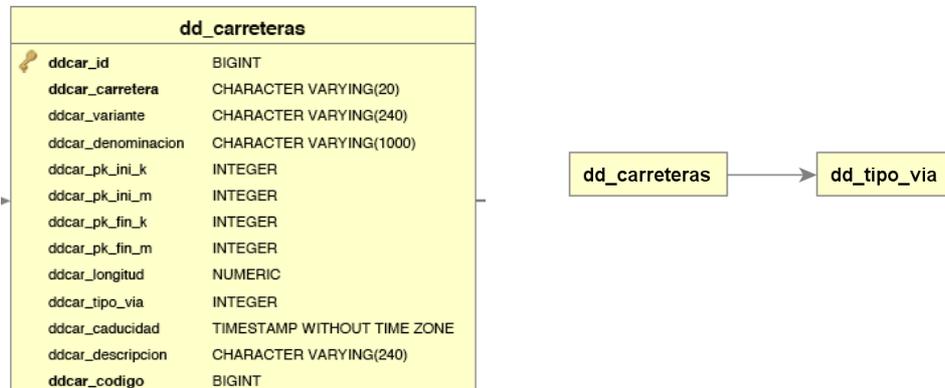
En esta tabla guardamos básicamente el nombre que asignamos a cada localización. Habitualmente se trata del nombre del tramo, pero tenemos la opción de poner utilizar varias localizaciones para cada tramo.

dd_tramos



Esta es la tabla donde se mantiene todo el catálogo de tramos de la red viaria. De cada uno de los tramos necesitamos almacenar mucha información representativa del mismo para la explotación posterior. Por ejemplo el punto kilométrico inicial y final del tramo se utiliza para realizar el cálculo de kilómetros totales aforados cada mes/año por tipo de estación. Otro dato interesante es la descripción del tramo. Se trata de un literal que explica textualmente el recorrido que abarca el tramo.

dd_carreteras



Catálogo de carreteras que se aforan. Esta tabla es una extracción de otra de las BDs que mantenemos en el centro para toda la Consellería, la de la red viaria competencia

de la GVA. Aquí almacenamos las carreteras sobre las que disponemos tramos para aforar.

3.2. Extracción de datos

La extracción y preparación de datos desde la base de datos se realiza siguiendo las necesidades establecidas para el estudio de los mismos a través del software estadístico R.

En nuestro caso se necesitan los datos agrupados por cada estación, día, hora y tamaño, obteniendo para cada agrupación la cantidad de vehículos que se ha registrado.

Se crean las sentencias SQL necesarias sobre el servidor PostgreSQL para la extracción de los datos con el formato necesario.

int_x_dyh_contamaños.sql

```
SELECT
    p.tram_carretera, a.afr_fecha, a.afr_long, sum(a.afr_intensidad)
FROM
    schm_aforos.afr_aforo a,
    schm_aforos.afr_medida m,
    schm_aforos.afr_estacion e,
    schm_localizacion.punto p
WHERE
    a.afr_medida=m.medida_id
    and m.medida_estacion=e.estac_id
    and e.estac_localizacion=p.loc_codigo
    and e.estac_tipoest=3
GROUP BY
    p.tram_carretera, a.afr_fecha, a.afr_long
```

Los datos obtenidos de las sentencias SQL se exportan a ficheros CLV, uno por cada tipo de estación (Cobertura, Secundaria y Primaria) que posteriormente se puedan importar al R-Studio

	A	B	C	D
1	tram_carretera	afr_fecha	afr_long	sum
2	10105	24/04/2008 12:00	11	1
3	10105	24/04/2008 12:00	12	179
4	10105	24/04/2008 12:00	13	40
5	10105	24/04/2008 12:00	14	68
6	10105	24/04/2008 13:00	11	0
7	10105	24/04/2008 13:00	12	165
8	10105	24/04/2008 13:00	13	22
9	10105	24/04/2008 13:00	14	52
0	10105	24/04/2008 14:00	11	1
1	10105	24/04/2008 14:00	12	161
2	10105	24/04/2008 14:00	13	23
3	10105	24/04/2008 14:00	14	64
4	10105	24/04/2008 15:00	11	0
5	10105	24/04/2008 15:00	12	173
6	10105	24/04/2008 15:00	13	33
7	10105	24/04/2008 15:00	14	60
8	10105	24/04/2008 16:00	11	2
9	10105	24/04/2008 16:00	12	172
0	10105	24/04/2008 16:00	13	19
1	10105	24/04/2008 16:00	14	58
2	10105	24/04/2008 17:00	11	1
3	10105	24/04/2008 17:00	12	191
4	10105	24/04/2008 17:00	13	37
5	10105	24/04/2008 17:00	14	54
6	10105	24/04/2008 18:00	11	6
7	10105	24/04/2008 18:00	12	254
8	10105	24/04/2008 18:00	13	29
9	10105	24/04/2008 18:00	14	42
0	10105	24/04/2008 19:00	11	3

3.3. Carga de datos

Posteriormente los datos obtenidos de la extracción se cargan en el software para desarrollo sobre lenguaje estadístico R, el R-Studio. Para ello se utiliza un script de carga desde los ficheros csv anteriormente creados.

Durante el proceso de carga de los datos se formatean algunos de los datos que posteriormente nos serán útiles en el proceso de estudio.

CargaDatos.R

```
#Se cargan directamente en un dataframe en bruto
save(dfDades, file="./Dades/DadesRaw.Rda")

# Se factorizan algunos de los datos del data frame
dfDades$tram_carretera <- factor(dfDades$tram_carretera)
dfDades$afr_long <- factor(dfDades$afr_long)

#Para adecuarlo al modelo español, inicio semana en Lunes
dfDades$DiaSem[dfDades$DiaSem == 0] <- paste(7)
dfDades$DiaSem <- factor(dfDades$DiaSem)

#Clasificamos si cada día si es laboral, sábado o domingo y el mes
dfDades$Clas[dfDades$Clas == 6] <- paste('Mes',
floor((as.numeric(dfDades$Mes[dfDades$Clas == 6])+1)/2), '_Sab', sep='')
dfDades$Clas[dfDades$Clas < 6] <- paste('Mes',
floor((as.numeric(dfDades$Mes[dfDades$Clas < 6])+1)/2), '_Lab', sep='')

#Generamos código para el estudio con estacionalidad

dfDades$Estacio <- as.numeric(format(dfDades$fecha, "%m"))
```

```
dfDades$Estacio[dfDades$Estacio >8] <- paste('Invierno', sep='')
dfDades$Estacio[dfDades$Estacio <7] <- paste('Invierno', sep='')
dfDades$Estacio[dfDades$Estacio ==7] <- paste('Verano', sep='')
dfDades$Estacio[dfDades$Estacio ==8] <- paste('Verano', sep='')

#Guardamos el data frame definitivo

save(dfDades, file="./Dades/Dades.Rda")
```

El estudio se ha centrado en las estaciones de tipo Primaria y Secundarias dado que son las que ofrecen mayor cantidad de muestras y debido a ello se puede extraer una mayor y mejor información.

Mas adelante y siguiendo con el proceso estudiado en el presente trabajo se abordará la posibilidad de aplicación sobre el resto de estaciones.

4. Perfiles y Modelos de predicción

En el presente capítulo se muestra el proceso de creación y los detalles relevantes de los scripts en lenguaje R para generar los perfiles y la predicción de datos basándose en dos modelos diferentes, el Arima y la Regresión Líneal.

4.1. Perfiles del tráfico en los tramos

Los perfiles del tráfico en los tramos son muy útiles para tipificar y agrupar a estos últimos según su comportamiento a lo largo del periodo temporal que corresponda. Para el presente estudio se han creado dos tipos de perfiles claramente diferenciados, los que toman en cuenta la estacionalidad a lo largo de un año natural y los que no.

4.1.1. Perfiles semanales, horarios y mensuales

Detalles relevantes de los scripsts de generación de los distintos perfiles para cada estación.

AnalisisPerfiles.R

```
# Media y desviación típica
dtResum.perTram <-
dt[,list(Mitja=mean(sum),Desviacio=sd(sum)),by=tram_carretera]

dtResum.perTram_DiaSem <-
dt[,list(Mitja=mean(sum),Desviacio=sd(sum)),by=list(tram_carretera,
DiaSem)]

dtResum.perTram_Hora <-
dt[,list(Mitja=mean(sum),Desviacio=sd(sum)),by=list(tram_carretera,
Hora)]

dtResum.perTram_Mes <-
dt[,list(Mitja=mean(sum),Desviacio=sd(sum)),by=list(tram_carretera,
Mes)]
```

```
#Extraemos de los datos los tramos de estaciones primarias y secundarias
Pri<-unique(dfDades[dfDades$Tipo=='Pri', 'tram_carretera'])
Sec<-unique(dfDades[dfDades$Tipo=='Sec', 'tram_carretera'])

#Generamos el gráfico para cada perfil
p1 <- ggplot(dtResum.perTram_DiaSem[tram_carretera==t], aes(x =
DiaSem, y = Mitja, group = tram_carretera)) +
geom_histogram(stat="identity") + theme_bw()

# Juntar todos los gráficos en un mismo fichero

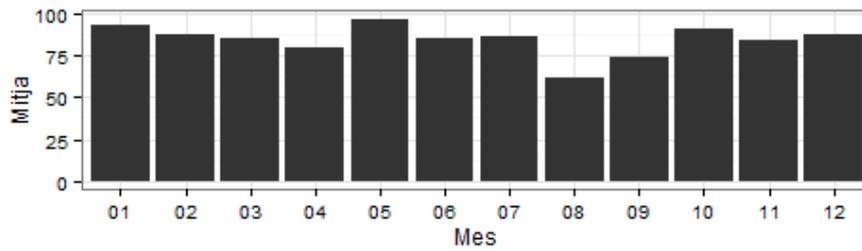
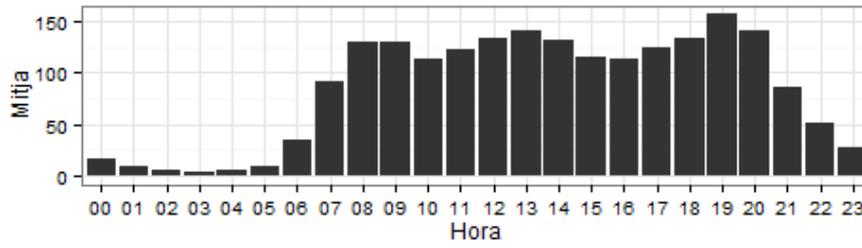
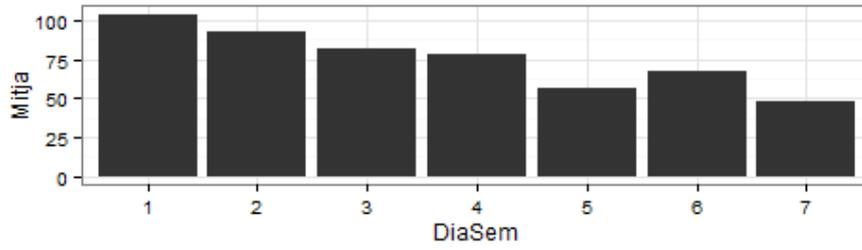
titulo <- paste(c("Tramo ",t," Primaria \n Perfiles"), collapse=" ")
print(grid.arrange(sub=titulo, p1, p2, p3, ncol = 1, nrow = 3))
```

En las gráficas obtenidas podemos observar el comportamiento del tráfico según varios parámetros temporales, el día de la semana, la hora del día o el mes. Con ello podemos sacar conclusiones y tipificar el tramo siguiendo algunos de estos criterios.

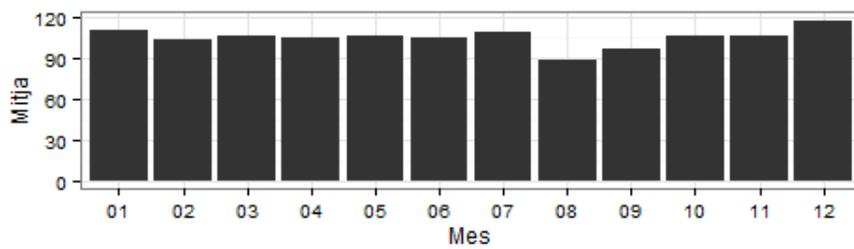
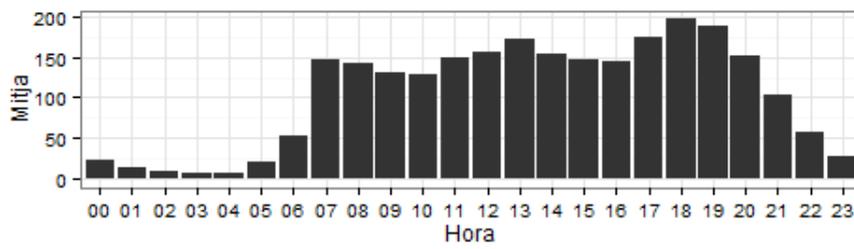
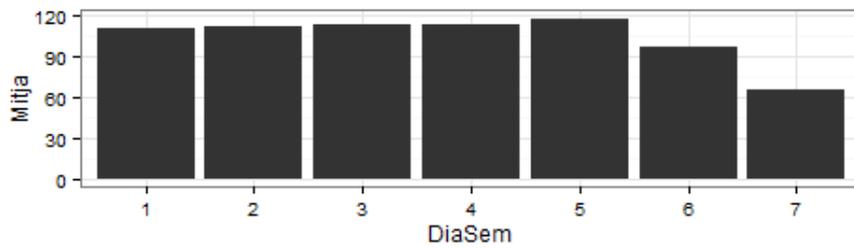
Este estudio lo podemos aplicar a todos los tipos de estaciones, ya sea Primaria, Secundaria o Cobertura, ya que simplemente se trata de obtener medias sobre los datos que se han obtenido durante el desarrollo del plan de aforos.

Se adjunta un ejemplo de cada uno de los tipos de estación, Primaria, Secundaria y Cobertura.

Tramo 915010 Secundaria
Perfiles

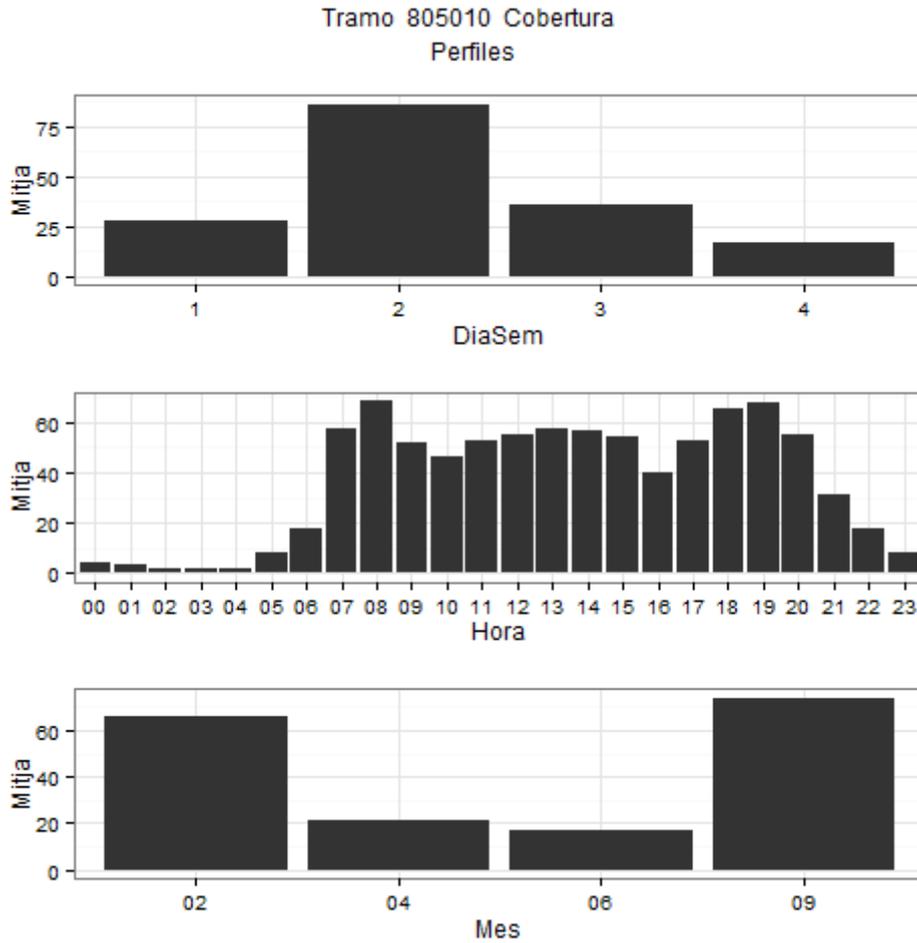


Tramo 41020 Primaria
Perfiles



En el caso de las estaciones Cobertura notar que al disponer de datos de aforo únicamente de dos días laborales al año, en todo el periodo estudiado no tiene por que quedar cubierta toda la semana, ni todos los meses. Eso sí, el horario si que queda cubierto por completo ya que siempre se afora en periodos completos de 24 horas.

EL siguiente ejemplo se puede observar que únicamente se han recogido datos en lunes, martes, miércoles y jueves, y en los meses de Febrero, Abril, Junio y Septiembre, entre los años 2008 y 2013.



4.1.2. Perfiles semanales y horarios estacionales

En este caso el script es muy parecido al anterior. Difiere en cuanto al formato de las gráficas, que han de representar dos valores por cada elemento del eje X.

A continuación se muestran los detalles interesantes de dicho script.

AnalisisPerfilesEstacionales.R

```
# Media y desviación típica agrupado por estación del año

dtResum.perEstTram <-
dt[,list(Mitja=mean(sum),Desviacio=sd(sum)),by=list(tram_carretera,
Estacio)]

dtResum.perEstTram_DiaSem <-
dt[,list(Mitja=mean(sum),Desviacio=sd(sum)),by=list(tram_carretera,
Estacio, DiaSem)]

dtResum.perEstTram_Hora <-
dt[,list(Mitja=mean(sum),Desviacio=sd(sum)),by=list(tram_carretera,
Estacio, Hora)]

dtResum.perEstTram_Mes <-
dt[,list(Mitja=mean(sum),Desviacio=sd(sum)),by=list(tram_carretera,
Estacio, Mes)]

#Gráfica con el perfil semanal y horario estacional

p1 <- ggplot(dtResum.perEstTram_DiaSem[tram_carretera==t],
aes(x=DiaSem, y=Mitja, fill=Estacio)) + geom_bar(position="dodge",
stat="identity")

p2 <- ggplot(dtResum.perEstTram_Hora[tram_carretera==t], aes(x=Hora,
y=Mitja, fill=Estacio)) + geom_bar(position="dodge", stat="identity")

#Gráfica de ambas estaciones junto con el total anual

p3 <- ggplot() +
#estación Verano
```

```
geom_line(data = dtResum.perEstTram_DiaSem[tram_carretera==t &
Estacio=='Verano'], aes(x = DiaSem, y = Mitja, group = tram_carretera),
colour='blue') +

#estación Invierno

geom_line(data = dtResum.perEstTram_DiaSem[tram_carretera==t &
Estacio=='Invierno'], aes(x = DiaSem, y = Mitja, group = tram_carretera),
colour='red') +

#total anual

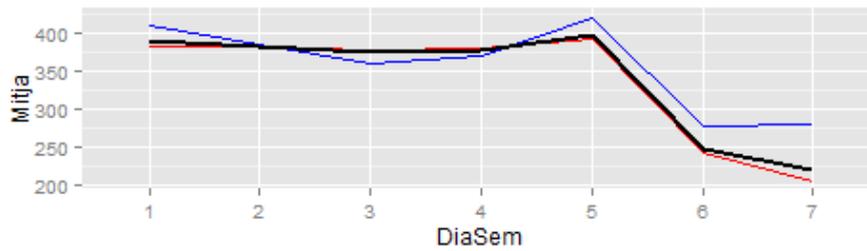
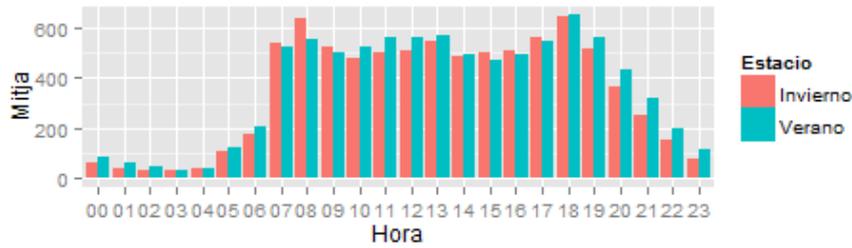
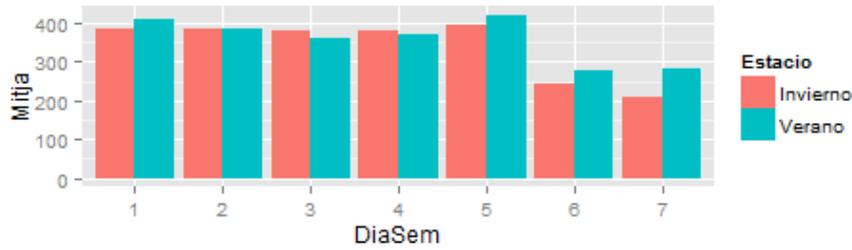
geom_line(data = dtResum.perTram_DiaSem[tram_carretera==t], aes(x =
DiaSem, y = Mitja, group = tram_carretera), colour='black', size=1)
```

Las siguientes gráficas nos muestran los perfiles semanales y horarios diferenciados y enfrentados por estación del año. Con esta información podemos observar si existe comportamiento diferente entre las dos principales épocas del año en cada tramo, y con ello poder afirmar para cada estación si tiene comportamiento estacional o no. Dicho comportamiento estacional puede afectar a los días laborales o al fin de semana de forma independiente, o a todos los días de la semana por igual.

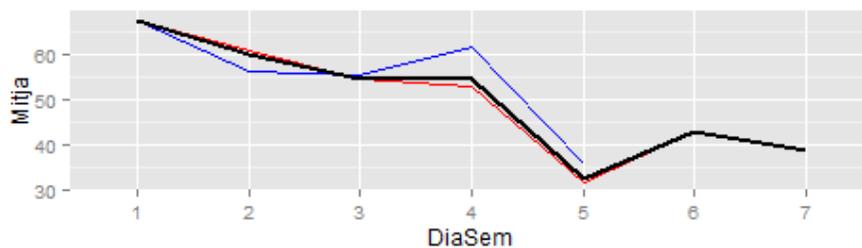
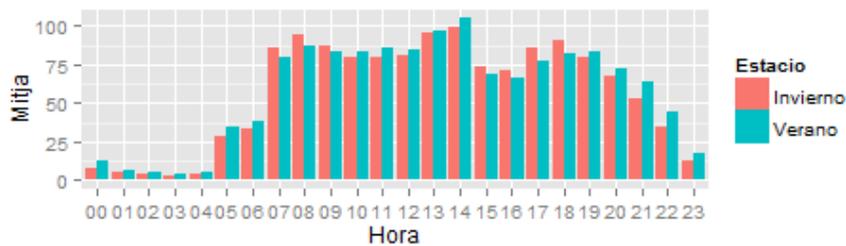
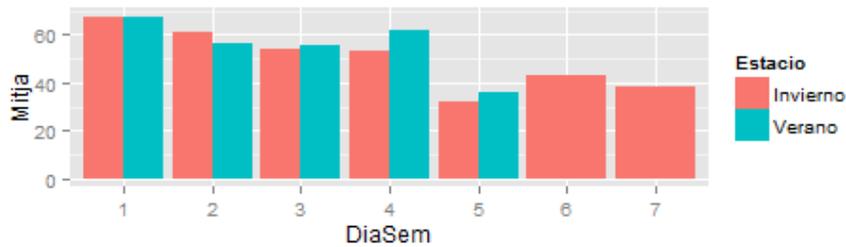
Se toma para este cálculo como meses de Verano a Julio y Agosto, y el resto de meses como Invierno.

Dada la frecuencia de muestreo de las estaciones de aforos, en este caso, no es posible obtener esta información mas que para las Primarias y Secundarias. Las Coberturas no nos mostrarían información fiable dada la falta de un muestreo completo de los meses del año a lo largo de los años estudiados, tal y cómo comprobamos al generar los perfiles en el punto anterior.

Tramo 10040 Primaria
Perfiles Estacionales



Tramo 800020 Secundaria
Perfiles Estacionales



4.2. Predicción de datos

Tanto desde el punto de vista de la gestión y mantenimiento de la red carreteras cómo del seguimiento del plan anual de aforos es interesante disponer de algún sistema de predicción del tráfico en los diversos tramos.

En cuanto a la la gestión y mantenimiento de la red viaria está claro que disponer de información referente a cómo se va a comportar el tráfico a futuro próximo ayuda a los gestores a poder tomar decisiones con tiempo para evitar, en lo posible, deterioro excesivo de las vías así como plantear posibles ampliaciones de las mismas.

En lo referente al plan de aforos es útil disponer de esta herramienta para en caso de problemas en la recolección de datos, falta de previsión, de material, personal, etc.. que causen ausencia de datos en algún periodo y tramo, poder inferir dichos datos de forma fiable.

Para la predicción de datos de aforos se ha optado por realizar el análisis utilizando el modelo Arima y la Regresión Lineal. En ambos casos se aplican sobre los tramos de tipo Primario, dado que son los que disponemos de un mayor muestreo y nos permite obtener una información de mayor calidad.

En estadística y econometría, en particular en series temporales cómo las que nos ocupan en este trabajo, un modelo autorregresivo integrado de media móvil o ARIMA (acrónimo del inglés Autoregressive Integrated Moving Average) es un modelo estadístico que utiliza variaciones y regresiones de datos estadísticos con el fin de encontrar patrones para una predicción hacia el futuro. Se trata de un modelo dinámico de series temporales, es decir, las estimaciones futuras vienen explicadas por los datos del pasado y no por variables independientes. Además el modelo Arima tiene la capacidad de ajustarse a través de los datos históricos para obtener una predicción lo más fiable posible.

El modelo Arima fue desarrollado a finales de los sesenta del siglo XX. Box y Jenkins lo sistematizaron y en la actualidad existe implementación del mismo para muchos lenguajes y paquetes de programación, entre ellos el R que es el que utilizamos en el presente trabajo.

La Regresión lineal nos permite determinar el grado de dependencia de las series de valores X e Y, prediciendo el valor y estimando que se obtendría para un valor x que no esté en la distribución, en nuestro caso un valor de volumen de tráfico para una fecha concreta.

La regresión lineal permite trabajar con una variable así cómo también se puede comprender la relación de dos o más variables, permitiendo relacionar mediante ecuaciones una variable en relación a las otras llamándose Regresión múltiple. O sea, la regresión lineal múltiple es cuando dos o más variables independientes influyen sobre una variable dependiente.

4.2.1. Predicción de datos a través del modelo Arima

Inferencia de datos a través del modelo Arima. Cómo se indicaba anteriormente se aplica sobre las estaciones primarias.

A continuación se muestra detalle del código en R para la obtención de las gráficas sobre el modelo Arima, comentando aquellos puntos interesantes.

InferenciaArima.R

```
#Se prepara la serie temporal sobre la que realizar el trabajo posterior
```

```
prep.ts <- function(vec){  
  start = as.Date(vec[1,"Fecha"])  
  end = as.Date(vec[nrow(vec),"Fecha"])  
  full <- seq(start, end , by='1 month')  
  
  return(data.frame(Fecha=full, x=with(vec, x[match(full,  
as.Date(Fecha))])))  
}
```

```
#Produces a data.frame with the Source Data+Training Data, Fitted  
Values+Forecast Values, forecast data Confidence Intervals
```

```
funggcast<-function(dn,fcast, startf=NULL){  
  require(zoo) #needed for the 'as.yearmon()' function  
  
  if(is.null(startf)){  
    en<-max(time(fcast$mean)) #extract the max date used in the forecast  
  }else{  
    en<-startf  
  }  
}
```

#Extract Source and Training Data

```
ds<-as.data.frame(window(dn,end=en))
names(ds)<-'observed'
ds$date<-as.Date(time(window(dn,end=en)))
```

#Extract the Fitted Values (need to figure out how to grab confidence intervals)

```
dfit<-as.data.frame(fcast$fitted)
if(is.null(startf)){
  dfit$date<-as.Date(time(fcast$fitted))
}else{
dfit$date<-
as.Date(fcast$model$data$Fecha[!is.na(fcast$model$data$TM)])
}
names(dfit)[1]<-'fitted'

ds<-merge(ds,dfit,all.x=T) #Merge fitted values with source and training
data
```

#Extract the Forecast values and confidence intervals

```
dfcastn<-as.data.frame(fcast)
if(!is.null(startf)){
  row.names(dfcastn) <- as.Date(fcast$newdata$Fecha)
}
Sys.setlocale("LC_TIME", "en_US.UTF-8")
dfcastn$date<-as.Date(as.yearmon(row.names(dfcastn)))
names(dfcastn)<-c('forecast','lo80','hi80','lo95','hi95','date')
```

```
pd<-merge(ds,dfcastn,all.x=T) #final data.frame for use in ggplot
```

```
return(pd)
}

myts <- prep.ts(agg)

myts <- ts(myts$x, start=c(as.numeric(format(myts[1,"Fecha"], "%Y")),
as.numeric(format(myts[1,"Fecha"], "%m"))), frequency=12)

na.myts <- na.approx(myts)
year <- end(na.myts)[1]-2

yt <- window(na.myts, end=c(year, 12))
yfit <- auto.arima(yt) # fit arima model

yfor <- forecast(yfit, h=length(window(na.myts, start=c(year+1,1)))) #
forecast

pd <- funggcast(na.myts, yfor) # extract the data for ggplot using
function funggcast()

yt <- window(myts, end=c(year, 12))

nrow <- dim(data.frame(yt))[1]

vect <- cbind(data.frame(yt), seq(as.Date(as.Date(paste(paste(start(yt),
collapse="-"), "01", sep="-"))), by = "month", length = nrow))

colnames(vect) <- c("TM", "Fecha")

yfit <- lm(TM~Fecha, data=vect)

startf <- as.Date(as.Date(paste(paste(c(year+1,1), collapse="-"), "01",
sep="-")))

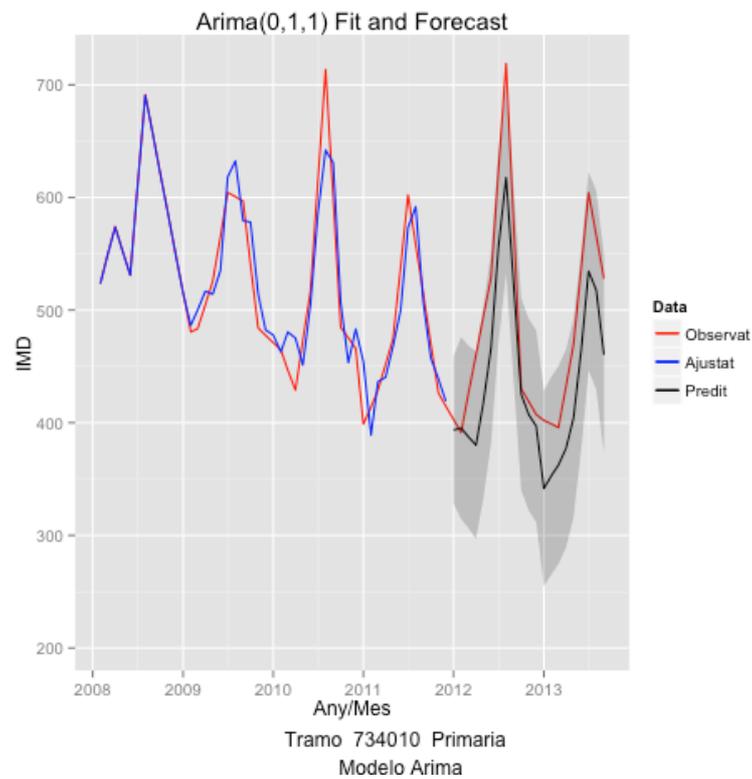
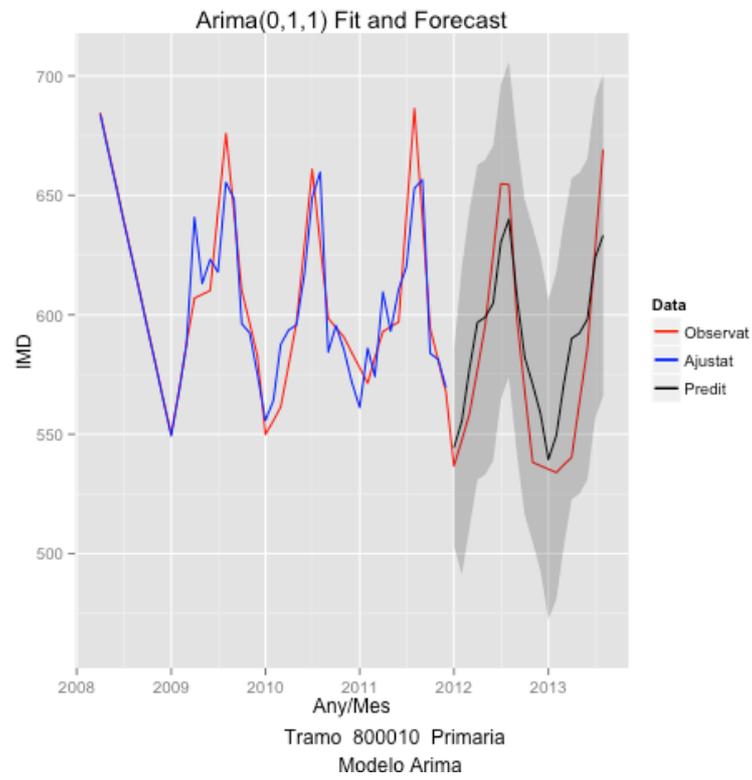
yfor <- forecast(yfit, newdata=seq(startf, by = "month", length =
length(window(myts, start=c(year+1,1)))) # forecast
```

#Creación de la gráfica con los datos generados por el modelo Arima

```
plotDataArima<-ggplot(data = pd, aes(x = date, y = observed)) +  
  geom_line(aes(color = "1")) +  
  geom_line(aes(y = fitted,color="2")) +  
  geom_line(aes(y = forecast,color="3")) +  
  scale_colour_manual(values=c("red", "blue","black"),labels =  
c("Observat", "Ajustat", "Predit"),name="Data")+  
  geom_ribbon(aes(ymin = lo95, ymax = hi95), alpha = .25)+  
  scale_x_date(name = "Any/Mes") +  
  scale_y_continuous(name = "IMD", limits=c(mi, ma))+  
  theme(axis.text.x = element_text(size = 10)) +  
  ggtitle("Arima(0,1,1) Fit and Forecast")
```

El modelo Arima nos permite obtener una predicción sobre la serie temporal de los datos de aforos obtenidos.

Con estos gráficos podemos obtener de forma rápida y visual cómo se comportará el tráfico de cada estación a futuro, en base al histórico de los últimos años. Según se puede observar en los mismos cuanto más estable en su comportamiento anual haya sido el tráfico mas fiable será la predicción obtenida. Tal y como se comentará en una de las conclusiones esta estabilidad en ocasiones es afectada por cambios en las carreteras o elementos de afección a las mismas.



4.2.2. Predicción de datos a través de Regresión Lineal

Inferencia de datos a través de Regresión Lineal. Cómo en el anterior caso también se aplica únicamente sobre las estaciones de tipo primaria dado el volumen de muestreo insuficiente en el resto de estaciones.

InferecniarL.R

```
#Se prepara la serie temporal sobre la que realizar el trabajo posterior
prep.ts <- function(vec){
  start = as.Date(vec[1,"Fecha"])
  end = as.Date(vec[nrow(vec),"Fecha"])
  full <- seq(start, end , by='1 month')

  return(data.frame(Fecha=full, x=with(vec, x[match(full,
as.Date(Fecha))])))
}

#Creación de la serie temporal a utilizar en los algoritmos de predicción
myts <- prep.ts(agg)

myts <- ts(myts$x, start=c(as.numeric(format(myts[1,"Fecha"], "%Y")),
as.numeric(format(myts[1,"Fecha"], "%m"))), frequency=12)

#Definición del periodo de Training y de Test. El periodo de test serán los
dos últimos años y el periodo de training los años anteriores
year <- end(na.myts)[1]-2

#Predicción utilizando Regresión Lineal
yt <- window(myts, end=c(year, 12))
nrow <- dim(data.frame(yt))[1]
```

```
vect <- cbind(data.frame(yt), seq(as.Date(as.Date(paste(paste(start(yt),
collapse="-"), "01", sep="-"))), by = "month", length = nrow))

colnames(vect) <- c("TM", "Fecha")

yfit <- lm(TM~Fecha, data=vect)

startf <- as.Date(as.Date(paste(paste(c(year+1,1), collapse="-"), "01",
sep="-")))

yfor <- forecast(yfit, newdata=seq(startf, by = "month", length =
length(window(myts, start=c(year+1,1)))) # forecast

#Extraemos la información para el ggplot conla función Funggcast

pdRL <- funggcast(myts, yfor, year(last(yfor$newdata)) +
(month(last(yfor$newdata))-1)/12)

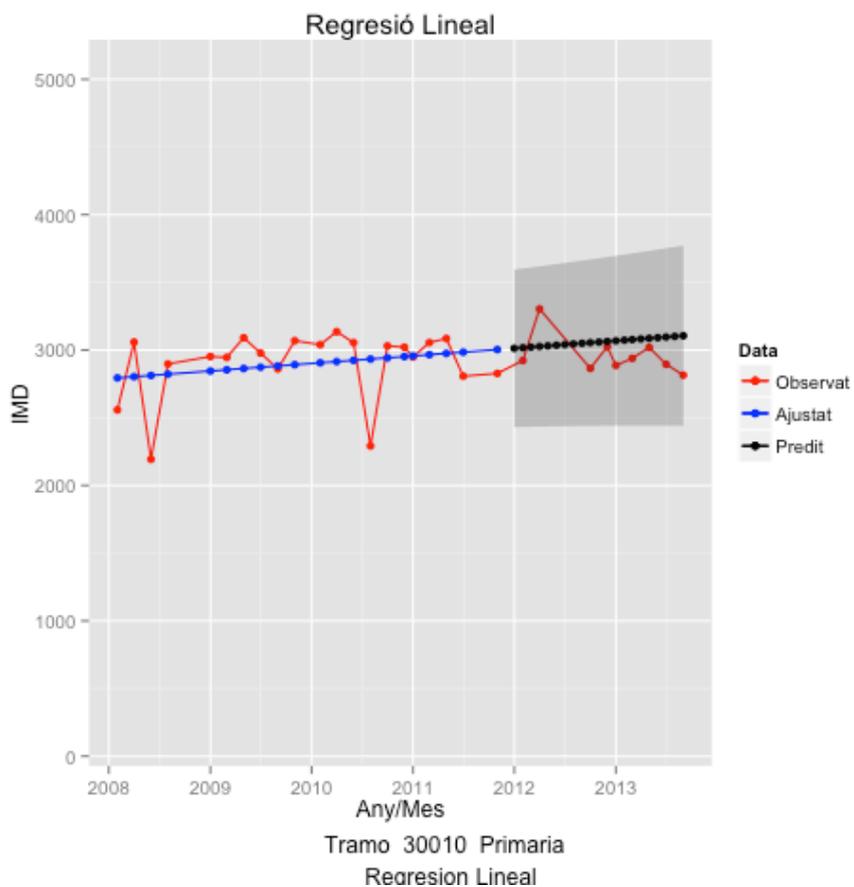
ma <- max(rbind(pd[, -1], pdRL[, -1]), na.rm=TRUE)
mi <- min(rbind(pd[, -1], pdRL[, -1]), na.rm=TRUE)

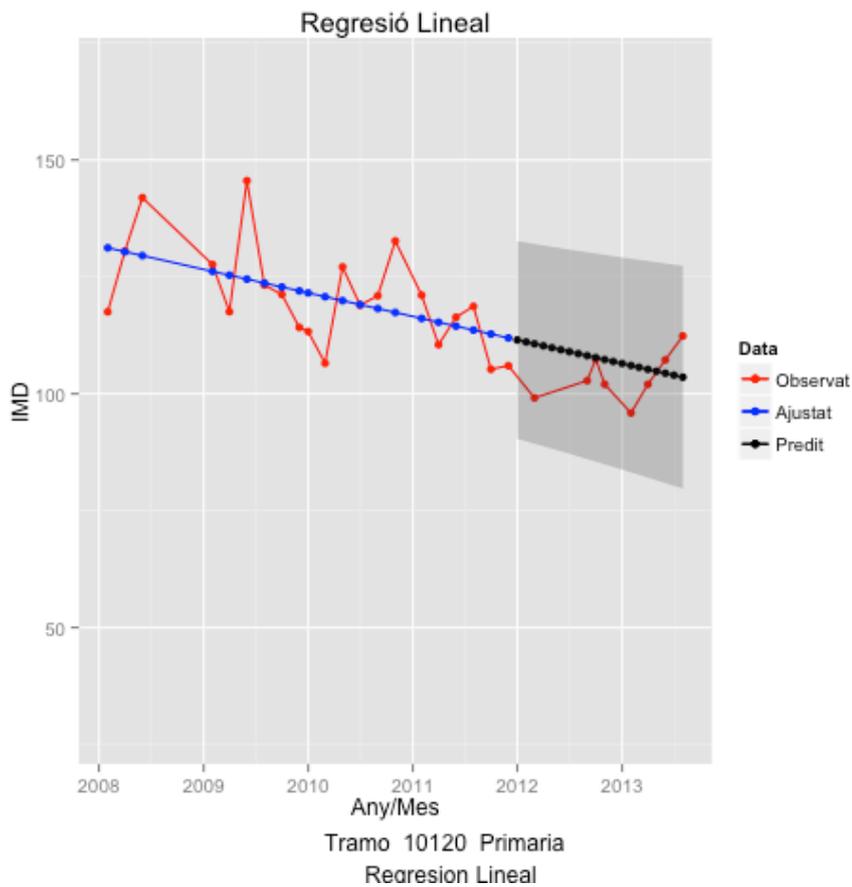
#Generamos la gráfica de la regresión lineal

plotDataRL<-ggplot(data = pdRL, aes(x = date, y = observed)) +
  geom_point(aes(color = "1")) +
  geom_line(data=pdRL[!is.na(pdRL$observed),c("date", "observed")],
aes(color = "1")) +
  geom_point(aes(y = fitted,color="2"))+
  geom_line(data=pdRL[!is.na(pdRL$fitted),c("date", "fitted")],
aes(x=date, y=fitted, color="2")) +
  geom_point(aes(y = forecast,color="3"))+
  geom_line(data=pdRL[!is.na(pdRL$forecast),c("date", "forecast")],
aes(x=date, y = forecast,color="3")) +
  scale_colour_manual(values=c("red", "blue","black"),labels =
c("Observat", "Ajustat", "Predit"),name="Data")+
```

```
geom_ribbon(aes(ymin = lo95, ymax = hi95), alpha = .25)+
scale_x_date(name = "Any/Mes") +
scale_y_continuous(name = "IMD", limits=c(mi, ma)) +
theme(axis.text.x = element_text(size = 10)) +
ggtitle("Regresió Lineal")
```

Las gráficas obtenidas tras la aplicación de la regresión lineal nos muestran la tendencia que presenta el tráfico para cada estación. Al contrario del modelo Arima, que si se ajusta a las variaciones temporales, la regresión lineal nos es útil para ver la tendencia que sigue el tráfico, pero no así para obtener predicción de datos concretos ya que la distribución del tráfico no es lineal





4.3. Herramientas utilizadas

PgAdmin

Se trata de la interfaz gráfica para la gestión y explotación de las bases de datos de PostgreSQL. A través de ella se pueden crear y ejecutar las consultas SQL sobre el gestor de base de datos.

R-Studio

Frontend gráfico para el lenguaje de programación R, potente herramienta para procesos estadísticos. A través de esta interfaz se puede gestionar tanto el diseño y depuración de los scripts, cómo el seguimiento de la ejecución con todas las variables y datos del proceso, así como una potente herramienta de ayuda. También permite gestionar de forma muy cómoda la instalación y carga cuando es necesario de los diversos paquetes de los repositorios públicos que permiten ampliar las funcionalidades básicas del lenguaje R con potentes funciones y herramientas adicionales.

LibreOffice Calc

En el caso del presente trabajo se ha trabajado con la hoja de cálculo del paquete LibreOffice, llamada Calc. Su utilización ha sido imprescindible para la preparación de los datos extraídos de la BD para su trabajo posterior en R.

5. Resultados obtenidos: conclusiones

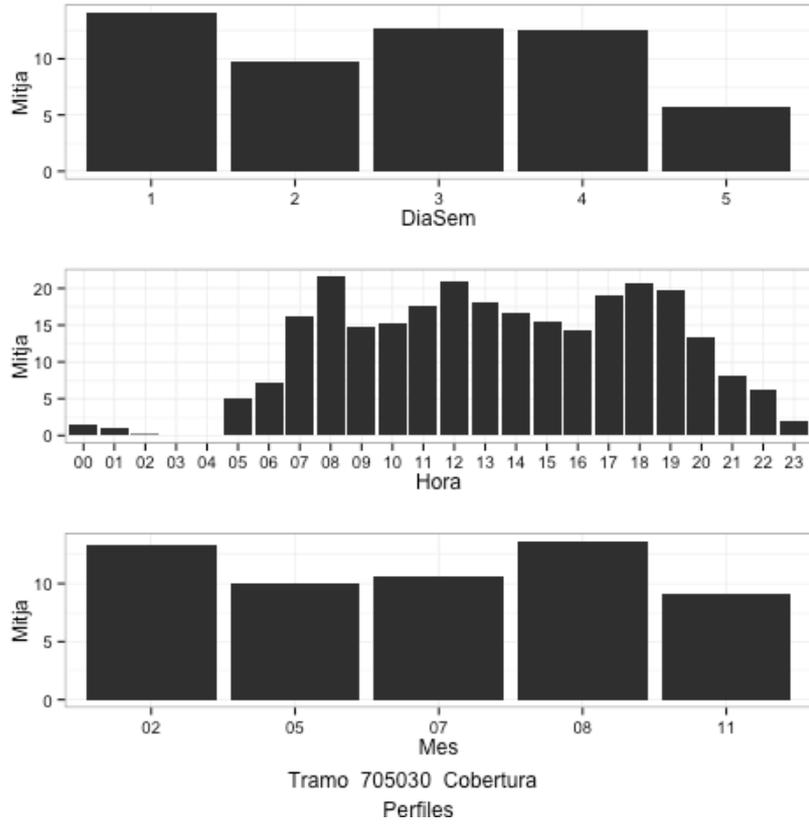
Tras el estudio de los resultados obtenidos en el proceso de análisis se pueden extraer conclusiones acerca de las características del tráfico y de los procesos estadísticos aplicados a los datos.

Se ofrece a continuación el detalle de cada una de las mismas.

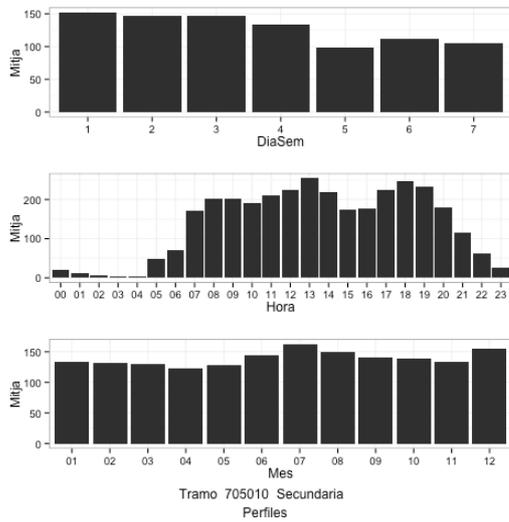
Las estaciones del tipo Cobertura no ofrecen suficiente muestreo para obtener información fiable de predicción ni de perfiles.

Las estaciones de tipo Cobertura disponen de un muestreo muy reducido, dos días laborales al año. El presente trabajo pretendía en un inicio elaborar un proceso automático para la obtención de afinidades entre estaciones del tipo Cobertura con estaciones Primarias. Pero debido al poco volumen de muestras que se obtienen de estas estaciones no es posible afrontar el problema de una forma fiable y de fácil extrapolación a todas las estaciones y casuísticas de las mismas. Con todo y esto, lo que si se puede concluir es que los métodos y herramientas aquí desarrollados pueden ayudar y complementar la toma de decisión de que estaciones son afines entre sí.

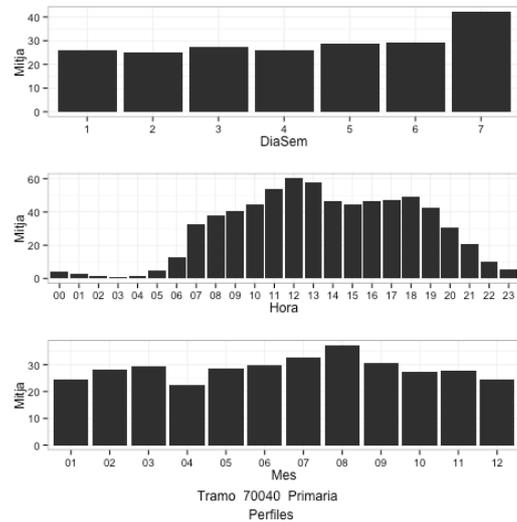
A continuación se muestra el ejemplo de la estación 705030 la cual tiene como estación afín para laborales a la 705010 y para festivos a la 070040. Esta asignación esta realizada, cómo se ha comentado en diversas ocasiones, en base al conocimiento de la red y del comportamiento del tráfico a través de la misma. A través de los perfiles podemos complementar estas decisiones, comprobando su valía.



AFIN LABORALES



AFIN FESTIVOS

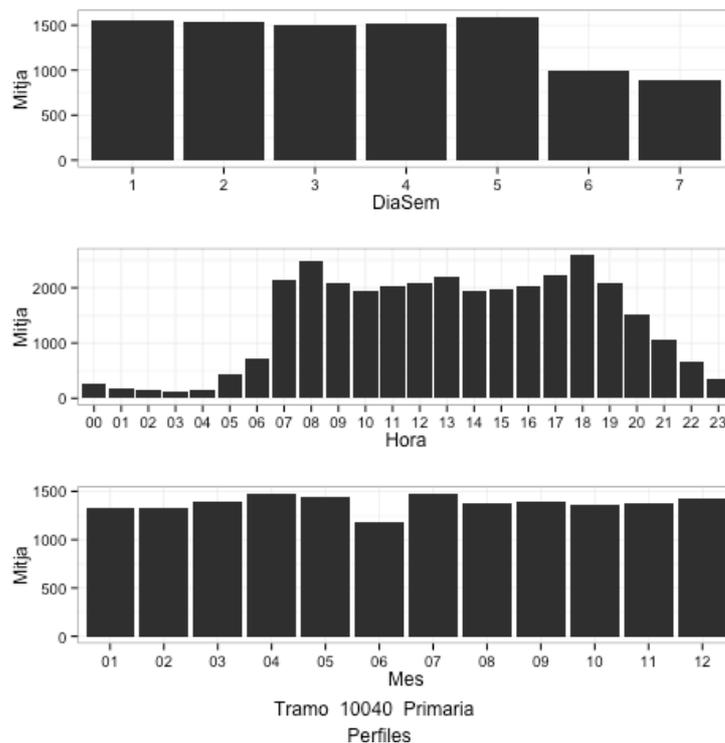


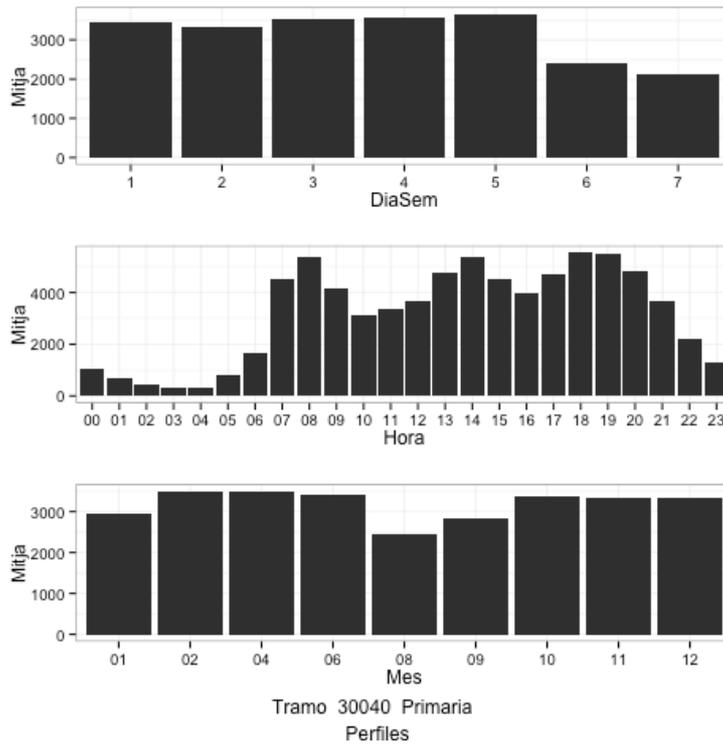
A través de los diferentes perfiles se pueden agrupar los tramos de forma muy fácil.

Los perfiles horarios, semanales y mensuales nos permiten obtener manera muy clara el comportamiento del tráfico en cada una de las estaciones. A través del estudio de los mismos se pueden generar grupos de estaciones en las cuales el tráfico siga un mismo comportamiento. Con esto conseguimos tipificar y/o agrupar todas estaciones de la red. Esto es muy útil desde el punto de vista del estudio del tráfico cómo de la gestión de la red viaria, ya que ofrece a los gestores la posibilidad de tomar decisiones en base a la época o día de la semana en según que vías tomando en cuenta el tráfico que estas van a soportar.

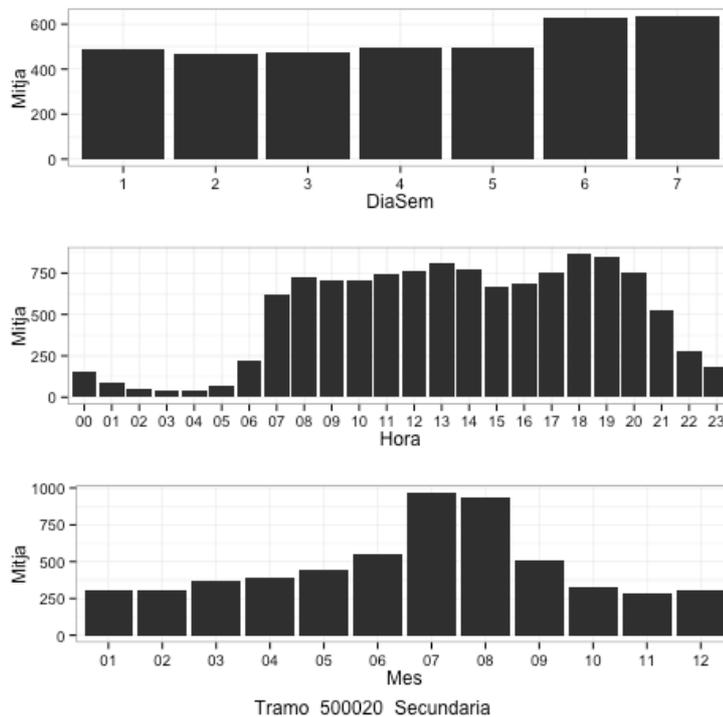
Queda para posible ampliación del presente trabajo la tarea de generar de forma automática la agrupación de las estaciones en base a los perfiles.

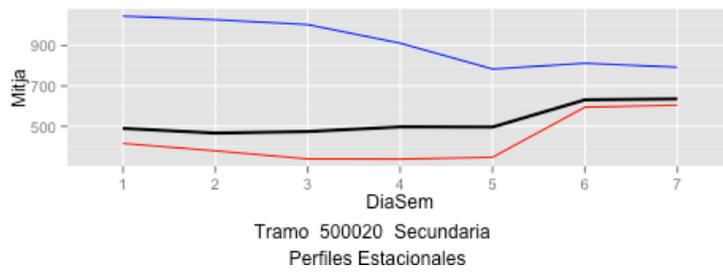
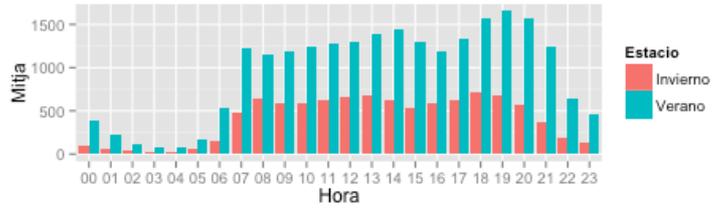
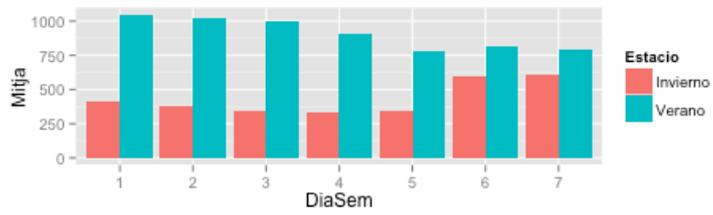
- Estaciones con tráfico clásico laboral. Mayor volumen de lunes a viernes y con dos picos sobre las 8 de la mañana y las 18 de la tarde.





- Estación con tráfico claramente de época estival y en menor medida, aunque acentuado, de fines de semana. Se observa claramente a través de los perfiles y de los estacionales. Se trata de la estación 500020 situada en la autopista del Saler, la cual da acceso a toda la zona de playas del sur de valencia, así cómo a la zona de la albufera, muy frecuentada en fines de semana y festivos.





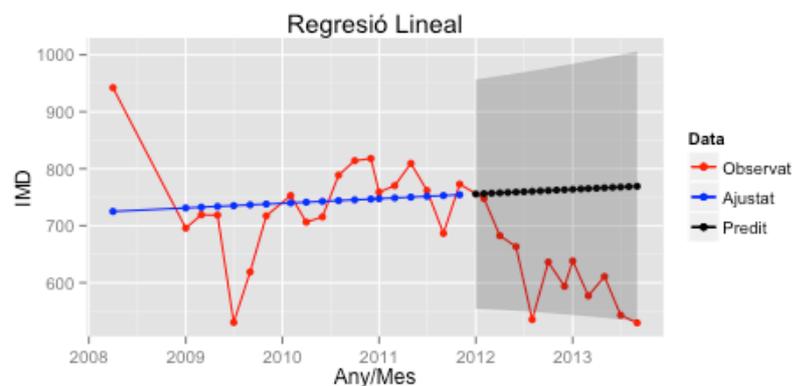
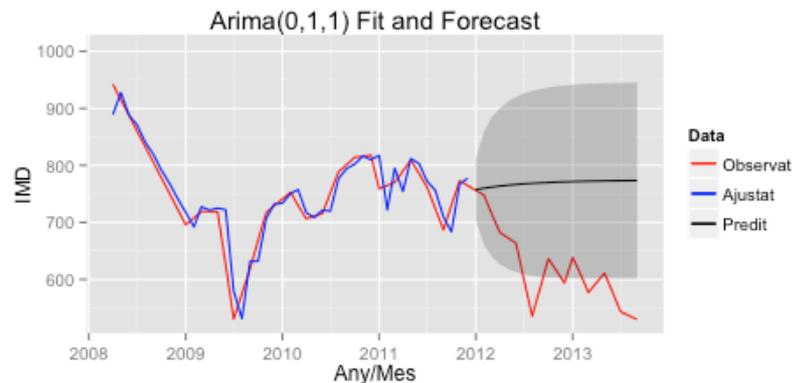
La predicción de datos es muy delicada debido a que la red viaria sufre alteraciones temporales a lo largo de los años que afectan a la evolución normal del volumen de tráfico

Los elementos que conforman la red viaria no se mantienen estáticos a lo largo del tiempo, sufren constantes variaciones. Estas variaciones o modificaciones pueden ser de diversos tipos, desde obras en las propias vías, hasta creación de otras rutas alternativas, puesta en marcha de zonas industriales, etc...

Cualquiera de estas alteraciones de la situación en las vías tiene un efecto inmediato y claro en el tráfico que circula por las vías afectadas. Esto se traduce en un comportamiento anómalo durante o a partir de algunas fechas.

Por todo ello la predicción de datos a futuro, basada evidentemente en los datos pasados, en ocasiones se comporta de forma poco fiable debido a que los datos pasados han sufrido alteraciones debidas no únicamente al grueso del tráfico en la red, si no a algún factor externo que ha afectado a la evolución normal del tráfico.

- Este ejemplo de la estación 930020 nos muestra las fuertes variaciones en los datos observados debido a las obras que se han estado produciendo en la CV-930 en Orihuela a lo largo de estos últimos años. Incluso hubo un parón en las mismas que obligo a mantener durante algún tiempo el tráfico desviado.



La Regresión lineal nos ayuda a predecir la tendencia del volumen de tráfico, no datos concretos.

A través de la aplicación de la regresión lineal sobre los datos de aforo de un tramo nos permite obtener la tendencia de la evolución del tráfico en dicho tramo. Dado que el tráfico no se comporta de una forma lineal a lo largo del tiempo, no se puede utilizar para estimar datos concretos.

Se podría aplicar la regresión lineal sobre subconjuntos en los cuales el tráfico si tenga un comportamiento mas lineal, todos los martes de verano, los meses de enero o las 17h de Junio. Esta posibilidad queda abierta para futuras ampliaciones del presente trabajo.

Necesidad de conocimiento de la red viaria para complementar la falta de muestreo

El primer planteamiento para el presente trabajo era conseguir un proceso automático mediante el cual poder prescindir, en la medida de lo posible, de la necesidad de hacer uso de parámetros obtenidos de forma no científica en los procesos de estudio del tráfico.

Después de todo lo estudiado en el presente trabajo se llega a la conclusión que dicha fuente de información se torna imprescindible en cuanto y tanto no sea posible aumentar en todos los puntos de toma de datos la frecuencia y cantidad del muestreo.

El lenguaje de programación R resulta muy poderoso y eficiente para el tratamiento de datos con carácter estadístico

En el departamento de aforos del Cegesev se trabaja con herramientas estándar para el tratamiento de datos, pero nunca se había planteado la utilización de software específico para procesos estadísticos. Dado que la antigüedad del centro es de 9 años y que los procesos e implantación de los sistemas para llevar a cabo los mismos han ido creándose poco a poco no había habido ocasión para replantearse opciones distintas.

A partir del presente trabajo es más que probable que se incluya la utilización del lenguaje R en algunas partes de la explotación de datos.

Otra característica muy interesante a tener en cuenta sobre el interés para la inclusión de este lenguaje en los procesos de creación de informes es el R Markdown, la aplicación de creación dinámica de informes a través del lenguaje R. Resulta muy interesante dicha funcionalidad por las posibilidades de reducción de los tiempos en la generación de los diferentes informes sobre los aforos.

6. Conclusiones

Con el desarrollo del presente trabajo fin de grado se ha conseguido obtener una nueva forma de afrontar el estudio de los datos de tráfico con los que se trabaja en el “Centre de Gestió i Seguretat Viària” con nuevas herramientas software para el cálculo estadístico. A través del uso de estas herramientas podemos llegar a las mismas conclusiones utilizando menos recursos, tanto de tiempo de computación como de personal trabajando con aplicaciones de ofimática. Al mismo tiempo se obtiene la posibilidad de ofrecer nueva información extraída de los datos de tráfico con la incorporación de las nuevas herramientas al proceso de explotación. Además, la calidad y fiabilidad de la información obtenida es superior.

Se ha podido comprobar que, aún incorporando procesos científicos y herramientas estadísticas muy completas, no se puede prescindir del factor humano que aporta el conocimiento, en este caso de la red de carretas y su casuística, para incorporarlo al proceso de explotación de los datos de tráfico. Se pretendía obtener la información sobre las afinidades entre tramos de forma automática, pero dado el escaso volumen de datos disponibles de aforos de las estaciones de tipo Cobertura, las que necesitan obtener estaciones afines, no ha sido posible obtener las afinidades de forma automática y fiable. Este es un caso claro de lo expuesto al principio de este párrafo, es necesario obtener esta información del personal que conoce la red.

Desde el punto de vista de la herramienta utilizada en el presente trabajo, el lenguaje R, se puede concluir que es muy eficiente. Actualmente algunos de los cálculos estadísticos se realizan directamente a través de scripts SQL en el PostgreSQL o bien a través de hojas de cálculo. Se ha comprobado que esos mismos cálculos realizados a través de R tienen unos tiempos de computación mucho menores.

Dedicando tiempo de estudio y conocimiento de la herramienta suficiente se puede llegar a sacar mucho partido al uso de la misma. En el caso del estudio de los datos de tráfico que nos ocupa podremos llegar a ofrecer nuevas extracciones de información relevante de las mismas fuentes de forma mas intuitiva y rápida.

La información de tráfico en las BDs no son datos a los que se acceda posteriormente a realizar mantenimientos o modificaciones, por lo que una vez importados y controlados que estén bien, no se vuelven a modificar. Es por ello que es recomendable el realizar una exportación de la/s vista minables necesarias para los estudios posteriores y mantener dicha carga en R como base para todos los procesos posteriores a futuro y dejar la BD PostgreSQL únicamente cómo backup de datos en bruto.

La predicción de datos de tráfico no es un resultado que actualmente se esté generando en el centro ni tampoco se ha solicitado desde los distintos departamentos que hacen uso de nuestra información. En tráfico urbano quizás sí sea una información con la que puedan trabajar dadas las características tanto del tráfico como de la infraestructura de aforos que disponen, pero en tráfico interurbano, nuestro caso, no se da a día de hoy.

Con los resultados de esta primera aproximación a la predicción desarrollada en el presente trabajo se realizará una presentación resumiendo los logros conseguidos, y sobretodo de las posibilidades que ofrece, tanto a los responsables del centro cómo a los usuarios de nuestros datos. Es muy probable que se incorpore al catálogo de información que se ofrece desde el centro, ya que es muy útil desde varios puntos de vista: la gestión, planificación y mantenimiento de la red viaria.

Por todo lo expuesto anteriormente se va a continuar con la línea de trabajo abierta en el presente Trabajo Fin Grados en el “Centre de Gestió i Seguretat Viària” con el fin de ir mejorando e incorporando las herramientas estudiadas en todo el flujo de trabajo del departamento de aforos de tráfico y el de ingeniería de tráfico.

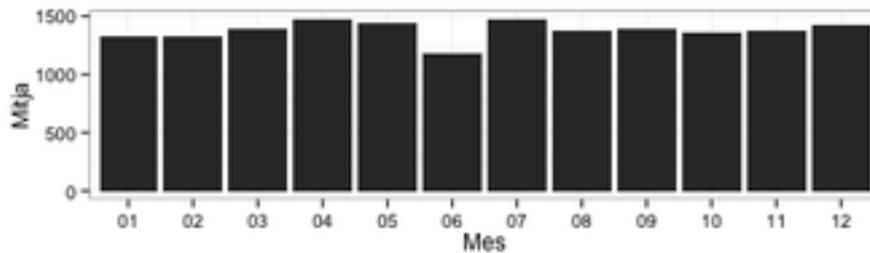
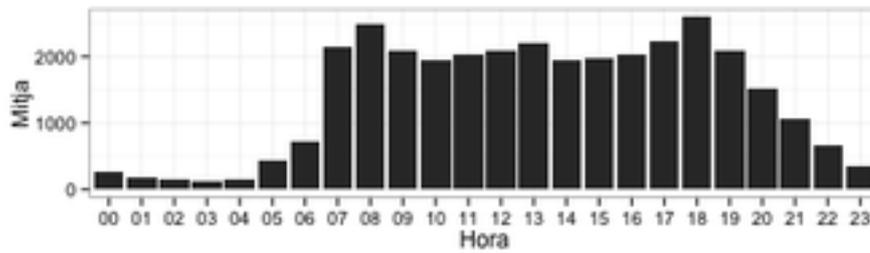
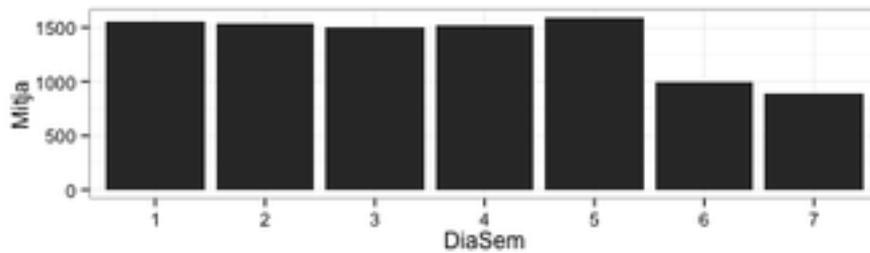
7. Bibliografía

- Manual de la carretera Interamericano
- Informes Aforos CEGESEV – <http://www.citma.gva.es>
- Manual R – <http://www.ats.ucla.edu/stat/r/>
- Gráficos en R con el paquete Ggplot - <http://docs.ggplot2.org/>
- “Comparison of Clustering Methods for Road Group Identification in FHWA Traffic Monitoring Approach: Effects on AADT Estimates”; Riccardo Rossi, Massimiliano Gastaldi and Gregorio Gecchele. © ASCE
- Frank Davenport Research And Code Blog – <http://www.frankdavenport.com>

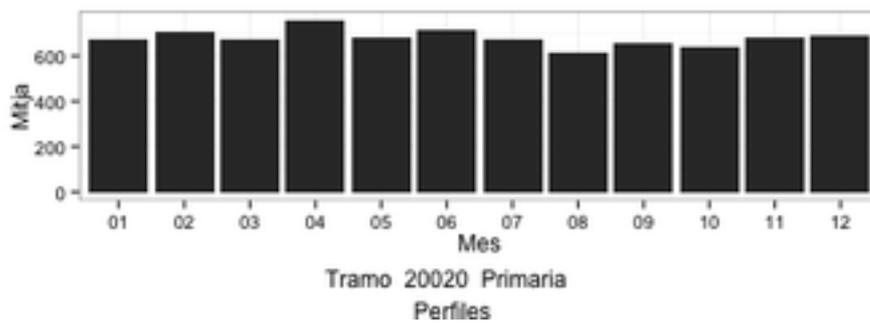
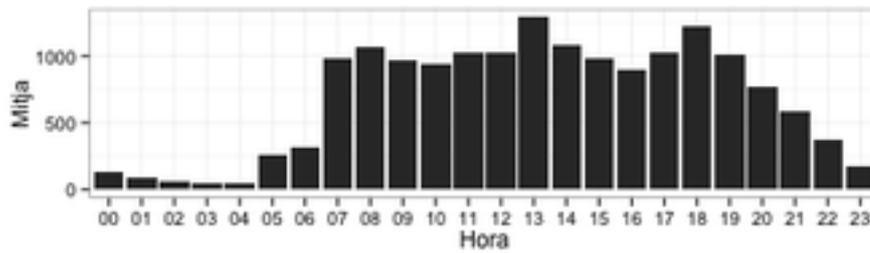
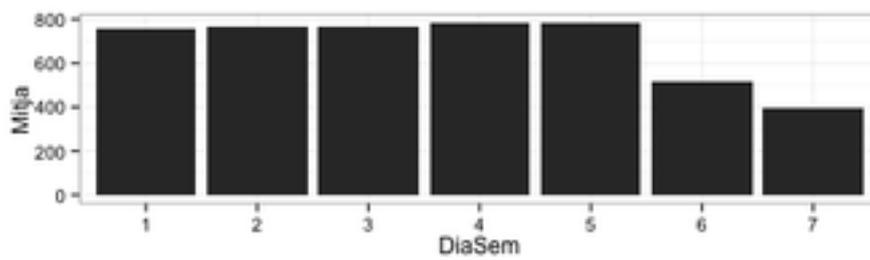
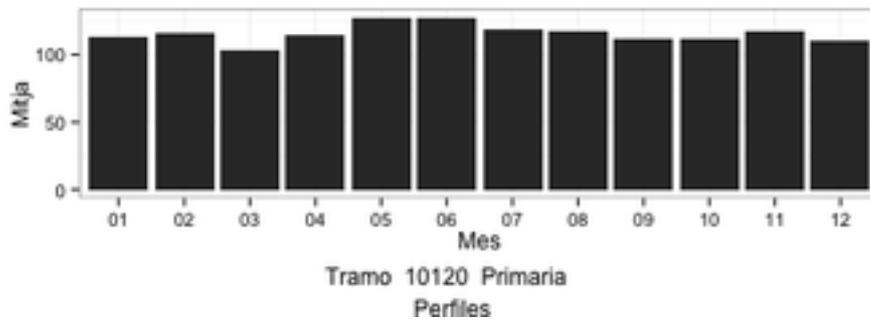
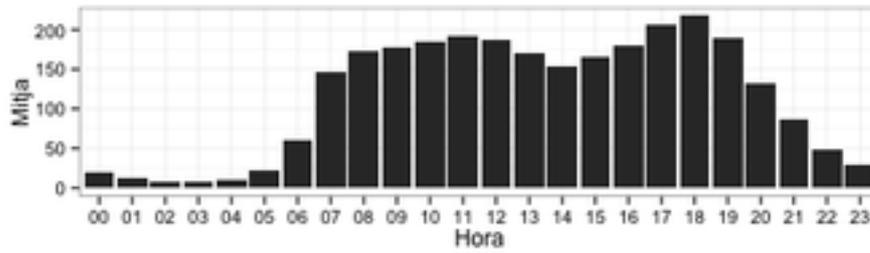
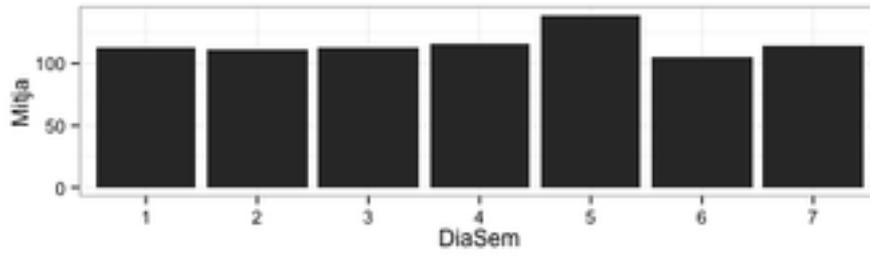
Anexo 1 - Perfiles Semanales, Horarios y Mensuales

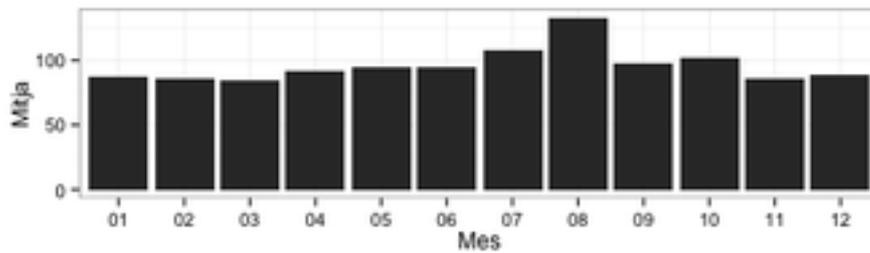
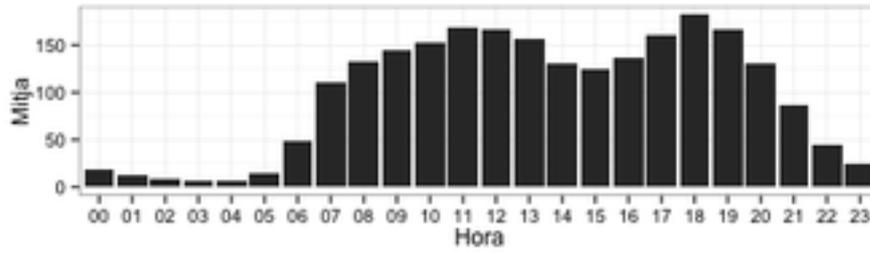
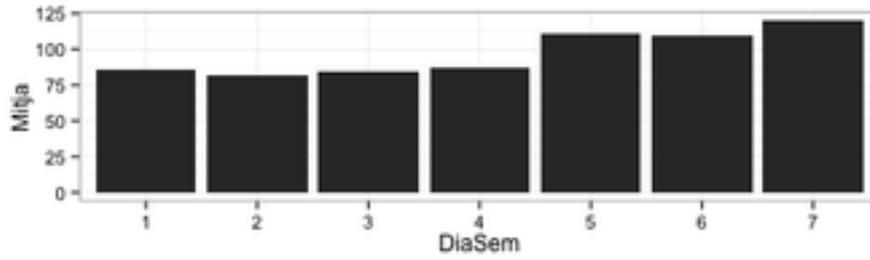
A continuación se muestra un extracto representativo de las gráficas generadas.

Estaciones Primarias

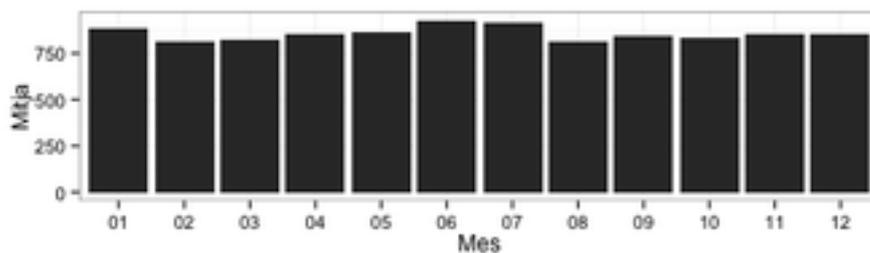
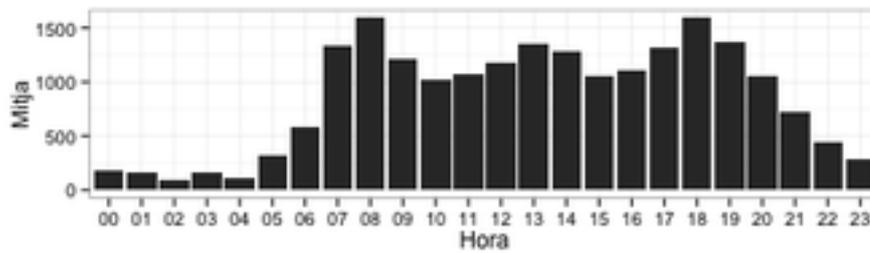
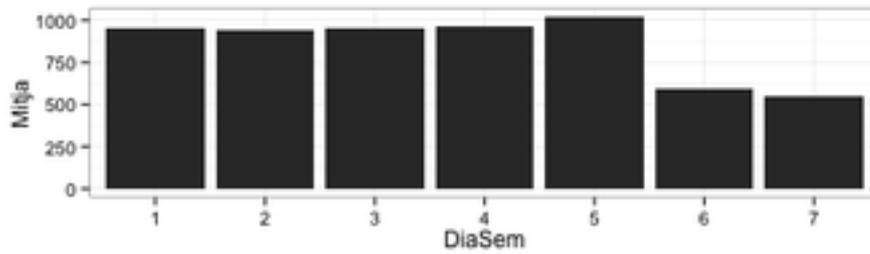


Tramo 10040 Primaria
Perfiles

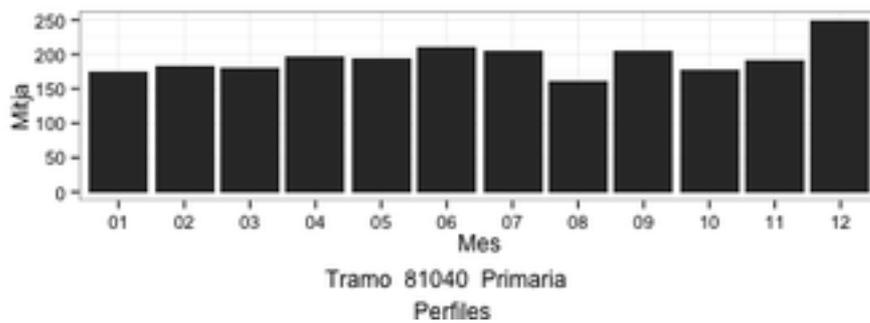
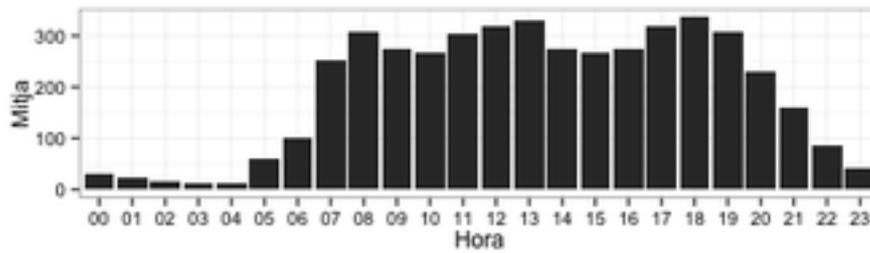
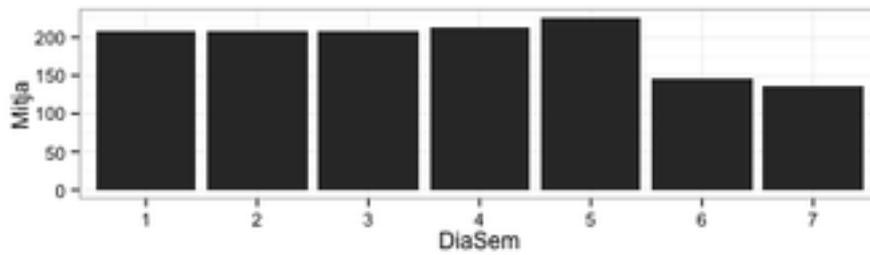
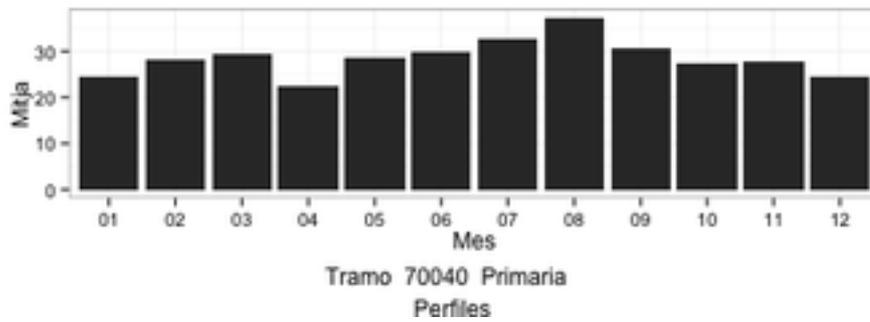
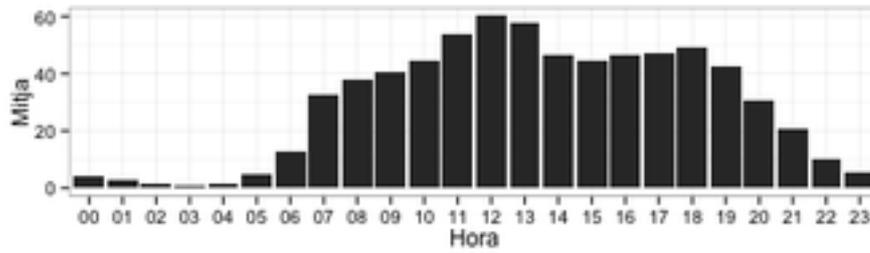
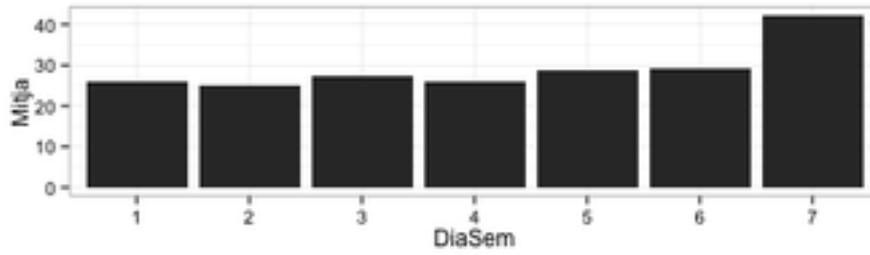


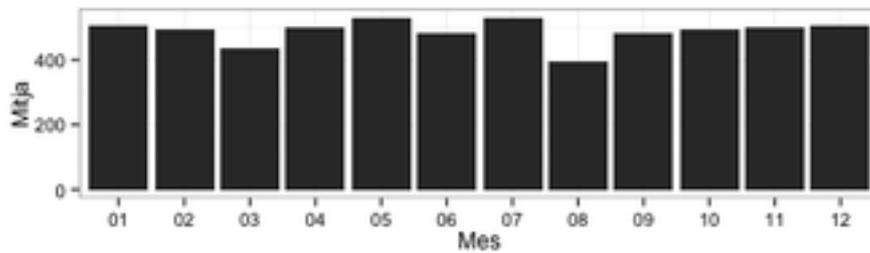
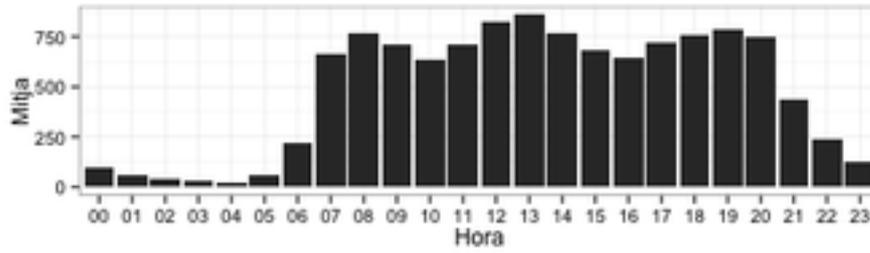
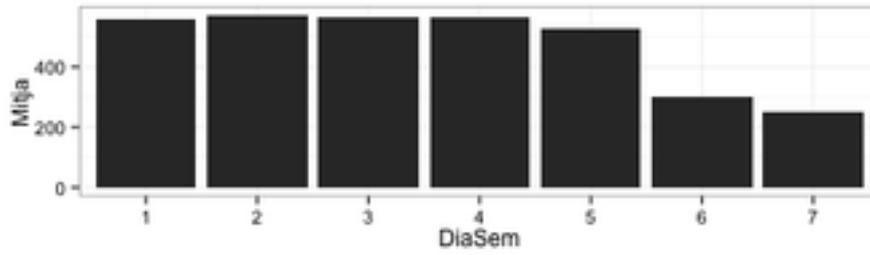


Tramo 35080 Primaria
Perfiles

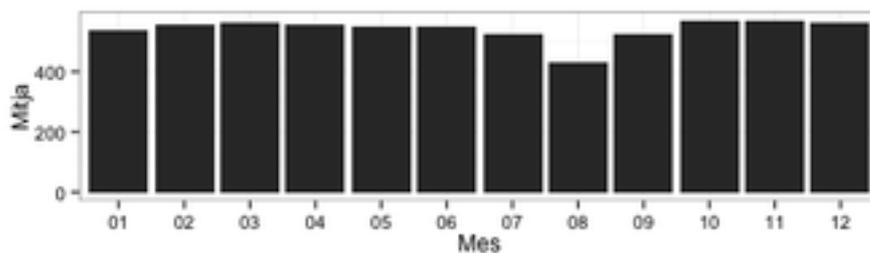
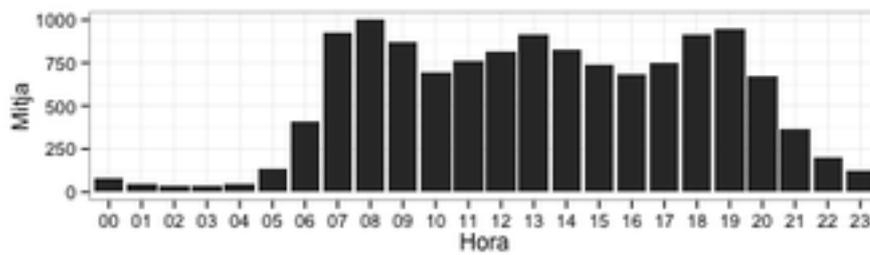
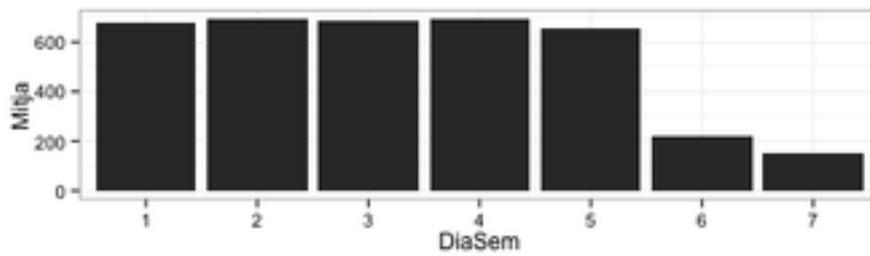


Tramo 36040 Primaria
Perfiles

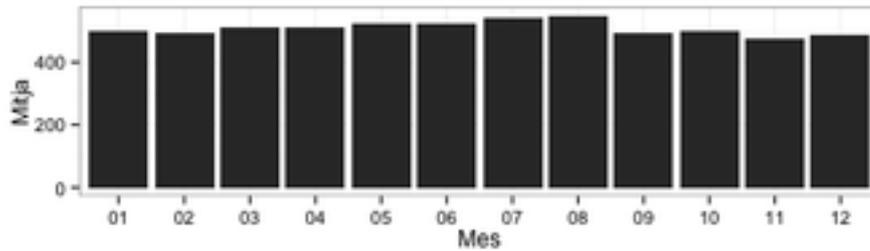
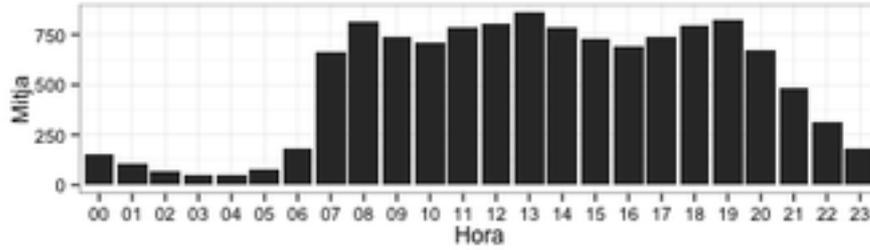
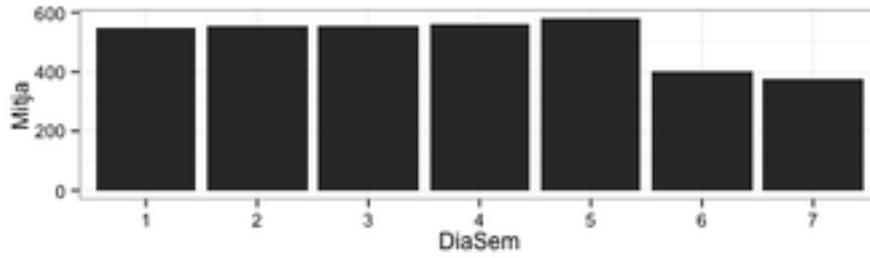




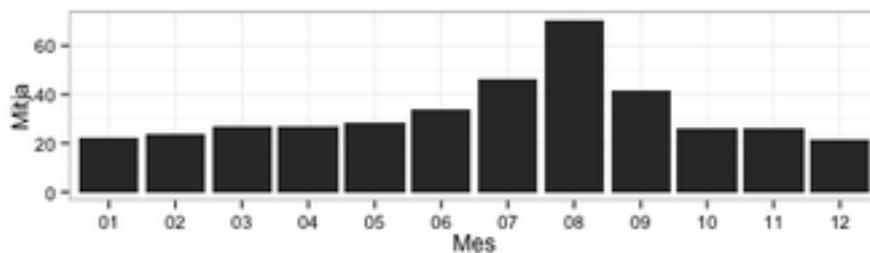
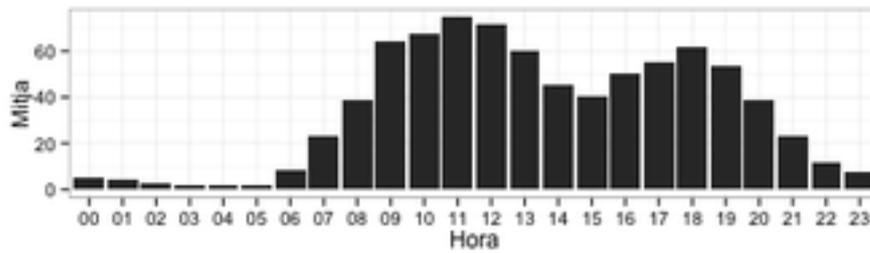
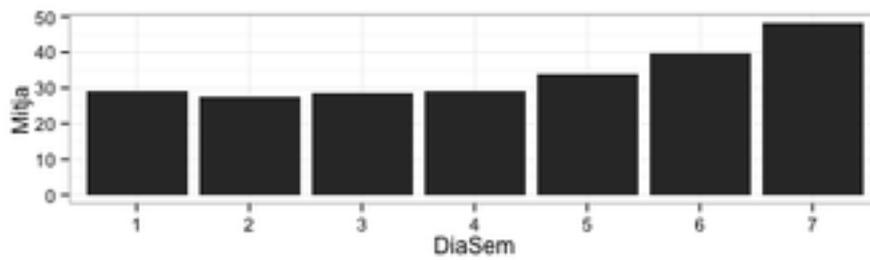
Tramo 83010 Primaria
Perfiles



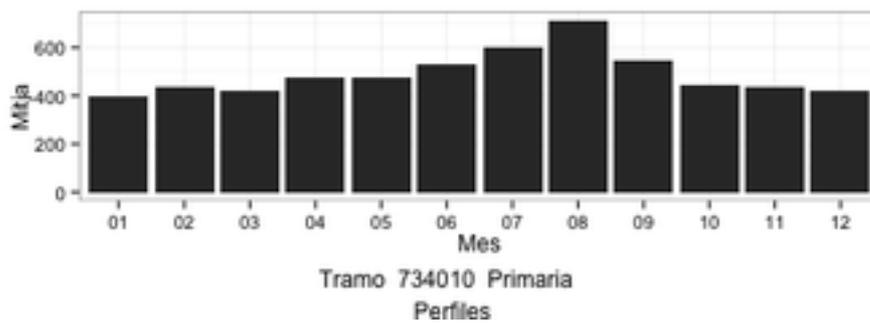
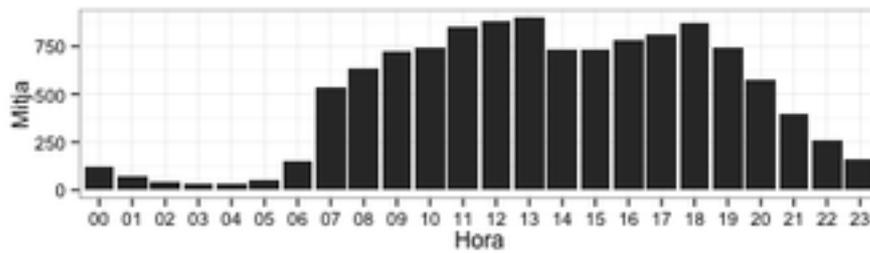
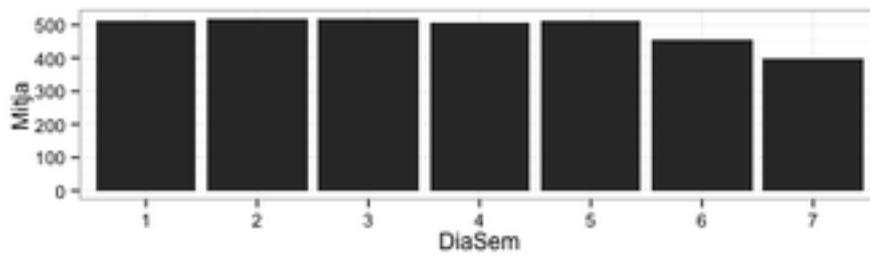
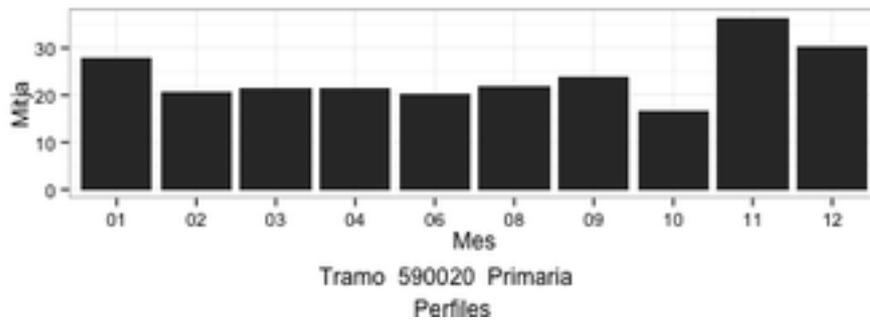
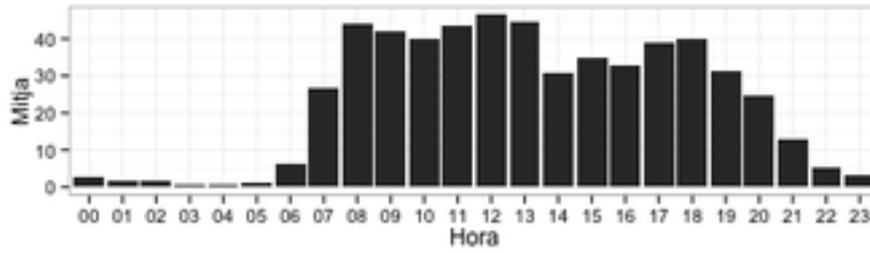
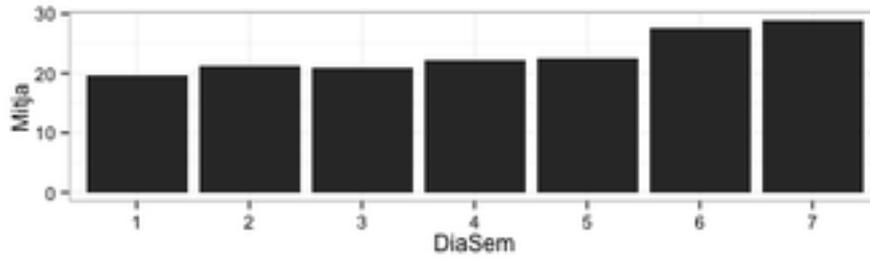
Tramo 86040 Primaria
Perfiles

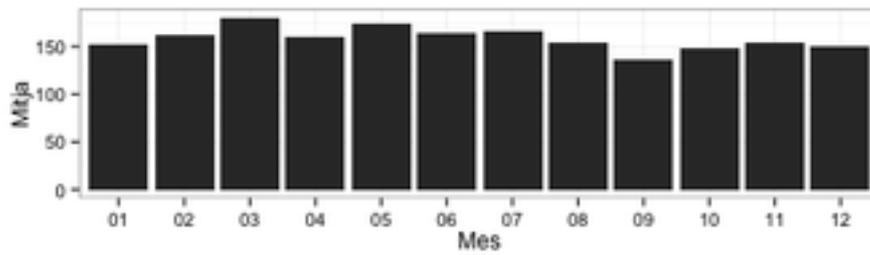
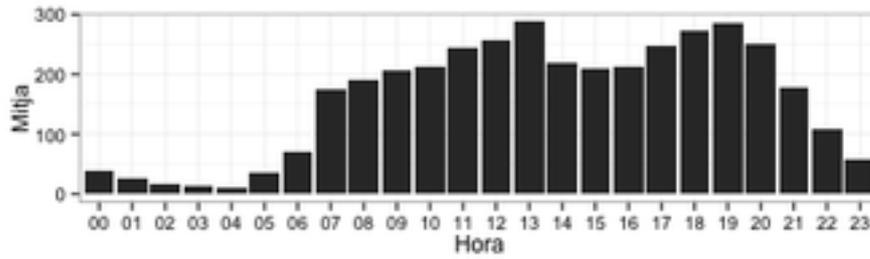
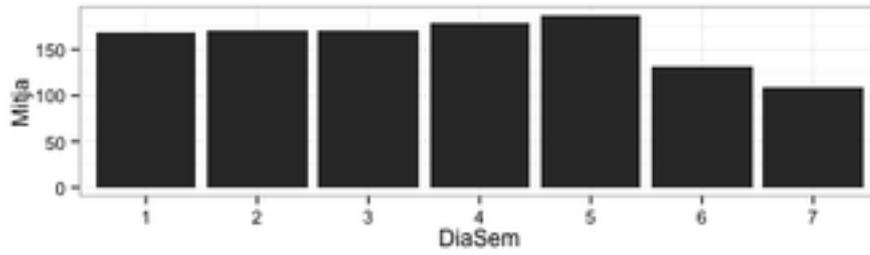


Tramo 91030 Primaria
Perfiles

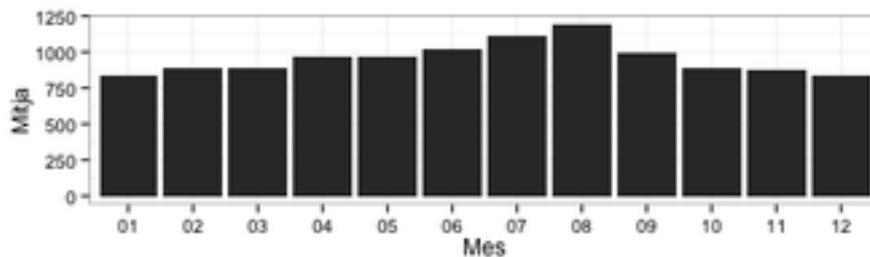
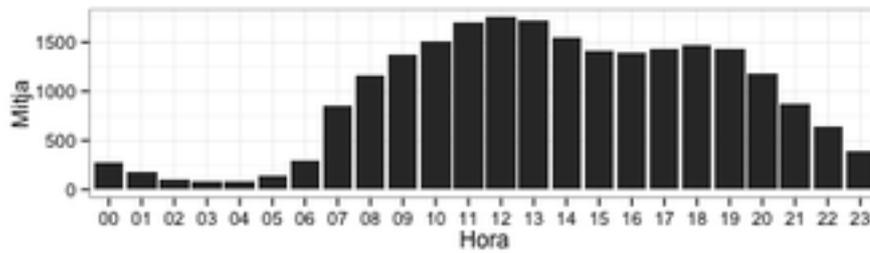
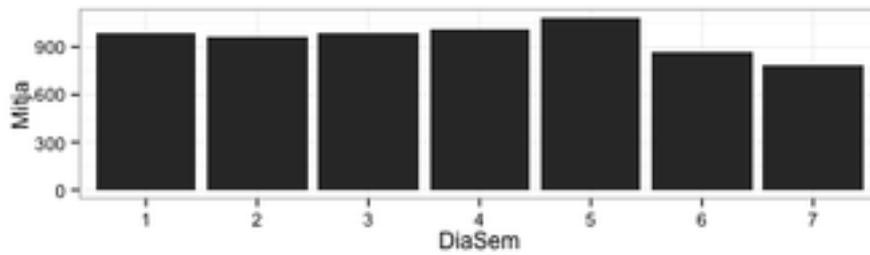


Tramo 195020 Primaria
Perfiles



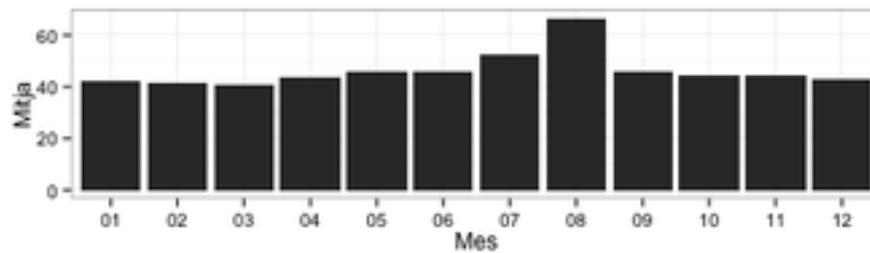
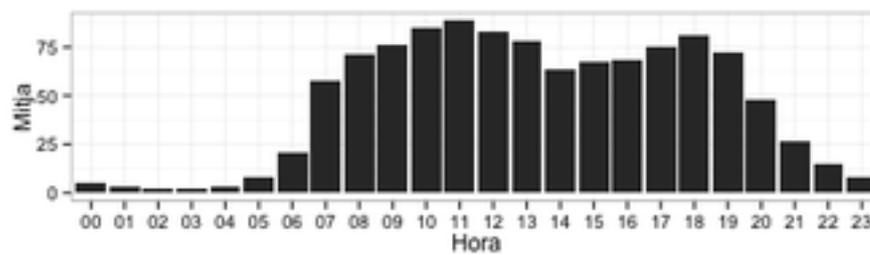
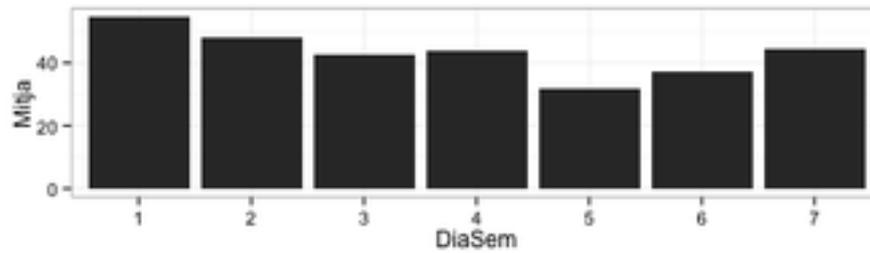


Tramo 799010 Primaria
Perfiles

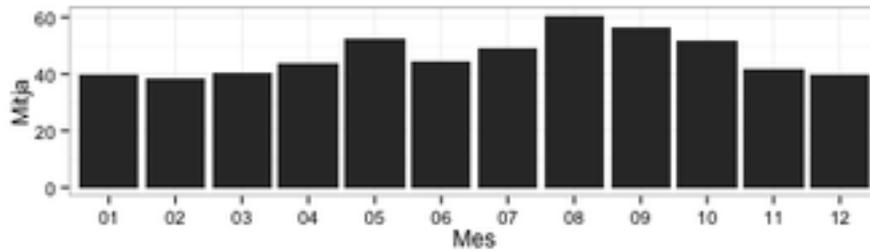
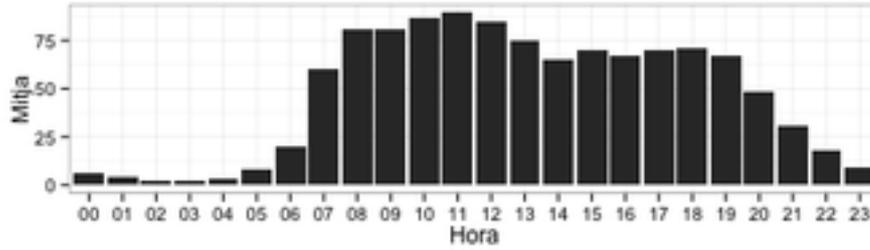
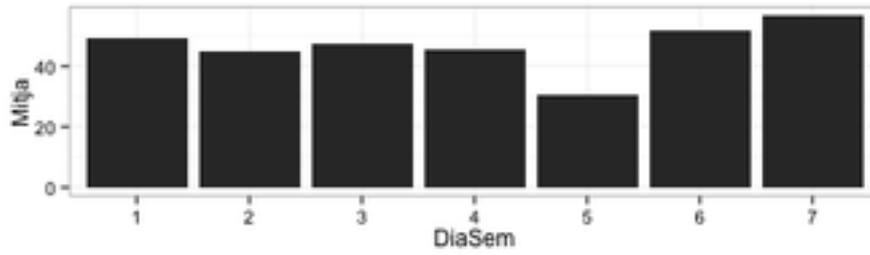


Tramo 905010 Primaria
Perfiles

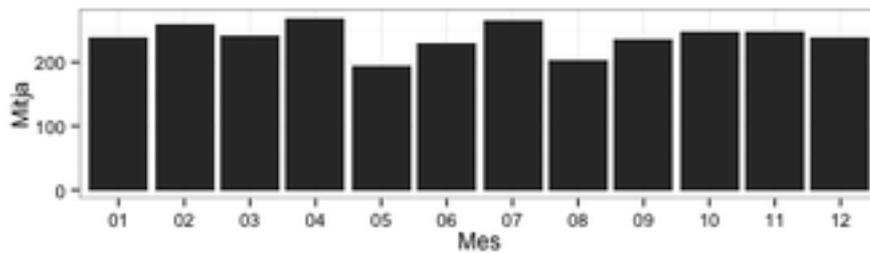
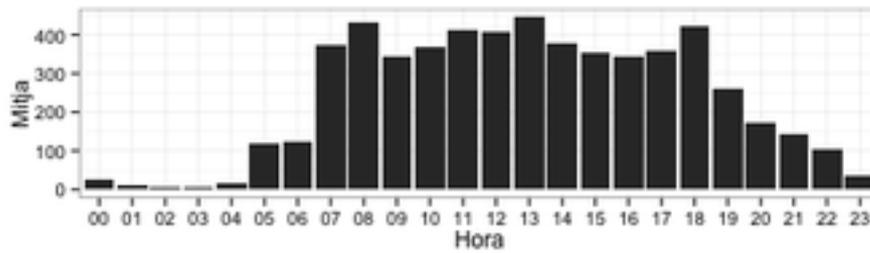
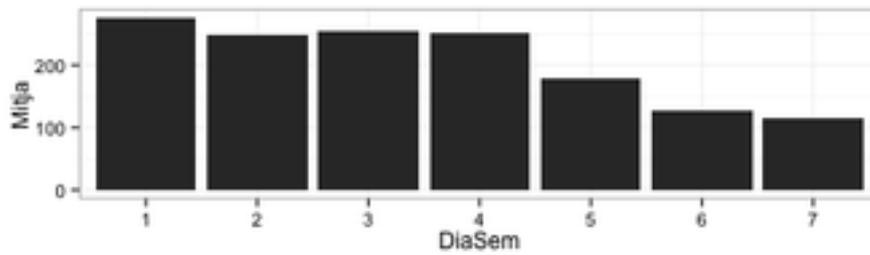
Estaciones Secundarias



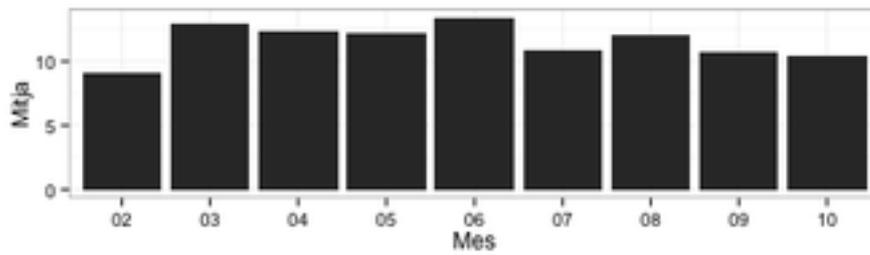
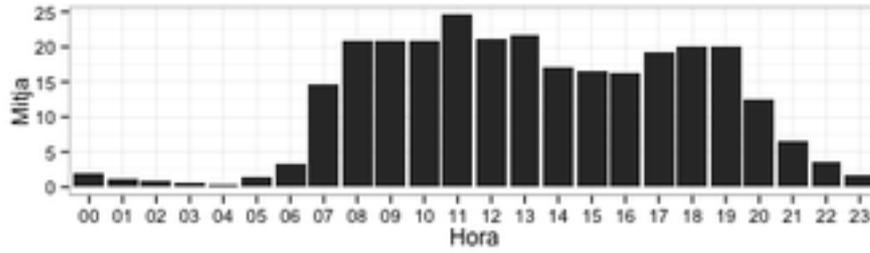
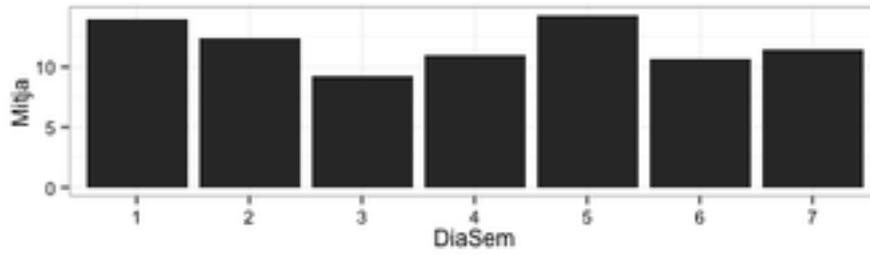
Tramo 14020 Secundaria
Perfiles



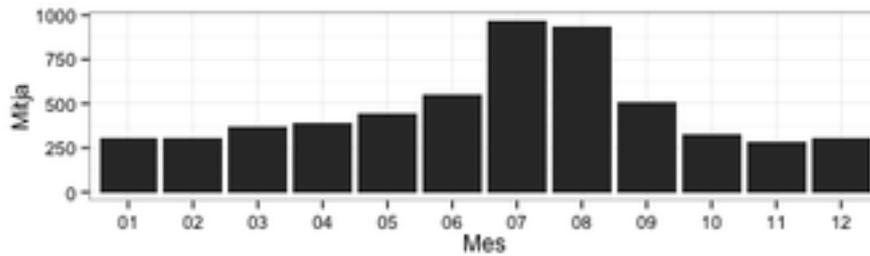
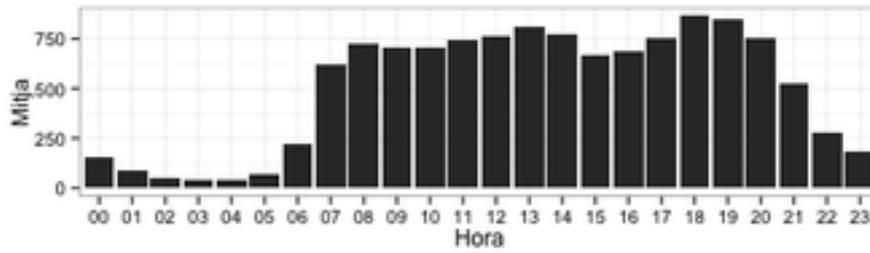
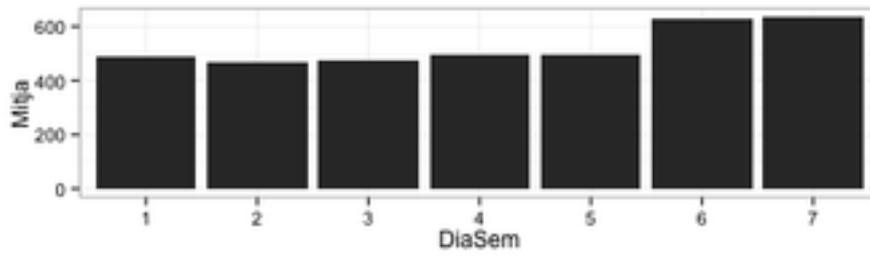
Tramo 15080 Secundaria
Perfiles



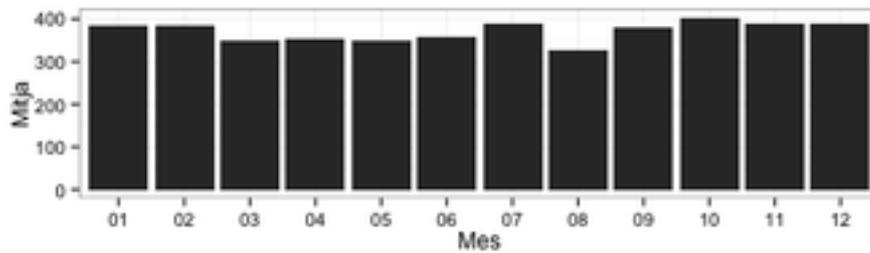
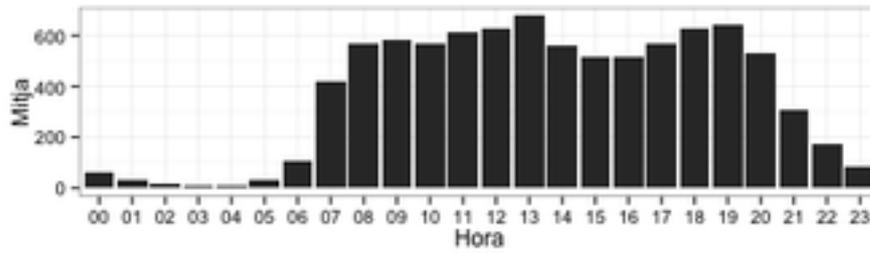
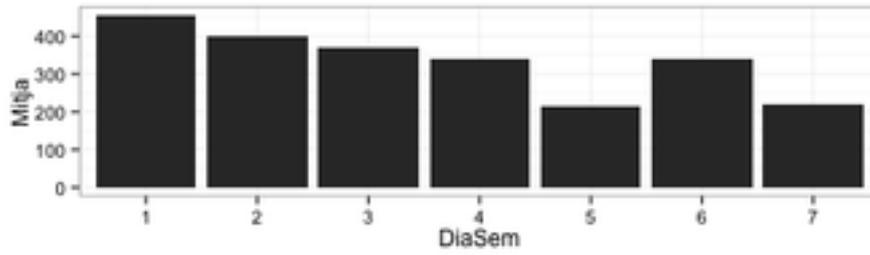
Tramo 21010 Secundaria
Perfiles



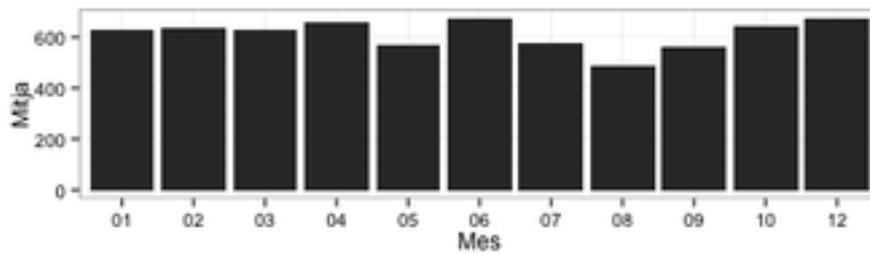
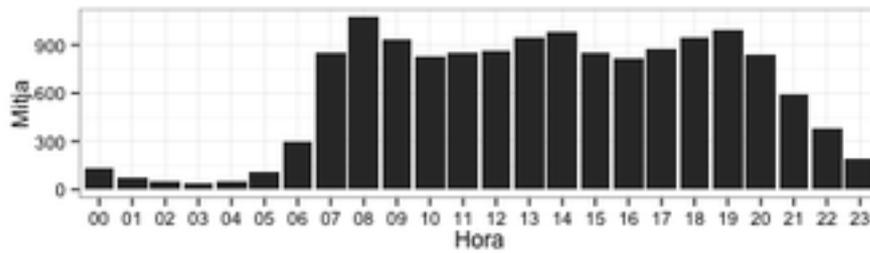
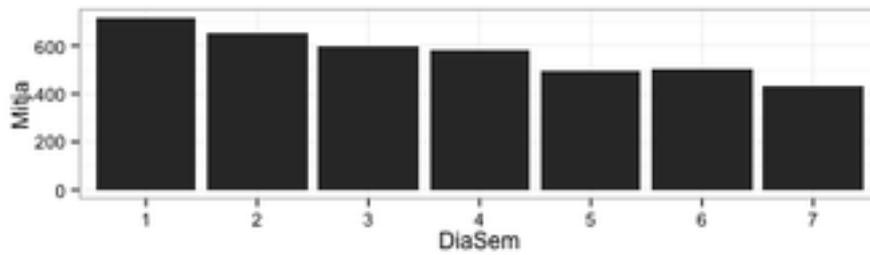
Tramo 124015 Secundaria
Perfiles



Tramo 500020 Secundaria
Perfiles

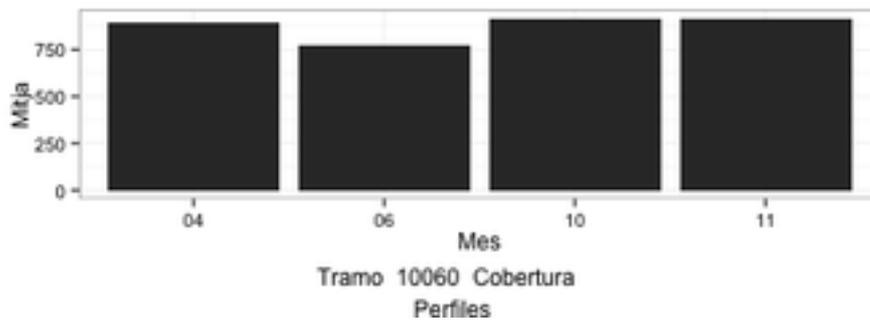
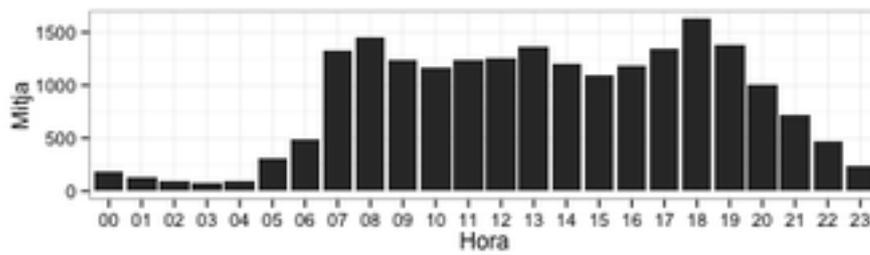
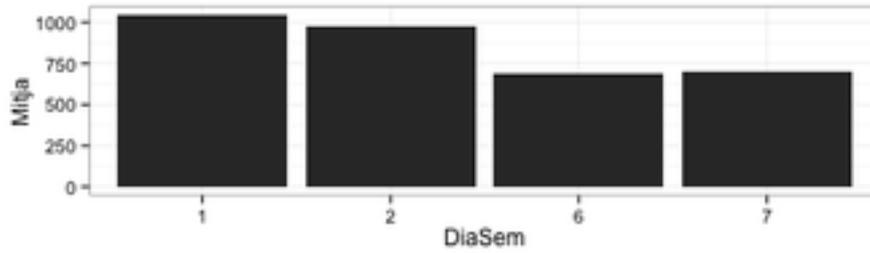


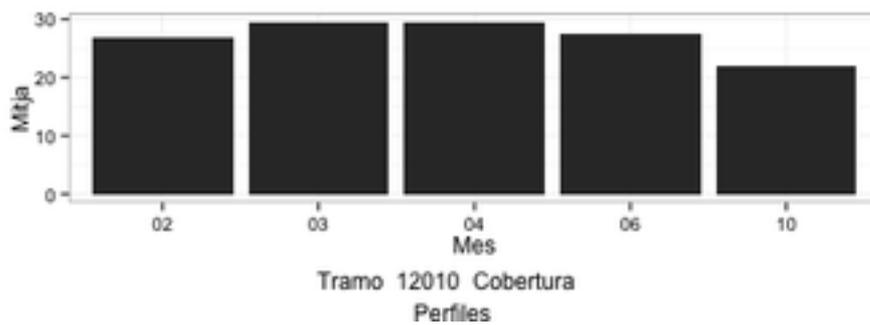
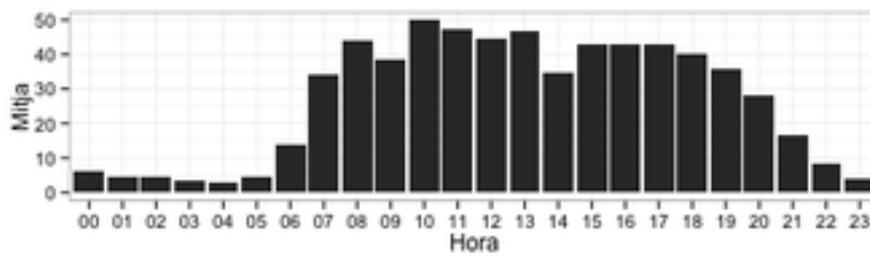
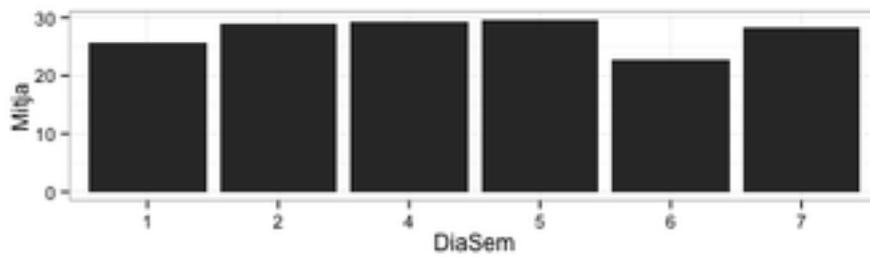
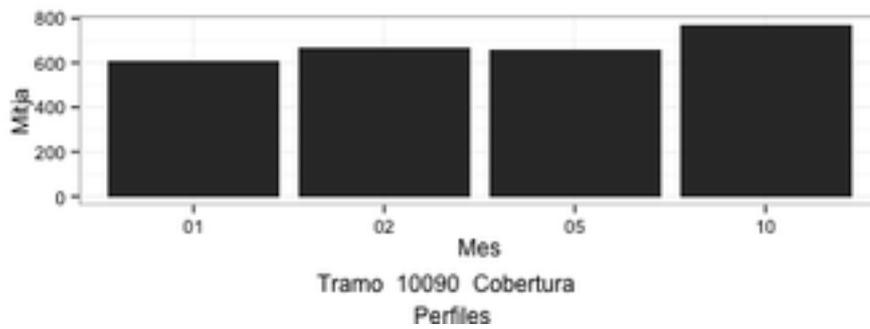
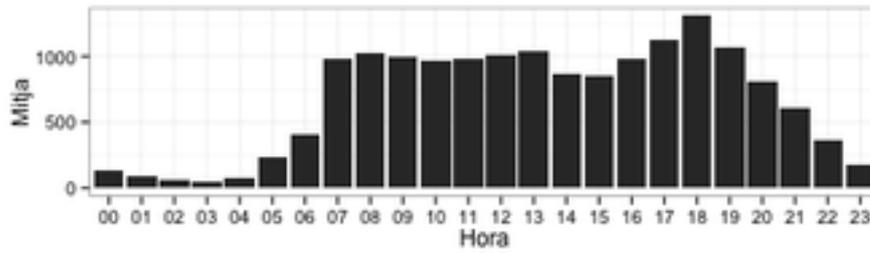
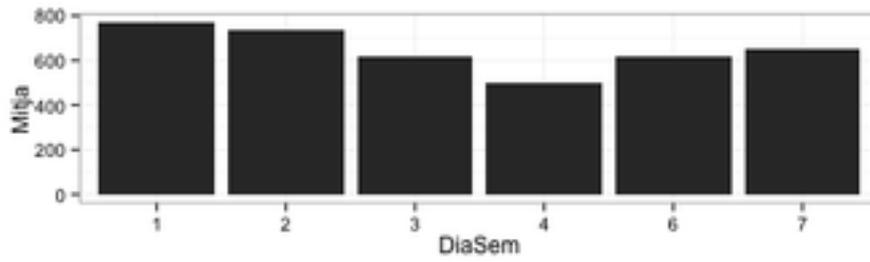
Tramo 935010 Secundaria
Perfiles

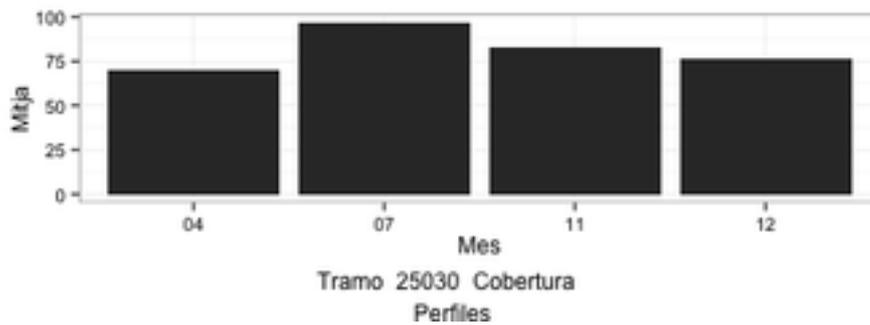
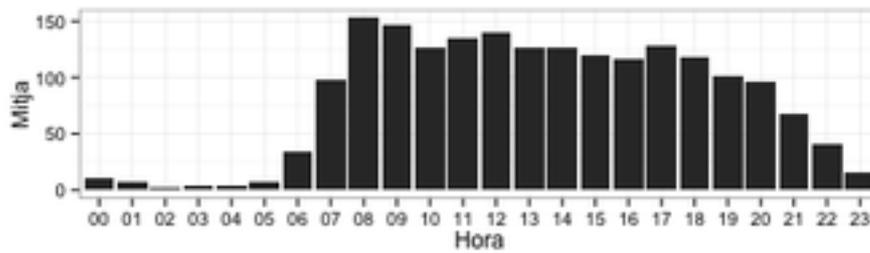
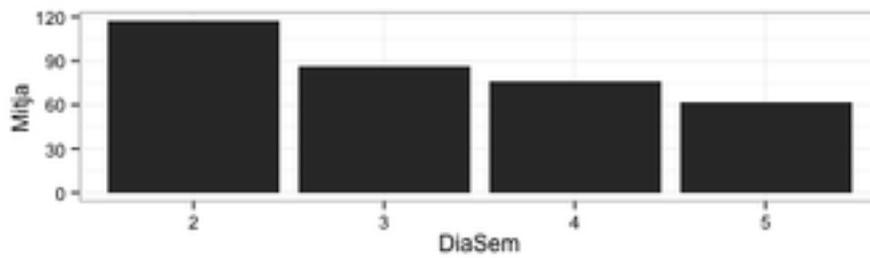
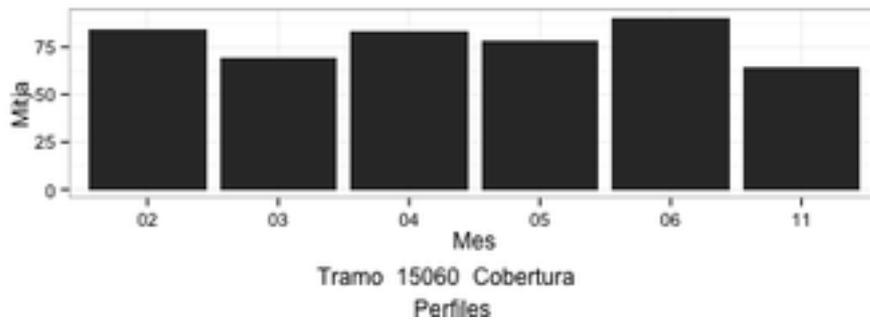
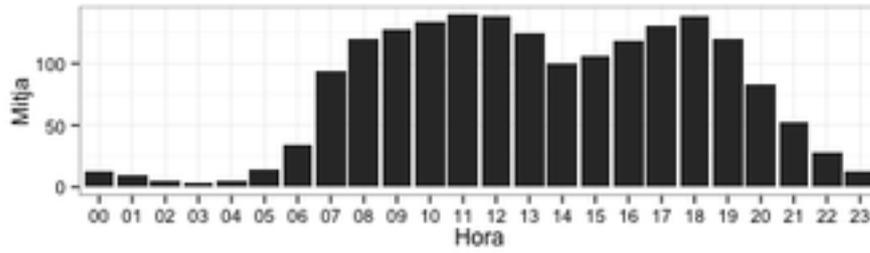
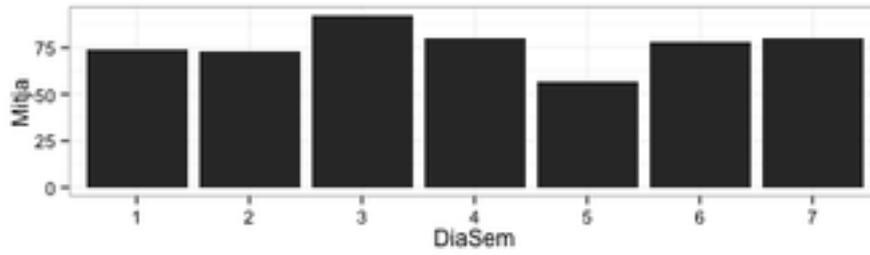


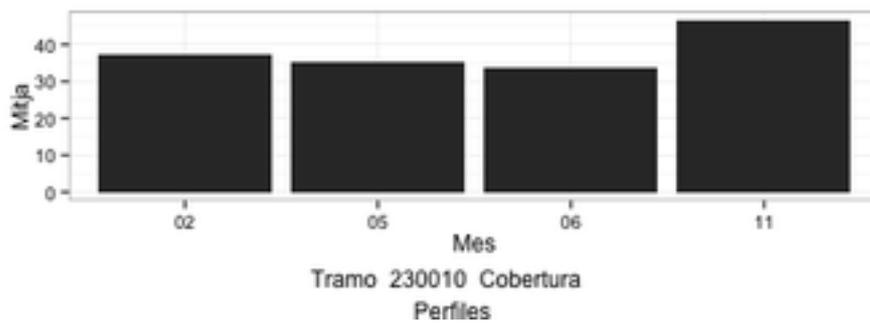
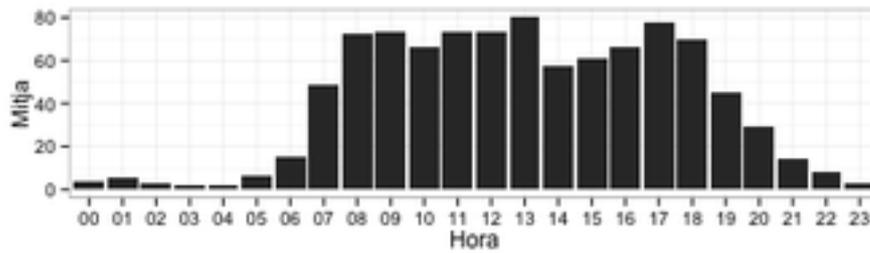
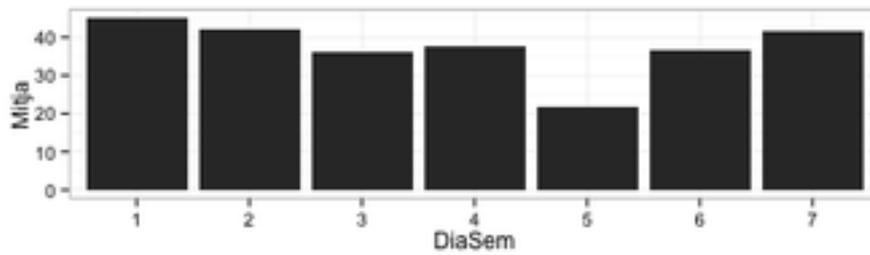
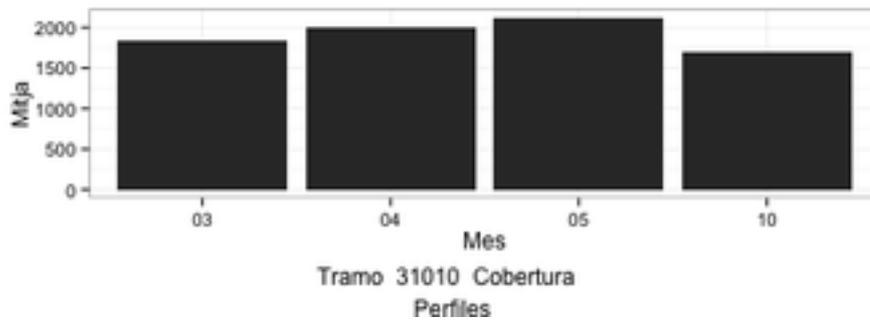
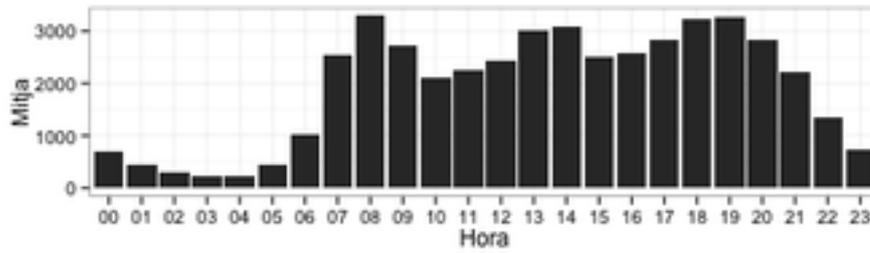
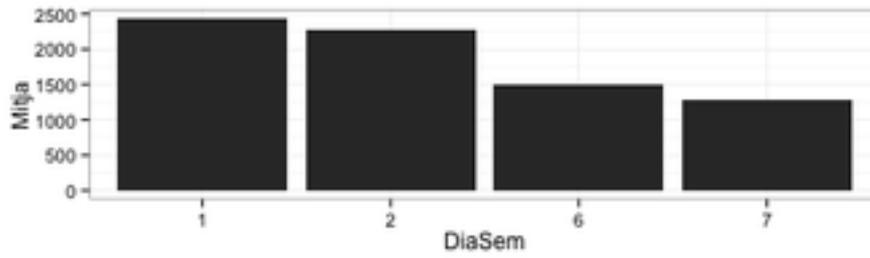
Tramo 930007 Secundaria
Perfiles

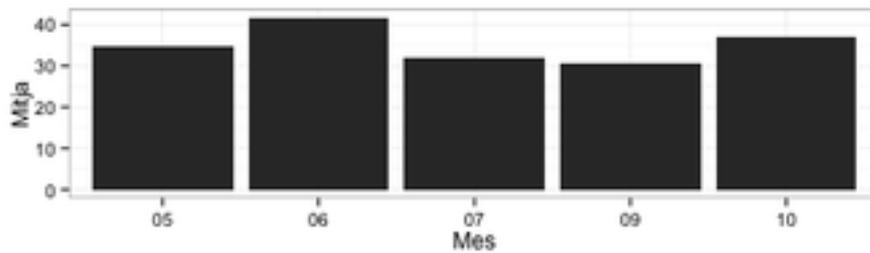
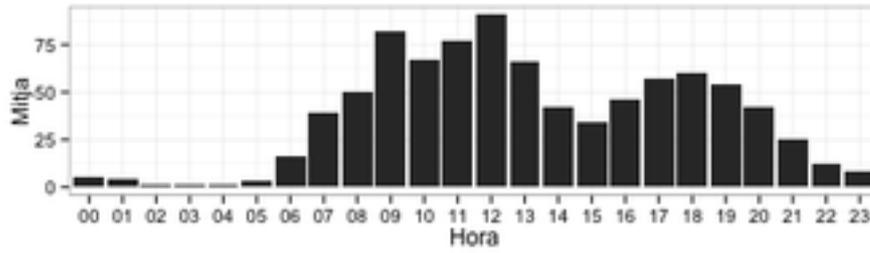
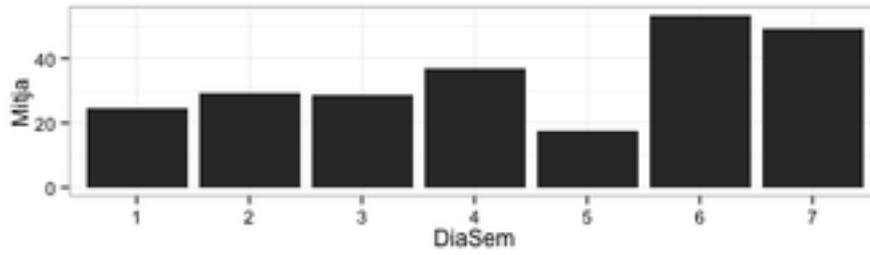
Estaciones Coberturas



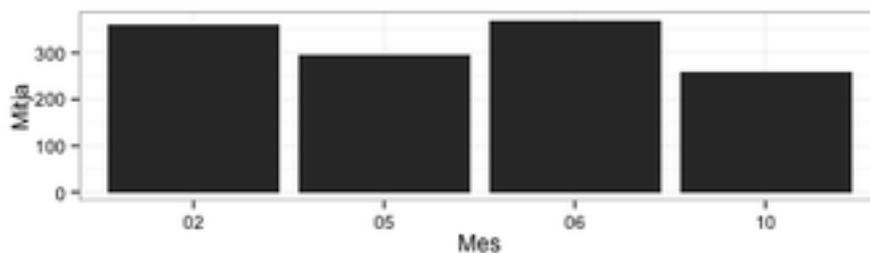
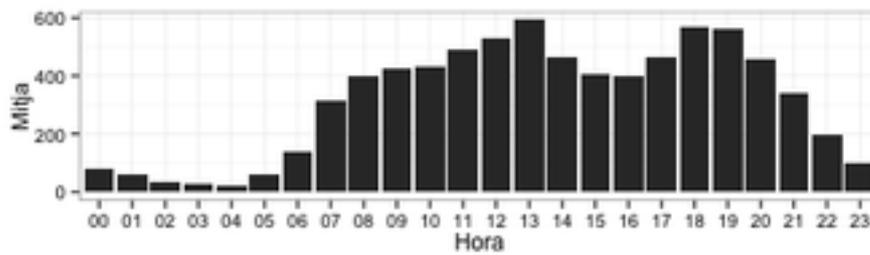
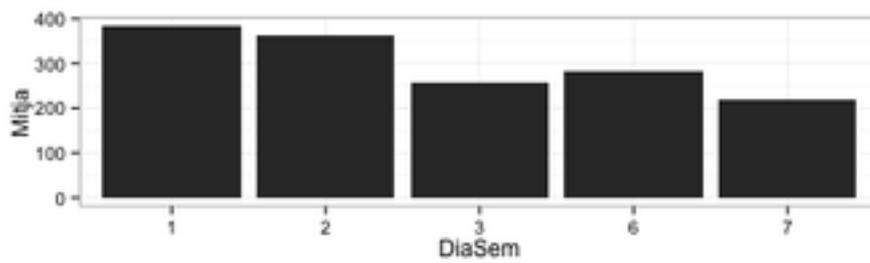








Tramo 245020 Cobertura
Perfiles

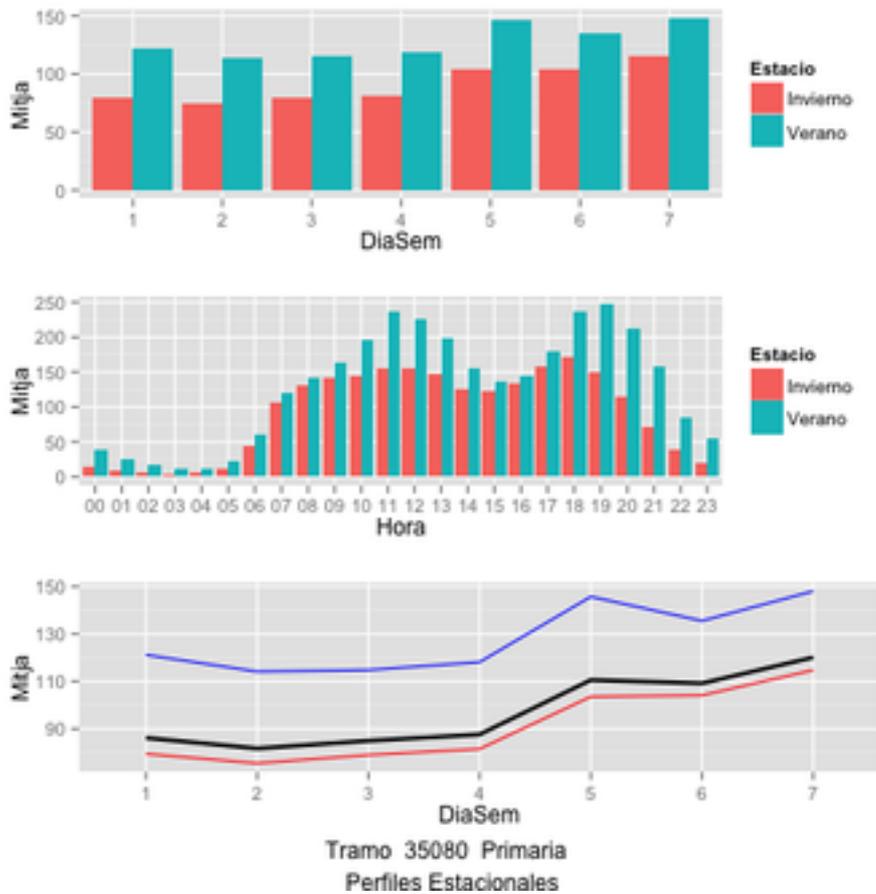


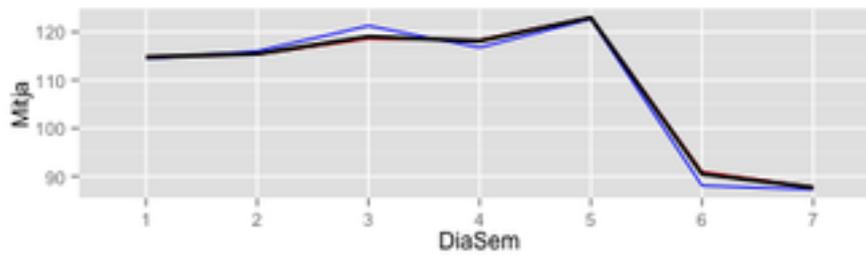
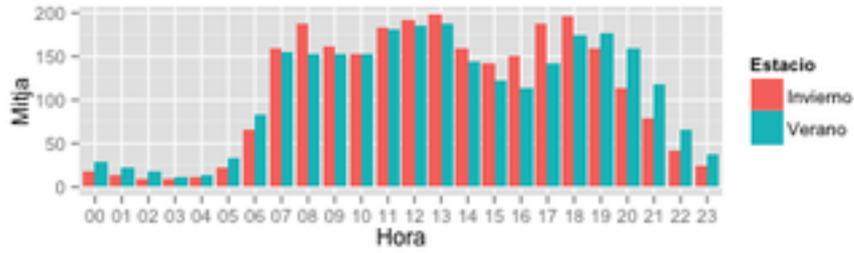
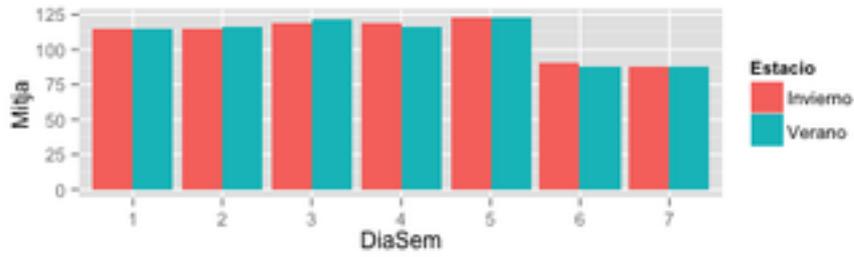
Tramo 512010 Cobertura
Perfiles

Anexo 2 - Perfiles Estacionales

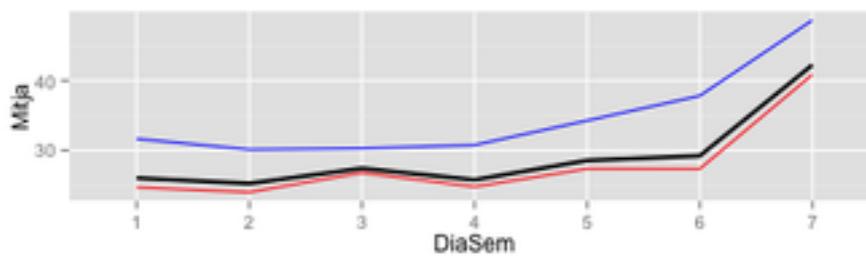
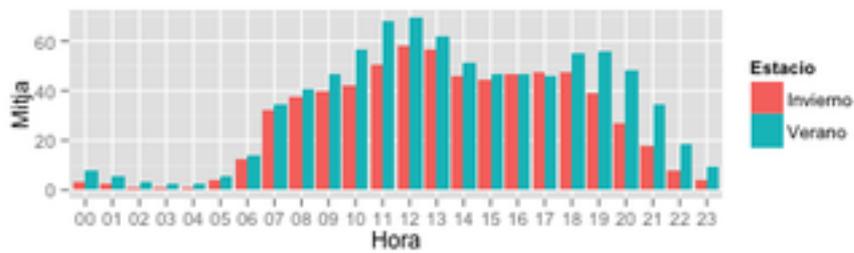
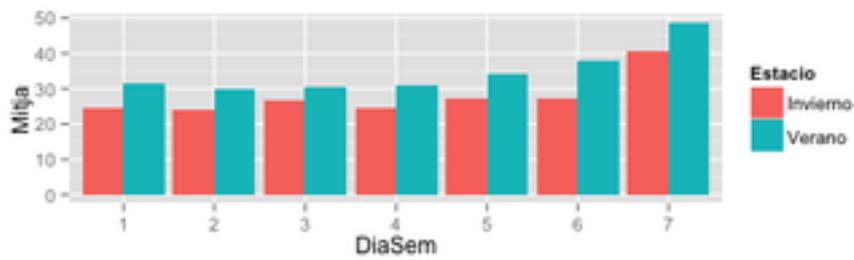
A continuación se muestra un extracto representativo de las gráficas generadas.

Estaciones Primarias

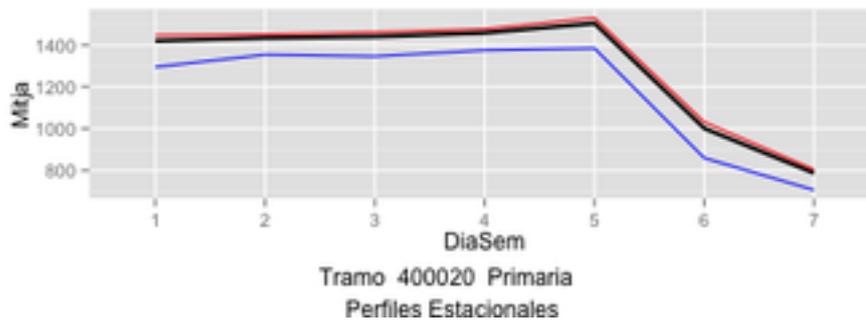
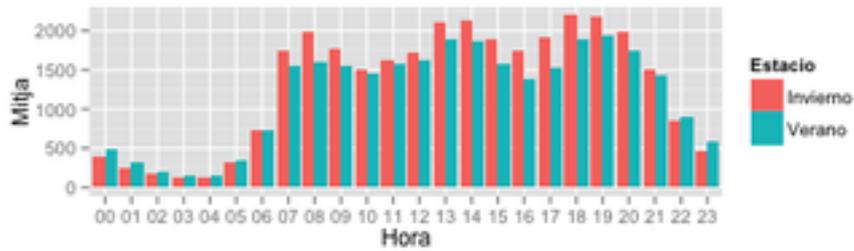
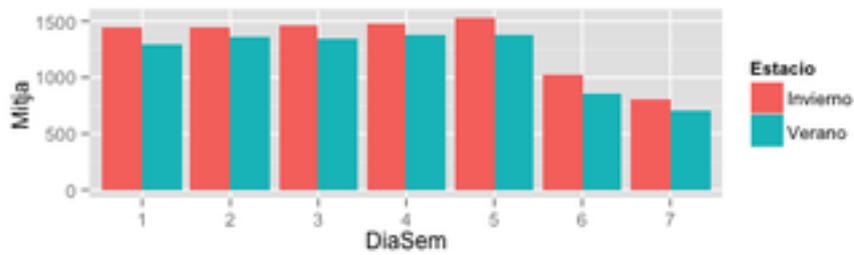
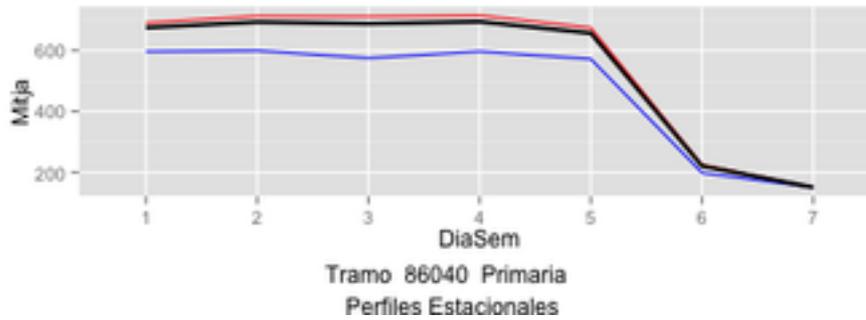
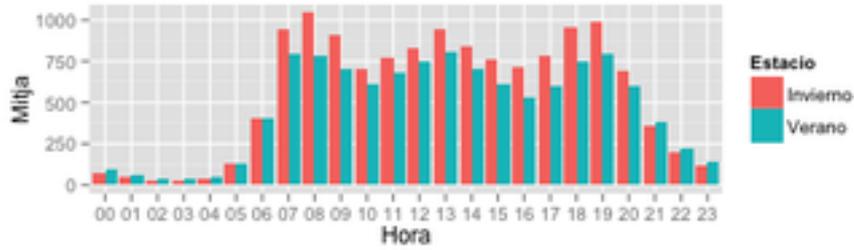
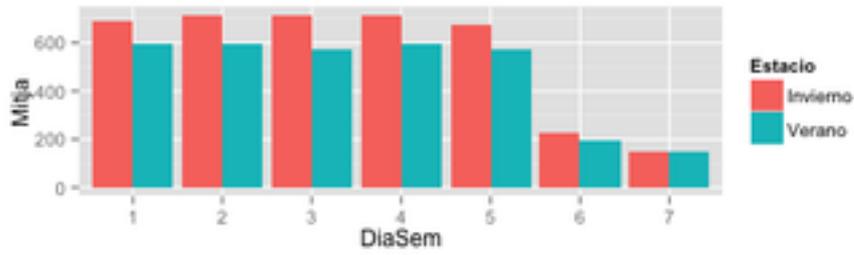




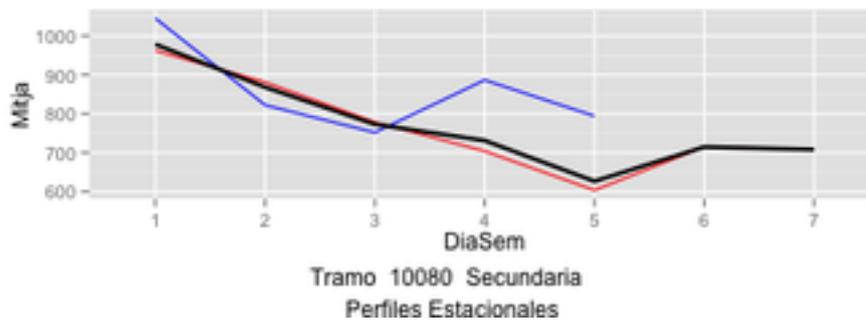
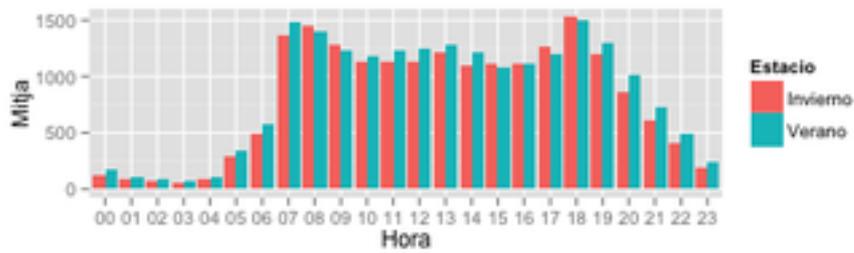
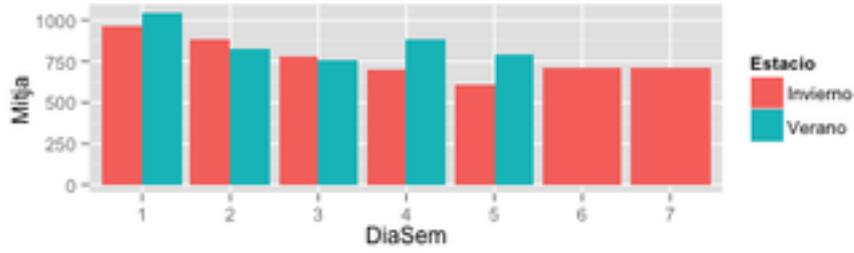
Tramo 50090 Primaria
Perfiles Estacionales



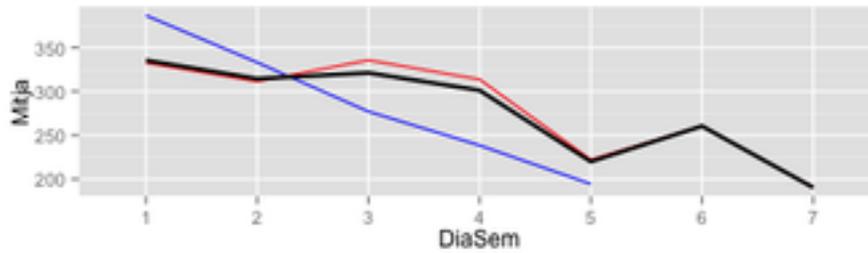
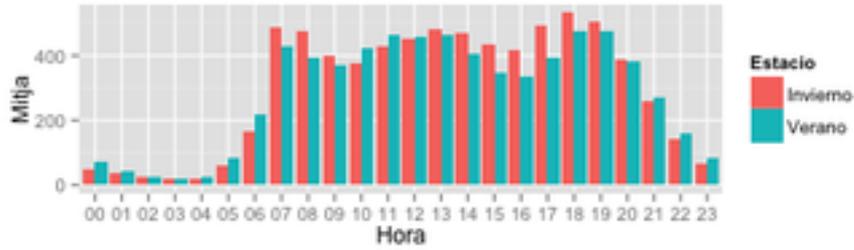
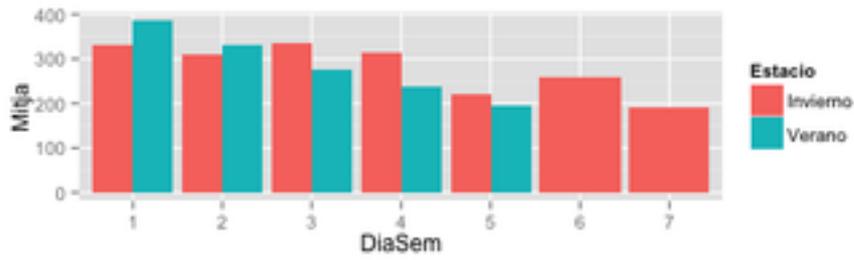
Tramo 70040 Primaria
Perfiles Estacionales



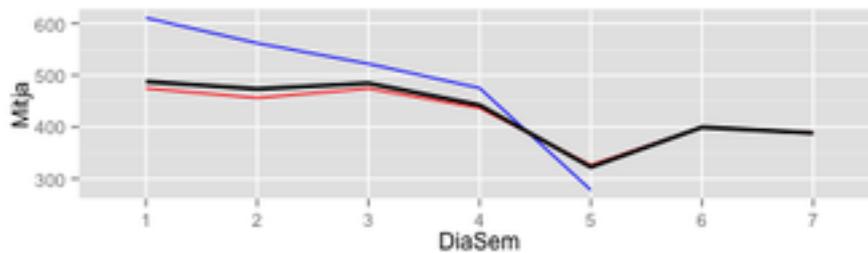
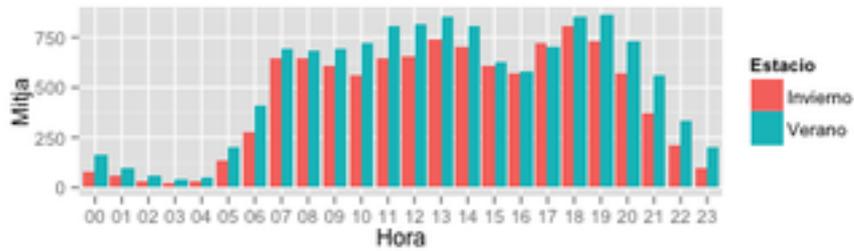
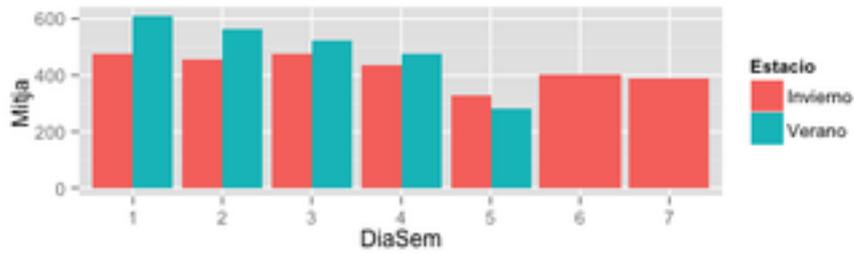
Estaciones Secundarias



Tramo 10080 Secundaria
Perfiles Estacionales



Tramo 41030 Secundaria
Perfiles Estacionales



Tramo 50020 Secundaria
Perfiles Estacionales

Anexo 3 – Arima y Regresión Lineal

A continuación se muestra un extracto representativo de las gráficas generadas.

