



Modelo de estimación de cargas fluviales

Caso hidrovía Paraguay-Paraná:
tramo Río Apa-Asunción



- ANTONIO SÁNCHEZ
- JORGE GARICOCHE
- BELÉN BENITEZ

JULIO 2022

Ficha Técnica

Elaboración

- Antonio Sánchez (Talasonómica S.A.)
- Jorge Garicoche (Investigación para el Desarrollo)
- Belén Benítez (Investigación para el Desarrollo)

Título: Modelo de estimación de cargas fluviales.
Caso hidrovía Paraguay-Paraná: tramo Río Apa-
Asunción.

Talasonómica S.A.

-  +54 9294 4628719
-  asanchez@talasonomica.com.pa
-  www.talasonomica.com
-  Vía Italia – Edificio Parquemar 9B – Paitilla –
Ciudad de Panamá – República de Panamá

Investigación para el Desarrollo

-  +595 982 774004
-  investigacion@desarrollo.org.py
-  www.desarrollo.org.py
-  Félix de Azara N° 7369 – Asunción – República del Paraguay

Fotografía de portada: Hidrovía Paraguay-Paraná,
créditos a la Entidad Binacional Yacyretá.

Julio 2022

Tabla de contenido

| | |
|--|----------|
| Introducción | 1 |
| Datos | 2 |
| Metodología | 3 |
| Resultados | 4 |
| <i>Enfoque top-down</i> | 4 |
| 1. Estimación de exportación | 4 |
| 2. Estimación de importación | 6 |
| 3. Proyección de exportaciones e importaciones | 7 |
| <i>Enfoque bottom-up</i> | 7 |
| <i>Proyección de demanda</i> | 7 |
| Conclusiones | 8 |

Introducción

La hidrovía Paraguay – Paraná es una vía clave para el comercio regional en América del Sur, por la cual transitan principalmente las cargas de exportaciones e importaciones de Bolivia, Brasil y Paraguay. En promedio circulan por la hidrovía 19,5 millones de toneladas al año con origen/destino a estos países. Por tanto, la navegabilidad de las aguas es factor de competitividad para la región, siendo esta una vía que presenta ventajas, en relación con otros modos de transporte, para conectarse a puertos marítimos.

En el caso de Paraguay, esta representa la vía de salida de más del 90% de las exportaciones y el ingreso del 85% de las importaciones.

La principal zona de tránsito de carga fluvial en Paraguay se da en el tramo Asunción – Confluencia, tramo compartido con la República Argentina. No obstante, las inversiones industriales que se vienen realizando en el Departamento Concepción–Paraguay, la expansión agrícola en Bolivia y las dificultades de exportadores residentes en Matto Grosso do Sul–Brasil para llegar a puertos sobre el Atlántico, representan grandes oportunidades para el tramo del Río Paraguay comprendido entre el Río Apa y Asunción.

Esto nos lleva a la pregunta de ¿cómo se pueden estimar las cargas fluviales que transitan en el tramo Río Apa–Asunción? Para dar respuesta a esto se plantean dos enfoques complementarios: top-down y bottom-up.

El enfoque top–down toma variables generales a modo de explicar la dinámica de la demanda por el tramo de estudio. Para esto es posible utilizar un modelo de Autorregresivos con Rezagos Distribuidos (ARDL, por sus siglas en inglés). Este modelo verifica si existe una cointegración entre las variables explicativas y las cargas fluviales (tanto de exportación como de importación). El enfoque bottom–up se centra en el análisis micro y considera las inversiones en marcha en las zonas aledañas al tramo del Río Apa-Asunción.

El enfoque top–down es útil para determinar relaciones de largo plazo; mientras que, para el corto plazo, el enfoque bottom-up capta los cambios en la demanda por la aparición de nuevas inversiones. En este documento te contamos el paso a paso para la realización de las estimaciones de cargas transportadas en la modalidad fluvial, por el tramo Río Apa-Asunción de la hidrovía Paraguay-Paraná.

Datos

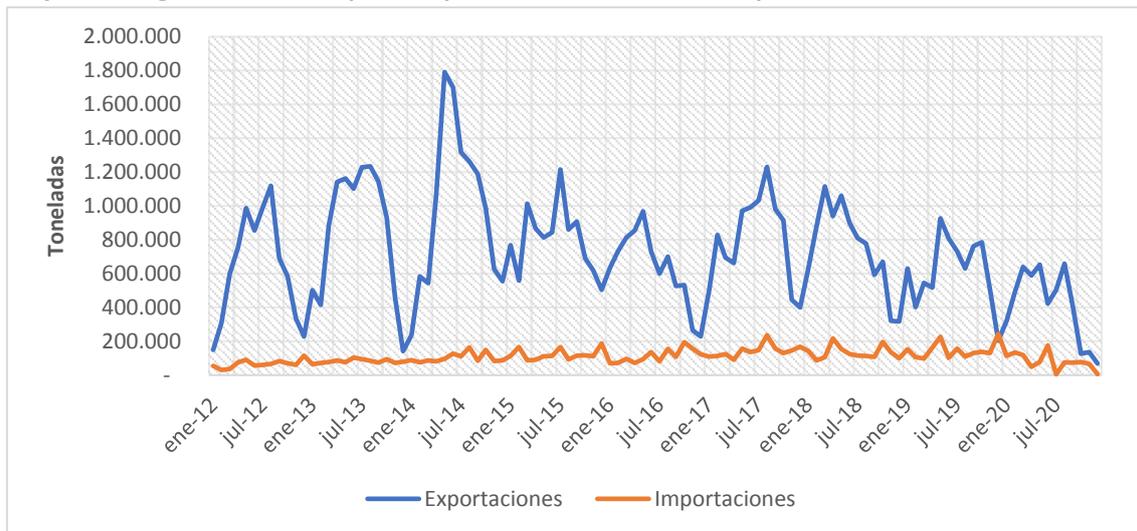
Para llevar a cabo el estudio se utilizan datos oficiales de comercio exterior de Paraguay, Bolivia y Brasil, países cuyas cargas circulan mayormente por el tramo del Río Paraguay entre el Río Apa y Asunción. El filtro de información se realiza mediante la declaración de entrada o salida de Puerto/Aduana por el modo de transporte fluvial.

Se tienen en cuenta los siguientes Puertos/Aduanas:

- Bolivia: Aduana Puerto Suarez (Puertos Jennefer, Aguirre y Gravel).
- Brasil: Aduana Corumbá – Mourtinho (Corumbá, Ladario y Murтинho).
- Paraguay: Aduana Concepción, Capital, Caacupemí, Puertos y Estibajes (Puerto Fénix), Empedril (Puerto San José).

Los productos de exportación seleccionados para el estudio fueron: semillas y frutos oleaginosos, cereales, grasas y aceites animales/vegetales, residuos y desperdicios de las industrias alimentarias; mientras que los productos de importación fueron: combustibles y aceites minerales, abonos, fundiciones de hierro y acero (y sus manufacturas), cementos y minerales, automóviles y sus partes, bebidas y líquidos alcohólicos, plásticos, barcos, productos químicos orgánicos, papel y cartón.

Gráfico 1. Carga mensual transportada por la hidrovía. Tramo Río Apa – Asunción. Periodo 2012-2020



Fuente: Elaboración propia con datos de la Dirección Nacional de Aduanas (Paraguay), el Instituto Nacional de Estadística (Bolivia) y el Ministerio de Industria, Comercio Exterior y Servicios (Brasil).

Cabe destacar que las cargas de exportación de Paraguay representan la mayor contribución de cargas transportadas por la hidrovía Paraguay-Paraná en el tramo de estudio. Además, esta serie de exportaciones registra mayor cantidad de exportaciones de soja durante ciertas épocas del año, por lo que se tiene una marcada estacionalidad con picos entre los meses de marzo y mayo. El nivel del río (en metros) considerado para el tramo es el de Concepción, y los datos son obtenidos desde la Dirección de Meteorología e Hidrología de Paraguay. Por su parte, datos económicos como los índices de tipos de cambio son tomados desde la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), y el precio de la soja se obtiene desde las estadísticas del Fondo Monetario Internacional y el Banco Central del Paraguay.

Gráfico 2. Niveles mensuales del río Paraguay (en Concepción). Periodo 2012-2020



Fuente: Elaboración propia con datos de la Dirección de Meteorología e Hidrología.

Nota: Los valores críticos de referencia para Concepción son Alerta: 6,00 metros; Crítico: 7,00 metros y Desastre a partir de los 8 metros.

Metodología

Para obtener los valores de carga transportada proyectada en el tiempo se propone utilizar dos enfoques complementarios: i) enfoque top – down y ii) enfoque bottom - up.

El **enfoque top – down** parte de lo macro y general, tomando variables globales que actúen como drivers explicativos de la demanda, es decir, estas variables pueden explicar el patrón de comportamiento de la carga transportada en el tramo en estudio.

A tal efecto, se utilizó el método econométrico de series de tiempo. Concretamente, el modelo utilizado es el de Autorregresivos con Rezagos Distribuidos (ARDL - Autoregressive Distributed Lag), comúnmente empleado para probar la presencia de relaciones de largo plazo entre series de tiempo económicas. Una expresión general del modelo es la siguiente:

$$y_t = \beta_0 + A(L)y_{t-1} + C(L)z_t + B(L)e_t$$

Donde $A(L)$, $B(L)$ y $C(L)$ son polinomios en el operador de rezago. Debe notarse que el modelo es Autorregresivo (AR) dado que y_t (la carga transportada) es una función de sí misma y posee rezagos distribuidos (DL) a partir de la dinámica de las variables explicativas $C(L)z_t$.

Una ventaja del modelo es que se puede estimar con variables no estacionarias, es decir, con variables $I(0)$ e $I(1)$, siempre que las mismas se encuentren cointegradas. En términos sencillos, esto es que las variables tengan una relación de largo plazo. Sin embargo, dentro del marco ARDL, la serie no debe ser $I(2)$, porque en este orden de integración se invalidan los estadísticos y valores críticos comúnmente utilizados.

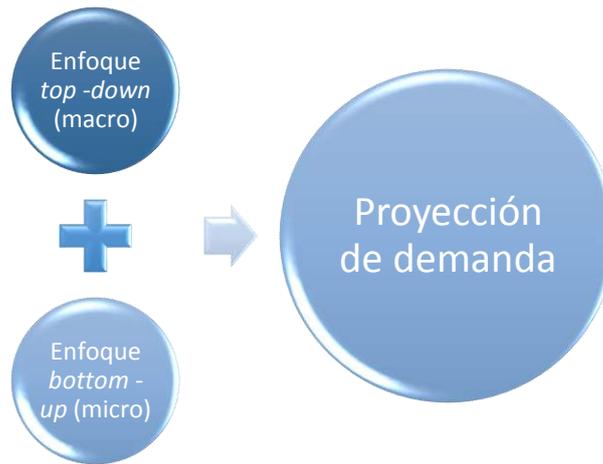
Para verificar la estacionariedad, también conocida como raíz unitaria, de la serie de cada variable se utilizan la prueba de Dickey Fuller Aumentado y la prueba de Phillips–Perron. Una serie es estacionaria cuando es estable, por lo que la media y la varianza son constantes a lo largo del tiempo; esto no es muy habitual en las series de datos económicos. Si una variable es estacionaria a nivel entonces es $I(0)$, mientras que si la variable es diferenciada una vez (al variar la observación actual en relación a la anterior) es $I(1)$, si el proceso se repite por segunda vez la serie de la variable es $I(2)$, y así sucesivamente.

Además, se utiliza el test de cointegración de Johansen; este método es una generalización multivariante de las raíces unitarias, los estadísticos de contraste pueden ser calculados a partir de la traza o de los eigenvalores de la matriz de variables. Se puede verificar la cointegración de

las variables del modelo en el corto y el largo plazo a través del Bound Test propuesto por Pesaran et al (2001).

Comprobada la cointegración de las variables, es posible estimar el modelo econométrico y hallar los coeficientes del ARDL. Posteriormente, se verifica si la serie de los residuos estimados es estacionaria, de ser así los coeficientes estimados no solo son consistentes, sino superconsistentes.

Por otro lado, el **enfoque bottom – up**, que complementa al enfoque anterior, se centra en el análisis micro. En este análisis se contemplan las importantes inversiones en marcha, con datos obtenidos a partir de entrevistas con actores involucrados.



Finalmente, ambos enfoques se concilian para establecer la proyección de demanda. El enfoque top – down es sumamente válido para determinar relaciones de largo plazo; sin embargo, en el corto plazo pueden aparecer nuevos actores que incidan sustancialmente en la dinámica de la demanda, de ahí la justificación de utilizar ambos enfoques.

Resultados

Enfoque top–down

Las estimaciones econométricas fueron realizadas para cada proceso, es decir, se realizó una estimación de cargas de exportaciones y otra estimación de cargas de importaciones. El software utilizado para los cálculos fue R Project.

1. Estimación de exportación

El modelo estimado para las cargas de exportaciones fue:

$$y_t = \beta_0 + \sum_{i=1}^p \gamma_i y_{t-1} + \sum_{i=1}^q \delta_i n_rio + \sum_{i=1}^r \beta_i p_soybean + e_t$$

Donde:

y_t : es logaritmo de las toneladas de exportaciones del mes t

y_{t-1} : es el rezago autorregresivo de y_t

n_rio : el nivel del río en metros del mes t

$p_soybean$: es el logaritmo del precio de la soja en el mes t

$\beta_0, \gamma_i, \delta_i, \beta_i$: son coeficientes estimados en el modelo

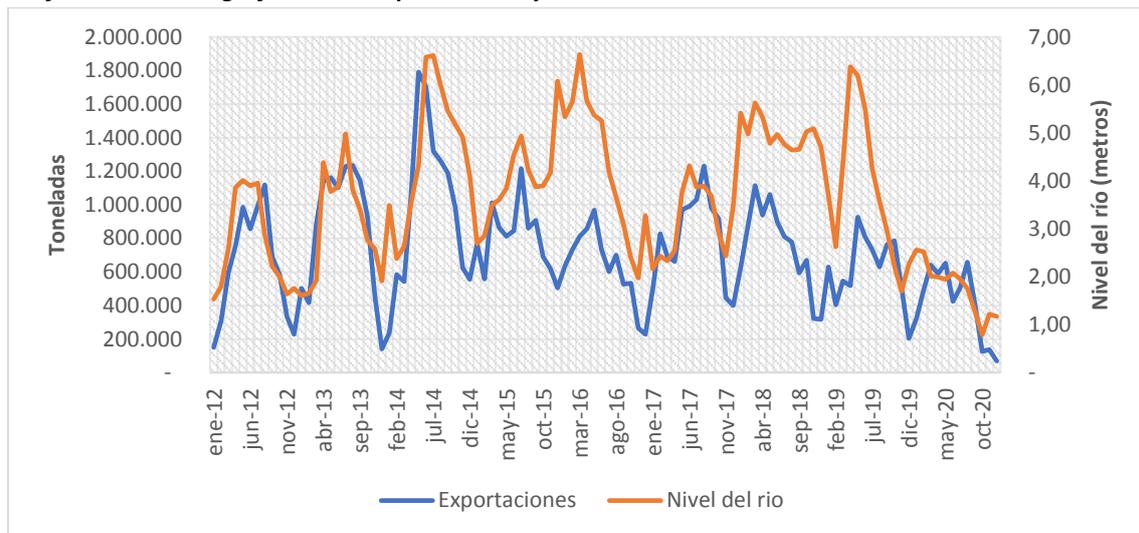
e_t : es el término de error

A partir de los datos se verifica que solamente la serie del logaritmo de las toneladas mensuales de exportación son estacionarias sin que requiera un proceso de diferenciación. Las otras variables son estacionarias con la primera diferencia.

Se recuerda que es posible utilizar un modelo ARDL con series que tengan un orden de integración distinto, siempre que las variables no sean $I(2)$ y se encuentren cointegradas.

Para verificar si las variables se encuentran cointegradas se utiliza el test de Johansen, tanto el método donde el estadístico se construye por medio de la traza de la matriz, como en el que se construye por medio del eigen valor. De las pruebas realizadas se encuentra que las series están cointegradas en al menos un rango.

Gráfico 3. Relación gráfica entre exportaciones y el nivel de río. Periodo 2012 - 2020



Fuente: Elaboración propia con datos de la Dirección de Meteorología e Hidrología y estadísticas oficiales de comercio exterior de los países.

En el gráfico 3 se puede observar la estrecha relación entre el nivel del río y los volúmenes de exportación, dando indicios de cointegración entre estas variables.

El modelo estimado queda en ARDL (3,0,0) donde la cantidad de toneladas de exportación transportada depende de manera positiva del nivel del río y el precio del commodity soja, como así del rezago de sí misma. La estacionalidad de la carga es marco por el relacionamiento negativo con los rezagos de periodos anteriores de carga transportada.

Además, se comprueba que los residuos son estacionarios. Con esto es posible concluir que los parámetros estimados son superconsistentes.

En cuanto a la proyección de cargas transportadas, se traza el horizonte para el periodo 2021-2041. A tal efecto, se establecen ciertos supuestos de proyección. Los supuestos para la proyección de exportaciones incluyen la navegabilidad garantizada con niveles máximos mensuales del río, el precio mensual promedio de la soja según el periodo observado (2012-2020) y los máximos niveles de exportación de los últimos 3 meses del año, a fin de considerar los rezagos de arranque. Así, se obtiene una tasa de crecimiento anual compuesto para las exportaciones de 1,47% interanual.

2. Estimación de importación

El modelo estimado para las cargas de importaciones fue:

$$y_t = \beta_0 + \sum_{i=1}^p \gamma_i y_{t-1} + \sum_{i=1}^q \delta_i n_rio + \sum_{i=1}^r \beta_i tcr + \sum_{i=1}^r \alpha_i imae + e_t$$

Donde:

y_t : es logaritmo de las toneladas de importaciones del mes t

y_{t-1} : es el rezago autorregresivo de y_t

n_rio : el nivel del río en metros del mes t

tcr : es el tipo de cambio real regional en el mes t, construido a partir de los componentes principales del tipo de cambio real de Paraguay, Bolivia y Brasil.

$imae$: es el índice de la actividad económica de la región en el mes t, construido a partir de los componentes principales de los índices de actividad económica de Paraguay, Bolivia y Brasil.

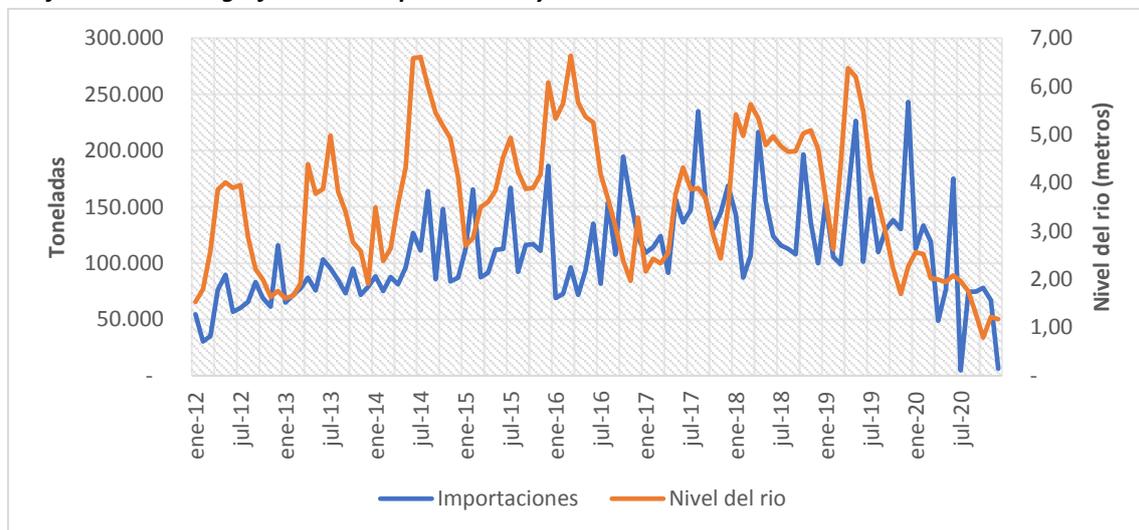
$\beta_0, \gamma_i, \delta_i, \beta_i, \alpha_i$: son coeficientes estimados en el modelo

e_t : es el término de error

A partir de los datos se verifica que todas las variables son estacionarias con la primera diferenciación. Se recuerda que es posible utilizar un modelo ARDL con series que tengan un orden de integración distinto, siempre que las variables no sean I(2) y se encuentren cointegradas.

Para verificar si las variables se encuentran cointegradas se utiliza el test de Johansen, tanto el método donde el estadístico se construye por medio de la traza de la matriz, como en el que se construye por medio del eigen valor. De las pruebas realizadas por el método de Johansen se encuentra que las series están cointegradas en al menos un rango.

Gráfico 4. Relación gráfica entre importaciones y el nivel de río. Periodo 2012 - 2020



Fuente: Elaboración propia con datos de la Dirección de Meteorología e Hidrología y estadísticas oficiales de comercio exterior de los países.

En el gráfico 4 se puede observar la estrecha relación entre el nivel del río y los volúmenes de importación, dando indicios de cointegración entre estas variables.

El modelo estimado queda en ARDL (1,3,0,0) donde la cantidad de toneladas de importación transportada depende de manera positiva del nivel del río y negativa de su primer rezago. Además, los impactos del tipo de cambio real y el índice de actividad económica son positivos.

Además, se verifica que los residuos son estacionarios por el test de Phillips Perron, mientras que no se obtiene el mismo resultado por el test de Dickey Fuller aumentado.

Los supuestos para la proyección de importaciones comprenden también la navegabilidad garantizada con niveles máximos mensuales del río, así como el nivel promedio mensual del índice de tipo de cambio real de la región, los máximos niveles del índice de actividad económica regional y el nivel máximo de importaciones del mes de diciembre, de modo a considerar el rezago de arranque.

Así, se obtiene una tasa de crecimiento anual compuesto para las importaciones de 1,10% interanual.

3. Proyección de exportaciones e importaciones

En la tabla 1 se presenta un resumen los resultados de proyección a 20 años.

Tabla 1: Proyecciones de exportaciones e importaciones

| | Año Base | 2025 | 2035 | 2041 |
|---------------|------------|------------|------------|------------|
| Exportaciones | 9.002.428 | 9.603.716 | 11.288.555 | 12.438.208 |
| Importaciones | 1.602.522 | 1.674.411 | 1.868.562 | 1.995.698 |
| Total | 10.604.950 | 11.278.127 | 13.157.117 | 14.433.906 |

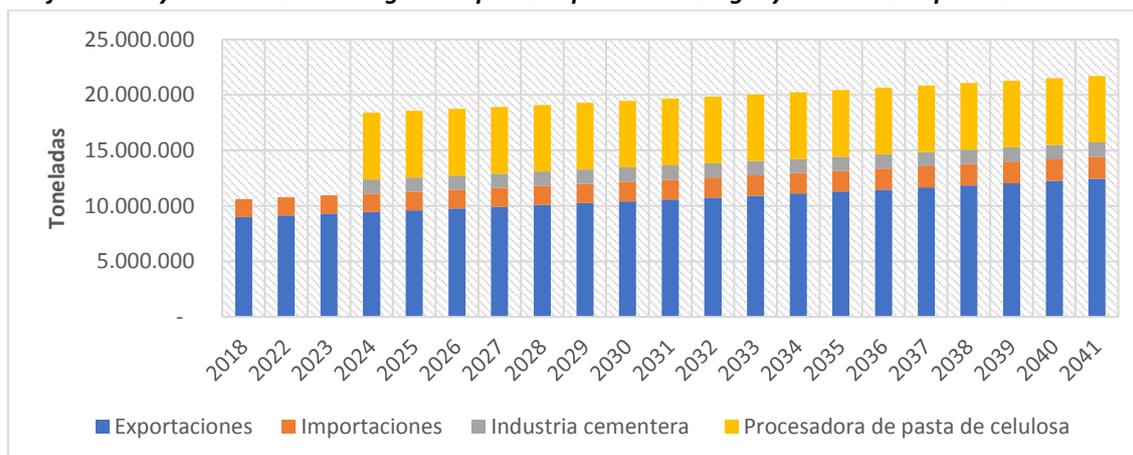
Enfoque bottom-up

En este análisis se contemplan las importantes inversiones en marcha, como la instalación de una industria cementera y la construcción de una planta procesadora de pasta de celulosa. Los datos obtenidos fueron a través de entrevistas con los actores involucrados en las inversiones. Las cargas de las firmas entrevistadas alcanzan 7.286.400 toneladas de carga transportada en el río Paraguay, por el tramo en estudio. Se debe mencionar que en el área de influencia existen otros planes que se estiman pronto serán puestos en marcha, como nuevos puertos en la zona de Puerto Mourthino – Carmelo Peralta, expansión agrícola en Bolivia, otra planta cementera en Concepción, por citar a los más destacados.

Proyección de demanda

En el enfoque integrado se procede a sumar los enfoques top down y bottom up, con esto la estimación de carga transportada por la hidrovía alcanza las 21.720.306 toneladas en el último año horizonte (año 2041).

Gráfico 5. Proyección anual de carga transportada por el río Paraguay. Tramo Río Apa – Asunción



Conclusiones

- Del estudio se resalta la importancia de la consideración del nivel del río para la estimación de los volúmenes de cargas transportadas, tanto de exportación como de importación, señalando la cointegración entre tales variables.
- A medida que aumenta el nivel del río y el precio del commodity soja, aumenta la cantidad transportada en toneladas en concepto de exportaciones. La exportación depende también de manera positiva del primer rezago de sí misma, mientras que la relación es negativa con los rezagos de periodos anteriores debido a la estacionalidad.
- A medida que aumenta el nivel del río, el tipo de cambio real y el índice de actividad económica, aumenta la cantidad transportada en toneladas en concepto de importaciones. Mientras que la importación depende de manera negativa de su primer rezago.
- Con los supuestos establecidos se espera el incremento de las exportaciones a una tasa anual compuesta de 1,47% interanual, y las importaciones a una tasa de 1,10%.
- Finalmente, al año 2041 se estima 14.433.906 toneladas en cargas transportadas, más 7.286.400 toneladas en cargas de las nuevas firmas inversoras, alcanzando un total de 21.720.306 toneladas transportadas por la hidrovía Paraguay-Paraná.



Modelo de estimación de cargas fluviales

Caso hidrovía Paraguay–Paraná: tramo Río Apa–
Asunción