

## TMDA POR CONTEOS DIARIOS APLICACIÓN EN LA REGIÓN CENTRAL DE LA ARGENTINA

JULIÁN RIVERA

Área Estudios del Transporte. Centro de Investigaciones Viales LEMaC, UTN, La Plata,  
calle 60 y 124, La Plata (1900), Bs. As., Argentina. Te/Fax: 0054-221-4890413.  
lemac@frlp.utn.edu.ar. www.frlp.utn.edu.ar/lemac

Recibido: mayo de 2006

Recibido en forma final revisado: diciembre de 2006

### RESUMEN

En los estudios viales es requisito conocer el tránsito que por una vía circula, expresado por el TMDA (Tránsito Medio Diario Anual), o su equivalente en Venezuela dado por el PDT (Promedio Diario de Tráfico). Así, se promedian volúmenes generados por actividades no constantes e intermitentes (estudio, trabajo, vacaciones, esparcimiento, etc.) lo cual requiere realizar censos volumétricos continuos de envergadura. En tareas de mediano y corto plazo, en aquellas de soluciones inmediatas o para las cuales no se cuenta con los suficientes recursos o datos esto se hace difícil. Por tal razón, suele recurrirse a conteos esporádicos que, ante la carencia de series históricas, son extrapolados de manera subjetiva por profesionales que a veces no guardan relación directa con la temática tránsito. La incertidumbre generada así es grande, desvirtuándose la aplicación posterior de parámetros que están sostenidos en datos certeros, obteniéndose confiabilidades muy bajas. Por estas razones se plantea este trabajo, que busca la obtención de una metodología objetiva, para la extrapolación de conteos esporádicos de tránsito al TMDA; aplicable en sus resultados en una amplia zona homogénea (Provincias de Buenos Aires, Santa Fe, Córdoba, Entre Ríos y La Pampa) de la Argentina. La metodología cuenta con modelos obtenidos por técnicas de regresión simple y múltiple, y es validada y discutida con otras formas de cálculo, obteniéndose resultados aceptables desde el punto de vista estadístico.

*Palabras clave:* Tránsito Medio Diario Anual, regresión matemática, volumen de tránsito, análisis y métodos estadísticos, Promedio Diario de Tráfico.

## AADT BY DAILY COUNTS APPLIED TO THE CENTRAL REGION OF ARGENTINA

### ABSTRACT

In studies on roads and highways, it is necessary to know the volume of traffic that uses a particular road, often expressed as the Annual Average Daily Traffic (AADT). Thus, volumes generated by no constant and intermittent activities (study, work, vacations, etc.) must be averaged out, requiring continuous volumetric censuses. In short and medium term tasks, in those of immediate solution or where there are not sufficient resources or data, this becomes difficult. For this reason, sporadic counts are usually used that, since no historical data exists, are subjectively extrapolated by professionals who sometimes are not directly concerned with traffic problems. This produces a good deal of uncertainty, weakening the later application of parameters that are based on accurate data, thus leading to very low levels of reliability. For these reasons, this work attempts to obtain an objective methodology for the extrapolation of sporadic counts of traffic to the AADT; applicable in its results in a wide area (Provinces of Buenos Aires, Santa Fe, Córdoba, Entre Rios and La Pampa) of Argentina. The methodology relies on models obtained by techniques of simple and multiple regression, and is validated and discussed with other forms of calculation, obtaining acceptable results from the statistical point of view.

*Keywords:* Annual Average Daily Traffic, Mathematical regression, Traffic volume, Statistical analysis and methods.

### INTRODUCCIÓN

En la mayoría de los estudios viales es requisito básico conocer de manera aproximada el volumen de tránsito sobre la vía, expresado por el TMDA (Tránsito Medio Diario Anual), o su equivalente en Venezuela dado por el PDT (Promedio Diario de Tráfico), registrado a lo largo de un año calendario sobre una sección de un camino o arteria.

Pero esta cuestión de medir durante todo un año, para recién allí alcanzar conclusiones muchas veces no es factible, pues se trata de aplicaciones en lo táctico u operativo, es por esto que se recurre a los conteos esporádicos para su posterior extrapolación.

Este trabajo busca aportar una metodología simplificada, constituida por una sistemática de relevamiento y algoritmos

de aplicación, sostenida en un fuerte análisis estadístico de regresión, que puede ser utilizada como alternativa o reemplazo de la metodología clásica, sin necesidad de extrapolaciones subjetivas generadas por la falta de datos o el conocimiento acabado del lugar en estudio, y con la suficiente confiabilidad en la aproximación.

A nivel mundial existen estudios tendientes a establecer los parámetros de comportamiento del tránsito para permitir el cálculo del TMDA mediante la utilización de conteos esporádicos. Como ejemplo se pueden mencionar las curvas de Petroff y Blensly (1954), destacando su particular antigüedad y restricción geográfica. Es justamente la restricción geográfica lo que hace que no exista una metodología clara para su aplicación generalizada y mucho menos para la región central de la Argentina, lugar propuesto para la realización del estudio.

Por otro lado, para la obtención de TMDA sin conteos continuos la ingeniería de tránsito ha tendido a la implementación de los denominados «censos de cobertura» (Cal y Mayor, 1995; Girardotti, 2003). Estos son básicamente la extrapolación de mediciones puntuales realizadas en una sección por medio de las curvas establecidas por censos continuos en puntos cercanos al lugar en estudio. Esta técnica sólo puede ser bien utilizada cuando el análisis es dirigido por un especialista de tránsito, que puede interpretar la validez de relacionar un punto con el otro, profesional generalmente no disponible en estudios que requieren la valoración del TMDA para implementaciones en etapas de evaluación de alternativas, anteproyecto o incluso en el propio proyecto. A esta complicación debe sumarse el hecho no menor de que en la práctica sólo se cuenta con este tipo de conteos continuos en rutas principales o zonas urbanas muy desarrolladas.

## EL ESTUDIO EN CUESTIÓN

Habitualmente cuando se aplica el concepto de incremento de tránsito se tiende a la simplificación de considerarlo como un hecho escalonado año a año. Es decir que conceptualmente se supone que durante el ciclo no existe un crecimiento propio del tránsito, lo que simplifica el análisis de series por dejarse de lado la consideración de la componente generada por la tendencia (Papacostas, 1987; Cevallos, 2005). La interpretación gráfica de lo expuesto la podemos ver en la figura 1, donde la *TCT* es la tasa de crecimiento del tránsito para los respectivos ciclos. En cambio, una visión análoga de lo que dicta la teoría de series

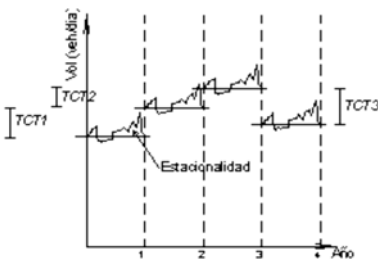


Figura 1. Análisis tradicional del tránsito

de tiempos, sería la que se observa en la figura 2, en donde se da una curva de tendencia (por ejemplo lineal) a largo plazo de la serie, de la cual se desprenden las estacionalidades (Spiegel, 1988; Fernández *et al.*, 2004).

El considerar los incrementos de tránsito en forma anual como valores de referencia, según se hace tradicionalmente, es una técnica por demás empleada y difundida, que tiene una buena adaptación para su empleo y que el profesional relacionado con la temática acepta intuitivamente (Hay, 1998). Lo que en cambio resulta difícil de aceptar es la idea

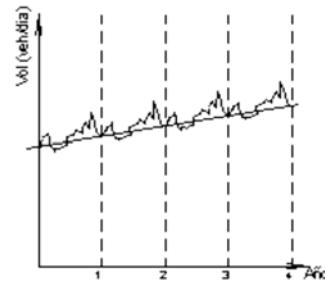


Figura 2. Análisis según la estadística

de llevar al crecimiento del tránsito en un hecho escalonado en el tiempo. Resulta más realista el aceptarlo como algo gradual dentro del propio ciclo anual, en forma proporcional (crecimiento lineal), en donde la pendiente de lo que denominamos «tendencia anual» lo refleja. Atendiéndose a lo que ilustramos en la figura 3.

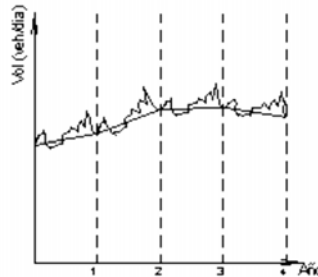


Figura 3. Análisis propuesto

El tomar como base estos conceptos es lo que lleva a la necesidad de retrotraer los datos de tránsito para su comparación al día 1 del año, para que luego de ser realizados los cálculos necesarios puedan ser expandidos en función de la tasa de crecimiento. Estas consideraciones agregan un término adicional a la forma tradicional de cálculo del TMDA (Fariña, 2002), ya que al encontrarse los datos librados de su «tendencia anual» es necesario incluirla al final del cálculo. Por ello, en rasgos generales, el modelo en desarrollo lleva la siguiente forma:

$$TMDA = TD_0 \times ALG_{COEFD} \times ALG_{COEFM} \times ALG_{TCT}$$

Donde:

$TD_0$  = Es el tránsito diario determinado por el censo esporádico descontado el crecimiento hasta esa altura del año.

$ALG_{COEFFD}$  = es el algoritmo que permite obtener el coeficiente de corrección diario que lleva el valor de  $TD_o$  a la media mensual, en donde la variable independiente es aquella que toma valor 1 para el domingo, 2 para el lunes, y 7 para el sábado.

$ALG_{COEFFM}$  = es el algoritmo que permite obtener el coeficiente de corrección mensual que lleva el valor de la media mensual a la media anual, en donde la variable independiente es aquella que toma valor 1 para enero, 2 para febrero, y 12 para diciembre.

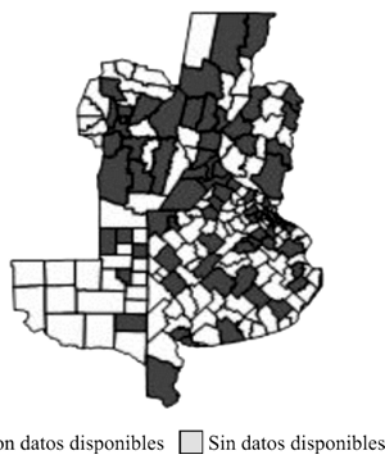
$ALG_{TCT}$  = es el algoritmo que permite llevar a ese valor medio anual al  $TMDA$  por afectarlo de la tasa de crecimiento de tránsito supuesta para ese año en estudio.

## TÉCNICAS EXPERIMENTALES

### Delimitación del Área en Estudio y Antigüedad de los Datos

Para el presente trabajo se ha establecido como área en estudio la conformada por las provincias de Buenos Aires, Córdoba, Santa Fe, La Pampa y Entre Ríos. Estas provincias de la región central de la Argentina son seleccionadas por conformar una región relativamente homogénea, cuando se la analiza desde el punto de vista socioeconómico (Lima Coimbra, 2003). Como unidad de análisis se fija el partido (o departamento) en los que se encuentran divididas las provincias, esta decisión surge como un balance entre la precisión deseada en el estudio y la exactitud alcanzable con los datos disponibles.

Como comenzamos el análisis de datos a finales del año 2004, y por cuestiones de antigüedad y disponibilidad, se emplean para la obtención del modelo las series comprendidas entre los años 1993 y 2003, destinando los datos correspondientes al año 2004, exclusivamente a la validación de los algoritmos resultantes. Con estos parámetros fijados, procedemos al relevamiento de datos que permite obtener el mapa de cobertura que se observa en la figura 4.



**Figura 4.** Mapa de cobertura de los datos recabados

## Elaboración de la Matriz Homogénea

Los datos recolectados se encuentran expresados de muy diversas formas, poniendo en evidencia la falta de un procedimiento generalizado de orden nacional al respecto. Esta heterogeneidad en las características de los datos genera la necesidad de una fuerte tarea de reconversión para su inclusión en una matriz general. En realidad esta matriz puede ser también analizada como un grupo de matrices, ya que por la estructura elegida para el trabajo se debe contar como resultado final con matrices que permitan efectuar las regresiones para la obtención de:

- Algoritmos de tasa de incremento de tránsito
- Algoritmos de coeficientes de corrección diaria
- Algoritmos de coeficientes de corrección mensual

Para la conformación de las matrices numéricas sobre las que se realizan las regresiones se establece para las condiciones de borde de la vía:

Para la urbanidad (urbano o rural) se incluye una variable que toma valor 1 cuando el entorno es urbano y 0 cuando es rural. Se considera entorno rural cuando no se genera con densidad la actividad residencial y/o comercial, es decir que la accesibilidad se da desde sectores de actividad rural no cotidiana.

Para el uso, se considera una variable que toma valor 1 cuando es comercial y valor 0 cuando es turístico. El uso turístico se da cuando es el preponderante en época de vacaciones, es decir que la vía sirve evidentemente de vinculación a plazas turísticas.

Para la existencia de peaje se incluye una variable que toma valor 1 si existe cobro de peaje y 0 si no existe.

Para la clasificación del tránsito se incluye una variable dada por el porcentaje de vehículos livianos circulantes (automóviles y camionetas).

## RESULTADOS

### Obtención de los algoritmos para el incremento del tránsito

A los datos incluidos en las matrices a ser empleadas en las regresiones se les ha discriminado la tendencia. Esto lleva a la necesidad de incorporar posteriormente un término que considere el incremento del tránsito. Para obtener estimativos confiables de los volúmenes vehiculares que circularán en el futuro se utilizan modelos, los cuales son alimentados utilizando parámetros socioeconómicos (como la población total, la población económicamente activa, la

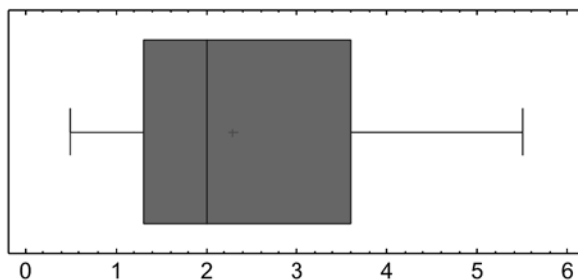
población ocupada y los vehículos registrados, etc.) (Alonso 2001; Cevallos 2005).

Uno de los datos socioeconómicos utilizable es el de registro automotor, recabado en la *DNRPA* (Dirección Nacional de Registros de Propiedad Automotor), el cual concuerda en ser entregado por año y por localidad. Se establece entonces:

$X$  = variación de parque automotor (variable independiente) = (automotores en ciclo en estudio – automotores ciclo anterior) . 100 / (automotores ciclo anterior).

$Y$  = crecimiento tránsito (variable dependiente)

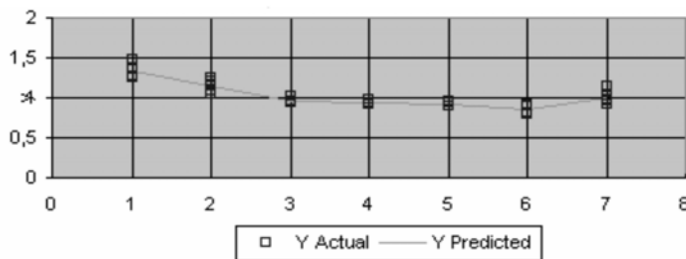
Previo al análisis de regresión se efectúa el análisis estadístico de la muestra, el cual da como resultado asimetrías tipificadas y curtosis que se ubican dentro de los valores límites de aceptación, anexándose al análisis la gráfica de cajas y bigotes de la figura 5.



**Figura 5.** Gráfico de caja y bigotes de la variación del parque automotor

$$Y = a + b / X + c / (X^2) + d / (X^3) + e / (X^4) + f / (X^5)$$

$$R^2 = 0,66217311$$



**Figura 6.** Ajuste de la ecuación a la nube de puntos, empleando variación parque automotor

No obstante lo observado en este punto, cabe aclarar que el emplear como variable explicativa el parque automotor puede no sea una técnica que de resultados cuando se analiza el tema en otras regiones o países. En tal sentido se destaca que experiencias previas realizadas en Venezuela no han dado buenos resultados.

**Obtención de los algoritmos para los coeficientes diarios**

Para el análisis en busca del algoritmo que permita calcular los coeficientes diarios de corrección se establece:

$X$  = variable independiente, representa los días de la semana;  $Y$  = variable dependiente, es el coeficiente diario.

Para el análisis de regresión se emplea el programa TCWin, que al ser cargado con la matriz de datos, da como resultado una lista de regresiones en orden decreciente de coeficiente de correlación. Basados en el «principio de parsimonia», de la lista obtenida se toma la ecuación que balancea el ajuste con la simplicidad de expresión, en este caso:

Función de regresión  
 $Y = 35,596896 - 243,628504 / X + 555,412790 / X^2 - 585,523100 / X^3 + 283,681553 / X^4 - 51,088958 / X^5$

Coefficiente  $R^2$  de determinación 0,66

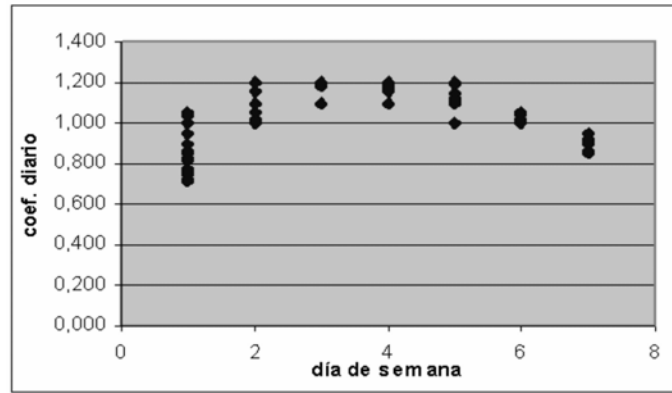
Coefficiente  $R^2$  ajustado 0,59

Estadístico  $F$  11,37 ( $p$ -valor 0,0000) significativo al 99%

En la figura 6, se puede observar como la función se ajusta a nuestra nube de puntos, obteniéndose a una ecuación que arroja valores aceptables de ajuste.

Al analizar la gráfica de coeficientes diarios vs. días de semana no se observan claramente grupos de nubes de puntos aislados, pudiéndose pensar en la realización de una regresión única. Pero como es de esperarse un comportamiento diferente entre dos grandes grupos de vías, las que sirven eminentemente a viajes turísticos y las que lo hacen a viajes comerciales, se decide incluir la variable clasificatoria por uso de la vía. Las figuras 7 y 8, reflejan la inclusión de esta clasificación.

Podemos ver como la inclusión de la clase realmente genera dos nubes de puntos diferenciables y como éstas convalidan lo asegurado en la consulta bibliográfica (Herz



**Figura 7.** Coeficientes diarios vías con viajes turísticos

et al., 2005). Así, la primera nube presenta una tendencia hacia una parábola cóncava hacia abajo y la segunda aparenta ser una parábola cóncava hacia arriba.

#### **Análisis para vías de uso turístico**

Cuando se analiza la figura 7 se observa que la nube de puntos se asemeja a una parábola hacia abajo, por lo que se comienza el análisis de regresión aplicando directamente una linealización de la variable independiente que permita la obtención de su función, obteniéndose:

Función de regresión  $Y = -0,043715 X^2 + 0,363511 X + 0,452025$   
 Coeficiente de correlación múltiple 0,97  
 Coeficiente  $R^2$  de determinación 0,94  
 Coeficiente  $R^2$  ajustado 0,94

La estadística de los residuos resulta:

Asimetría tipificada = 0,35049  
 Curtosis tipificada = -0,553592

Llegándose a la conclusión de que el algoritmo obtenido para las vías turísticas es válido.

#### **Análisis para vías de uso comercial**

Al analizar la figura 8, se puede intuir una relación asimilable a una parábola cóncava hacia arriba, pero al no obtenerse resultados ajustados se incluye una nueva variable de clasificación.

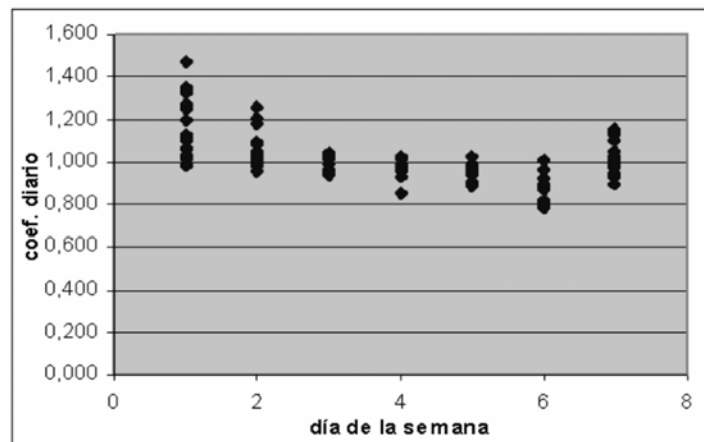
Tres son las variables clasificatorias que se pueden incluir, en función de los datos disponibles. Estas son la urbanidad de la vía, la existencia de peaje o la clasificación del tránsito. El análisis detallado de las series determina que la variable clasificatoria faltante es la de existencia o no de peaje sobre la vía, con la que se obtienen nubes de puntos concentrados.

#### **Análisis en vías comerciales con peaje**

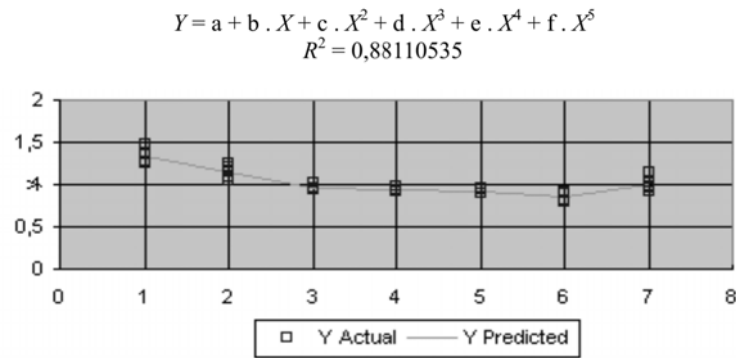
Al emplear el programa TCWin se obtiene:

Función de regresión  $Y = 0,002781 X^5 - 0,053475 X^4 + 0,378762 X^3 - 1,184775 X^2 + 1,434157 X + 0,758143$   
 Coeficiente  $R^2$  de determinación 0,88  
 Coeficiente  $R^2$  ajustado 0,85

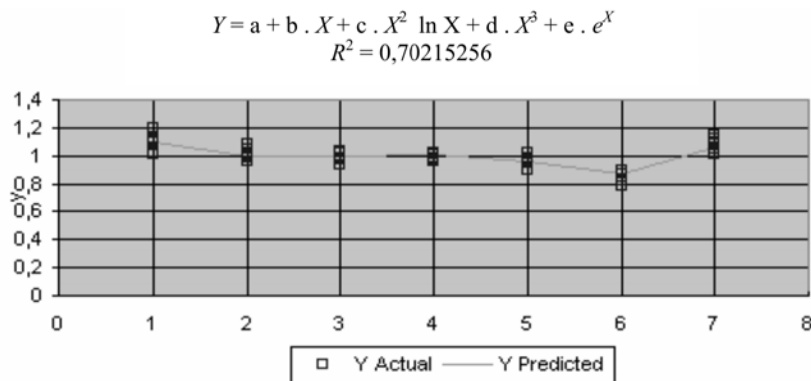
El análisis gráfico de la curva ajustada, figura 9 permite establecer a ésta como la función de regresión buscada.



**Figura 8.** Coeficientes diarios vías comerciales



**Figura 9.** Ajuste de la función polinómica de grado cinco, en vías comerciales con peaje



**Figura 10.** Ajuste de la función obtenida, en vías comerciales sin peaje

### Análisis en vías comerciales sin peaje

Al hacer correr los datos con el programa TCWin se obtiene:

Función de regresión  $Y = 1,299385 - 0,175416X + 0,110582X^2 \ln X - 0,033388X^3 + 0,001731e^X$

Coefficiente  $R^2$  de determinación 0,70

Coefficiente  $R^2$  ajustado 0,67.

La regresión presenta valores admisibles, mostrando su curva de ajuste, como se ve en la figura 10.

### Obtención de los algoritmos para los coeficientes mensuales

Para facilitar el análisis de las interrelaciones entre variables, se plantea para esta parte del trabajo llegar a los algoritmos buscados mediante la regresión múltiple. Se fija entonces la variable dependiente  $Y$  para el valor del coeficiente buscado y una primera variable independiente  $X_1$  para los meses del año. Al analizar la gráfica entre ambas variables se observa que la dispersión existente en cada valor de  $X_1$  es alta. La inclusión de variables de entorno de la vía entonces puede que genere un modelo por regresión múltiple más ajustado.

Las nuevas variables a considerarse son:

$X_2$  = urbanidad ( $X_2 = 0$  rural,  $X_2 = 1$  urbana)

$X_3$  = uso ( $X_3 = 0$  turística,  $X_3 = 1$  comercial)

$X_4$  = peaje ( $X_4 = 0$  sin peaje,  $X_4 = 1$  con peaje)

$X_5$  = clasificación, expresado en % de autos más camionetas.

Previo a los análisis de regresión se identifica si existe multicolinealidad entre las variables propuestas mediante las relaciones entre pares de variables. Este análisis ratifica lo que se puede deducir de un estudio lógico. Es decir, es de esperarse que en vías de uso turístico sea muy alto el porcentaje de vehículos livianos particulares en relación con vehículos pesados de transporte de carga (aunque existan vehículos pesados de transporte de pasajeros, que no aparentan resultar de importancia), como así también es de esperarse que en vías urbanas la presencia de vehículos pesados sea muy reducida (nuevamente la presencia de vehículos pesados de transporte de pasajeros no aparenta influir). Esto lleva a descartar el empleo de la variable de clasificación, ya que en cierta forma es explicada por la inclusión de las demás variables de entorno.

Al efectuar el análisis la regresión lineal múltiple con las variables seleccionadas, ésta da muy bajo ajuste. Se puede observar en la gráfica residuo vs.  $X_1$  que la relación lineal



entre  $Y$  y  $X_i$  no es la más adecuada, análisis fundamentado en que  $X_i$  es la variable independiente de significancia ( $t = 7,09$   $p$ -valor 0,0000).

En busca de mejores resultados, y en función del poder computacional del programa StatgraphicsPlus empleado, se decide probar con un polinomio de grado tres de cuatro variables independientes. Este análisis arroja como resultado:

Ecuación del modelo ajustado:

$$Y = 0,479143985 + 0,136277392 X_1 + 0,059669021 X_2 + 0,523605787 X_3 - 0,009715863 X_1^2 + 0,034070315 X_1 X_2 - 0,152392231 X_1 X_3 + 0,045233251 X_1 X_4 - 0,000268142 X_1^3 - 0,000651558 X_1^2 X_2 + 0,014428784 X_1^2 X_3 - 0,000729828 X_1^2 X_4 - 0,175791796 X_2^2 X_4 - 0,040418127 X_1 X_2 X_3 + 0,010884546 X_1 X_2 X_4 - 0,040714787 X_1 X_3 X_4 + 0,114275601 X_2 X_3 X_4$$

$$R^2 = 0,66$$

$$R^2_{ajustado} = 0,65$$

Si bien el  $R^2$  es menor a 0,7, umbral habitualmente empleado en análisis estadísticos, el valor de 0,66 alcanzado no es malo. Además se puede observar una nube aleatoria de puntos en la gráfica de residuos vs.  $X_i$ , indicando que no es necesario agregar un grado más a la ecuación, cosa que por otro lado resultaría poco práctico.

Entre los residuos se observan valores fuera del umbral de valor absoluto 2, pero estos son muy reducidos en comparación con el resto de los datos, e incluso su distribución es marcadamente normal resultando:

Media = -3,04137E-12  
 Varianza = 1,0  
 Asimetría tipificada = 2,07926  
 Curtosis tipificada = -0,251034

Al efectuar el cálculo de los coeficientes en función de este modelo, se observan valores comparables a los incluidos en la base de datos, salvo en el caso de vías de uso turístico, ambiente rural y sin peaje, en donde los coeficientes obtenidos resultan muy pequeños. Al indagar por la causa de esta anomalía, se observa que para el estudio no se contaron con series de datos en vías de estas características, hecho que evidentemente ha influido en la obtención de un modelo no aplicable en estos casos. Por tal razón no se deben considerar como válidos a los coeficientes para esa combinación de variables de entorno, quedando excluido el caso de los resultados.

### Pasos para la Aplicación de los modelos:

Paso 1:

Obtención del  $TD_{real}$  sobre la vía, considerado desde las 0 horas hasta las 24 horas. Indicar Día de la semana ( $DS$ ), Mes ( $M$ ), uso de la vía ( $C$ ), Urbanidad ( $U$ ) y existencia o no de

Peaje ( $P$ ). En caso de posibilitarse sólo la realización de censos menores de 24 horas, extrapolar los resultados al  $TD$  mediante los lineamientos recomendados por la metodología  $FHA$  (Federal Highway Administration).

Paso 2:

Establecer la tasa de crecimiento del tránsito estimada para la vía durante el año en estudio. Para esto realizar su estimación directa, o emplear el algoritmo o la tabla 1 para su estimación mediante la variación del parque automotor durante el año en estudio y para la localidad en donde se encuentra el punto analizado.

Donde:

$TCT$  = Tasa crecimiento tránsito  
 $VP$  = Variación parque automotor

Paso 3:

En función de la altura del año en la que se determina el  $TD_{real}$  y de la  $TCT$  obtenida, descontar la tendencia en forma proporcional para establecer un  $TD_0$ , con:

$$TD_0 = TD_{real} \times \left(1 - \frac{TCT}{100} \times \frac{DA}{365}\right)$$

Donde:

$TD_0$  = Tránsito diario sin tendencia  
 $TD_{real}$  = Tránsito diario directamente establecido  
 $TCT$  = Tasa de crecimiento del tránsito  
 $DA$  = Día del año del dato (1 para el 1° de enero, ..., 365 para el 31° de diciembre).

**Tabla 1.** Tasa de Crecimiento de Tránsito en función del registro automotor

VP	TCT
0,5	-10,1
1,0	-5,5
1,5	-4,2
2,0	-4,4
2,5	-3,7
3,0	-2,3
3,5	-0,5
4,0	1,3
4,5	3,1
5,0	4,8
5,5	6,4
6,0	7,9
6,5	9,3
7,0	10,5
7,5	11,7
8,0	12,7
8,5	13,7
9,0	14,6
9,5	15,5
10,0	16,2

Paso 4:

Determinar los coeficientes diarios empleando, en función de las variables de entorno, los modelos o la tabla 2.

Paso 5:

Determinar los coeficientes mensuales empleando, en función de las variables de entorno, el modelo o la tabla 3. El

**Tabla 2.** Coeficientes de corrección diarios

USO	PEAJE	COEFICIENTE DIARIO						
		DOM	LUN	MAR	MIE	JUE	VIE	SAB
Turístico	Con o sin peaje	0,772	1,004	1,149	1,207	1,177	1,059	0,855
Comercial	Sin peaje	1,095	1,001	1,000	1,008	0,955	0,866	1,061
Comercial	con peaje	1,336	1,151	0,969	0,937	0,924	0,845	1,005

**Tabla 3.** Coeficientes de corrección mensuales

USO	URB	PEAJE	COEFICIENTE MENSUAL											
			ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Turístico	Rural	Sin	caso no aplicable											
Turístico	Rural	Con	0,650	0,798	0,922	1,021	1,092	1,134	1,146	1,125	1,071	0,982	0,855	0,690
Turístico	Urb	Sin	0,991	0,987	0,990	0,997	1,006	1,018	1,029	1,038	1,044	1,045	1,039	1,025
Turístico	Urb	Con	0,995	0,993	0,997	1,003	1,011	1,019	1,025	1,028	1,026	1,017	1,000	0,974
Comercial	Rural	Sin	0,699	0,836	0,949	1,037	1,098	1,130	1,131	1,101	1,037	0,937	0,801	0,627
Comercial	Rural	Con	0,578	0,769	0,935	1,074	1,184	1,264	1,313	1,327	1,307	1,250	1,154	1,019
Comercial	Urb	Sin	1,044	1,032	1,024	1,020	1,018	1,016	1,012	1,005	0,994	0,976	0,950	0,914
Comercial	Urb	Con	0,997	0,998	1,002	1,009	1,015	1,021	1,023	1,020	1,012	0,995	0,969	0,933

modelo no es aplicable en vías turísticas rurales y sin peajes, para las cuales se recomienda el empleo del método clásico.

Paso 6:

Calcular *TMDA* mediante:

$$TMDA = TD_0 \times CD \times CM \times \left( 1 + \frac{TCT}{100} \times \frac{1}{2} \right)$$

En caso de contarse con más datos de tránsitos diarios, aplicar la metodología y calcular la estadística de los resultados obtenidos para convalidar o no la media de los mismos mediante la normalidad de los resultados.

## VALIDACIÓN Y DISCUSIÓN

Los modelos de regresión pueden ser *validados* en otro conjunto de datos de similares características -extraídos de la misma población-, con el fin de evaluar su fiabilidad (Molinero, 2002). Esta fiabilidad se pone de manifiesto en un modelo que ha sido desarrollado para determinación del *TMDA*, justamente cuando se analizan los valores de este parámetro que se obtienen mediante su empleo en diversas situaciones. Basados en esto se ha efectuado la aplicación en tramos de vía con demanda (TD día a día y *TMDA*) y condiciones de entorno conocidas, y comparado los valores obtenidos con los resultantes de la aplicación de la metodología clásica, en función de los coeficientes relevados en una vía de la zona que sirve a similares itinerarios de tránsito.

- Calle 28 entre 489 y 490 de La Plata. Vía urbana, de tránsito comercial y sin peaje (Caso 1).
- Ruta Nacional N°9 entre Córdoba y Jesús María. Vía rural, de tránsito comercial y con peaje (Caso 2).
- Ruta Nacional N°20 entre Córdoba y Carlos Paz. Vía rural, de tránsito turístico y con peaje (Caso 3).
- Autopista Buenos Aires – La Plata, en su tramo por Dock Sud. Vía urbana, de tránsito comercial y con peaje (Caso 4).

A modo de ejemplo puede observarse la tabla 4 con los resultados obtenidos para el Caso 1. Estos son aceptables ya que en la vía el *TMDA* real registrado fue de 5811 veh/día, y se determina con la metodología clásica una media de 5919 veh/día con una distribución prácticamente normal, es decir que se obtiene un resultado promedio sólo un 1,8 % por encima del valor real y con un desvío estándar de 796 veh/día, o sea que con aproximadamente un 70 % de los datos se obtiene un entorno de  $\pm 13,7$  % del valor real (Pertegas Días, 2001). Por su parte, con la metodología desarrollada se obtiene un *TMDA* calculado de 5811 veh/día (exactamente el valor real) con una distribución normal, resultando el desvío estándar de 767 veh/día, o sea que con aproximadamente un 70 % de los datos se obtiene un entorno de  $\pm 13,2$  % del valor real. Los resultados obtenidos con los demás casos de validación son comparables a éste.

La obtención de los coeficientes por regresión matemática es una de las formas posibles de trabajo, y es la que se ha elegido para este estudio. Pero pueden emplearse otras herramientas, las cuales no dejan de ser otras líneas de



**Tabla 4.** Resumen de resultados para el Caso 1 de validación

PARÁMETRO	POR METODOLOGÍA CLÁSICA	POR METODOLOGÍA DESARROLLADA
MEDIA	5919	5811
DESVIACIÓN TÍPICA	796	767
RANGO	4669	4000
ASIMETRÍA TIPIFICADA	-1,09	-2,06
CURTOSIS TIPIFICADA	2,98	0,16

trabajo tan valederas como ésta. Tal vez la forma alternativa más simple de obtención de los coeficientes es la del cálculo de cada uno de ellos como media de los coeficientes relevados.

Para la obtención de los coeficientes mediante los valores medios es necesario previamente dividir las nubes de puntos en tantas categorías como sean necesarias. Esta división podría realizarse en forma visual, determinando las subdivisiones en función de la dispersión de valores observadas. Pero para que el análisis comparativo entre metodologías sea valedero, se tomaron las divisiones y clasificaciones obtenidas mediante las regresiones ya efectuadas.

Según las clasificaciones establecidas se analizaron nubes de puntos para:

- Coefficientes diarios de vías de uso turístico.
- Coefficientes diarios de vías de uso comercial y sin peaje.
- Coefficientes diarios de vías de uso comercial y con peaje.
- Coefficientes mensuales de vías de uso turístico, en ambiente rural y con peaje.
- Coefficientes mensuales de vías de uso turístico, en ambiente urbano y sin peaje.
- Coefficientes mensuales de vías de uso turístico, en ambiente urbano y con peaje.
- Coefficientes mensuales de vías de uso comercial, en ambiente rural y sin peaje.
- Coefficientes mensuales de vías de uso comercial, en ambiente rural y con peaje.
- Coefficientes mensuales de vías de uso comercial, en ambiente urbano y sin peaje.
- Coefficientes mensuales de vías de uso comercial, en ambiente urbano y con peaje.

Así se determinaron los valores medios en cada uno de los casos de cada uno de los coeficientes, estableciendo simultáneamente sus intervalos de confianza del 95 %.

En el análisis para los coeficientes diarios se obtuvo para el cálculo con las medias un promedio para el intervalo de

confianza del 95 % de  $\pm 0,057$  y un desvío estándar de 0,034. Por su parte, los valores por regresión presentan un promedio de  $\pm 0,035$  y un desvío estándar de 0,013.

En el análisis para los coeficientes mensuales por cálculo de las medias se obtuvo un promedio para el intervalo de confianza del 95 % de  $\pm 0,042$  y un desvío estándar de 0,030. Por su parte, los valores por regresión presentan un promedio de  $\pm 0,018$  y un desvío estándar de 0,008.

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La obtención de valores de TMDA confiables, es una falencia cuando se trata de analizar puntos fuera de grandes ciudades o de la red primaria de carreteras.

La metodología clásica para su cálculo mediante conteos esporádicos implica la intervención de profesionales no siempre justificables. Es necesario por lo tanto contar con metodologías objetivas alternativas.

La obtención de los modelos incluidos en estas metodologías puede generarse por medio de técnicas de regresión que combinen los datos de tránsito con variables socioeconómicas.

La consulta a instituciones y profesionales particulares, para ambas tipologías de datos, permite generar una base de datos voluminosa para el análisis de la región conformada por las provincias de Buenos Aires, Córdoba, Santa Fé, entre Ríos y La Pampa, y para el periodo de estudio que va desde 1993 a 2003.

Es posible incluir una nueva forma de conceptualización del tránsito como una serie de tiempo, que se ajusta más a las técnicas de análisis estadísticos que la forma clásica comúnmente aceptada y que se adapta mejor a las pronunciadas fluctuaciones características de nuestra economía nacional.

El empleo de adecuadas clasificaciones y divisiones de los datos, permite el desarrollo de modelos que se ajusten a los umbrales de confiabilidad comúnmente exigidos en estudios de estas características.

De acuerdo a los casos analizados puede asegurarse que la aplicación de la metodología desarrollada, salvo para la

tipología de vía en que no es utilizable, da como resultados valores tan o más confiables que los obtenidos mediante la metodología clásica, guardando además la mayor sencillez y objetividad en su empleo establecidas como parámetros de diseño.

Estos resultados además se ajustan adecuadamente a los valores reales, lo cual ratifica la forma general elegida para el modelo.

La metodología de análisis estadístico empleada para el desarrollo de los modelos es al menos tan buena, sino más, que su principal técnica estadística alternativa. Es decir, que los coeficientes de corrección para el cálculo del TMDA obtenidos por regresión son al menos tan confiables como los obtenidos por cálculo de valores medios de los coeficientes.

Todo lo expuesto lleva a la conclusión final de que si la metodología desarrollada se aplica en forma coherente, en vías ubicadas dentro del área en estudio, para los casos en los cuales los modelos tienen validez, los resultados de TMDA obtenidos poseen un buen nivel de confiabilidad.

Tender a un procedimiento único para que todas las instituciones que de alguna manera se encuentren relacionadas con el levantamiento de datos de tránsito presenten valores comparables, tanto en lo que hace a su volumen, clasificación e identificaciones de sus condiciones de entorno.

Adoptar la forma conceptual propuesta para la consideración del tránsito con un crecimiento del mismo producido en forma proporcional a lo largo del año, como una manera de acercarse más al análisis estadístico de las series de tiempo. Esto permite además la obtención de series sobre un mismo punto comparables año a año, con mayor grado de independencia de las condiciones económicas coyunturales.

Aplicar la metodología de análisis en otras zonas homogéneas del país y de latinoamérica, para tender a la obtención de modelos o cuadros que permitan la cobertura total.

Continuar con el empleo experimental de la metodología desarrollada en forma conjunta con la metodología clásica para confirmar la validación de los modelos o detectar la necesidad de ajustes a los mismos.

## **BIBLIOGRAFÍA**

ALONSO J. (2001). Estimación econométrica del tránsito vehicular y de la demanda del servicio de transporte

ferroviario y automotor en el Gran La Plata. Expte. Muni. La Plata 78.449/01, Argentina.

ARRANZ P., MASCIARELLI E., MARHUENDA F. (2004). Estudio econométrico y pronóstico del tránsito que pasa por casillas de peaje en concesiones viales de Argentina. ISIT Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

BARÓN LÓPEZ J. (1998): Bioestadística: Métodos y Aplicaciones. Universidad de Málaga, España.

CAL Y MAYOR R. (1995). Ingeniería de tránsito, fundamentos y aplicaciones. Alfaomega, México.

CEVALLOS E. (2005): Estudios económicos de las obras viales que conforman el programa norte grande, provincia de Tucumán. DVPT Estudio I.EE. 156-8-1-(A), Argentina.

FARIÑA O. (2002): Metodología para el cálculo del Índice de Tránsito. GCBA Dirección de Señalización Luminosa, Argentina.

EMVI (2005). Regresión lineal. Universidad de Málaga, España.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (1976): Guide for manual of instructions for traffic surveys. EEUU.

FERNÁNDEZ MORALES A., LACOMBA ARIAS B. (2004): Estadística Básica Aplicada. Ágora Universidad, España.

GIRARDOTTI L. (2003): Planeamiento del transporte. Fac. de Ing. UBA, Argentina.

HAY W. (1998): Ingeniería de transporte. Limusa, México.

HERZ M., GALÁRRAGA J., MALDONADO M. (2005): Caracterización de errores de muestreo en censos de volumen y composición. XIV Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito, Argentina.

LIMA COIMBRA R. (2003): La Región Pampeana. UNCPBA, Argentina.

MOLMOLINERO L. (2002): Construcción de modelos de regresión multivariantes. Alce Ingeniería, España.

ORTORTÚZAR, J. DE D. (2000): Modelos de demanda de transporte. Universidad Católica de Chile, Alfaomega, Chile.

PAPACOSTAS C. (1987): Fundamentals of transportation engineering. Prentice-Hall, EEUU.

PERTEGAS DÍAS S. (2001): La distribución normal. Fistera, España.

PETROFF, B B; BLENSELY, R C. (1954): Improving traffic-count procedures by application of statistical method. Transportation Research Board, EEUU.

RUSSEL R., TAYLOR B. (2003): Operations management. Focusing on quality and competitiveness. Prentice Hall, EEUU.

SPIEGEL M. (1988): Estadística. Mc Graw Hill, EEUU.

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD (2000): Highway Capacity Manual 2000. National Research Council, EEUU.

VILAR FERNÁNDEZ J. (2003): Modelos Estadísticos aplicados. Universidade da Coruña, España.

WAHR C. (2003): Vialidad II. Universidad Técnica Federico Santa María, Chile.