

# Un modelo econométrico de proyección de la demanda futura del flujo vehicular en las concesiones en transporte

*Antonio Lama More<sup>1</sup>*

*Sandro Huamaní Antonio<sup>2</sup>*

## RESUMEN

En el presente artículo se propone una metodología que contribuya a la discusión de proyección de la demanda futura del flujo vehicular de un proyecto de concesión, toda vez que la demanda es una variable relevante para la toma de decisiones del Estado, en el marco de las renegociaciones de los contratos de concesión. Al respecto, se propone una metodología considerando una variante del “Modelo de Demanda de Viajes Basado en la Elasticidades” y un “Modelo de Series de Tiempo No Estacionarias Multivariado”.

La metodología propuesta se aplicará, a manera referencial, en la proyección del tráfico de la Estación de Serpentin de la Concesión del Tramo Ancón-Huacho-Pativilca de la carretera Panamericana Norte (Red Vial N.º 5).

**Palabras clave:** estimación, proyección, cointegración, demanda.

---

1 Economista y maestro en Ciencias, profesor principal de la Facultad de Ciencias Económicas

2 Bachiller en Economía en la UNMSM, con estudios de maestría en la Universidad del Pacífico (UP). Especialista en teoría microeconómica y analista económico-financiero de la Dirección General de Concesiones en Transportes del MTC.

## ABSTRACT

This paper proposes an alternative methodology to project the demand of traffic flow of a concession project, since demand is a relevant variable for state decision-making in the context of the renegotiation of contracts concession. In this regard, we propose a methodology considering a variant of the “Travel Demand Model Based on Elasticities” and “Time Series Model Multivariate Nonstationary”.

The proposed methodology is applied, by way of reference, in the projection of traffic coil Station Tranche Concession Ancon-Huacho-Pativilca of the Panamericana Norte (Red Vial N° 5).

**Key words:** estimation, forecast, cointegration, demand.

## I. INTRODUCCIÓN

El sector de transporte tiene una importancia creciente en la economía peruana ante la necesidad de integrar físicamente el mercado interno y establecer mejores condiciones para consolidar el impulso al comercio exterior, por ello, en la definición del tipo de concesión, resulta relevante una adecuada proyección de la demanda futura del flujo vehicular por cuanto incide, en algunos casos, el monto de cofinanciamiento que otorga el Estado al sector privado. Por ello, resulta relevante contribuir a la discusión práctica a través de una propuesta metodológica para la proyección del tráfico vehicular mediante el uso de una variante del “Modelo de demanda de viajes basado en la elasticidades” y un “Modelo de series de tiempo no estacionarias multivariado”, en específico un análisis de “Cointegración” basado en la metodología de Johansen y Juselius (1990).

El modelo de demanda de viajes basado en las elasticidades busca proyectar el tráfico a partir de proyecciones de otras variables socioeconómicas, por ejemplo: el PBI, la población, etc. Por otro lado, el cálculo de las elasticidades es usualmente estimada a partir de una estimación por mínimos cuadrados ordinarios que por naturaleza solo relaciona a las variables en el mismo instante de tiempo y por ende no es adecuado para una proyección de largo plazo. La novedad del presente documento es el uso del análisis de cointegración para la estimación de dichas elasticidades, la cual es preferible por las siguientes razones: (i) El método relaciona a las variables bajo un sentido económico y a largo plazo. (ii) La información disponible, como PBI y Tráfico, se encuentran en series

temporales y son no estacionarios. (iii) Son modelos que cuentan con mayor rigoricidad teórica que los modelos estimados por MCO.

## II. RELACIÓN DE LAS VARIABLES Y EL ANÁLISIS MUESTRAL

Con propósito de aplicar el método propuesto se toma como referencia el tráfico de la Estación de Serpentin de la Concesión del Tramo Ancón – Huacho – Pativilca de la carretera Panamericana Norte (Red Vial N° 5) y su relación con el PBI y la población. Es recurrente que en los modelos empleados para los estudios de proyección del tráfico vehicular relacionen las tres variables socioeconómicas mencionadas. Al respecto, se asume que el comportamiento del tráfico vehicular esta en función de la evolución PBI y la población, tal como se muestra en la siguiente expresión:

$$\text{Tráfico} = f(\underset{+}{\text{PBI}}, \underset{+}{\text{Población}})$$

La explicación empírica hace referencia que a medida que se incremente la actividad económica se incrementa el comercio, lo que se deriva, finalmente, en un mayor tráfico vehicular; del mismo modo, si la población se incrementa, entonces se incrementa la demanda del uso vehicular y se incrementa el flujo del tráfico vehicular.

Con relación a lo descrito anteriormente y al objetivo de estimar un modelo de proyección futura, en el presente documento se hace uso de la serie temporal del tráfico mensual de ejes cobrables de la Estación de Serpentin del Tramo Ancón-Huacho-Pativilca reportada por la Concesionaria NORVIAL al ente regulador (Ositran), el PBI real mensual publicado por el Banco Central de Reserva del Perú (BCRP) y el número poblacional estimado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI).

Asimismo, la muestra empleada para la estimación del modelo de proyección cuenta con un horizonte temporal que data desde enero del 2000 hasta agosto del 2009, es decir, se cuenta con 116 observaciones que garantiza la representatividad estadística de la muestra. De otro lado, la literatura convencional recomienda, para un mejor análisis, extraer la estacionalidad a dichas variables (Enders, 2004) utilizando el filtro CENSUS X12<sup>3</sup>. Del mismo modo, se recomienda transformar las variables que

3 Logra el ajuste estacional con el desarrollo de un sistema de los factores que explican la variación estacional en una serie.

están en niveles a variables en logaritmos con el objetivo de realizar un análisis en términos de elasticidades.

Antes de proseguir con el análisis se verifica la significancia estadística y real de las variables.

### III. SIGNIFICANCIA ESTADÍSTICA DE LAS VARIABLES

En esta sesión se presenta la evaluación del poder explicativo de las variables exógenas (logaritmo del PBI y logaritmo de la población) sobre el comportamiento de la variable endógena (logaritmo del tráfico en la estación Serpentín). Para ello, se realiza una estimación por mínimos cuadrados ordinarios de la siguiente ecuación:

$$\text{LNSERPENTIN\_SA} = C + \beta_1 * \text{LNPBI\_SA} + \beta_2 * \text{LNPOBLACION} + \xi$$

Los resultados se muestran en el siguiente cuadro:

**Cuadro N.º 1.** Estimación por Mínimos Cuadrados Ordinarios

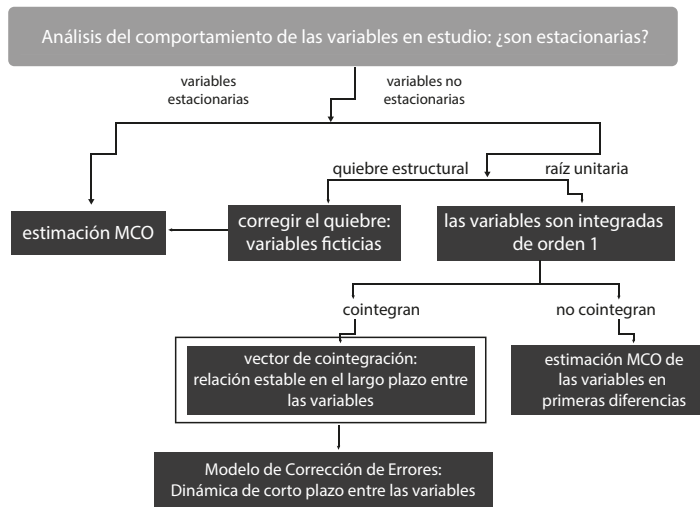
Dependent Variable: LNSERPENTIN_SA				
Method: Least Squares				
Included observations: 116				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LNPBI_SA	0.915406	0.059642	15.34835	0.0000
LNPOBLACION	-1.361205	0.241681	-5.632245	0.2300
C	31.68381	3.849183	8.231307	0.0000
R-squared	0.946746	Mean dependent var		12.94943
Adjusted R-squared	0.945804	S.D. dependent var		0.101160
S.E. of regression	0.023550	Akaike info criterion		-4.633854
Sum squared resid	0.062670	Schwarz criterion		-4.562641
Log likelihood	271.7635	F-statistic		1004.462
Durbin-Watson stat	1.041561	Prob(F-statistic)		0.000000

Elaboración propia.

Se evidencia que la población no presenta significancia individual ni al 10% de significancia ni una relación con consistencia teórica, una explicación probable es que el

incremento de la población puede darse en zonas muy alejadas a la zona de análisis y si el incremento de la población es por recién nacidos esto tiene un impacto en el tráfico luego de varios años por tal motivo se omite dicha variable del modelo. Por otro lado, el PBI real sí representa a una variable con alto poder explicativo por lo que es determinante en el análisis y por ende en la proyección del tráfico en la estación de Serpentín.

Ahora solo es relevante la elasticidad entre el PBI y Serpentín, y para su estimación se utilizará un “Modelo de Series de Tiempo No Estacionarias Multivariado”, bajo un análisis de “Cointegración”. Para ello, es necesario verificar que las variables cumplan con los requerimientos para dicho método, en concordancia con el siguiente esquema:



Elaboración: AFIN

**Figura N.º 1.** Metodología de Series de Tiempo

#### IV. CONDICIONES NECESARIAS PARA UN ANÁLISIS DE COINTEGRACIÓN

Se define como una cointegración a la existencia de una relación económica entre dos o más variables en el largo plazo. En ese sentido, el primer requerimiento es que tanto el tráfico de la estación de Paraíso y el PBI real sean integradas del mismo orden. Para ello, se presentan las pruebas de raíz unitaria de las variables en niveles y en diferencias.

**4.1. Pruebas de raíz unitaria**

Para evaluar la estacionariedad se utiliza los test tradicionales de ADF (Augmented Dickey Fuller). Los resultados se muestran en el siguiente cuadro:

**Cuadro N.º 2.** Prueba ADF a la variable Serpentín desestacionalizado

Null Hypothesis: LNSERPENTIN_SA has a unit root		
Exogenous: Constant		
Lag Length: 2 (Automatic based on SIC, MAXLAG=12)		
	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	1.257714	0.9984
Test critical values:	1% level	-3.489117
	5% level	-2.887190
	10% level	-2.580525
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.		

Elaboración propia.

El cuadro anterior presenta un P-value de 0.9984 mayor al grado de significancia (1%,5% y 10%), por lo que existe evidencia de la existencia de raíz unitaria en dicha variable.

**Cuadro N.º 3.** Prueba ADF a la variable Serpentín desestacionalizado en primeras diferencia

Null Hypothesis: D(LNSERPENTIN_SA) has a unit root		
Exogenous: Constant		
Lag Length: 0 (Automatic based on SIC, MAXLAG=12)		
	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-17.95594	0.0000
Test critical values:	1% level	-3.488585
	5% level	-2.886959
	10% level	-2.580402
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.		

Elaboración propia.

El cuadro anterior presenta un P-value de 0.000 menor al grado de significancia (1%,5% y 10%), por lo que no existe evidencia de la existencia de raíz unitaria en dicha variable. Se concluye que dicha variable es INTEGRADA de orden 1.

**Cuadro N.º 4.** Prueba ADF a la variable PBI desestacionalizado

Null Hypothesis: LNPBI_SA has a unit root		
Exogenous: Constant		
Lag Length: 2 (Automatic based on SIC, MAXLAG=12)		
		t-Statistic
		Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic		1.323458
Test critical values:	1% level	-3.489117
	5% level	-2.887190
	10% level	-2.580525
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.		

Elaboración propia.

El cuadro anterior presenta un P-value de 0.9987 mayor al grado de significancia (1%, 5% y 10%), por lo que existe evidencia de la existencia de raíz unitaria en dicha variable.

**Cuadro N.º 5.** Prueba ADF a la variable PBI desestacionalizado en primeras diferencia

Null Hypothesis: D(LNPBI_SA) has a unit root		
Exogenous: Constant		
Lag Length: 1 (Automatic based on SIC, MAXLAG=12)		
		t-Statistic
		Prob.*
wAugmented Dickey-Fuller test statistic		-13.10817
Test critical values:	1% level	-3.489117
	5% level	-2.887190
	10% level	-2.580525
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.		

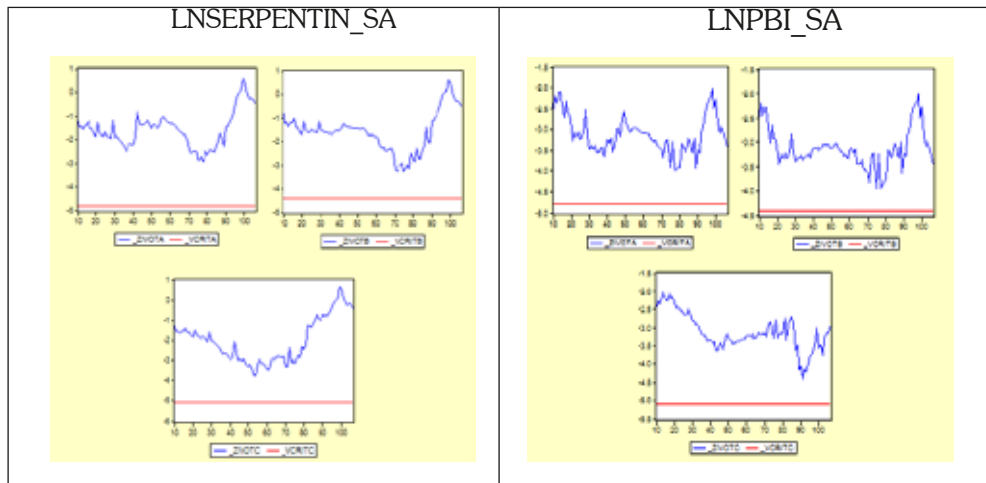
Elaboración propia.

El cuadro anterior presenta un P-value de 0.000 menor al grado de significancia (1%,5% y 10%), por lo que no existe evidencia de la existencia de raíz unitaria en dicha variable. Se concluye que dicha variable es INTEGRADA de orden 1.

Se cumple con la condición de tener variables integradas del mismo orden. Por lo que podemos desarrollar el modelo de cointegración. Pero antes realizamos la prueba se Zibot-Andrew sobre quiebre estructural para tener mayor confiabilidad de la estacionalidad.

### 4.2. Prueba de Quiebre Estructural

En la siguiente figura se realiza la prueba se Zibot-Andrew para el tráfico de la estación de Serpentin y el PBI.



Elaboración propia

**Figura N.º 2.** Prueba Zivot - Andrews

Analizando tanto los gráficos, se puede concluir que las series de nuestro interés, no tienen quiebre estructural, por lo que, ahora sí se está seguro que las series tienen raíces unitarias, es decir, no son estacionarias.



## V. ANÁLISIS DE COINTEGRACIÓN

Es común que variables económicas tengan una relación estable o de equilibrio en el largo plazo, por lo que si diferenciamos las series se puede estar eliminando información importante que indique dicha relación. Por esta razón, realizaremos un análisis de cointegración para ver si efectivamente las variables de interés tienen una relación estable en el largo plazo, para ello, se empleará el procedimiento de máxima verosimilitud propuesto por Johansen y Juselius (1990). Dado que las variables en análisis son integradas del mismo orden, se realiza a continuación la prueba de la existencia o no de cointegración:

**Cuadro 6.** Test de Cointegración de Johansen

Unrestricted Cointegration Rank Test				
Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Trace Statistic	5 Percent Critical Value	1 Percent Critical Value
None *	0.131924	21.57548	19.96	24.60
At most 1	0.051523	5.871610	9.24	12.97
*(**) denotes rejection of the hypothesis at the 5%(1%) level Trace test indicates 1 cointegrating equation(s) at the 5% level Trace test indicates no cointegration at the 1% level				
Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Max-Eigen Statistic	5 Percent Critical Value	1 Percent Critical Value
None *	0.131924	15.70387	15.67	20.20
At most 1	0.051523	5.871610	9.24	12.97
*(**) denotes rejection of the hypothesis at the 5%(1%) level Max-eigenvalue test indicates 1 cointegrating equation(s) at the 5% level Max-eigenvalue test indicates no cointegration at the 1% level				

Elaboración propia.

Empleando una significancia del 5%, el estadístico de la traza indica la existencia de un vector de cointegración: se rechaza la existencia de ninguno, y se acepta la existencia de 1, como máximo. De la misma manera, el estadístico del valor propio máximo indica que existe un vector de cointegración. Una vez determinado la relación de largo plazo; se pasa a estimar el vector de cointegración, el cual indica dicha relación. Se usa la variable en logaritmo de paraíso para tener mayor significancia en el modelo.

**Cuadro N.º 7.** Vector de Cointegración

Vector Error Correction Estimates <sup>4</sup>	
Standard errors in ( ) & t-statistics in [ ]	
Cointegrating Eq:	CointEq1
LNSERPENTIN_SA(-1)	1.000000
LNPBI_SA(-1)	<b>-0.573178</b> (0.05007) [-11.4485]
C	-10.08074

Elaboración propia

El Modelo:

$$\text{LnSerpentin\_sa} = 10.08074 + 0.573178\text{Lnppi\_sa}$$

En el cuadro anterior se observa que los signos obtenidos son consistentes con la teoría económica, además se ve que el PBI es significativo para explicar movimiento del tráfico de la estación de Serpentin. Se puede señalar que un incremento de 1% del PBI real incrementaría el tráfico de la estación de paraíso en **0.573178%**.

### 5.1. Modelo de corrección de errores

Una vez verificada la existencia de cointegración entre las variables estudiadas. Esto significa que debe existir un mecanismo de corrección de errores con al menos una de las dos variables ajustándose a su nivel de equilibrio de largo plazo. En este caso es importante construir un modelo de corrección de errores (VEC) para ver la dinámica de corto plazo entre las variables de interés.

<sup>4</sup> Se emplea tres rezagos para el análisis, uno menos al rezago óptimo para un modelo de vectores autorregresivos.

**Cuadro N.º 8.** Modelo de corrección de errores

Error Correction:	D(LNSERPENTIN_SA)	D(LNPBI_SA)
CointEq1	-0.237418 (0.09302) [-2.55235]	-0.000167 (0.05493) [-0.00304]

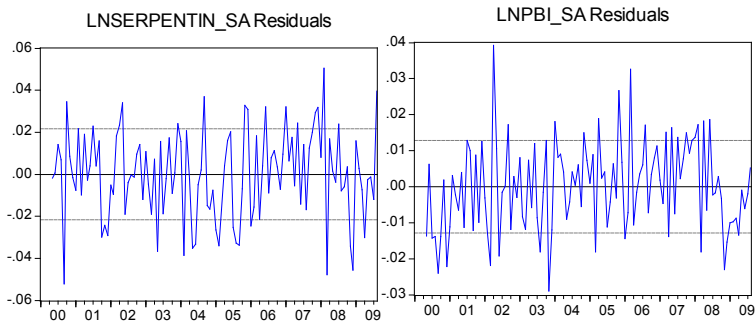
Elaboración propia

Lo relevante de este modelo es que indica que ante un determinado desequilibrio en la economía, en el siguiente periodo las variables se ajustarán, a su relación de equilibrio, en aproximadamente 0.0167%.

Es sabido que el signo de los coeficientes del vector de cointegración debe ser interpretado en combinación con el signo (y significancia) de los coeficientes de ajuste en las ecuaciones de corto plazo (donde se evidencia la relación de causalidad). En este caso cumple con lo requerido.

## VI. DIAGNÓSTICO DEL MODELO PRESENTADO

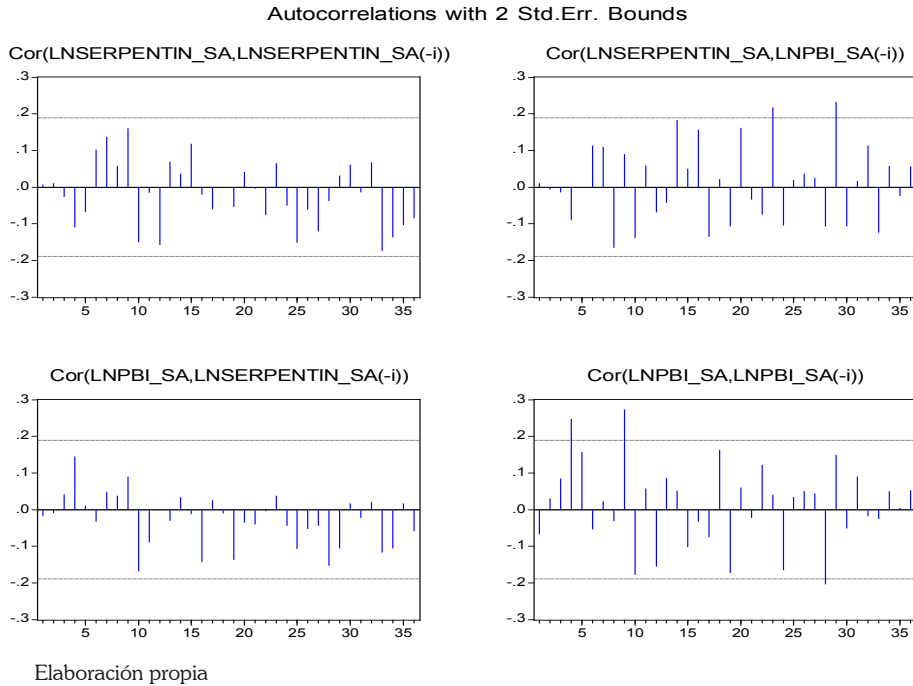
A continuación se presenta una evaluación del modelo mediante un análisis del comportamiento de los residuos que son mostrados en la siguiente figura.



Elaboración propia

**Figura N.º 3.** Comportamiento de los residuos

Los residuos muestran un comportamiento alrededor de una media y con varianza constante, ello muestra el buen comportamiento de los residuos y por ende del modelo. Complementariamente, se presenta un análisis del correlograma de los residuos cuyos resultados se muestran en la siguiente figura.



**Figura N.º 4.** Correlograma de los residuos

Todos los correlogramas de los residuos se encuentran, en su mayoría, dentro de los intervalos de confianza, lo cual indica el buen comportamiento de los residuos y por ende del modelo. Luego de comprobar la confiabilidad del modelo, el siguiente paso es realizar las proyecciones de la variable de interés.

## VII. PROYECCIONES

En base al modelo econométrico desarrollado, se realizan diferentes proyecciones de la tasa de crecimiento del tráfico de ejes cobrables de la estación de Serpentin al 2015, para tal propósito, se hace uso de las diferentes proyecciones del PBI de Perú proporcionados por diversas instituciones. La regla de proyección viene dado por la siguiente fórmula:

$$\Delta\%Tránsito_t = Elasticidad * \Delta\%PBI_t$$

### 7.1. Proyecciones del PBI

Se toma como dato las proyecciones que realizan diversas instituciones, las cuales se muestran en el siguiente cuadro:

**Cuadro 9.** Proyecciones del PBI Perú según instituciones

Año	PBI (Proyectado) SEGÚN:						
	MEF	FMI	BBVA	SCOTIABANK	BCP	BM	PROMEDIO
2010	5.00%	4.49%	3.60%	4.20%	5.00%	4.30%	4.43%
2011	5.80%	6.51%	3.60%	4.20%	7.00%	6.00%	5.52%
2012	6.00%	5.70%	3.60%	4.20%	6.00%	5.15%	5.11%
2013	5.60%	5.50%	3.60%	4.20%	6.00%	5.15%	5.01%
2014	5.60%	5.50%	3.60%	4.20%	6.00%	5.15%	5.01%
2015	5.60%	5.54%	3.60%	4.20%	6.00%	5.15%	5.01%

■ PBI proyectado por la Institución.

■ Promedio de los PBI proyectado por la Institución.

Fuente:

MEF: Ministerio de Economía y Finanzas (Marco Macroeconómico Multianual 2010 – 2012)

FMI: Fondo Monetario Internacional (World Economic Outlook Database)

BBVA: Banco Continental (Página web)

SCOTIABANK: Banco Scotiabank (Página web)

BCP: Banco de Crédito del Perú (Página web)

BM: Banco Mundial (Perspectivas económicas mundiales 2009)

PROMEDIO: El promedio de todas las proyecciones

## **7.2. Proyecciones del tráfico**

Se realizan unas estimaciones puntuales que se muestra en la columna de escenario probable y unas estimaciones por intervalos (al 5% de significancia) de donde se considera al rango inferior el escenario conservador y al rango superior el escenario optimista. Los resultados se muestran a continuación.

**Tabla N.º 2.** Proyecciones del crecimiento del tráfico de ejes cobrables de la estación de Serpentín con Proyecciones del PBI del MEF

Año	PBI Proyectado	Escenario Conservador	Escenario Probable	Escenario Optimista
2010	5.00%	2.77%	2.87%	2.96%
2011	5.80%	3.23%	3.32%	3.42%
2012	6.00%	3.34%	3.44%	3.54%
2013	5.60%	3.11%	3.21%	3.31%
2014	5.60%	3.11%	3.21%	3.31%
2015	5.60%	3.11%	3.21%	3.31%

Elaboración propia

En términos generales, debe concluirse por lo acreditado en párrafos anteriores que la proyección del PBI constituye una variable relevante que incide en la proyección del tráfico vehicular.

## **VIII. CONCLUSIÓN**

El uso del análisis de cointegración para emplearla en la estimación de la demanda vehicular tiene ventajas debido a las siguientes razones: (i) El método relaciona a las variables bajo un sentido económico y a largo plazo. (ii) La información disponible, como PBI y tráfico, se encuentran en series temporales y son no estacionarias. (iii) Son modelos que cuentan con mayor rigoricidad teórica que los modelos estimados por MCO.

De otro lado, se evidencia que la proyección del PBI juega un rol importante para la proyección del tráfico vehicular, es decir, si la proyección del PBI es subestimado entonces las proyección del tráfico estará subestimada y lo mismo ocurre con la sobreestimación. Por ello, es de vial importancia elegir una adecuada proyección de PBI si queremos acercarnos a una proyección adecuada de la variable de interés.

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Banco Mundial (2009). *Perspectivas económicas mundiales 2009*. Mimeo
- Castro, F.; Rivas-Llosa, R. (2003). *Econometría Aplicada*. Lima: Universidad del Pacífico.
- Davidson, R.; Mackinnon, J. (1993). *Estimation and Inference in Econometrics*. New York: Oxford University Press.
- Enders, W. (2004). *Applied Econometric Time Series*. University of Alabama.
- Gruesso, L. (2006). *Análisis financiero e impacto socio económico del peaje de Guayabal, carretera por concesión*. Bogotá.
- Green, W. (2000). *Econometric Analysis*. Nueva Jersey: Prentice Hall.
- Hamilton, J. (1994). *Time Series Analysis*. New Jersey: Princenton University Press.
- Maddala, G. and Kim, I. (1999) *Unit Roots, Cointegration, and Structural Change*. Cambridge University Press.
- MTC (2005). *Plan Intermodal de Transporte 2004-2023*. Lima.
- MEF (2009). *Marco Macroeconómico Multianual 2010-2012*. Lima.
- The Louis Berger Group, Inc. (2003). *Estudio sobre tráfico e ingreso para la red vial 5*. Banco Interamericano de Desarrollo.
- Zivot, E.; Donald, A. (1992). *Further Evidencie on the Great Crash, the Oil - Price Shock, and the Unit Root Hypothesis*. Journal of Business and Econometric Statics.