
Universidad Nacional del Sur

Departamento de Economía

Tesis de Grado

“Economía del transporte: Importancia y usos de conteos de tránsito en la ciudad de Bahía Blanca.”



Alumno: Saccomano Ruiz, Tomás

LU: 100068

Profesor Asesor: Dra. Viego, Valentina

Bahía Blanca, Marzo de 2017

Índice

Índice.....	2
1. Introducción.....	3
2. Marco conceptual y metodológico: Una revisión de la literatura sobre tránsito urbano.....	5
2.1 Conceptos básicos sobre transporte urbano.....	5
2.2 El modelo clásico de transporte.....	9
a. Generación de Viajes.....	11
b. Distribución de Viajes.....	14
c. Asignación Modal.....	18
d. Elección de ruta.....	20
i. Asignación “todo o nada”.....	23
ii. Asignación proporcional.....	24
iii. Asignación de equilibrio.....	24
2.2.1 Conteos de tránsito como herramienta.....	25
2.2.2 Conteos de tránsito para estimar matrices Origen-Destino.....	26
2.2.3 Problemas de los conteos de tránsito.....	28
2.2.4 Modelos de estimación de matrices Origen-Destino a partir de conteos de tránsito.....	28
3. Discusión.....	29
4. Medidas complementarias para medir la congestión: Análisis de tiempo de viaje.....	30
5. Metodología de trabajo.....	31
5.1 Premisas para la elección de los nodos.....	33
5.2 Elección de trayectos.....	37
6. Resultados.....	39
7. Conclusiones.....	51
8. Anexo.....	54
9. Referencias Bibliográficas.....	55

1. Introducción

El crecimiento económico, las migraciones desde áreas rurales y la formación de familias más pequeñas que experimentan las ciudades hace que éstas se extiendan-geográficamente provocando en el corto plazo menor cobertura relativa del transporte público existente. Como consecuencia, puede ganar peso el transporte privado entre las modalidades de desplazamiento urbano. La sustitución de transporte público por privado suele ocurrir porque la red de transporte público no ofrece cobertura espacial adecuada, porque no ofrece frecuencias necesarias, porque el diseño de la red es poco apropiado y el recorrido es largo, porque la tarifa es cara comparada a la del automóvil o a otros medios de transporte no motorizados. El aumento en el stock de vehículos particulares sumado a un mayor volumen de transacciones de bienes y servicios pueden sobrecargar la infraestructura vial y provocar problemas de congestión, retrasos, mayor contaminación, deterioro de la misma infraestructura, demoras, accidentes, aumento de costos particulares como seguros, reparaciones, etc. y sociales como por ejemplo aumento de presupuesto en salud por los accidentes de tránsito involucrados.

Raramente los conductores perciben el costo social total de sus decisiones individuales en materia de transporte. La facilidad creciente de acceso a automóviles particulares (planes de financiación), el mayor acceso al crédito en general, la reducción relativa de los precios de venta de automóviles dada por una mayor oferta por recirculación de usados, el crecimiento de la población, la reducción del número de habitantes por hogar y la escasa aplicación de políticas estructuradas en el área del transporte urbano contribuyen a que el tratamiento de la problemática tome mayor importancia y surja la necesidad de tomar medidas a mediano y largo plazo para lograr una estructura vial más eficiente y segura.

La teoría fundamental para tratar esta problemática se apoya en los modelos tradicionales de modelización y planificación del transporte. En esos modelos, una de las herramientas centrales suele ser la denominada matriz de Origen-Destino (en adelante O-D), que contiene los viajes desde un determinado origen hacia un determinado destino. A su vez, dicha matriz puede ser desagregada por modo de transporte (colectivo, subte, automóvil particular, etc.) y por motivo del viaje (educación, trabajo, ocio, etc.) (Ortúzar y Willumsen, 2011). Aquí surge especial interés en los conteos de tránsito (ya sean automáticos o manuales) en puntos estratégicos de las ciudades ya que son fáciles de realizar, no insumen muchos recursos y suelen ser un indicador sencillo de obtener para verificar las predicciones de tránsito generadas por la propia matriz O-D. A su vez, los conteos, bajo determinados supuestos, pueden ser útiles para actualizar o estimar matrices O-D y de esa manera poder tomar decisiones tanto de corto plazo como de largo plazo que generen modificaciones tendientes a mejorar la circulación en las ciudades.

Este trabajo busca cumplir con dos objetivos. Por un lado, ofrecer una revisión de la literatura sobre transporte urbano y rol de los conteos de tránsito en la modelización y planificación del movimiento de personas dentro de las ciudades, y por otro, se prevé presentar conteos de tránsito en arterias de la ciudad de Bahía Blanca con el fin de ilustrar zonas de congestión efectiva o potencial.

Para el primer objetivo se utilizarán fuentes documentales. Por otro lado, para realizar el análisis descriptivo de la ciudad de Bahía Blanca se realizarán conteos visuales de tránsito en las principales arterias de la misma, complementadas con mediciones tiempo-distancia (2 km) para caracterizarlas.

Los conteos de tránsito se realizarán por el tiempo de 60 minutos en 4 distintos horarios para contrastar horas pico y horas valle, tomándose 2 muestras de cada horario en cada arteria y calle en días hábiles laborables y una muestra para Domingos.

La misma metodología se aplicará para las mediciones de tiempo en la distancia de 2 kilómetros en dichas arterias.

La primera sección del trabajo expone las principales características del sistema de transporte en general. Luego se realiza una revisión de la literatura sobre transporte urbano. A continuación se presenta la metodología de trabajo seguida de los resultados del mismo y discusiones. Finalmente, la última sección contiene las principales conclusiones.

2. Marco conceptual y metodológico: Una revisión de la literatura sobre tránsito urbano

2.1. Conceptos básicos sobre transporte urbano

Para Willumsen y Ortúzar (2011) un buen sistema de transporte es aquel que ensancha las oportunidades de satisfacer las necesidades que son causa del transporte.

El sistema de transporte consiste en un número de trayectos direccionados que se conectan mediante nodos. Las diferentes partes de la región son representadas como zonas, con centros donde se origina y termina el tránsito. (Torgil Abrahamsson. Estimation of Origin-Destination Matrices Using Traffic Counts - A Literature Survey. 1998)

Dentro del sistema de transporte podemos separar la oferta de la demanda:

- **Demanda de transporte:** La demanda de transporte es una demanda derivada, es decir, no es en sí un fin. Los agentes viajan con el propósito de satisfacer una necesidad específica como puede ser el trabajo, la recreación, el ocio, la salud, la educación, etc.

La demanda de transporte es cualitativa y diferenciada. El rango de demandas específicas de transporte es diferente según el momento del día, día de la semana, propósito del viaje, tipo de carga, importancia de la velocidad y frecuencia, etc. La demanda de transporte se distribuye sobre un determinado espacio. La forma más sencilla de tratar dicho espacio es dividiéndolo en zonas y codificarlas. Finalmente, la demanda de transporte tiene elementos dinámicos. Una buena cantidad de la demanda está concentrada en unas pocas horas y en zonas particulares donde la congestión aparece en las horas pico. Esta dependencia del tiempo que tiene la demanda de transporte hace que los pronósticos deban tener intervalos acotados de tiempo, por ejemplo, días laborables en determinados tramos horarios.

- Oferta de transporte: La oferta de transporte es un servicio, no un bien. Por lo tanto, no se puede almacenar para utilizarlo en los períodos pico. Por esta razón, es importante estimar la demanda de la manera más precisa posible para ahorrar recursos ajustando la oferta a la demanda.

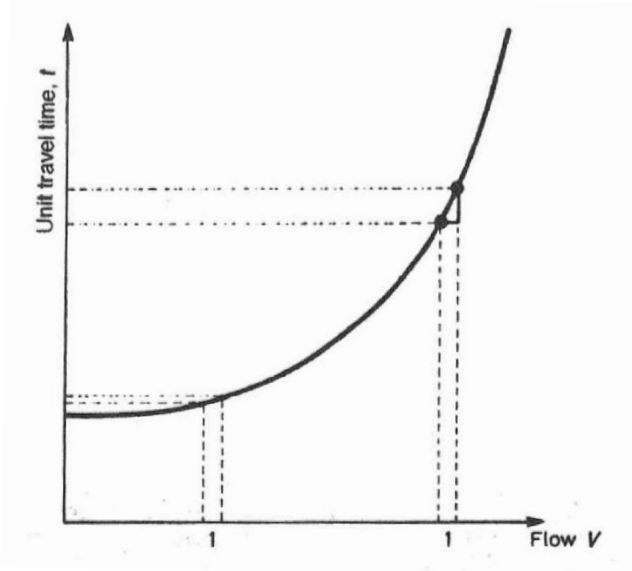
Las inversiones en materia de transporte toman un tiempo para llevarse a cabo ya que normalmente son proyectos a largo plazo y de alto costo económico. La construcción de infraestructura puede llevar de 5 a 15 años desde la planificación hasta ser llevada a cabo, siempre dependiendo de la modalidad (para infraestructura de subte o tren la planificación es más prolongada debido al elevado peso de los costos hundidos en estaciones, vías, etc).

Es incuestionable que este tipo de inversiones tienen un tinte político considerable. Las cuestiones políticas pueden intervenir generando inconvenientes ya que el beneficio social puede verse perjudicado por búsqueda o maximización de ganancias privadas que se materializan administrando fraudulentamente los recursos públicos.

Más allá de la corrupción, el entendimiento político es importante ya que si no está soportado por bases teóricas de planificación, análisis e investigación, estas decisiones pueden resultar en mayores problemas y caos en un plazo mayor. Esta situación puede producir un círculo vicioso, ya que la desinversión, el deterioro de la calidad del servicio, las mermas en la frecuencia, la discontinuidad de recorridos, etc pueden llevar a una sustitución creciente hacia el automóvil particular aumentando la congestión, la contaminación y los accidentes viales. Por tal razón, es importante lograr un balance entre oferta y demanda eficiente. También existen ciertos efectos que generan distorsión que son los accidentes, contaminación y la degradación ambiental en general. Estos efectos raramente son internalizados. Internalizar estos costos puede ayudar a tomar mejores decisiones y mejorar la asignación del transporte.

Una de las características más importantes de la oferta es la congestión. La congestión aparece cuando el nivel de demanda sobrepasa la capacidad de una ruta, incrementando el tiempo requerido para atravesarla comparado con el tiempo promedio de circulación bajo condiciones de baja demanda (Willumsen y Ortúzar, 2011). La inclusión de un vehículo adicional genera mayor retraso a otros usuarios como se observa en la Figura 1.

Figura 1. Flujo marginal en un trayecto



Fuente: (Willumsen y Ortúzar, 2011)

La causa fundamental de la congestión es la fricción entre los vehículos en el flujo de tránsito. Hasta un cierto nivel de tránsito, los vehículos pueden circular a una velocidad relativamente libre, determinada por los límites de velocidad, la frecuencia de las intersecciones, etc. Sin embargo, a volúmenes mayores, cada vehículo adicional estorba el desplazamiento de los demás, es decir, comienza el fenómeno de la congestión. Entonces, una posible definición objetiva sería: “La congestión es la condición que prevalece si la introducción de un vehículo en un flujo de tránsito aumenta el tiempo de circulación de los demás”. A medida que aumenta el tránsito, se reducen cada vez más fuertemente las velocidades de circulación. (Thompson I. y Bull A.CEPAL, 2002).

Si el transporte público es ineficiente, se hará relativamente más atractivo el transporte privado. Esto resulta en menor cantidad de usuarios de transporte público, a lo cual sus operadores responderán disminuyendo la cantidad de frecuencias de viaje (nivel o cantidad de servicio), generando presiones al alza de tarifas o ambas. Esto hace aún más atractivo comprar automóviles, acelerando el círculo vicioso. Luego de unos años los conductores de

los automóviles afrontarán mayores niveles de congestión, mayor retraso de colectivos que a su vez se hacen cada vez más caros y viajan con menor frecuencia. La acumulación de estas decisiones individuales resulta en un estado final en el cual casi todos están en una peor situación que la inicial.

La congestión es el tedioso resultado de estas decisiones individuales sumadas a políticas que no tienen en cuenta dicho problema.

Además, Ortúzar y Willumsen (2011) señalan que existe un peor efecto a largo plazo, cuando se genera esparcimiento urbano (ya sea por crecimiento poblacional o por encarecimiento de opciones inmobiliarias cerca del centro comercial) aumentando las fronteras de la ciudad se reduce la cobertura relativa del transporte público, haciéndolo más ineficiente.

La modelización del transporte urbano surge entonces como herramienta para diagnosticar y optimizar el proceso, ya que mediante la estimación de la matriz O-D podemos obtener la información más importante, que es desde dónde se generan y culminan los viajes.

Es necesario obtener información sobre tendencias de vehículos motorizados por varias razones, incluyendo: Diseño de nuevas construcciones para mejorar el servicio, selección de nuevas rutas para abastecer grandes áreas y maximizar el número de vehículos manteniendo la eficiencia en el costo, diseñar proyectos a futuro que coincidan con el desarrollo esperado y programar mantenimiento cuándo y dónde sea más necesario. (Depto de transporte de Nevada, Estados Unidos, 2014).

2.2 El modelo clásico de transporte

En el ejercicio de la modelización de transporte convencional, el área de estudio es dividida en zonas que son consideradas generadoras y atractoras de los viajes. El modelo clásico de transporte es la herramienta más utilizada para el análisis del sistema de transporte urbano mediante la estimación de la matriz Origen - Destino y divide el trabajo en cuatro sub-modelos. Comienza considerando un sistema de zonas y redes, y la recolección, codificación, calibración y validación de la información. Dicha información, en su gran mayoría está compuesta por niveles de población, empleo, actividad económica, infraestructura de salud y educación, etc. correspondiente a cada zona. Como se mencionó anteriormente, el transporte es un medio para satisfacer otra necesidad o actividad y es justamente en esta última que se encuentra el motivo del viaje, lo que determinará el destino del mismo.

Los subsistemas constituyen 4 distintas etapas en el ejercicio, ellas son *generación de viajes (1), distribución de viajes (2) y asignación (3) donde se encuentran la asignación del modo y la elección de ruta.*

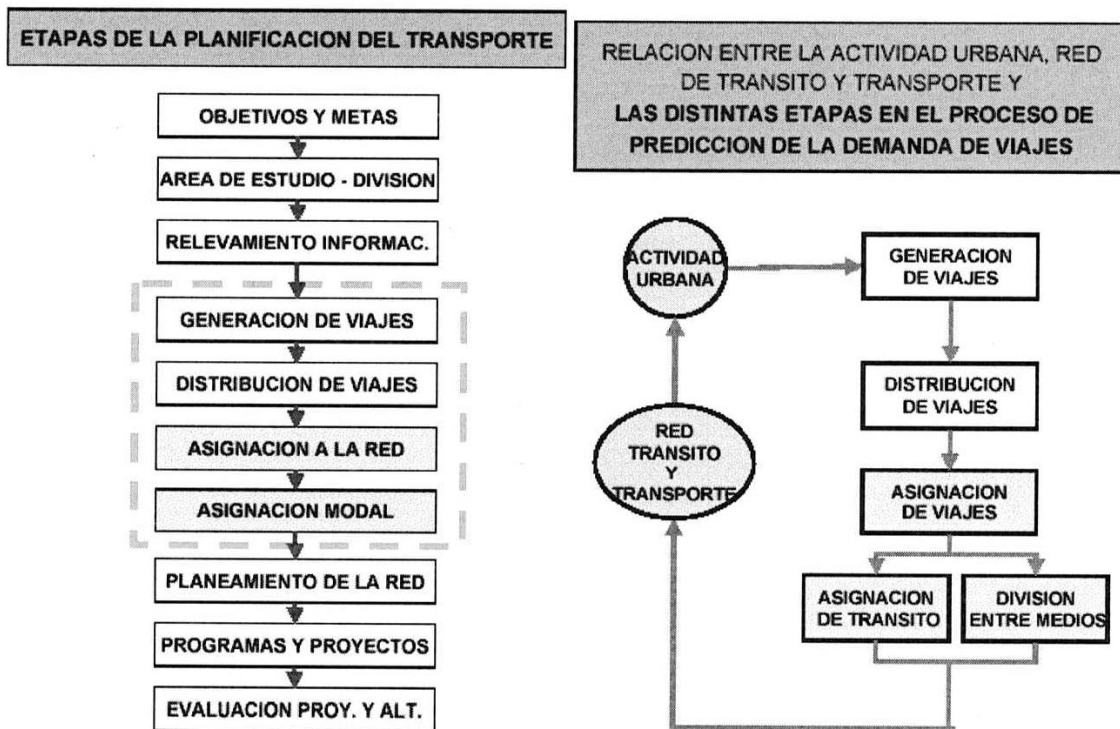


Figura 2. El modelo clásico de transporte. (Universidad Nacional de Córdoba, 2014)

El modelo ilustrado en la figura 2 no necesariamente sigue de manera estricta el orden anterior, esto dependerá de cada caso e investigación.

- a. **Generación de viajes:** En esta etapa se busca estimar los viajes generados y atraídos por cada zona, es decir, para cada n-ésima zona conocer los viajes que se originan desde allí y también conocer los viajes que atrae (en los cuales es destino, no origen). Este objetivo puede ser conseguido averiguando los viajes de cada individuo u hogar residente de cada zona o directamente con algunas propiedades o características propias de las zonas como pueden ser la población, el empleo, el stock de vehículos particulares, etc.

Generalmente la generación de viajes suele estar basada en población y stock de vehículos particulares mientras que para la atracción de los viajes (los destinos) las variables tienen que ver con la localización de la actividad (laboral, educativa, comercial o de servicios).

La generación de viajes se puede clasificar por propósito (laboral, educativo, comercial, recreativo, de acompañamiento u otro), por tipo de individuo (dependiendo del nivel de ingreso, tenencia de automóvil particular y tamaño del hogar) o por momento del día.

Con respecto a la última clasificación, se debe tener en cuenta que los viajes suelen ser realizados en horarios pico y horarios valle: la proporción puede variar (dadas las características de la zona) fuertemente entre ambos.

La tabla 1 ilustra un ejemplo de clasificación de viajes por momento del día teniendo en cuenta algunos de los determinantes previamente mencionados:

Tabla 1. Viajes por momento del día

Propósito del viaje	Hora pico		Hora Valle	
	Número	%	Número	%
Trabajo	465.683	52,12	39.787	12,68
Educación	313.275	35,06	15.567	4,96
Compras	13.738	1,54	35.611	11,35
Social	7.064	0,79	16.938	5,4
Salud	14.354	1,6	8.596	2,74
Burocracia	34.735	3,89	57.592	18,35
Acompañamiento	18.702	2,09	6.716	2,14
Otro	1.736	0,19	2.262	0,63
Vuelta al hogar	24.392	2,72	130.689	41,65

Fuente: Willumsen y Ortúzar, 2011.

Willumsen (1978) expone el modelo de Overgaard, que contiene una proxy de generación de viajes de la forma:

$$O_i = b_1 E_i + b_2 P_i + b_3 (P_i \delta_i) \quad (1)$$

Donde:

O_i es la fuerza de generación/atracción en la zona i

E_i P_i = empleo y población en zona i respectivamente

δ_i = porcentaje de población en viviendas particulares

En el término de generación de viajes de Overgaard se puede observar que tanto la población como el empleo en la zona i son las variables que explican el poder de generación de dicha zona.

Cabe destacar que también puede aparecer como variable el stock de vehículos particulares existente en la zona bajo estudio.

Como limitaciones, en el caso de la generación, se debe tener en cuenta que el modelo requiere la disponibilidad de datos con la desagregación espacial adecuada. Los datos de empleo, población, educativos, etc. tienen generalmente un nivel de agregación mayor o diferente del requerido para generar con precisión un modelo de generación de viajes de cada zona.

- b. **Distribución de viajes**: La etapa de distribución consiste en el reparto de los viajes a destinos particulares (su distribución espacial). Básicamente se arman pares de origen-destino y se estiman los flujos de viajes entre cada par. Cruzando orígenes y destinos se puede formar una matriz que contendrá la información acerca de los viajes que tienen origen en i y destino en j . La tabla 2 ilustra una matriz Origen-Destino genérica.

La matriz almacena los viajes realizados desde un origen hasta cierto destino durante un período particular de tiempo y puede ser desagregada por tipo de individuo, propósito de viaje o tal vez por actividad realizada en cada destino.

Tabla 2. Matriz Origen-Destino genérica.

Orígenes	Destinos				$\sum T_{ij}$
	1	2	...j	...z	
1	T_{11}	T_{12}	... T_{1j}	... T_{1z}	O_1
2	T_{21}	T_{22}	... T_{2j}	... T_{2z}	O_2
3	T_{31}	T_{32}	... T_{3j}	... T_{3z}	O_3
.					
.					
I	T_{i1}	T_{i2}	... T_{ij}	... T_{iz}	O_i
Z	T_{z1}	T_{z2}	... T_{zj}	... T_{zz}	O_z
$\sum T_{ij}$	D_1	D_2	D_j	D_z	$\sum T_{ij}=T$

Fuente: Willumsen y Ortúzar, 2011.

Las celdas de cada fila i contienen los viajes originados en esa zona que tienen destino en la correspondiente columna j . Las diagonales son viajes interzonales. Entonces, T_{ij} es el número total de viajes entre el origen i y el destino j y por ejemplo T_{ij}^{kn} son los viajes desde i hasta j mediante el modo k y tipo de individuo n .

El costo C puede ser considerado en términos de distancia, tiempo o unidades monetarias.

Dentro de los modelos de distribución de viajes, entre los más utilizados se encuentran los del tipo gravitacional, originado por una analogía con la ley general gravitacional de Newton. La forma funcional genérica de este tipo de modelos es:

$$T_{ij} = (\alpha P_i \cdot P_j) / (D_{ij}^2) \quad (2)$$

Donde P_i es la población del área o zona i , P_j es la población del área j , D_{ij} es la distancia entre ambas áreas y α es una constante para la calibración, en este caso la única. Casey (1955) fue el primero en utilizar este modelo y lo hizo para sintetizar viajes para compras entre pueblos.

Más adelante el modelo fue generalizado asumiendo que el efecto de distancia o separación podría ser modelizado mediante una función decreciente de la distancia o costo de viaje entre zonas:

$$T_{ij} = \alpha O_i D_j f(c_{ij}) \quad (3)$$

Donde c_{ij} es una función de costo general de viaje¹.

Low (1972) presenta también un modelo de distribución que es un caso particular de (3) de la forma:

$$T_{ij} = \alpha P_i E_j d_{ij}^{-2} \quad (4)$$

Donde P_i , E_j son la población y el empleo en las zonas i y j respectivamente.

d_{ij} es la distancia o tiempo de viaje entre i y j .

Como se puede observar, Low toma el empleo en la zona j como fuerza atractora de los destinos. Cabe destacar que también puede utilizarse la matrícula escolar para este fin.

Para los modelos previamente mencionados, se pueden conocer los datos o disponer de ellos de manera externa salvo para el caso de α . En ambos casos, el parámetro α tiene dos formas de ser determinado. Por un lado, si se posee una estimación de T_{ij} ya

¹ c_{ij} es de las llamadas “*deterrence functions*” que representan el desincentivo a viajar cuando la distancia (tiempo) o costo incrementa. (Ortúzar y Willumsen, 2011).

sea por una matriz preexistente o a través de encuestas origen-destino, se puede estimar mediante el método MCO de donde surgirá un $\hat{\alpha}$. Otra manera, si no se posee una estimación de T_{ij} por no existir datos primarios, es buscar estudios previos de otras ciudades y tomar valores de α aproximados de donde surge un \widehat{T}_{ij} .

El modelo gravitacional puede ser presentado con distintos niveles de sofisticación que lo derivan en dos grupos: Modelos gravitacionales que llevan a ecuaciones lineales o no lineales en los links².

Además de los modelos gravitacionales, también se puede utilizar un enfoque de máxima entropía o información mínima³. La idea subyacente se puede describir como:

Nos gustaría encontrar la matriz origen-destino más común, compatible con el set disponible de conteos en links. En otras palabras, quisiéramos explotar toda la

² Para una lectura más profunda se recomienda seguir Willumsen (1978).

³ El concepto de entropía se originó en física. En un sistema físico cerrado, sus elementos tienden a una compenetración que puede ser organizada de todas las maneras compatiblemente posibles con las restricciones del sistema (energía, masa, etc). La idea de entropía está relacionada también al concepto de información. Se puede ver, al menos intuitivamente, que un estado de máximo desorden es también un estado que contiene información mínima. El uso del concepto de entropía (o información) ha encontrado numerosas aplicaciones en transporte, sistemas regionales y urbanos. Su más conocida aplicación es en la derivación de un modelo gravitacional completamente restringido.

información contenida en los conteos observados para determinar la matriz O-D más probablemente compatible con ellos.

Es posible argumentar que cuando uno asume un modelo de demanda de transporte (por ej. un modelo de tipo gravitacional) y busca calibrarlo a partir de conteos de tránsito, uno probablemente no utiliza por completo la información que contienen dichos flujos. Esto es confirmado de alguna manera por Hogberg (1975). Él estudió la contribución de cada conteo extra en la precisión de su modelo no lineal y observó que después de incluir los 4 links más importantes, la ganancia en precisión es muy pequeña⁴.

Como limitaciones en el caso de la distribución de viajes, se puede mencionar como limitación central la necesaria disponibilidad de datos primarios entre cada origen i , y cada destino j , que depende de un alto costo de recolección de información imposible de realizar sin los recursos necesarios.

- c. **Asignación Modal**: Es la tercer etapa en el modelo clásico de transporte. El objetivo en esta etapa es estimar que proporción de los viajes entre el par i - j se realizará en cada modo de transporte. Así, se generan matrices O-D diferenciadas según modo de transporte. Dentro de los modos podemos encontrar transporte público o privado o clasificarlo por vehículo (autobús, vehículo particular, tren, etc.)

El lado de la oferta está compuesto por una red de transporte $S(L,C)$ representada por trayectos L (y sus nodos asociados) y sus costos C . Los costos son una función de un número de atributos asociados a los links, por ejemplo distancia, velocidad de libre circulación, capacidad y una relación velocidad-flujo. El lado de la demanda está

⁴ Para explicación de modelos de máxima entropía o verosimilitud con mayor detalle leer Willumsen (1978) y Ortúzar y Willumsen (2011).

compuesto por una indicación del número de viajes de cada par O-D. La relación velocidad-flujo (o costo-flujo) es importante ya que relaciona el uso de la red al nivel de servicio que puede ser ofrecido.

En el caso de la red de transporte, se pueden ver distintos niveles de equilibrio. El más simple es el equilibrio en el cual los conductores buscan rutas que minimicen los costos de viaje (tiempo). Esto resulta en la búsqueda de rutas alternativas, explorando nuevas y tal vez establecer un patrón luego de muchas pruebas y errores⁵.

Si la congestión aumenta, los autobuses que viajan en las mismas rutas tendrán un aumento de costo de viaje también. Esto inducirá a usuarios de transporte público a cambiar de ruta para evitar estos retrasos. Estas decisiones interactúan con las tomadas por los conductores de automóviles generando nuevos equilibrios. En niveles superiores, los patrones de flujo resultantes afectarán elecciones de modo de viaje, destino y momento del día. Todos estos determinantes afectan a la decisión del modo de viaje. Cabe destacar que una vez elegido el modo surgen varias opciones en caso de transportarse en vehículo particular (en el cual se puede elegir libremente la ruta) y sólo algunas en caso de transporte público, ya que sólo se elegirá entre las distintas líneas siendo cada una de ellas fija en términos de recorrido.

En términos generales, esta etapa es muy importante desde el punto de vista de la eficiencia ya que si se logra persuadir a los usuarios de transporte que se movilizan mediante vehículos particulares para que utilicen el transporte público se utilizarían de mejor manera las calles, se emitirían menos gases contaminantes (el ahorro de los

⁵ La búsqueda de nuevas rutas contribuiría a reducir los niveles de congestión. Sin embargo suelen ser bastante estables, excepto que haya regulaciones que prohíban u obstaculicen considerablemente el uso de un cierto tramo entre el par O-D.

vehículos particulares ya que por lo menos alguna frecuencia de transporte público estaría funcionando igualmente⁶) y se producirían menos accidentes viales al circular menor cantidad de vehículos.⁷

Un modelo de asignación modal, por ejemplo, lo presentan Ortúzar y Willumsen (2011) como un ratio de costos:

$$p_{ij}^k = (C_{ij}^k)^{-n} / \sum (C_{ij}^k)^{-n} \quad (5)$$

Donde p_{ij}^k representa la probabilidad de que un viaje desde el origen i hasta el destino j se realice mediante el modo k .

- d. **Elección de ruta**: Luego de elegir el modo de transporte será el turno de la ruta. El objetivo de esta etapa es estimar cuál será la mejor ruta para cada celda de las matrices O-D desagregadas por modo. Para realizar esta tarea se requiere conocer los tiempos y costos de viaje entre cada tramo susceptible de ser recorrido para transportarse desde el origen i hasta el destino j .

Definiciones y Notación:

T_{ijr} es el número de viajes entre i y j por ruta r

V_a es el flujo en el link a en vehículos por hora (vph)

$C(V_a)$ es la relación costo-flujo para el link a

$c(V_a)$ es el costo actual para un nivel particular de flujo, V_a ; el costo cuando $V_a=0$ es el costo de libre circulación

⁶ Lógicamente si la demanda se traspasa desde los vehículos particulares hacia el transporte público, el mismo sistema demandaría un aumento en las frecuencias pero puede intuirse que en términos globales sería mayor lo que se ahorraría en viajes particulares.

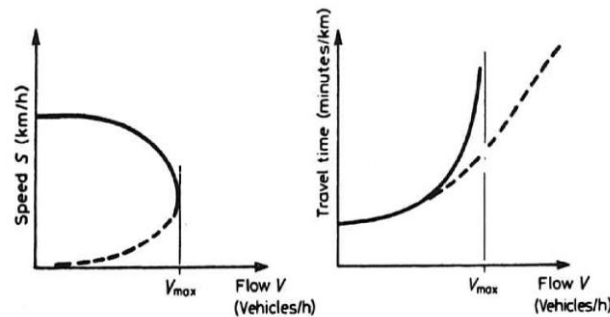
⁷ En este caso se podría producir un círculo virtuoso ya que se haría más atractivo el transporte público e impulsaría a mayor cantidad de usuarios a utilizarlo, en detrimento del automóvil particular.

c_{ijr} es el costo de viajar desde i hasta j por la ruta r

Curvas de velocidad-flujo y costo-flujo usuales

La figura 3 ilustra lo que sostienen Willumsen y Ortúzar (2011): mientras el flujo incrementa, la velocidad tiende a decrecer luego de un período inicial de pequeño cambio; cuando el flujo alcanza la capacidad, el ratio de decrecimiento de la velocidad aumenta.

Figura 3. Curvas típicas de velocidad-flujo para un trayecto largo.



Fuente: Willumsen y Ortúzar, 2011.

El costo en un trayecto a es una función de todos los flujos V en la red, es decir, no sólo el flujo propio del tramo. Esto puede ser simplificado si uno considera trayectos largos, esto es, trayectos donde la mayor parte del tiempo del viaje se lleva a cabo en el mismo recorrido y no en intersecciones. En este caso la función se dice separable y se escribe:

$$C_a = C_a(V_a) \tag{6}$$

esto es, el costo en el trayecto depende de su flujo y características.

Los métodos de asignación de tránsito incluyen una serie de reglas sobre cómo identificar las rutas deseables (más rápidas y/o de menor costo) para conectar orígenes y destinos y luego una manera sistemática de asignar viajes a estas rutas.

La premisa básica en la asignación es la presunción de un conductor racional, es decir, uno que elija la ruta que le ofrezca el menor costo percibido (anticipado). Algunos factores influyen en la decisión de elegir la ruta, incluyendo tiempo de viaje, distancia, costo monetario, congestión, peajes, tipo de maniobras a realizar, tipo de ruta, señales viales, obstáculos en ruta, etc. Es prácticamente imposible modelizar todos estos factores. El enfoque más común es considerar sólo dos factores en la elección de ruta: tiempo y costo monetario; cabe destacar que el costo monetario es usualmente asumido como proporcional a la distancia del viaje. La suma de estos dos valores se convierte en una función de costo generalizada utilizada para estimar la elección de la ruta. Existe evidencia para sugerir que, al menos en tránsito urbano, el tiempo es el factor dominante en la elección de ruta. De todos modos, si se uniese la combinación de tiempo y distancia en una función de costo general, sólo podemos explicar algo entre el 60% y el 80% de las rutas efectivamente observadas en la práctica (Willumsen y Ortúzar 2011). Como la contribución marginal de otros factores es muy pequeña, la parte no explicada debe ser atribuida a factores como diferencias en percepción, información imperfecta. (Willumsen y Ortúzar, 2011, p. 356).

El hecho de que diferentes conductores elijan diferentes rutas para transportarse entre los mismos puntos puede ser atribuido a cuatro distintos tipos de razones:

- Clase de usuario: Diferencias en percepciones individuales sobre qué constituye la mejor ruta dependiendo de sus prioridades.
- Efectos estocásticos: El nivel de conocimiento sobre rutas alternativas varía y esto introduce irracionalidad en las elecciones.
- Congestión y equilibrio: Efectos de la congestión afectan rutas cortas primero

y transforman sus costos haciéndolas comparables con rutas inicialmente menos atractivas.

- Modo de transporte: No se debe olvidar que en caso de transporte público, el recorrido es prácticamente fijo, especialmente si una sola línea cubre el par O-D. Sólo será posible que usuarios de transporte público elijan el recorrido en caso de existir más de una línea con distintas rutas. Y la decisión se inclinará hacia la ruta más corta o la que demore menos tiempo.

Para “cargar” la matriz eligiendo la ruta que se va a utilizar existen tres enfoques alternativos:

- i. Asignación “Todo o Nada”: Se determina por la ruta menos costosa. Asume que los conductores se transportan por la ruta más rápida. Es la asignación y elección de ruta más simple. Este método asume que no hay efectos de congestión, que todos los conductores consideran los mismos atributos para la elección de ruta y que los perciben y dan la misma importancia. La ausencia de costos de congestión significa que los costos de viajar por un link son fijos. Entonces, todos elegirán la ruta más barata (rápida), sin ser asignados a otras rutas más costosas. El mecanismo de asignación carga la matriz T en la ruta más barata y produce los flujos $V_{a,b}$. El mecanismo de asignación se puede resumir como:

$$\text{Flujo en “a”} = V_a = \sum T_{ij} p_{ij}^a \quad (7)$$

Siendo:

$$p_{ij}^a := \begin{cases} 0, & \text{Si los viajes de } i \text{ hasta } j \text{ no pasan por el trayecto "a"} \\ 1, & \text{Si los viajes desde } i \text{ hasta } j \text{ pasan por el trayecto "a"} \end{cases}$$

ii. Asignación Proporcional: Si aceptamos que no todos los conductores perciben el mismo costo en una ruta, estas diferencias son incorporadas en el proceso de asignación. En este caso la proporción de conductores eligiendo cada ruta será determinado por las características de la ruta y de los propios conductores. Este método no considera los efectos de la congestión, entonces estas proporciones son tratadas como independientes de los niveles de flujo en los links. Cuando existe congestión este enfoque no es realista, pero por otro lado la ventaja que tiene es que es posible determinar la proporción de viajes entre i y j utilizando un link antes de conocer la matriz O-D. Estas proporciones dependen sólo de la red de transporte y de los parámetros del algoritmo de la asignación pero no de los niveles de flujo de tránsito en cada trayecto.

iii. Asignación de equilibrio (Principio de equilibrio de Wardrop): Aquí los efectos de la congestión son considerados más importantes que las diferencias en los costos de viaje percibidos. Este tipo de asignación trata de satisfacer el primer principio de Wardrop que se puede sintetizar como:

Una asignación es de equilibrio cuando ningún conductor puede reducir su costo de viaje cambiándose a otra ruta.

Para obtener este tipo de asignación, se utilizan técnicas basadas en programación heurística y matemática. En este caso, la proporción de viajes entre un par O-D utilizando cada ruta depende de los flujos de cada ruta. Estos modelos utilizan funciones que relacionan el flujo con el costo (tiempo) de transportarse en un trayecto. Para conocer los valores de dichas funciones se necesita información previa sobre el tiempo de recorrido entre diferentes tramos de un par O-D.

2.2.1 Conteos de tránsito como herramienta

Métodos convencionales para recolectar información sobre orígenes y destinos como entrevistas de cordón o en casas suelen ser costosos y toman mucho trabajo. El problema es mayor en países en desarrollo, donde los rápidos cambios en el uso del suelo y la población acortan la vida útil de los datos obtenidos. La necesidad de desarrollar métodos de bajo costo para estimar matrices O-D presentes y futuras para países en desarrollo toma entonces mayor importancia.

Los estudios de volumen de tránsito se hacen con el objetivo de determinar el número, movimientos y clasificaciones de los vehículos de carretera en una ubicación determinada. Esta información puede ayudar a identificar períodos de tiempo-flujo críticos, determinar la influencia de cada vehículo, o registrar las tendencias de volumen de tránsito.

- Los conteos pueden ser manuales o automáticos⁸
- El período de conteo debe evadir eventos especiales o condiciones de clima que comprometan el trabajo.
- La longitud del período puede variar desde 5 minutos a 1 año

Los conteos de tránsito pueden ser vistos como el resultado de combinar una matriz de viajes y un patrón de elección de ruta. Como tal, proveen información directa sobre la suma de los pares O-D que usan los links bajo conteo. Los conteos de tránsito son muy atractivos como fuente de información ya que no interfieren con los conductores, generalmente están a la vista, son baratos de obtener y su almacenamiento es sencillo.

⁸ Los conteos automáticos suelen emplear sensores adheridos al pavimento que registran el pasaje de cada vehículo.

Estimaciones o pronósticos del volumen total de tránsito en una sección de una carretera por uno o más años son utilizadas para mejorar el diseño del sistema de transporte y el análisis de la seguridad vial (reducción de la tasa de accidentes) y también obtener y generar estimaciones de la distancia total recorrida. Esto es usualmente logrado multiplicando un valor estimado del volumen total diario de la carretera (MDT por sus siglas en inglés “Mean Daily Traffic”) por el número de días deseados en el horizonte de estimación. (Davis, G and Yang, S., 2003).

2.2.2 Conteos de tránsito para estimar matrices Origen - Destino

Si se considera un área de estudio que se divide en N zonas interconectadas por rutas, la matriz de viajes consistirá en N^2 celdas. La etapa más importante para la estimación de un modelo de demanda de transporte a partir de conteos de tránsito es identificar los caminos seguidos por los viajes desde cada origen hasta cada destino. La variable $p^{a_{ij}}$ es utilizada para definir la proporción de viajes desde la zona i hasta la zona j que se transportan por el link a . Entonces, el flujo (V_a) en un link particular a es la suma de las contribuciones de todos los viajes entre zonas a ese link.

$$V_a = T_{ij} p^{a_{ij}}, \quad \text{donde } 0 < p^{a_{ij}} < 1 \quad (8)$$

La variable $p^{a_{ij}}$ puede ser obtenida utilizando las técnicas de asignación mencionadas anteriormente, variando desde una todo o nada a asignaciones de equilibrio más complicadas. Dados todos los $p^{a_{ij}}$ y todos los conteos de tránsito observados \hat{V}_a , habrá N^2 T_{ij} desconocidos a ser estimados a partir de un set de L ecuaciones lineales simultáneas donde L es el número total de conteos de tránsito.

En principio, se requerirán N^2 conteos de tránsito independientes y consistentes para determinar la matriz de viajes T . En la práctica, el número de conteos de tránsito observados es mucho menor al número de valores T_{ij} desconocidos. Entonces, es imposible determinar una única solución al problema de la estimación de matriz. En general, habrá más de una matriz de viajes las cuales, cuando se cargan a la red, reproducirán los conteos de tránsito observados. Dos enfoques básicos se han propuesto para resolver este problema: métodos estructurados y no estructurados. En el caso de los estructurados, el investigador restringe el espacio mediante la imposición de una estructura particular que es provista por un modelo de demanda de transporte existente, por ejemplo, un modelo de demanda directo o gravitacional. El enfoque no estructurado recae en principios generales, como máxima probabilidad o máxima entropía, para proveer el mínimo de información adicional requerida para establecer la matriz.

Existen numerosos métodos para estimar matrices O-D, todos requieren muestreo y aunque todos los viajes diarios sean muestreados, el problema de la estabilidad de la matriz en el tiempo se mantendrá. Entonces, las matrices “reales” nunca están disponibles; sólo tendremos métodos más o menos confiables para estimarlas.

2.2.3 Problemas de los conteos de tránsito

- Independencia: No todos los conteos contienen la misma cantidad de información.
- Inconsistencia: Algunos modelos pueden lidiar con las inconsistencias (errores en conteos) y otros precisan licuarlos de ante mano.

- Períodos del conteo
- Simetría: Los flujos generalmente son asimétricos, esto es V_{ij} es distinto de V_{ji} . En algunos modelos se puede suponer simetría para reducir la complejidad.

2.2.4 Modelos de estimación de matrices O-D a partir de conteos de tránsito⁹

En la literatura se proponen tres grandes grupos de modelos, todos ellos con variantes respecto del tipo de asignación a utilizar:

El primero asume que un modelo de tipo gravitacional es capaz de explicar el comportamiento del transporte en el área de estudio. El modelo gravitacional puede ser presentado con distintos niveles de sofisticación que lo derivan en dos grupos: Modelos gravitacionales que llevan a ecuaciones lineales o no lineales en los links. Dentro de los lineales podemos encontrar los propuestos por Low, Lamarre, Overgaard y Modelo del *Commonwealth Bureau of Roads* (de Australia) y los no lineales fueron propuestos por Hogber, Robillard y Mills.

El segundo grupo de modelos intenta estimar la matriz O-D mediante un enfoque de equilibrio de red basado en el primer principio de Wardrop. Sang Nguyen (1977) formuló varios modelos de este tipo.

El tercer grupo de modelos considera métodos de estimación la matriz más compatibles con los conteos de tránsito observados. Estos métodos pueden llamarse como métodos de entropía máxima o de información mínima.

Como se mencionó, una presentación exhaustiva de todos los modelos, sus ventajas y desventajas puede encontrarse en Willumsen (1978).

⁹ Todos estos modelos son explicados con profundidad por Willumsen (1978).

3. Discusión

Poco se puede decir acerca de la precisión relativa de los modelos propuestos para estimar una matriz Origen-Destino. Justamente, pocas pruebas se han realizado con información real y en estos casos las comparaciones se han realizado con respecto a flujos observados en los links y no contra una matriz O-D real observada.

Se debe decir que muchos planificadores están familiarizados con la idea de que la demanda de transporte sigue un comportamiento de tipo gravitacional. Esta suposición es más probable que sea válida en áreas grandes, donde el costo de viaje es un factor importante en la formación de los patrones de demanda de transporte.

Estos modelos suelen requerir mucha información y un gran esfuerzo en calibrarse.

La mayoría de aplicaciones de estos enfoques han sido en áreas interurbanas. Aplicaciones a ciudades muy grandes implicarían un sistema de codificación de zonas más detallado y encuestas en carretera independientes para determinar los viajes externos a las zonas. Además, los efectos de la congestión serían más importantes en estos casos y una asignación “todo o nada” no sería suficiente.

Es posible extender todos los modelos lineales y no lineales al caso de asignación proporcional pero aun así fallan en considerar la congestión como un factor importante en la elección de ruta. Esto parece indicar que estos métodos pueden ser más apropiados para áreas rurales o sin congestión.

Finalmente, este tipo de modelos puede lidiar perfectamente con las inconsistencias en los conteos de tránsito.

Para el caso del enfoque de máxima entropía o mínima información este enfoque aparece como el de mayor generalidad. En principio podría ser aplicado a todas las áreas de interés. Tiene la desventaja de que parece ser sensible al número total de viajes, una variable usualmente no disponible.

Además, este enfoque, independiente de parámetros de planificación como población y tenencia de automóviles, no parece apropiado para aplicaciones a mediano y largo plazo.

Computacionalmente, el algoritmo es rápido y más conveniente que los demás modelos no lineales de regresión.

Sin embargo, las inconsistencias en los conteos de tránsito deben ser removidas antes de aplicar el algoritmo.

4. Medidas complementarias para medir la congestión: Análisis de tiempo de viaje:

Información detallada y precisa sobre los tiempos de viaje, velocidad del vehículo y de los retrasos es importante para calibración y validación de los modelos. Los tiempos de viaje son un determinante clave en los costos de transporte, por lo tanto es importante asegurarse que el modelo replique correctamente los retrasos en la red de interés.

Los tiempos de viaje pueden ser divididos en:

- Tiempos de movimiento, cuando el vehículo se mueve.
- Tiempos de espera o retrasos, cuando el vehículo debe detenerse por la congestión o semáforos, señales viales, etc.

Los tiempos de viaje pueden variar mucho como resultado de los tiempos de espera.

La técnica más común para medir el tiempo de viaje es conocida como “método del observador en movimiento”. En este caso, un vehículo de prueba es conducido a una velocidad promedio y se anotan los tiempos de recorrido. Mantener una velocidad promedio es difícil y el requerimiento normal es para el conductor sobrepasar más vehículos que los que lo sobrepasan.

Los circuitos a analizar deben ser representativos del área de interés.

5. Metodología de trabajo

En la ciudad de Bahía Blanca, en ciertos días, rangos horarios y arterias el flujo de tránsito suele ser más lento por problemas de congestión generando demoras, lo cual aumenta la contaminación ambiental y riesgo de accidentes. Las posibles causas, a priori, podrían ser el aumento en el parque automotor sumando a una infraestructura vial que no crece de manera proporcional ya que, como se mencionó anteriormente, las obras de construcción en materia vial son planificadas a mediano o largo plazo. La realización de dichas obras posee un componente político que genera trabas y burocracia que hacen aún más difícil aprobar un proyecto en el cuál deben realizarse exhaustivos análisis técnicos, buscar asesoramiento profesional, analizar el costo de oportunidad de la inversión, decidir dónde es más importante realizarlo, fundamentarlo y encontrar la mejor manera de financiarlo. El estado que se genera cuando la oferta alcanza su capacidad provoca malestar en los usuarios y aumenta la propensión a realizar maniobras riesgosas que generan accidentes viales.

Como ya se mencionó, la matriz Origen - Destino constituye una herramienta clave en el diagnóstico y la planificación del transporte urbano. Pero su estimación requiere un elevado esfuerzo en la obtención de datos, la elección del modelo a aplicar, cubrir la mayor cantidad

de nodos con conteos de tránsito en el mayor rango horario posible y los recursos económicos necesarios para poder realizarlo. Todo sujeto a la posibilidad de que una vez obtenida la estimación ocurran cambios estructurales que la vuelvan obsoleta rápidamente. Este trabajo pretende solamente realizar un análisis descriptivo del tránsito sin realizar tal estimación, pero que provee información útil sobre magnitudes de la circulación vehicular en una ciudad intermedia como Bahía Blanca.

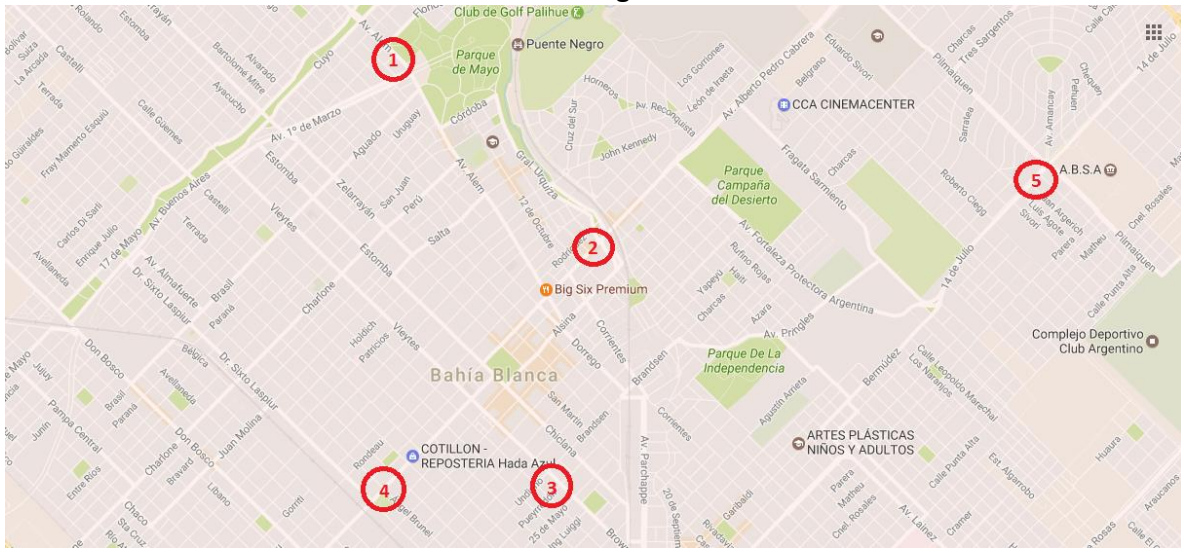
A continuación se presenta un análisis descriptivo de la situación en la ciudad de Bahía Blanca que contiene información secundaria sobre las características del parque automotor y su crecimiento a lo largo de los años e información primaria obtenida sobre la realización de conteos de tránsito en nodos de acceso al centro comercial y dentro del mismo, siendo este último el sector donde se cree que el flujo de tránsito disminuye en determinados horarios y días. Los conteos fueron realizados durante 60 minutos en 4 distintos horarios predeterminados tomándose dos muestras de cada nodo en días hábiles (que se suponen homogéneos en cuanto a los horarios pico y valle y nivel de flujo en dichos horarios) y una toma para días domingo.

Para complementar el análisis, se presenta además un relevamiento dinámico teniendo en cuenta el tiempo de circulación a la velocidad promedio de 40 km/h sobre algunas de las calles a lo largo de 2 km. Las muestras se realizaron dentro de los mismos horarios que los conteos de tránsito tomándose dos muestras para días hábiles (que se suponen homogéneos) y una toma para días domingo.

5.1 Premisas para la elección de los nodos

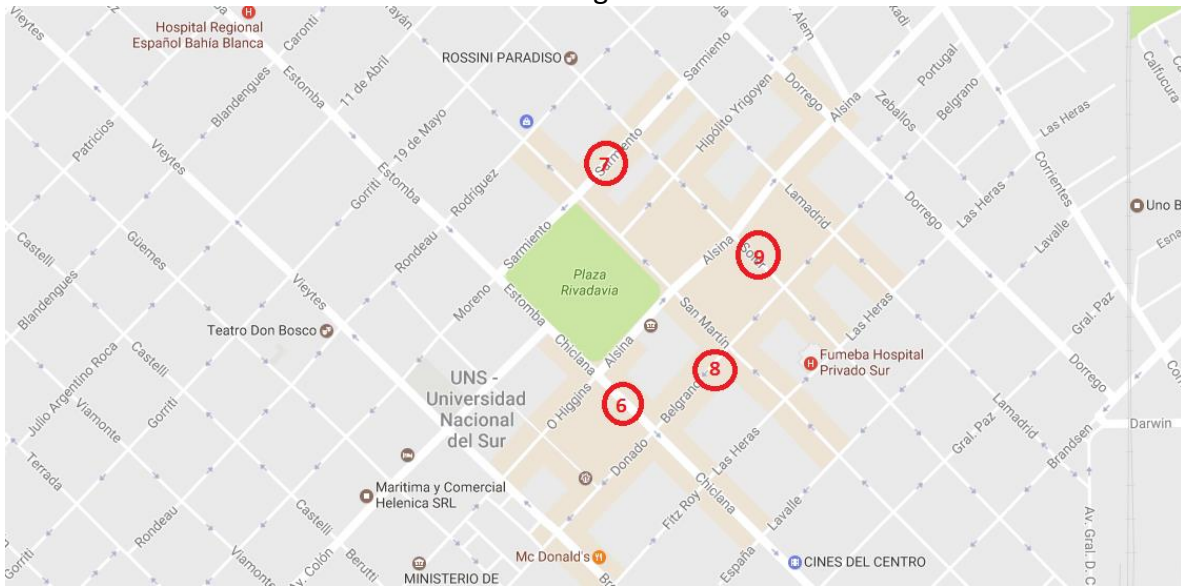
Como ya se mencionó, la elección de los nodos donde se realizaron los conteos de tránsito en la ciudad de Bahía Blanca fue realizada intentando cubrir las principales rutas de acceso a la zona céntrica, que es considerada la zona con mayor poder de atracción de la matriz. La premisa es que las arterias pertenecientes a la zona céntrica son las que más sufren los efectos de la congestión urbana por la concentración de empleos y servicios ofrecidos de manera aglomerada. Otra premisa es que la zona de congestión baja la intensidad de tránsito en horarios valle y días domingo y que la misma ha ido aumentando su perímetro con el pasar de los años por diversas razones como puede ser la falta de actualización de la infraestructura vial, la falta de planificación y la suba en la tenencia de automóviles en las últimas décadas. En total se completaron 90 horas de conteos de tránsito para este trabajo. Se supone que los días hábiles son homogéneos en cuanto a los horarios pico y valle y que los días Domingo el nivel de tránsito es similar en todo el rango horario salvo día estival. Los conteos se realizaron entre las 08:00 y 09:00 am (Turno 1), entre las 12:00 y 13:00 (Turno 2), entre las 14:00 y 15:00 pm (Turno 3) y entre las 18:00 y 19:00 pm (Turno 4) en 5 nodos de acceso a la zona de congestión, 4 nodos pertenecientes a la zona de congestión y un nodo alejado de dicha zona para contrastar los resultados. (Ver cronograma en anexo).

Ilustración 1. Nodos de acceso a la zona de congestión



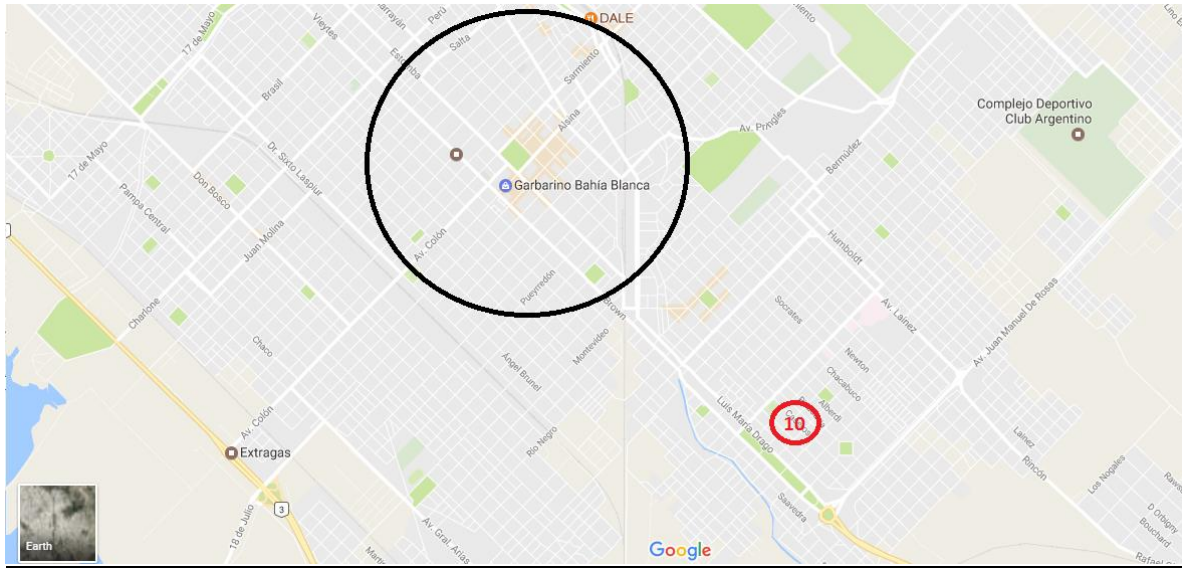
Fuente: elaboración propia basada en Google Maps.

Ilustración 2. Nodos dentro de la zona de congestión



Fuente: elaboración propia basada en Google Maps.

Ilustración 3. Nodo contraste



Fuente: elaboración propia basada en Google Maps.

Tabla 1. Nodos de conteo

Horarios	Turno 1	Turno 2	Turno 3	Turno 4
	<i>Nodos de acceso a zona congestión</i>			
1.Av. Alem (entre Florida y 1º de Marzo)	Doble sentido	Doble sentido	Doble sentido	Doble sentido
2.Sarmiento (entre Urquiza y F. Sánchez)	Único sentido	Único sentido	Único sentido	Único sentido
3.Brown (entre Pueyrredon y Undiano)	Único sentido	Único sentido	Único sentido	Único sentido
4.Av. Colón (entre Chile y A. Brunel)	Doble sentido	Doble sentido	Doble sentido	Doble sentido
5.14 de Julio (e/ Pilmayquén y Laferrere)	Doble sentido	Doble sentido	Doble sentido	Doble sentido
	<i>Dentro de zona de congestión</i>			
6.Chiclana (entre O`Higgins y Belgrano)	Único sentido	Único sentido	Único sentido	Único sentido
7.Sarmiento (entre Mitre y Zelarrayán)	Único sentido	Único sentido	Único sentido	Único sentido
8.Belgrano (entre S. Martín y Chiclana)	Único sentido	Único sentido	Único sentido	Único sentido
9.Soler (entre Belgrano y Alsina)	Único sentido	Único sentido	Único sentido	Único sentido
	<i>Contraste</i>			
10.Caseros (entre C. Venacio y Cramer)	Único sentido	Único sentido	Único sentido	Único sentido

Fuente: Elaboración Propia

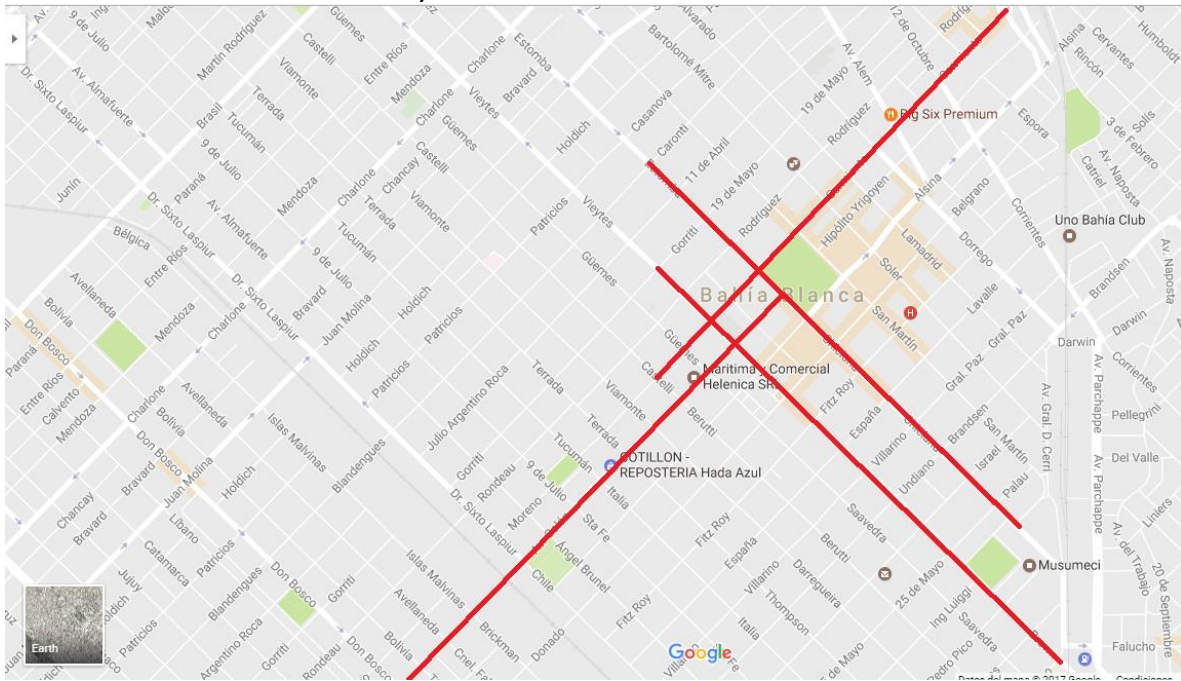
5.2 Elección de trayectos

Para las mediciones distancia tiempo en los trayectos el muestreo se realizó dentro de los mismos horarios y bajo los mismos supuestos que los conteos de tránsito expuestos anteriormente tomándose dos muestras para cada horario en día hábil y una muestra para un recorrido de fin de semana en cualquier horario para los 5 trayectos. Los trayectos seleccionados son:

1. Brown desde intersección con Montevideo hasta intersección con Gorriti. (2 km).
2. Estomba desde intersección con Caronti hasta intersección con Pedro Pico. (2 km).
3. Sarmiento desde intersección con Cerrito hasta intersección con Castelli. (2 km).
4. Av. Colón desde intersección con Don Bosco hasta intersección con Chiclana. (2 km).
5. Contraste: Cnel Rosales desde intersección con Maipú hasta intersección con Rawson (2 km).

(Ver cronograma en apéndice)

Ilustración 4. Mediciones de trayectos



Fuente: elaboración propia basada en Google Maps.

6. Resultados

Algunos indicadores del parque automotor en Bahía Blanca

Como se puede observar en la información que contiene la Tabla 2, en 1965 se registraban 20.400 vehículos en la ciudad. Para ese entonces significaban 1 vehículo cada 7 habitantes. Para 1984 el número ascendió a 58.833, 1 vehículo cada 4 habitantes. En 2006 la relación aumentaba a 1 vehículo cada 3 habitantes, registrándose 120.000 vehículos. Para diciembre de 2016, el parque automotor se compone de 180.000 vehículos, 1 cada 1,6 ciudadanos, registrándose un aumento del 50% en la última década. La relación es tan sorprendente como su evolución a lo largo de los años. La cifra está a la altura de grandes ciudades del mundo, con claras diferencias en la infraestructura existente.

Tabla 2. Vehículos por habitante para la ciudad de Bahía Blanca

Año	Cantidad de Vehículos	Variación %	Vehículos/Habitantes
1965	20.400	-	1/7
1984	58.833	188%	1/4
2006	120.000	104%	1/3
2016	180.000	50%	1/1.6

Fuente: Elaboración propia en base a datos de La Nueva Provincia (18/12/2016).

Con respecto al promedio a nivel país, Argentina posee 12 millones de vehículos para sus 40 millones de habitantes o dicho más fácilmente 1 vehículo cada 3,3 habitantes, lo que quiere decir que Bahía Blanca tiene más del doble de vehículos por habitante que el país en promedio. Cabe destacar que este ratio varía con el tamaño y morfología de la ciudad. En las ciudades con baja densidad poblacional pero de escaso trazado urbano el ratio vehículo/habitante puede ser bajo debido a las cortas distancias medias a recorrer. Algo

similar pero por razones opuestas ocurre en grandes urbes, donde el desplazamiento en automóvil puede ser más costoso y menos eficaz que el transporte público. En ciudades de cierta extensión y baja densidad poblacional, donde el servicio de transporte público de pasajeros no está completamente desarrollado, la dotación de vehículos puede ser muy superior. Dicho lo anterior, las comparaciones sobre este ratio vehículos/ habitantes debe realizarse entre ciudades comparables en densidad y formato.

Resultaría lógico pensar que un aumento como el experimentado por Bahía Blanca no puede ser soportado por una infraestructura vial que no acompaña en crecimiento, resultando en congestión y una mayor cantidad de rupturas en la sobrecargada calzada que agravan el problema.

Otro aspecto importante es la aparición de mayor cantidad de motocicletas, que según la Agencia Nacional de Seguridad Vial (ANSV) protagonizan el 57% de los accidentes viales en Bahía Blanca. Se estima que hay 65 mil motos en la ciudad, cifra alentada por la facilidad de acceso y los problemas existentes en el transporte público.

Con respecto a las calles pavimentadas, sólo 4.600 sobre un total de 12.500 (36.8%) cuentan con asfalto (La Nueva Provincia 18/12/2016). El rápido crecimiento poblacional y demográfico de la ciudad generó nuevas calles, cada vez más alejadas del centro de la ciudad que esperan ser pavimentadas y una creciente necesidad de contar con mayor cobertura del transporte público, que estimula el uso de medios privados de transporte, agravando el problema.

“Economía del transporte: Importancia y usos de conteos de tránsito en la ciudad de Bahía Blanca.”

Tabla 3. Conteos de tránsito

		De 08 a 09 Hs		De 12 a 13 hs		De 14 a 15 hs		De 18 a 19 hs	
		Ida al centro	Vuelta	Ida al centro	Vuelta	Ida al centro	Vuelta	Ida al centro	Vuelta
ALEM (Nodo 1)	Muestra 1	536	526	499	671	349	545	597	871
	Muestra 2	751	519	873	767	536	539	752	898
	Domingo	237	303	237	303	237	303	237	303
SARMIENTO (Nodo 2)	Muestra 1	808	-	652	-	660	-	747	-
	Muestra 2	744	-	612	-	641	-	797	-
	Domingo	340	-	340	-	340	-	340	-
BROWN (Nodo 3)	Muestra 1	1176	-	1217	-	1142	-	1407	-
	Muestra 2	1319	-	1255	-	1113	-	1268	-
	Domingo	466	-	466	-	466	-	466	-
AV COLON (Nodo 4)	Muestra 1	681	474	718	920	594	430	769	493
	Muestra 2	714	530	664	477	617	458	781	492
	Domingo	231	156	231	156	231	156	231	156
AV 14 DE JULIO (Nodo 5)	Muestra 1	626	399	533	1100	318	466	486	615
	Muestra 2	552	412	901	1033	384	403	514	575
	Domingo	162	175	162	175	162	175	162	175

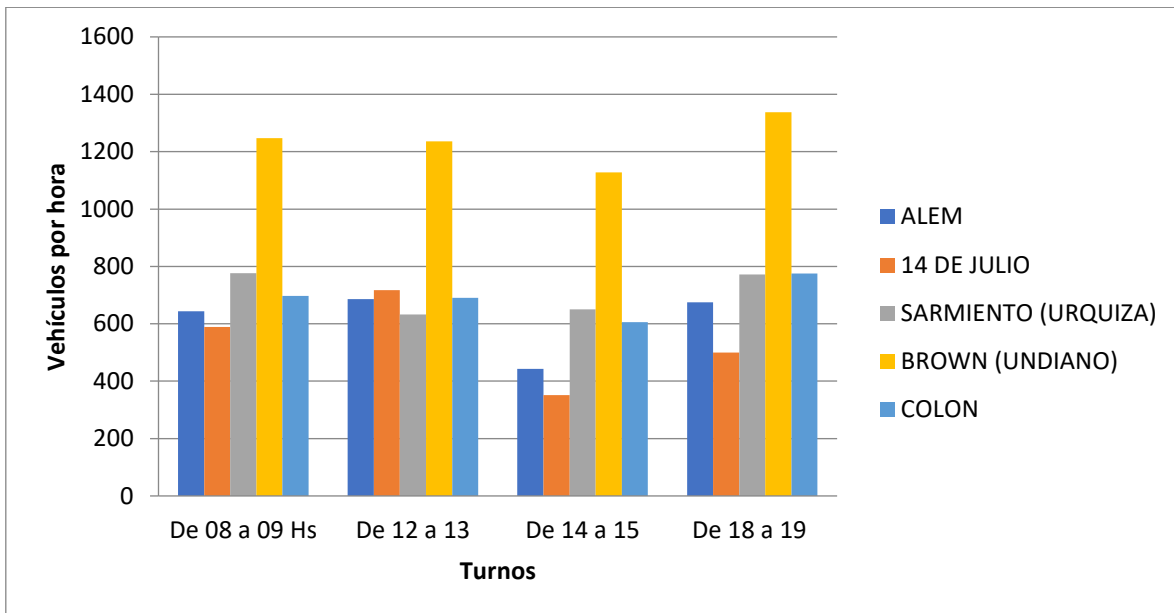
“Economía del transporte: Importancia y usos de conteos de tránsito en la

ciudad de Bahía Blanca.”

CHICLANA (Nodo 6)	Muestra 1	1106	-	1465	-	1129	-	1245	-
	Muestra 2	1093	-	1465	-	1114	-	1250	-
	Domingo	560	-	560	-	560	-	560	-
SARMIENTO (Nodo 7)	Muestra 1	981	-	1114	-	796	-	921	-
	Muestra 2	902	-	940	-	805	-	1043	-
	Domingo	374	-	374	-	374	-	374	-
BELGRANO (Nodo 8)	Muestra 1	817	-	1008	-	623	-	948	-
	Muestra 2	820	-	1041	-	735	-	880	-
	Domingo	294	-	294	-	294	-	294	-
SOLER (Nodo 9)	Muestra 1	795	-	769	-	672	-	950	-
	Muestra 2	822	-	1500	-	608	-	808	-
	Domingo	158	-	158	-	158	-	158	-
CASEROS (Nodo 10 contraste)	Muestra 1	184	-	296	-	140	-	179	-
	Muestra 2	216	-	400	-	126	-	220	-
	Muestra Domingo	82	-	82	-	82	-	82	-

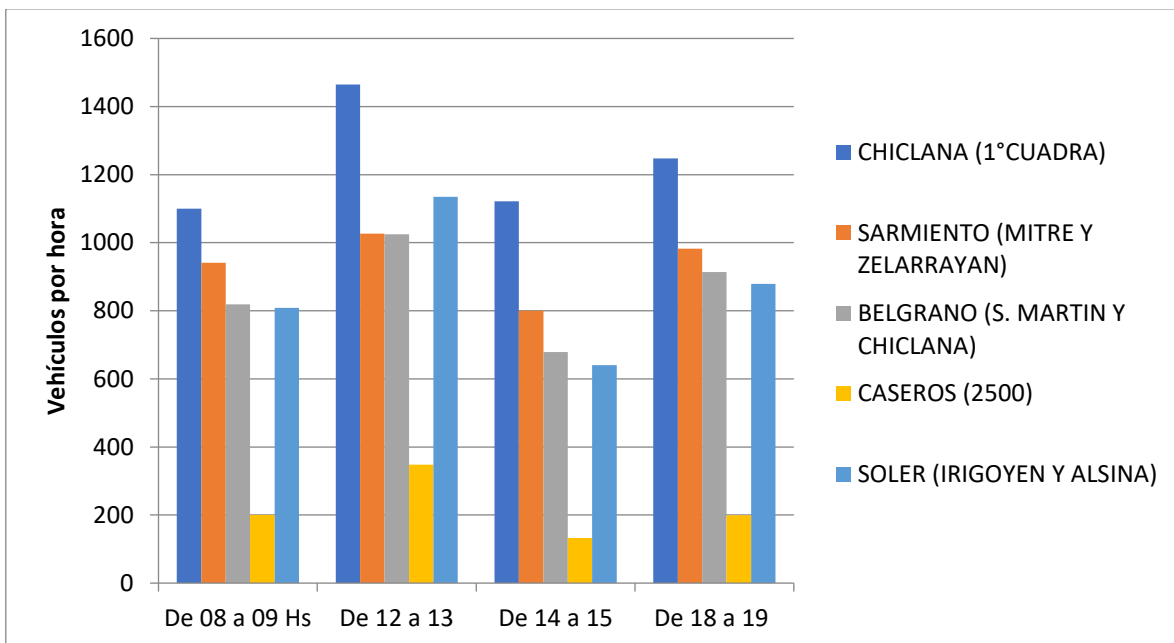
Fuente: Elaboración propia en base a conteos de tránsito realizados.

Ilustración 5. Accesos a zona de congestión (Día Hábil)



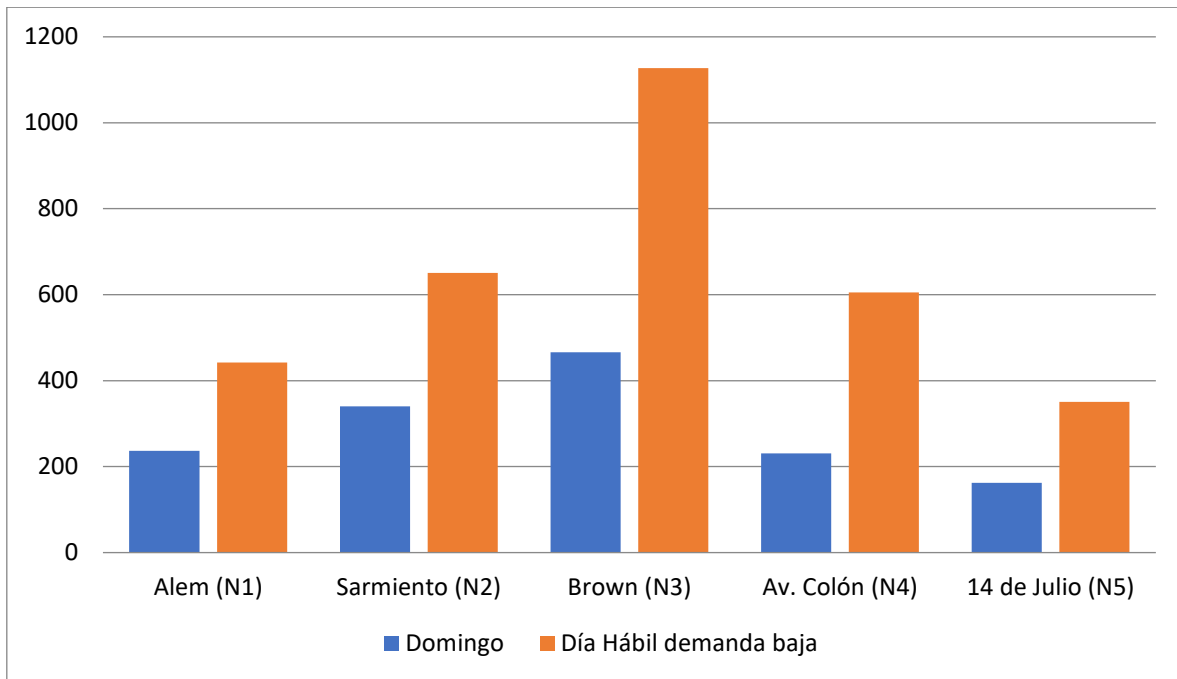
Fuente: Elaboración propia en base a conteos realizados.

Ilustración 6. Conteos en zona de congestión microcentro (Día Hábil)



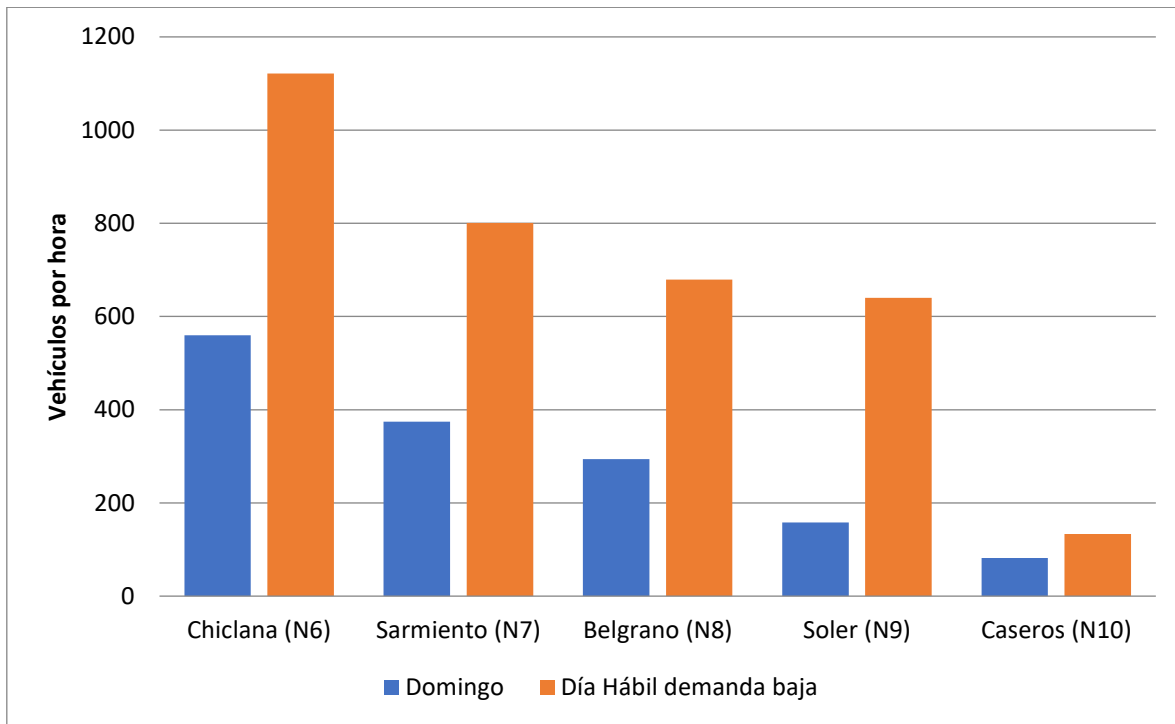
Fuente: Elaboración propia en base a conteos realizados.

Ilustración 7. Comparación Domingo vs Demanda Baja (Accesos)



Fuente: Elaboración propia en base a conteos realizados.

Ilustración 8. Comparación Domingo vs Demanda Baja (Microcentro)



Fuente: Elaboración propia en base a conteos realizados.

Tabla 4. Promedio de vehículos por hora (sin contar contraste)

Conteos	Promedio en días hábiles en cualquier turno	Promedio en domingos	Variación
Vehículos por hora	854	290	-66%

Fuente: Elaboración propia en base a conteos realizados.

- En los accesos se ve un nivel más o menos parecido salvo la calle Brown, muy por encima del flujo promedio, que puede ser explicado por el ancho de la calzada que lleva a gran parte de las líneas de ómnibus y a los conductores a transportarse por ella. Además conecta gran parte de la zona sur con el centro de la ciudad. En promedio, transitan por calle Brown en un día hábil 94% más de vehículos que el promedio diario de los demás accesos.

- Fuera del promedio general de los accesos se encuentra el rango horario de 14 a 15hs, que podría identificarse como valle ya que muchos de los comercios permanecen cerrados. Por la mañana y el mediodía el flujo es casi idéntico. Entre las 18 y las 19 hs parecería que los accesos vuelven a trabajar cerca de su capacidad (Este se considera el horario de salida del trabajo y vuelta al hogar).
- Con respecto al centro comercial, los horarios pico y valle se identifican más fácilmente. La capacidad se alcanza al mediodía y en el horario de salida de los establecimientos educativos y laborales.
- Parecería que en el centro comercial se encuentran picos más pronunciados por las actividades puntuales de trabajo y educación, mientras que los accesos se cargan no tan pronunciadamente pero conteniendo flujos más constantes. Esto puede suceder ya que el centro comercial es el destino final (y, a su vez, el origen en el trayecto de vuelta) y los accesos son los medios para llegar a él.
- Se puede observar que tanto en la Av. Alem como en la Av. Colón, el flujo es mayor en dirección al centro en los dos primeros turnos de horarios (cuando comienza el horario laboral comercial y escolar) y mayor en dirección contraria al centro en los turnos 3 y 4 (horario de vuelta al hogar y cierre comercial).
- Con respecto al nodo seleccionado fuera del área de congestión y accesos a dicha zona, se puede observar claramente que los niveles de vehículos por hora son muy inferiores a los anteriormente mencionados. Al tener menor nivel de flujo promedio, estas calles necesitarán ser reparadas con menor frecuencia que las más transitadas.
- De los conteos realizados los días domingo se desprende que el nivel de demanda es muy bajo, inclusive comparado con el turno 3 (el turno de menor demanda promedio).

En números, los días domingo transitan un 54,8% menos de vehículos en los accesos que durante el turno 3 de un día hábil; y para la zona de congestión la disminución en la demanda llega a casi 56,5%.

Mediciones distancia-tiempo

Las mediciones que se presentan a continuación se realizaron en 4 trayectos que se consideran representativos de las zonas de congestión y en un trayecto fuera de dicha zona para contrastar los resultados. Las distancias recorridas en todos los casos fueron de 2 kilómetros transitando en automóvil a una velocidad de 40 km/h que es la máxima velocidad reglamentaria para transitar en la ciudad. A lo largo de todo el recorrido se busca alcanzar la velocidad máxima reglamentaria durante el mayor tiempo posible sin violar normas de tránsito. Ver cronograma en anexo.

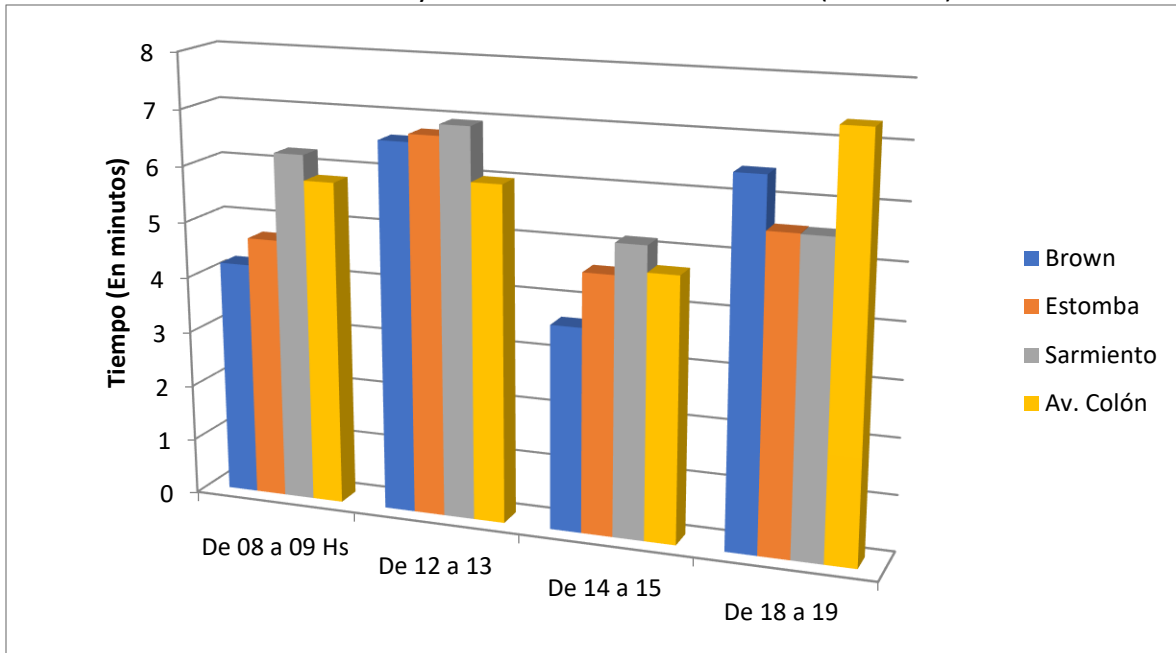
“Economía del transporte: Importancia y usos de conteos de tránsito en la ciudad de Bahía Blanca.”

Tabla 5. Mediciones distancia tiempo

		De 08 a 09 Hs	De 12 a 13	De 14 a 15	De 18 a 19
Brown (Trayecto 1)	Muestra 1	04:00	06:37	03:18	05:02
	Muestra 2	04:25	06:00	04:00	07:55
	Domingo	03:15			
Estomba (Trayecto 2)	Muestra 1	05:08	06:45	04:57	04:55
	Muestra 2	04:15	05:10	04:17	06:12
	Domingo	03:19			
Sarmiento (Trayecto 3)	Muestra 1	06:08	06:57	05:11	05:25
	Muestra 2	06:24	06:02	05:09	05:41
	Domingo	03:45			
Av. Colón (Trayecto 4)	Muestra 1	05:35	06:00	04:54	07:05
	Muestra 2	06:04	06:30	04:29	07:38
	Domingo	04:53			
Contraste (Trayecto 5)	Muestra 1	03:51	03:58	03:40	04:00
	Muestra 2	-	-	-	-
	Domingo	03:19			

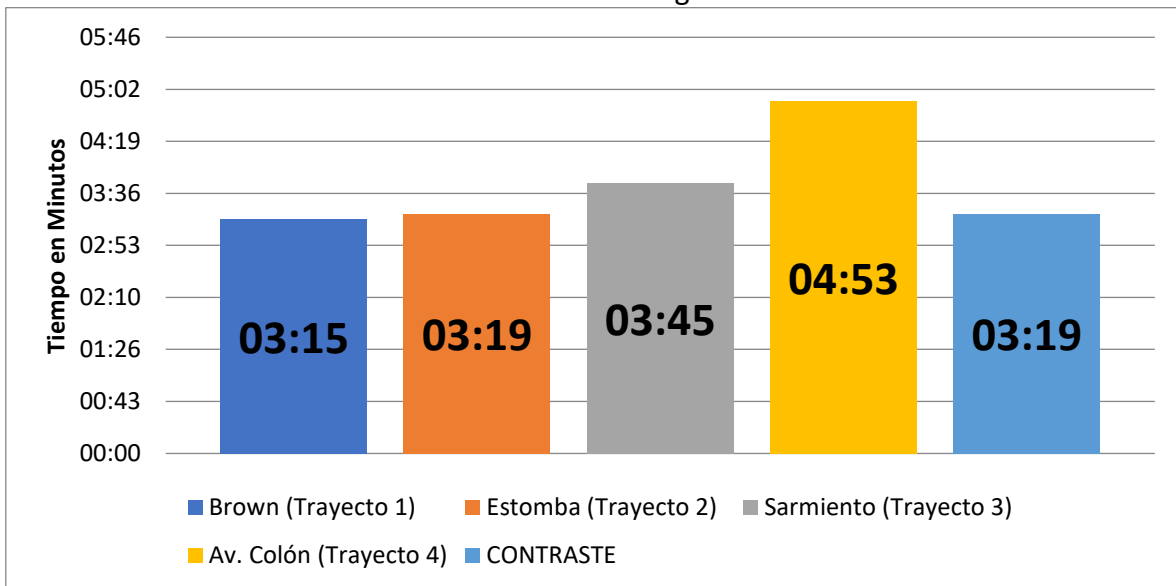
Fuente: Realización propia en base a mediciones realizadas. En minutos:segundos.

Ilustración 9. Mediciones en trayectos. Mediciones dinámicas (Día Hábil)



Fuente: Elaboración propia en base a mediciones realizadas

Ilustración 10. Mediciones realizadas en días domingo



Fuente: Elaboración propia en base a mediciones realizadas. En minutos:segundos.

Tabla 6. Mediciones promedio

Trayecto	Tiempo promedio en horario valle	Tiempo promedio en horario pico	Variación porcentual
Trayecto 1	00:03:56	00:06:30	62%
Trayecto 2	00:04:39	00:05:46	24%
Trayecto 3	00:05:43	00:06:01	5%
Trayecto 4	00:05:15	00:06:48	30%
Total	00:19:33	00:25:05	28%

Fuente: Elaboración propia en base a mediciones realizadas. (En horas:minutos:segundos)

Tabla 7. Promedio en horarios pico (tiempos de viaje)

Trayecto	Promedio en turno 2 (mediodía)	Promedio en turno 4 (vespertino)	
Trayecto 1	00:06:18	00:06:29	
Trayecto 2	00:05:58	00:05:34	
Trayecto 3	00:06:29	00:05:33	
Trayecto 4	00:06:15	00:07:21	

Fuente: Elaboración propia en base a mediciones realizadas. (En horas:minutos:segundos)

- Lo primero que se puede observar es la existencia de los horarios pico en los turnos 2 y 4 (entre las 12 y las 13 hs y entre las 18 y 19 hs) con respecto a los turnos 1 y 3. Esta característica respalda lo observado anteriormente en los conteos de tránsito ya que al existir mayor flujo de vehículos en la zona de congestión los tiempos de viaje aumentan en dichos horarios con respecto a los rangos de menor demanda.
- No se observa un trayecto muy superior o inferior en tiempo requerido con respecto a los demás.
- Si se circula a la velocidad de 40 km/h un trayecto de 2 km, se completaría el recorrido en 3 minutos siempre y cuando no haya congestión. Durante los horarios valle el

tiempo es menor que en los horarios pico, pero la medición que más se acerca al tiempo de velocidad de libre circulación (3 minutos) es la de los días domingo, que en promedio es de 3 minutos 25 segundos. Si analizamos los datos obtenidos de los conteos (Tabla 3), podemos observar que refuerzan los obtenidos en las mediciones ya que circulan un 66% menos de vehículos que en un día hábil en cualquier horario.

- Lo que se puede observar en la Tabla 4 es que las mediciones en los horarios pico arrojan en promedio un aumento del tiempo de viaje con respecto a los horarios valle del 28%.
- De la comparación de los dos horarios pico (turno 2 y turno 4), que surge de la Tabla 5, en el caso de los trayectos 1 y 4 (Brown y Av. Colón respectivamente) la finalización de la jornada laboral (turno 4) arroja tiempos de recorrido promedio mayores que los del turno 2. Esto podría estar indicando que existe una jornada continua en el movimiento de vehículos, sin regresar a los hogares. Esta situación se da en los mencionados trayectos, que suelen conectar áreas más alejadas de la ciudad con el centro comercial. Continuando con esta comparación, la situación inversa se da en los turnos 1 y 3 donde son mayores los tiempos de viaje sobre el mediodía con respecto a los vespertinos, lo que podría proveer un indicio sobre los patrones de concentración vehicular en la ciudad según el motivo del desplazamiento. Esto podría indicar que se trata de desplazamientos que se realizan para actividades que ocupan sólo media jornada (típicamente actividades escolares).
- Para las mediciones en el trayecto de contraste el promedio arroja 3 minutos 52 segundos para los días hábiles, muy por debajo del promedio de tiempo requerido en los demás trayectos para recorrer los 2 kilómetros. Al estar alejado de la zona de

congestión, el promedio se encuentra cerca de la medición de domingo, que a su vez es la más cercana a la velocidad de libre circulación sin congestión.

7. Conclusiones

Si bien la estimación de una matriz Origen – Destino sería ideal para conocer con mayor detalle los flujos reales, horas pico, intersecciones que tienden a congestionarse y proporcionar información útil para optimizar el presupuesto como así también la realización de obras viales conociendo las debilidades del sistema, resulta una tarea muy trabajosa para ser realizada con recursos escasos y sin un contador automático. Dicha tarea excede este trabajo que solamente propone algunas características descriptivas de la situación del transporte en la ciudad de Bahía Blanca.

Teniendo en cuenta la información presentada anteriormente, se puede ver cómo ha ido aumentando la cantidad de vehículos en circulación bajo una infraestructura vial prácticamente inalterada que resulta en tiempos de viaje distintos dependiendo el horario en que sean realizados. Si no existiesen efectos de congestión se podría atravesar la ciudad a la velocidad de libre circulación de manera constante a través de cada link. Con la información obtenida se puede presumir que los efectos de la congestión en la ciudad de Bahía Blanca tienen impacto en el tiempo de viaje en los horarios pico relevados. Tanto las mediciones estáticas como las dinámicas concuerdan en este sentido. Se debe tener en cuenta también que los tiempos de viaje a través de un link pueden ser afectados por la sincronización de los semáforos. En este sentido es clave que dicha sincronización provea los incentivos para que los viajes se realicen a la velocidad deseada. En general, los problemas de congestión del transporte urbano pueden transitar 3 posibles rumbos:

- i. Planificación y construcción de infraestructura vial acorde a los problemas observados, como arterias colectoras y distribuidoras de tránsito para lograr una mayor fluidez, mejor señalización y accesos.
- ii. Decisiones políticas que finalmente desincentiven el uso del automóvil y trasladen la demanda hacia el transporte urbano y medios ecológicos. La construcción de ciclovías forma parte de este segmento.
- iii. Un mix de las anteriores.

Dentro de las medidas más conocidas se encuentran la semaforización, las ciclovías, los puentes peatonales, prohibición a estacionar, prohibición de giros a la izquierda en avenidas, llevar control de accidentes con difusión pública, atraso o adelanto del horario de ingreso a los establecimientos educativos, fomentar el transporte público, descentralizar las actividades comerciales hacia los distintos barrios, compra de vehículos públicos y privados híbridos, estaciones públicas de bicicletas y demás.

En la ciudad de Bahía Blanca, se puede observar que la política en torno a esta problemática comienza a tomar el rumbo de la movilidad sustentable. Como primera medida se prohibió el estacionamiento en cordón en gran parte del microcentro (decisión que tiempo después fue parcialmente vuelta hacia atrás), sobre finales del año 2016 se comenzó un gran proyecto de realización de ciclovías que conecta el centro de la ciudad con las universidades y se espera cubrir una mayor cantidad de sectores y por último para Marzo de 2017 se pondrá en marcha el carril exclusivo para buses en ciertas arterias clave en el horario de 7 a 21 hs. (La Brújula 24, 01/03/2017).

Todas estas medidas parecen apuntar a mejorar el flujo de transporte quitando espacio al automóvil particular y otorgando mayor protagonismo al transporte público y las bicicletas.

Cabe destacar que suele generarse una discusión en torno a la construcción de ciclovías ya que un sector manifiesta que no logran mejorar la fluidez vehicular; sino que lo empeoran. La explicación para los adherentes a esta postura es que las ciclovías al ser construídas quitan espacio a la calzada, resultando en mayor congestión.

El objetivo de desincentivar el uso de automóviles particulares fue textualmente declarado por el director de Tránsito y Transporte de la ciudad de Bahía Blanca, Ramiro Frapiccini (La Brújula 24, 01/03/2017), pero para que dicha sustitución de transporte particular hacia transporte público sea exitosa, se debe mejorar la cobertura y frecuencias del último.

8. Apéndice:

Tabla 1 anexo. Cronograma de trabajo para conteos

Nodos	Toma 1	Toma 2	Toma 3 (Domingo)
Nodo 1	12/09/2016	20/09/2016	04/12/2016
Nodo 2	13/09/2016	22/09/2016	04/12/2016
Nodo 3	14/09/2016	21/09/2016	13/11/2016
Nodo 4	15/09/2016	19/09/2016	21/11/2016
Nodo 5	16/09/2016	23/09/2016	04/12/2016
Nodo 6	27/09/2016	05/10/2016	21/11/2016
Nodo 7	28/09/2016	06/10/2016	20/11/2016
Nodo 8	29/09/2016	03/10/2016	13/11/2016
Nodo 9	30/09/2016	07/10/2016	20/11/2016
Nodo 10	04/10/2016	11/10/2016	04/12/2016

Fuente: Elaboración propia en base a conteos realizados

Tabla 2 anexo. Cronograma de mediciones en trayectos

Trayectos	Toma 1	Toma 2	Toma 3 (Domingo)
Trayecto 1	02/11/2016	15/11/2016	13/11/2016
Trayecto 2	03/11/2016	14/11/2016	06/11/2016
Trayecto 3	07/11/2016	10/11/2016	13/11/2016
Trayecto 4	08/11/2016	09/11/2016	13/11/2016

Fuente: Elaboración propia en base a mediciones realizadas.

9. Referencias

Abrahamsson, T. (1998). *Estimation of origin-destination matrices using traffic counts—a literature survey*. Luxemburgo, Austria: IIASA Interim Report IR-98-021/May.

(s.f.). *Collecting and Managing Traffic Data on Local Roads*. Minnesota Department of Transportation.

Davis, G., & Yang, S. (2003). *Accounting for uncertainty in estimates of total traffic volume: An empirical Bayes approach*. Journal of Transportation and Statics.

Education, C. f. (2009). *Traffic Volume Counts*. Iowa State University.

George, N., & Kershaw, K. (2016). *Road Use Statistics*. Great Britain: Department of Transport.

Ortúzar, J., & L., W. (2011). *Modelling Transport 4th Edition*. United Kingdom: John Wiley & Sons, Ltd.

Provost, L. (2014). *Traffic Counts Literature Website Search for Brad Mettam D1*. Caltrans Division of Research, Innovation & System Information (DRISI).

Thomson, I., & Bull, A. (2001). *La congestión del tránsito urbano: Causas y Consecuencias*. Santiago de Chile: Publicación de las Naciones Unidas, CEPAL.

Van Zlylen, h. j., & Willumsen, L. (1979). *The most likely trip matrix estimated from traffic counts*. Great Britain: Pergamon Press Ltd.

Willumsen, L. G. (1978). *Estimation of an O-D matrix from traffic counts - A review*. Leeds: Institute Transport Studies.

Luciani, A y Moreno, F. 03/10/2016 "¿Es posible lograr una mayor fluidez en el tránsito bahiense?" Bahía Blanca. La Nueva digital. <http://www.lanueva.com/la-ciudad-impresa/880747/es-posible-lograr-una-mayor-fluidez-en-el-transito-bahiense.html>

Minervino, Mario. 28/11/2016. "El tránsito bahiense, una obra de aventuras con muy malos actores". Bahía Blanca. La Nueva digital. <http://www.lanueva.com/la-ciudad-impresa/886851/una-obra-de-aventuras-con-muy-malos-actores.html>

Prieta, Sergio. 18/12/2016. "En Bahía hay unos 180.000 vehículos, una cantidad por habitante del primer mundo". Bahía Blanca. La Nueva digital. <http://www.lanueva.com/la-ciudad/888679/en-bahia-hay-unos-180000-vehiculos--una-cantidad-por-habitante-de-primer-mundo.html>

La Brújula Digital. 01/03/2017. "Carriles preferenciales para micros: "Buscamos desincentivar el uso del automóvil". Bahía Blanca http://labrujula24.com/noticias/2017/31697_Carriles-preferenciales-para-micros-qBuscamos-desalentar-el-uso-del-autoq