

ARQUETIPO¹ DE LA NATURALEZA ESTOCÁSTICA DE LA EVOLUCIÓN DE LOS PRECIOS PETROLEROS

Armando Córdova*
ESCUELA DE ECONOMÍA, UCV

Resumen:

El trabajo contiene elementos utilizados para abordar la comprensión de la economía venezolana como un sistema de relaciones dinámicas. Presenta una metodología de análisis de la incertidumbre petrolera y de sus potenciales virtudes para la comprensión de sus efectos sobre el resto de la economía, utilizando el lenguaje de simulación de Forrester creado para expresar la relación dinámica entre las variables de estado y de cambios. Al respecto en este caso se concluye que existe gran volatilidad con poca capacidad predictiva. Un ejemplo de la utilidad que este tipo de abordaje tiene es que nos permite definir un orden de magnitudes en torno al cual pueden escogerse los parámetros de un Fondo de Estabilización Macroeconómica.

Palabras claves: Dinámica de sistemas, volatilidad petrolera, estabilización macroeconómica, proyecto educacional, simulación, Venezuela.

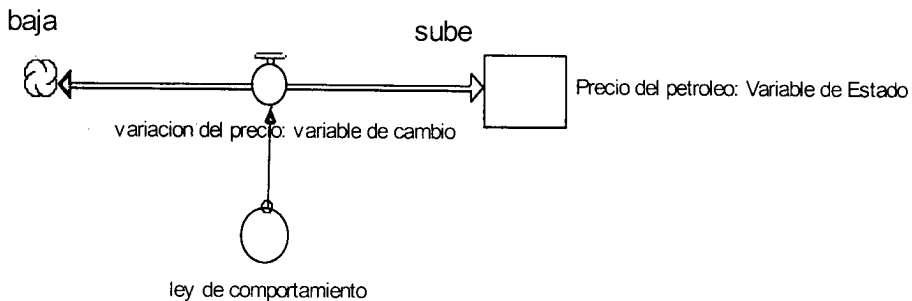
INTRODUCCIÓN

La investigación se ubica en la dinámica de sistemas para la comprensión de los fenómenos económicos. Trata de abordar algunos elementos del sistema de relaciones dinámicas en la búsqueda de la comprensión de la economía venezolana. El supuesto es utilizado como arquetipo de comportamiento de los precios del petróleo con el objeto de probar ex-ante el desempeño de cualquier mecanismo diseñado para estabilizar los ingresos petroleros. Es importante recalcar, que **no estamos ofreciendo un modelo de predicción de los precios petroleros**, sino en todo caso, construyendo un algoritmo "artificial" de comportamiento de los precios del petróleo, este algoritmo nos permite simular el eventual efecto que dicho comportamiento pudiera tener sobre la estructura de relaciones entre la dualidad Fisco-PDVSA. El objeto es estudiar y probar el diseño de mecanismos que intenten contrarrestar la volatilidad de unos precios petroleros simulados que en esencia se comporten como lo hacen los precios petroleros en la realidad.

¹ Un arquetipo es un modelo o sistema de relaciones que reúne los rasgos esenciales de un determinado fenómeno.

* correo electrónico: acordova@cantv.net

El arquetipo de comportamiento especificado puede verse representado en el siguiente diagrama expresado en el Lenguaje de Forrester². Aquí tratamos al precio del petróleo como una variable de estado, es decir una variable que a lo largo del tiempo exhibe cambios en sus valores como resultado de la acumulación o desacumulación, a partir de un nivel inicial. La variación del nivel de la variable de estado "Precio del petróleo" es explicada por una variable de cambio, es decir una variable que inyecta o drena unidades monetarias por unidad vendida³ sobre el nivel de precios que prevalece en cada momento de la simulación. Como el nivel del precio del petróleo puede subir o puede bajar se grafican flechas en ambos sentidos de la "tubería". Finalmente, el comportamiento del flujo o variable de cambio es explicado por una determinada ley o relación causal, la cual es establecida en los llamados convertidores. Los convertidores son dispositivos que permiten nivelar las ecuaciones dimensionales de las relaciones causales entre variables con dimensiones diferentes es decir, estos dispositivos permiten y explican la conversión de la causalidad de una unidad de medida a otra. Las flechas desde los convertidores expresan la dirección y el sentido la relación casual entre el flujo y el convertidor.



Podemos disertar largamente acerca de la complejidad estructural de un modelo que intente pronosticar los precios del petróleo. De hecho, el petróleo es una mercancía compleja, con una innumerable gama de factores que inciden

² El lenguaje de Forrester, en honor a Jay Forrester, su creador, es un lenguaje de simulación creado para expresar la relación dinámica entre variables de estado o "stocks" (rectángulos) y las variables de cambio o "flujos" (tuberías).

³ El precio internacional del petróleo se contabiliza en USA \$ por barril por lo que serán estas las unidades de nuestro modelo.

sobre su precio, de modo que nuestra intención no es la prognosis, sino la de simular el comportamiento de dicha variable recreando su extrema volatilidad.

Tal como hemos representado nuestro arquetipo de comportamiento, éste resulta aún muy genérico para nuestro propósito. Debemos ser un poco más específicos en cuanto a una ley de comportamiento que reproduzca esa volatilidad característica e indomable de los precios del petróleo pero que a la vez sea de especificación sencilla.

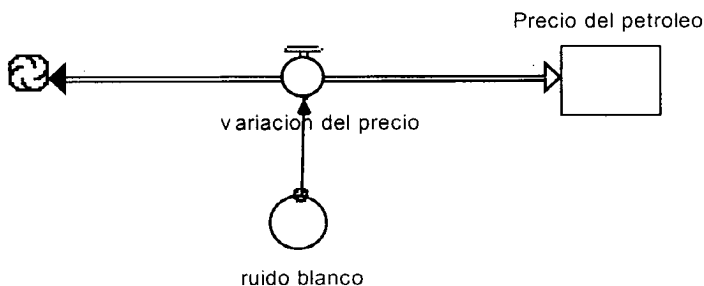
Una manera de ofrecer trayectorias erráticas e impredecibles está en las cadenas de Markov. Es decir, un supuesto de comportamiento en el que una variable de estado y_t depende de la adición de "ruido blanco"⁴ o error aleatorio, al nivel de la variable de estado, en el tiempo $t-1$.

Formalmente:

$$y_t = y_{t-1} + e_t$$

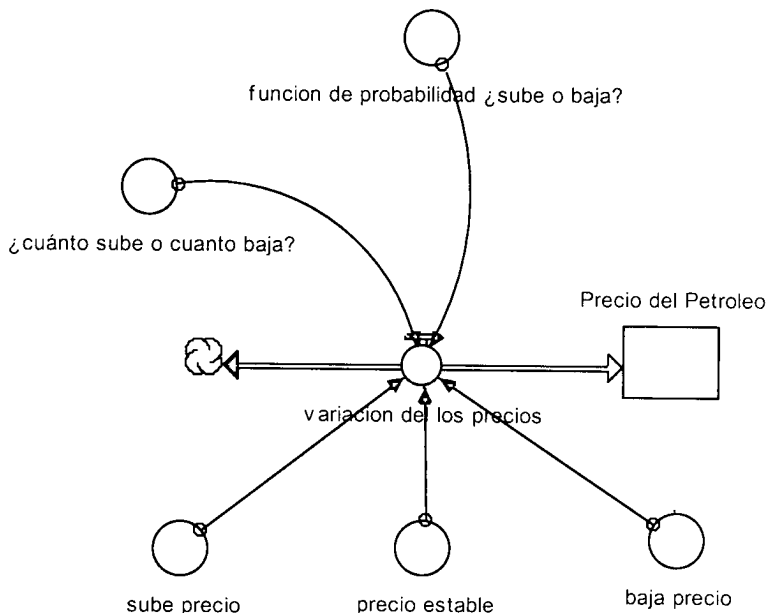
Donde e_t es el error aleatorio.

De modo que nuestro modelo quedará representado como sigue:



En síntesis, el cambio a lo largo del tiempo en los precios del petróleo se especifica como un proceso generador de variaciones aleatorias confinadas en un rango de máxima y mínima variación con sendas probabilidades asociadas a las variaciones positivas, negativas y nulas. Nuévaramente, en términos del Lenguaje de Forrester se tiene:

⁴ Error aleatorio homocedástico (de varianza constante) y no autocorrelacionado en el tiempo.



Finalmente, debemos incorporar a nuestro arquetipo de comportamiento de los precios del petróleo, los esporádicos saltos o caídas que experimentan los precios del petróleo mas allá de la secuencia markoviana simple, para incluir así la impronta impredecible de eventos internacionales, sobre el precio del petróleo bajo la forma de variaciones abruptas o *shocks*⁵, es decir:

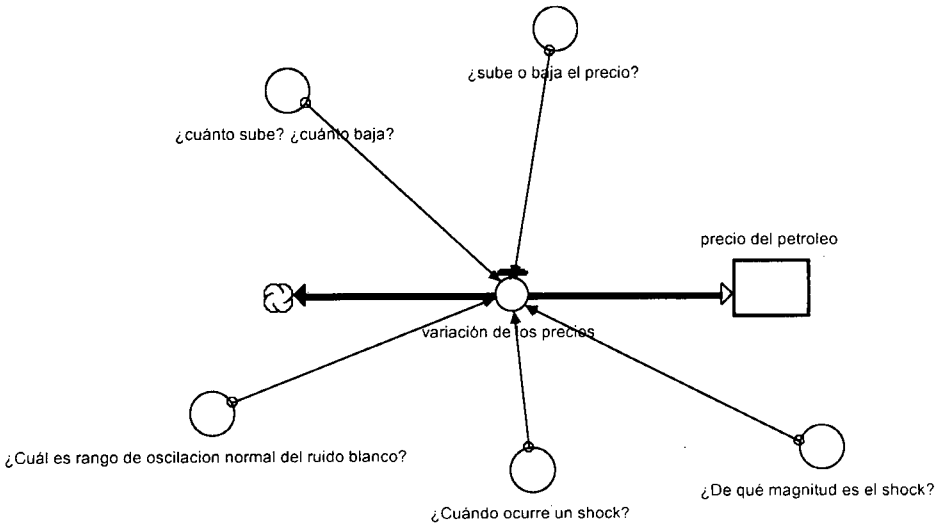
$$y_t = y_{t-1} + s_t + e_t,$$

de modo que la variable s_t se añade para incorporar la aparición de los mencionados shocks en el precio a lo largo del tiempo. Ese efecto puede lograrse asignando una alta probabilidad de ocurrencia de valores nulos (no hay shock) de s_t y una probabilidad (baja) para la aparición de un shock⁶. Incorporando es-

⁵ También llamados Shocks *permanentes*, porque una vez ocurridos, al afectar el nivel de precios el nuevo nivel alcanzado se convierte en una nueva referencia relativa para en la posterior evolución de la variable en cuestión.

⁶ En la siguiente sección se especifica con detalle una metodología para asignar los valores asociados la probabilidad de ocurrencia de los shocks.

tos elementos a nuestro arquetipo de comportamiento de los precios del petróleo se tiene:



PARAMETRIZACIÓN

En esta sección se expone lo relativo a la asignación de valores numéricos a nuestro arquetipo de comportamiento de los precios del petróleo. El objetivo es simular trayectorias de precios que sean cónsonas con lo que realmente sucede en la realidad: presencia de una alta volatilidad con abruptas variaciones ocasionales de naturaleza impredecible. Analizando la evolución diaria de los precios del petróleo del período 2000-2001 (513 datos) se pudo “disecar” los valores paramétricos del modelo⁷.

Primero, se procedió a la obtención de las probabilidades empíricas de que el precio aumente, permanezca estable o disminuya en relación con la cotización

⁷ Se compararon las series de la evolución de los precios del petróleo de tres tipos diferentes de crudos (West-Texas intermediate, Dubai y ANS West-Coast y pudo establecerse un sistemático paralelismo entre las tres series. De modo que desde el punto vista estadístico es irrelevante cuál serie utilizar. Para efectos de este trabajo fue utilizada la serie de crudo ANS West-Coast.

del día anterior, es decir, a partir de las variaciones absolutas se hizo el conteo a lo largo del período de las subas y las bajas de un día para otro. Con respecto del mantenimiento del precio durante dos días consecutivos no se registraron casos en nuestra serie de precios de 513 días. Posteriormente de aquellas variaciones, se contabilizaron las que en términos absolutos resultaban abruptas (por encima de dos dólares de un día para otro). Los resultados de las probabilidades empíricas fueron las siguientes:

<i>Baja</i>	<i>Shock</i>	<i>Alza</i>
0,47173489	0,044834308	0,4834308

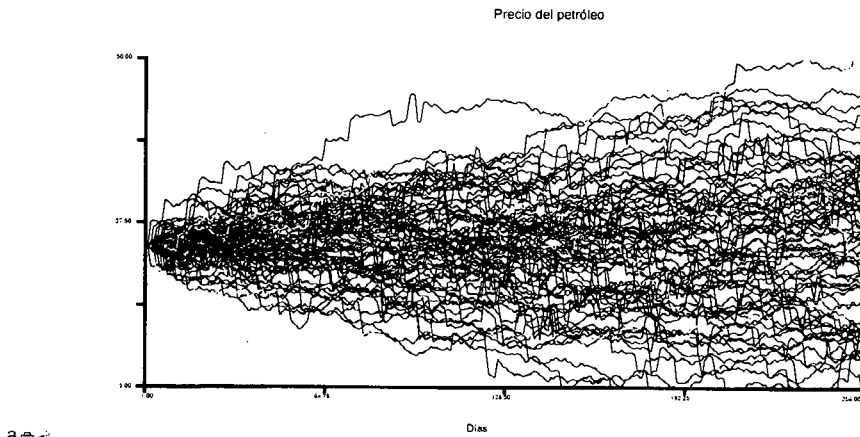
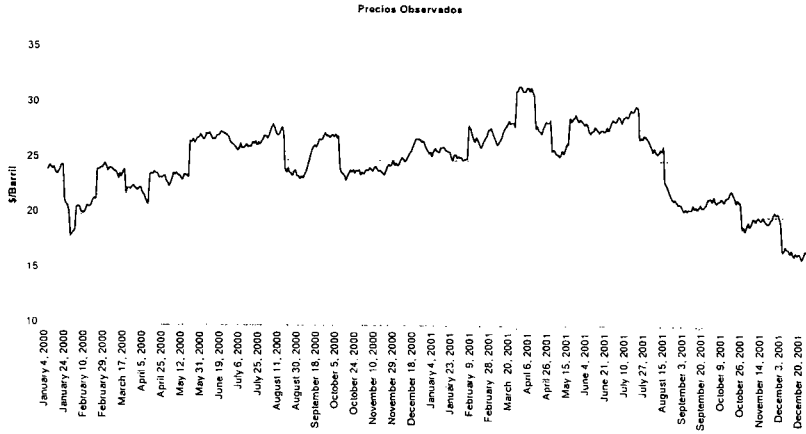
Luego se estableció cuál era el rango de variación normal promediando el valor absoluto de las variaciones una vez extraídos los shocks o variaciones abruptas de la serie de precios del petróleo. El promedio de las variaciones absolutas fue de 0.51651072 USA \$. Por su parte, se estableció que las variaciones asociadas a shocks oscilaban en promedio entre 2 y 3 USA \$:

Con estos valores ya podemos simular trayectorias anuales de periodicidad diaria de los precios del petróleo. En nuestro caso utilizamos un generador de números aleatorios que utiliza una función de densidad probabilística uniforme⁸.

DATOS REALES VS. SIMULACIONES

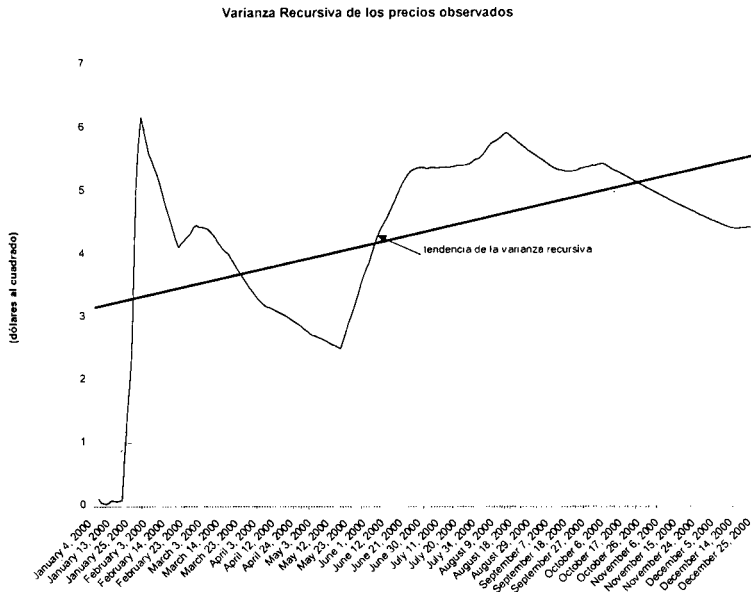
Una vez especificado y parametrizado el arquetipo, podemos utilizarlo como un experimento aleatorio. Cada simulación reporta una senda de comportamiento de precios del petróleo con las características que hemos descrito para un año de 360 días (año financiero). Si realizamos un número suficiente de simulaciones tal como si se lanzaran los dados n veces, estaríamos en condiciones de verificar ciertas propiedades y características interesantes para el análisis de la sostenibilidad fiscal. Esto es lo que se conoce como experimento "Monte Carlo", haciendo alusión a los casinos de Monte Carlo, los recintos sagrados de la probabilidad clásica. A continuación presentamos un gráfico con la evolución diaria observada de los precios del petróleo durante el año 2000 y, de seguidas, un gráfico de un experimento de Monte Carlo de los precios del Petróleo de 80 simulaciones anuales con periodicidad diaria.

⁸ Pudo utilizarse cualquier otra función de densidad probabilística, sin embargo, como veremos más adelante, la forma de la función de densidad probabilística es irrelevante para nuestros efectos.



De esta muestra de simulaciones podemos verificar la característica fundamental que hace que estos procesos sean imposibles de pronosticar y es que la varianza de los precios de cada simulación es explosiva. Es decir, si hacemos cálculos recurrentes de la varianza de cada simulación (aumentando consecutivamente en un periodo, la muestra utilizada para el cálculo de la varianza) obtendremos una inequívoca tendencia hacia el crecimiento de este estadístico. De hecho en la serie original (es decir aquella de la cual obtuvimos los valores para la realización de nuestro experimento "Monte Carlo"), mostró esa importante

característica. En la gráfica siguiente vemos la mencionada tendencia al crecimiento de la varianza de los precios observados para el período 2000-2001⁹.



Hasta ahora hemos estado concentrados en la simulación de algunas de las características de la evolución de los precios del petróleo. Considerando única y exclusivamente esta variable, podemos extraer un simple pero al mismo tiempo muy importante criterio que puede ser utilizado como lineamiento de política presupuestaria: *Mientras más corto sea el período de proyección presupuestaria, menor será el chance que damos para que la volatilidad del precio se haga explosiva.* Sobre este respecto, dada la evolución vertiginosa de las tecnologías de información de nuestros días, será cada vez más plausible y viable que un Estado como el nuestro pueda reducir los tiempos presupuestarios.

⁹ Un cálculo recursivo mayor hubiese suavizado la pendiente de la gráfica y en un horizonte infinito de observaciones habríamos obtenido una tendencia estadísticamente consistente de la varianza, es decir, esta tenderá a estabilizarse paulatinamente en torno a un valor determinado, sin embargo la línea de tendencia de un horizonte presupuestario de un año de observaciones tendrá siempre indicará un tendencia explosiva de la varianza.

LOS INGRESOS PETROLEROS

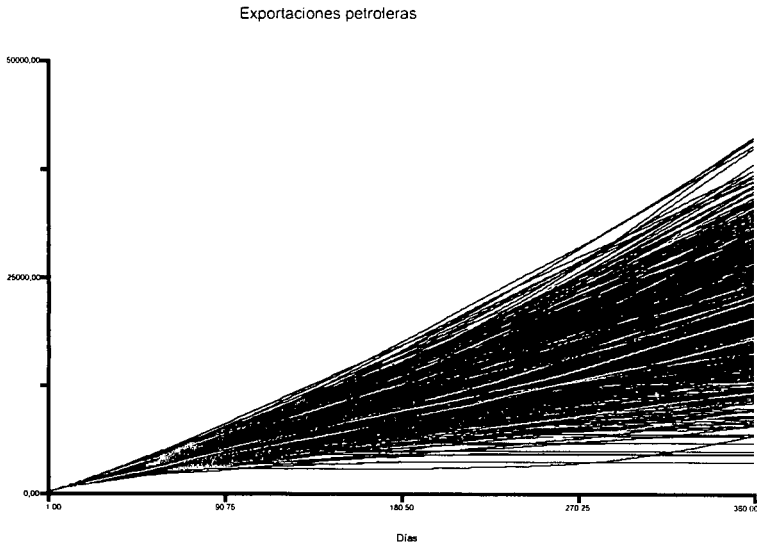
En esta sección comenzaremos a eslabonar otras variables que irán esbozando la estructura de un sistema cada vez más complejo. El precio del petróleo es solo una dentro del sistema de variables que conforman la estructura macroeconómica de nuestro país. Pero su comportamiento incide con cierta *resonancia* sobre el resto de las variables del sistema. Y es esa resonancia la que pretendemos medir.

En primer lugar se tiene, que los ingresos petroleros diarios son el resultado de multiplicar los precios petroleros de un determinado día, por el volumen de exportación que pudo colocarse durante ese día.

Para un arquetipo de ingresos petroleros lo único que tenemos hacer es especificar el volumen diario de exportación y vincularlo a nuestro modelo de precios.

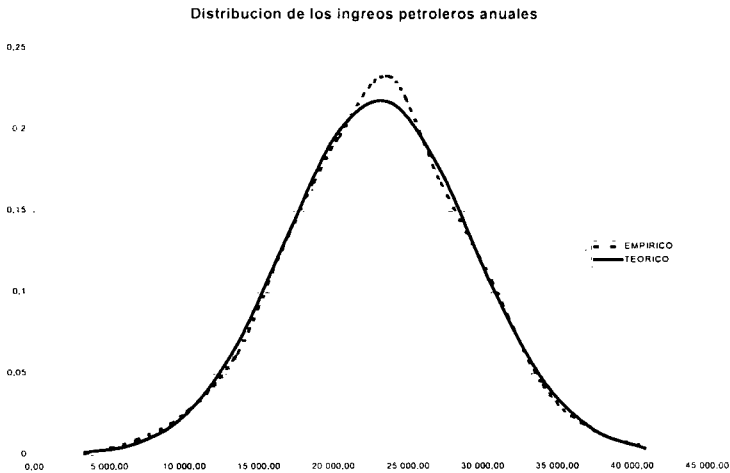
A propósito del volumen de exportación, se suele indicar que ella es una variable muy poco volátil en el corto plazo. Sin embargo, los eventos políticos recientes del país han cambiado este panorama. Es decir, la llamada "Huelga Petrolera" de finales del 2002 ha introducido en la industria petrolera, enormes dificultades para estabilizar el volumen de exportación en el entorno al que estábamos acostumbrados, antes de la misma. No obstante, para efectos de este trabajo, se utilizó un supuesto de volumen de exportación de 2.4 millones de barriles diarios. Luego, multiplicando este volumen diario con los precios petroleros generados por nuestro modelo se obtiene el flujo de exportaciones petroleras diarias. Finalmente, simulamos 360 días consecutivos para obtener de cada simulación un monto de exportaciones petroleras anuales en USA \$. Se realizaron en total 1600 simulaciones, con el objeto de obtener los parámetros de una curva de distribución Normal basándonos en el *teorema del limite central*¹⁰. Es decir un experimento de Monte Carlo de 1600 simulaciones de los ingresos petroleros anuales.

¹⁰ El teorema del limite central reza: Sean Z_1, Z_2, \dots, Z_n , n variables aleatorias, cada una cada una distribuida según las funciones de densidad $f(Z_1), f(Z_2), \dots, f(Z_n)$, respectivamente. Entonces, si n es lo suficientemente grande se cumplirá la variable aleatoria $Z = Z_1 + Z_2 + \dots + Z_n$ tenderá a tener una distribución normal.



En el extremo derecho de la gráfica anterior vemos los ingresos petroleros acumulados en un año de 1600 simulaciones. Posteriormente, se organizaron esos datos con el objeto de obtener el promedio y la desviación estándar de los mismos, y así parametrizar una distribución normal *teórica*. A continuación graficamos tanto los resultados teóricos como empíricos¹¹. El promedio de las 1600 simulaciones arrojó la cifra de los USA \$ 21.369,23 millones de USA \$ anuales /con una desviación estándar de USA \$ 3.140,48 millones de USA \$ por encima y por debajo del promedio.

¹¹ Nos referimos a los resultados teóricos de un curva normal parametrizada con los resultados obtenidos para la media y la desviación estándar y los resultados empíricos de las 1600 simulaciones.



Los anteriores resultados esclarecen un poco más el problema de la incertidumbre de los ingresos petroleros. Es decir, ofrece una metodología concreta para dimensionar la incertidumbre, y así poder establecer criterios objetivos para la selección de los parámetros de nuestras medidas correctivas.

Ese rango de oscilación obtenido para los ingresos petroleros anuales debe ser interpretado como un espacio muestral para el cual existe una repercusión muy concreta de nuestra economía dependiendo del valor que se realice de ese espacio muestral de probabilidades ingresos petroleros anuales.

APLICACIÓN PRÁCTICA DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Un ejemplo de la utilidad que este tipo de abordaje tiene es que nos permite definir un orden *de magnitudes* en torno al cual pueden escogerse los parámetros de un Fondo de Estabilización Macroeconómica. En teoría, en torno al promedio hallado, hay igual probabilidad de obtener resultados por encima y por debajo del mismo, siempre y cuando los rasgos estructurales del modelo no varíen (nos referimos al volumen de exportación y los parámetros que dieron origen a nuestra distribución normal los cuales pueden revisarse periódicamente para su corrección).

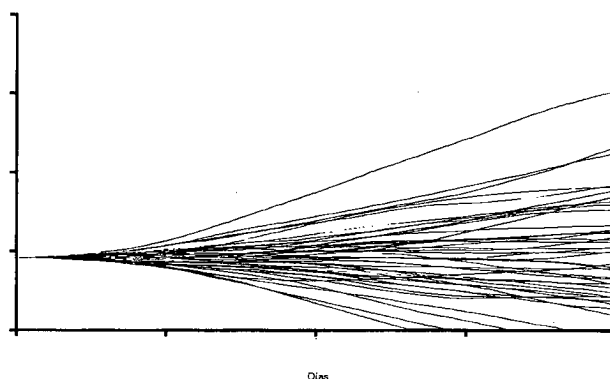
A continuación presentamos una maqueta de lo que podría ser un Fondo de Estabilización Macroeconómica *prefiscal*¹².

El punto de partida es el promedio de USA \$21.369,23 millones y la desviación estándar de USA \$ 3.140,48 millones. La primera cifra dividida entre 360 días nos da lo que podría llamarse flujo normal de ingresos petroleros diarios es decir, USA \$ 59,35 millones diarios. La desviación estándar puede ser utilizada para determinar la cantidad que debe existir previamente en el fondo y así asegurar con niveles de certeza la estabilización de los ingresos petroleros de un año fiscal completo, con un grado de confiabilidad determinada, de acuerdo a la desigualdad de Chebyshev¹³. Por ejemplo si se está de acuerdo con un grado de seguridad promedio del 75% en la capacidad de estabilizar los ingresos petroleros el fondo inicial a ser depositado en el Fondo de Estabilización Macroeconómica Prefiscal sería de un USA \$ 6.280 millones. Si se quiere asegurar en un 89% la posibilidad de estabilizar los ingresos petroleros prefiscales en USA \$ 59,35 millones el fondo debe contar en teoría con USA \$ 9.620 millones. El siguiente gráfico muestra las trayectorias de 100 simulaciones de un Fondo de Estabilización Macroeconómica Pre-fiscal con USA \$ 9.620 Millones depositados al inicio de su funcionamiento.

El mecanismo de funcionamiento es muy sencillo. Cuando el flujo de ingresos petroleros es inferior al del parámetro las autoridades monetarias completan con recursos del fondo la cantidad necesaria para garantizar una inyección a la economía de USA \$ 59 Millones. Por el contrario, si el flujo de ingresos petroleros realizado es superior a los USA \$ 59 millones, la diferencia se deposita en el fondo.

¹² Nos referimos a un mecanismo de estabilización de los flujos de ingresos petroleros ubicado estructuralmente fuera la interacción FISCO-PDVSA. Es decir, antes de que tengan lugar las deducciones que ordena la ley en materia de tributación petrolera.

¹³ Dada la desviación estándar (de), podemos asegurar que al menos $(1-1/k^2)\%$ de los datos de una distribución estará ubicado en la franja que va de k -veces la de por encima a k -veces la de por debajo del valor promedio de la distribución para todo $k>1$.



Otro ejemplo de la utilidad de este análisis es que podemos establecer a grosso modo las necesidades de endeudamiento del Gobierno Nacional correspondientes a cada magnitud de ingresos petroleros anuales asignando a cada escenario su probabilidad concreta de ocurrencia. Dependiendo de la cuantía de recursos necesarios para enjugar el déficit público, habrá una mayor o menor presión sobre la tasa de interés interna.

Actualmente se revisa un modelo que simula la interacción entre la volatilidad petrolera y la tasa de interés interna. Aún cuando se trata de resultados muy preliminares, podemos adelantar hemos obtenido una franja de repercusión de 5 puntos porcentuales sobre la tasa de interés promedio de la economía, considerando inertes los mecanismos existentes para el mantenimiento de la estabilidad macroeconómica. Estos resultados podrían ser interpretados como el riesgo país teórico inherente única y exclusivamente a nuestra condición de país exportador de petróleo.

En lo expuesto se concluye que el mercado petrolero venezolano no es predecible en detalle, existe mucha volatilidad con poca capacidad predictiva.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aracil, Javier y Gordillo Francisco (1997), *Dinámica de Sistemas*, Alianza Editorial.

Arestis, Philip and Sawyer, Malcolm (2003), *The Case for Fiscal Policy*. The Levy Economics of Board College.

Baumol, W. (1970), *Economics Dynamics: An Introduction*, The Macmillan Company, 3ª ed., New York.

- Blanchard, Olivier J. (1989), "A Traditional Interpretation of Macroeconomic Fluctuations", *American Economic Review*, Vol. 79, No. 5, pp. 1146-1164.
- Chiang, A. (1987), *Métodos Fundamentales de Economía Matemática*, Mc Graw Hill, 3ª ed.
- Greene, W. (1993), *Econometric Analysis*, Macmillan, New York, 2ª ed.
- Hausmann, R., A. Powell, y Rigobon R. (1993), *An Optimal Spending Rule Facing Oil Income Uncertainty (Venezuela)* en Engel, E. y P. Meller (eds.) *External Shocks and Stabilization Mechanisms*, Inter-American Development Bank y CIEPLAN, Chile.
- Moudud, Jamee (2002), *Finance in Classical and Harrodian Cyclical Growth Model*, The Jeromy Levy Economics Institute.
- Novales, A. (1993), *Econometría*, Mc Graw Hill, 2ª ed.
- Samuelson, P. (1981), *Fundamentos de Análisis Económico*, El Ateneo.
- Takayama, A. (1974), *Mathematical Economics*, The Dryden Press, USA, El Ateneo, Buenos Aires.
- Ross, S. (1999), *Simulación*, Prentice Hall, 2ª ed., México.
- Sargent, Thomas J. (1987a) *Dynamic Macroeconomic Theory*, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.
- (1987b), *Macroeconomic Theory, Second Edition*, Academic Press, New York.
- Senge, Peter (1999), *La Quinta Disciplina*, Granica, Buenos Aires.