

Algoritmos genéticos en la estimación de un modelo macroeconómico para Ecuador¹

PEDRO PÁEZ PÉREZ

Resumen

En este artículo se pone a consideración la articulación de algoritmos genéticos con técnicas tradicionales de mínimos cuadrados para la estimación de un modelo macroeconómico de ecuaciones simultáneas para el Ecuador, cuya aplicación permitiría monitorear la relación entre variables macroeconómicas y sociales (en particular, la evolución de la pobreza) en un instrumento muy flexible para simular diversas hipótesis en torno a expectativas. Debido a que hay mucha estructura en la especificación del modelo --es decir, dado que la mayoría de los coeficientes tienen características teóricas pre-establecidas--, se requiere una densa red de restricciones sobre los parámetros, lo cual complica el proceso de estimación. Por ello, la práctica generalizada para este tipo de modelos es la de utilizar parámetros calibrados. La opción presentada aquí, en cambio, toma el riesgo de la estimación econométrica restringida, asumiendo como dados ciertos rangos teóricos para los coeficientes y buscando con rigor los estimados que mejor se ajustarían a los datos.

Abstract

This paper presents the articulation of genetic algorithms with traditional least squares techniques for the estimation of a simultaneous equation macroeconomic model for Ecuador, whose application would allow us the monitoring of the relationships between macroeconomic and social variables (particularly, poverty evolution) in a very flexible tool for the simulation of several expectational hypothesis. Due to the rigid structure in most of the model specification --there is a theoretical precondition for numerous coefficients-- we need a net of constraints on the parameters, and that increases the complexity of the estimation procedure. A common practice in the literature is to bypass this problem using parameter callibration. By the contrary, the option here takes the risk of an econometric constrained estimation, assuming as given the parameter space for certain coefficients and rigorously searching for the estimates that best fit the data.

1. Introducción

Este artículo presenta a consideración del lector el uso de nuevas técnicas articuladas a las tradicionales para la estimación de un modelo macroeconómico de ecuaciones simultáneas para el Ecuador cuya aplicación permitiría monitorear la relación entre variables macroeconómicas y sociales en un instrumento muy flexible

¹ Una versión previa constituyó parte de mi disertación para PhD, y como tal recibió los aportes del comité de graduación constituido por los profesores David Kendrick, James Galbraith, Don Fullerton, Vince Geraci y Subal Kumbhakar, en particular de estos dos últimos por su especialización en Econometría. Agradezco la traducción de parte de este documento por Sandra Riascos y los comentarios sobre la versión final de Ma. Belén Freire, Mónica Salvador, Marco Baquero, Diego Mancheno y Meitner Cadena. Cualquier error remanente es de mi exclusiva responsabilidad. Todas las opiniones vertidas son estrictamente personales.

para simular diversas hipótesis en torno a expectativas. Debido a que hay mucha estructura en la especificación del modelo –es decir, dado que la mayoría de los coeficientes tienen características teóricas pre-establecidas-, se requiere una densa red de restricciones sobre los parámetros, lo cual complica el proceso de estimación. Por ello, la práctica generalizada para este tipo de modelos es la de utilizar parámetros calibrados. La opción presentada aquí, en cambio, asume el riesgo de la estimación econométrica, utilizando un algoritmo genético para la búsqueda de los valores iniciales más adecuados en un típico proceso de estimación de Mínimos Cuadrados no Lineales Iterativos en Tres Etapas. A diferencia de ciertas prácticas desafortunadamente comunes en Econometría, este trabajo no pretende comprobar ninguna teoría, simplemente plantea un procedimiento para lograr los valores más probables para ciertos parámetros cuyas características están, en mayor o menor medida, teóricamente predefinidos, sobre la base de los datos de la muestra². Es decir, se asume explícita o implícitamente ciertas regularidades teóricas y se busca con rigor los estimados que mejor se ajustarían a los datos, de ser ciertos esos postulados teóricos.

El énfasis aquí está en los detalles técnicos de la estimación, documentando los límites y las bondades del procedimiento adoptado para respaldar futuras aplicaciones en el diseño y la evaluación de las políticas económicas, las cuales rebasan las dimensiones del presente artículo.

La siguiente sección describe las características generales del modelo y sus restricciones predefinidas. La sección 3 reseña la estrategia de estimación adoptada bajo mínimos cuadrados, evidenciando las limitaciones de métodos más sencillos para este modelo. En la sección 4 se estudian las posibilidades y limitaciones de la estimación del modelo restringido bajo técnicas de mínimos cuadrados. La sección 5 explica las ventajas del uso de un algoritmo genético articulado a las técnicas de estimación convencionales de mínimos cuadrados. La sección 6 da cuenta de una serie de tests desplegados para calificar los resultados de la estimación, demostrando que los costos de las restricciones en la estimación no son mayores que las cualidades predictivas del modelo son muy alentadoras. La sección 7 hace un pormenorizado recorrido de los resultados econométricos, dando cuenta de la consistencia teórica de la estimación. Una última sección intenta una síntesis del trabajo, haciendo explícitos ciertos hallazgos de la investigación a manera de conclusión y esbozando posibilidades de aplicación del modelo.

² Véase por ejemplo Dharmapala, D. & M. McAleer (1996) o Kennedy (1998) con respecto al mal uso de la Econometría en la “verificación” o “validación” de teorías, o, en general, respecto al modesto papel que, en general, puede desempeñar la Econometría en ese campo.

2. El modelo

Primeramente, nos concentraremos en la especificación del modelo. Se parte de un esquema teórico que deberá ser acondicionado para facilidades de estimación econométrica.

El núcleo de cada ecuación de este modelo es una linealización del tipo Johansen y una versión de “ajuste parcial” de las ecuaciones reducidas de un modelo de equilibrio general³, que dan como resultado un modelo de 17 ecuaciones simultáneas en tasas de variación. Se han utilizado series filtradas de estacionalidad y tendencia (polinómica) y expresadas en puntajes z , es decir que, cada variable se refiere a desviaciones estándar respecto a la tendencia⁴. La implicación más importante de estas transformaciones es que todo el tratamiento adquiere un carácter cualitativo⁵ (aunque la información cuantitativa puede recuperarse a voluntad) y que los coeficientes expresan elasticidades que relacionan cambios en órdenes de magnitud comparables.

Las 6 primeras ecuaciones capturan el comportamiento de las variables medulares del modelo (llamadas “de estado”): inflación, crecimiento, evolución de la pobreza, tasa de interés, equilibrio externo (saldo de la balanza de pagos como porcentaje del M2⁶) y equilibrio fiscal (déficit o superávit primario como porcentaje del PIB). Estas seis ecuaciones medulares contienen las relaciones teóricas centrales del modelo. Otras 2 ecuaciones capturan el grado de ineficacia de las políticas fiscales al explicar la evolución de las recaudaciones de aranceles o tarifas y del resto de impuestos ante cambios legales o políticos que en general se daban cada año fiscal. Otro grupo de 6 ecuaciones plantea sendas reglas de aprendizaje en la formación de expectativas para inflación, crecimiento, pobreza, fiscales, cambiarias y monetarias. Expectativas racionales y expectativas adaptativas constituyen casos

³ Para una sustentación detallada del modelo teórico detrás de la especificación estimada en este trabajo, ver Páez, P. (1999), cap. 2. La práctica más común, y no por ello menos controversial, para modelos de equilibrio general aplicados es el uso de parámetros calibrados para eludir los complicados problemas de estimación simultánea y con un espacio paramétrico restringido.

⁴ Se prefiere esta opción a procedimientos de cointegración, dado el tamaño y la predeterminación teórica de la estructura del modelo, por un lado y a las restricciones lineales que impone la cointegración, por otro.

⁵ Aproximadamente el 68% de las tasas de variación desviadas de la tendencia se observan entre los valores 1 y -1 de cada variable, es decir que valores superiores (en términos absolutos) indicarían cambios cada vez menos típicos.

⁶ Este es un indicador generalmente aceptado de vulnerabilidad de la reserva internacional, toda vez que los cambios del sistema financiero han dejado obsoletos a indicadores previos como el número de meses de potencial importación.

especiales de esta regla de aprendizaje. Finalmente, las 3 últimas ecuaciones tratan de discriminar la parte predecible en la evolución de los choques exógenos (términos de intercambio, financiación pública externa neta y producción petrolera).

Las ecuaciones teóricas derivadas de los microfundamentos de cada agente detrás del modelo de equilibrio general, encadenan lo básico de la estructura del modelo a estimar (variables explicativas, signos y rangos de los coeficientes, etc.), pero la especificación incluye algunos aspectos peculiares de la economía ecuatoriana, como los roles del sector público y energético. En cualquier caso, aún si las relaciones principales fueron pre-establecidas, la especificación última de los rezagos tiene que ser escogida en base a criterios estadísticos y en ese sentido, el procedimiento es el típico de la modelización macroeconométrica.

La especificación final de cada ecuación fue seleccionada de entre una serie de estimaciones lineales separadas usando variables instrumentales, con el criterio principal definido por la confirmación de los signos esperados de los coeficientes y los mejores estadísticos logrados por cada ecuación. Sin embargo de estas complicaciones, la estimación debe obedecer la restricción procustiana en términos de que el tamaño del modelo sea manejable en ulteriores aplicaciones. La especificación final, con los signos esperados se presenta a continuación:

Para inflación:

$$p_t = \pm A0 + A1 p_{t-1} + A2 po_t - A3 po_{t+1} \pm A4 e_t + A5 m_t + A6 gas_t + A7 w_t + A8 tar_t + A9 tax_t + A10 r_t + A11 m_{t+1}^e + A12 e_t$$

Para crecimiento:

$$y_t = \pm B0 - B1 p_t - B2 r_{t-1} + B3 e_t + B4 g_t + B5 ig_t - B6 tax_t + B7 m_{t-1} + B8 ti_t + B9 pe_t - B10 gas_t \pm B11 y_{t-1} - B12 po_{t+1}^e$$

Para pobreza:

$$po_t = \pm C0 + C1 p_t - C2 p_{t+1}^e - C3 y_t + C4 r_t \pm C5 po_{t-1} + C6 e_t - C7 w_t - C8 y_{t-1} - C9 w_{t-1} - C10 g_{t-1} - C11 ig_{t-1}$$

Para tasas de interés:

$$r_t = \pm D0 \pm D1r_{t-1} - D2m_t - D3f_{t+1}^e + D4y_{t+1}^e + D5e_{t+1}^e + D6p_{t+1}^e - D7f_t$$

Para reserva monetaria internacional:

$$i_t = \pm E0 + E1r_t + E2tar_t - E3po_{t+1}^e + E4i_{t-1} - E5w_t + E6gd_t + E7e_{t-1} + E8ti_t - E9p_t - E10y_t - E11e_{t+1}^e + E12pe_t + E13gas_t$$

Para balance fiscal:

$$f_t = \pm F0 - F1p_t + F2y_t + F3tar_t + F4tax_t \pm F5f_{t-1} \pm F6e_t - F7w_t - F8g_t - F9ig_t + F10gas_t + F11ti_t + F12gd_t + F13pe_t - F14po_t$$

Para tarifas o aranceles:

$$tar_t = \pm G0 \pm G1tar_{t-1} \pm G2i_{t-1} \pm G3y_t \pm G4e_{t-1} + G5wtar_t \pm G6g_t - G7r_{t-1} - G8p_t \pm G9ig_t$$

Para otros impuestos:

$$tax_t = \pm H0 \pm H1tax_{t-1} \pm H2r_{t-1} \pm H3w_{t-1} \pm H4e_{t-1} + H5wtax_t - H6p_t \pm H7g_{t-1}$$

Para expectativas⁷:

$$y_t^e = \alpha y_{t+1}^* - \rho (y_{t-1}^e - \alpha y_t)$$

Para choques exógenos⁸:

$$ti_t = \pm \alpha 0 \pm \alpha 1t^1 \pm \alpha 2t^2 \pm \alpha 3t^3 \pm \alpha 4ti_{t-1}$$

⁷ Similares especificaciones a la ilustrada aquí para expectativas de crecimiento, están incluidas para expectativas de inflación, pobreza, balance fiscal y cambiarias.

⁸ Similares especificaciones a las ilustradas aquí para términos de intercambio, están incluidas para financiamiento externo neto para el sector público (mencionado a veces, por facilidad como "deuda externa") y producción de petróleo.

donde:

p es la tasa de inflación,

y es el crecimiento del ingreso per cápita,

po es la evolución de la pobreza,

r es la evolución de la tasa de interés,

i es la evolución de la reserva monetaria internacional,

f es la evolución del déficit fiscal,

e es la tasa de devaluación,

w es la evolución del salario mínimo vital,

m es la tasa de variación del agregado M1 como demanda de dinero,

gas es la tasa de variación del precio de la gasolina,

g es la evolución del gasto real per cápita del gobierno,

ig es la evolución de la inversión real per cápita del gobierno,

tar es la tasa de variación del radio tarifas/importaciones,

tax es la tasa de variación del radio carga del impuesto/PIB,

$wtar$ es la tasa de variación del radio "deseado" o "legal" tarifas/importaciones,

$wtax$ es la tasa de variación del radio "deseado" o "legal" carga del impuesto/PIB,

ti es la evolución de los términos de intercambio internacionales,

gd es la evolución del financiamiento externo neto del sector público,

pe es la tasa de variación de la producción petrolera, y,

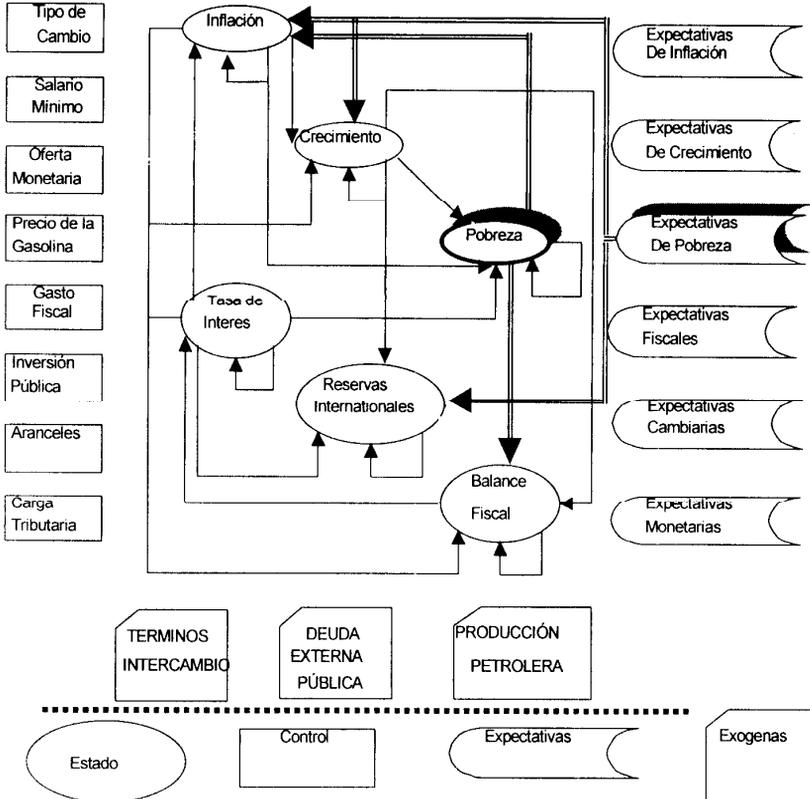
t es el período, con 1986.1=1.

Todos los superíndices e denotan expectativas, los superíndices * denotan variables *proxy* de adelanto y los suscritos denotan el período considerado.

El gráfico 1 ilustra las principales relaciones entre las variables medulares con las principales variables explicativas, resaltando el papel de la pobreza en el modelo.

Gráfico No. 1

Importancia de la incidencia de la pobreza en el modelo



FUENTE: Páez, P. (1999a).

3. Estrategia de estimación

En esta sección evidenciaremos las limitaciones de procedimientos de estimación menos sofisticados para el caso específico de nuestro modelo, para desembocar luego en la necesidad de trabajar con Mínimos Cuadrados Iterativos en Tres Etapas. La sección busca dejar en claro porqué se requirió la específica

combinación de métodos tradicionales de Mínimos Cuadrados con Algoritmos Genéticos.

Una primera etapa de la estimación se basa en procedimientos de Información Incompleta (Mínimos Cuadrados en Dos Etapas) para terminar de definir la estructura de rezagos de cada ecuación que no está totalmente definida por las definiciones teóricas subyacentes y para contar con valores iniciales en una búsqueda de óptimos globales en procedimientos de Mínimos Cuadrados en Tres Etapas. Los resultados de esta primera etapa están lejos de ser definitivos ya que la selección inicial tiene que pasar los efectos de la llamada “inestabilidad estructural” que aparece en una estimación simultánea de los estimadores⁹. Esta “inestabilidad estructural” se da porque todo modelo de ecuaciones simultáneas presenta algunos problemas técnicos adicionales a los de las estimaciones independientes.

Básicamente, la determinación conjunta del sistema y los efectos de retroalimentación de las variables endógenas definen correlaciones entre los términos de error y las variables explicativas, haciendo sesgadas e inconsistentes las estimaciones de Mínimos Cuadrados Ordinarios, ya que atribuyen parte del efecto de las perturbaciones aditivas a las variables explicativas¹⁰.

El método de Variables Instrumentales arroja también estimadores sesgados, pero esta vez, consistentes¹¹. El sesgo aquí es de signo opuesto al de los estimadores de Mínimos Cuadrados Ordinarios y a medida que la muestra incrementa su tamaño, éstos se vuelven menos sesgados y más eficientes. Sin embargo, la estimación instrumental requiere de especial atención en este caso: si el ajuste de los instrumentos es pobre o si las variables predeterminadas están altamente correlacionadas, el uso de las variables instrumentales con muestras pequeñas puede ser contraproducente¹².

⁹ Ver Pindyck, R. y D. Rubinfeld (1998), p. 414

¹⁰ Ver Hamilton (1994), p. 234

¹¹ Consistencia es una propiedad asintótica de los estimadores por la cual el límite probabilístico de un estimador muestral es igual al valor del parámetro poblacional.

¹² Ver Bowden, R. y D. Turnington (1984), capítulo 4, para algunos resultados teóricos en casos con muestras pequeñas. La mayoría de la literatura enfatiza los resultados de los estudios de Monte Carlo, que, brevemente, dice que si las variables predeterminadas están altamente correlacionadas, los métodos de variables instrumentales funcionan mejor que los de máxima verosimilitud, si la correlación entre las perturbaciones no es muy pequeña, los métodos de información total actúan mejor que las estimaciones separadas y que si se usa la estimación conjunta, los errores de especificación son dañinos para las estimaciones pero no para la exactitud de la predicción. Ver Chow (1983), capítulo 5, Kennedy (1998), p. 165.

Debido al tamaño de la muestra y considerando los propósitos del modelo, la técnica más apropiada disponible parece ser una estimación conjunta con el método iterativo de Mínimos Cuadrados en Tres Etapas. Esta técnica asume que las perturbaciones para cada ecuación estructural individual son esféricas, sin correlación serial y con una matriz de varianza – covarianza contemporánea constante ¹³. La corrección para la autocorrelación fue introducida en la especificación de las ecuaciones con una seudo-diferenciación incluyendo el ρ (rho, coeficiente de autocorrelación) respectivo; por lo tanto, los residuos pueden tomarse como ruido blanco. Otros procedimientos como el de Máxima Verosimilitud de Información Completa (asintóticamente más eficiente ¹⁴ en presencia de variables endógenas rezagadas) o el Método Generalizado de Momentos (que puede controlar cualquier heteroscedasticidad restante, por ejemplo) también podrían ser usados, pero existe evidencia de que Mínimos Cuadrados en Tres Etapas tienen mejores propiedades en muestras pequeñas.

No obstante, dada la presencia de autocorrelación y de variables endógenas rezagadas, las estimaciones de Mínimos Cuadrados en Tres Etapas no serán consistentes (ni los coeficientes ni tampoco ρ , el término de autocorrelación) y necesitamos una estimación consistente -aunque no sea eficiente- del término de autocorrelación para los Mínimos Cuadrados Generalizados Factibles ¹⁵. Por consiguiente, la iteración sucesiva con Mínimos Cuadrados en Tres Etapas permite una estimación de ρ a partir de un conjunto de residuos consistentes logrados en iteraciones previas.

Por razones de parsimonia, se restringió la estructura dinámica de cada ecuación a un solo período de rezago y solamente a un período adelantado, lo cual implicaría que el orden de rezagos podría aumentar en un término, para tomar en cuenta la corrección por autocorrelación. Una vez restringido el tamaño del modelo se chequearon las condiciones de orden y de rango para superar el problema de identificación, característico en estimaciones simultáneas.

La falla en las condiciones de identificación no afecta el poder predictivo del modelo ni tampoco cambia la confiabilidad de las simulaciones. No obstante, sin la

¹³ Usé las rutinas construidas en el programa TSP, versión 4.3.

¹⁴ Eficiencia hace relación a mínima varianza en los estimadores.

¹⁵ Ver Greene (1997), p. 740

identificación, las estimaciones son combinaciones lineales de los parámetros reales, haciendo que las estimaciones sean teóricamente insignificantes.

La identificación se refiere a la propiedad de consistencia en la estimación. Obtener estimaciones consistentes es necesario pero no suficiente para la identificación. La suficiencia es usualmente determinada por su propia viabilidad del procedimiento de Mínimos Cuadrados en Dos Etapas¹⁶.

Un modelo debe satisfacer dos condiciones básicas para ser identificado: orden y rango. La condición de orden es una regla de conteo: el número de variables predeterminadas excluidas de cada ecuación debe ser mayor que el número de variables endógenas en el sistema excluidas de esta ecuación. La condición de orden es necesaria pero no suficiente. La condición de rango es necesaria y suficiente para la identificación del modelo global. La "regla de oro" para la condición de rango es que cada ecuación (igual a cada variable endógena) debe tener su propia variable predeterminada (variable exógena)¹⁷.

Esta condición es indispensable para los Mínimos Cuadrados en Dos Etapas y, por consiguiente, sin la condición de rango, los Mínimos Cuadrados en Tres Etapas no son factibles. Esto es siempre cierto para modelos lineales, sin embargo, para Mínimos Cuadrados en Tres Etapas no lineales, el programa de optimización puede calcular los resultados pero los coeficientes son solamente la combinación de otros coeficientes, sin significado real. El álgebra de esta optimización no lineal puede funcionar porque las derivadas tomadas en la linealización usada para resolver este tipo de modelos produce términos adicionales que incrementan el rango de la matriz de momentos.

El cuadro 1 muestra la condición de orden y la variable que asegura que todas las ecuaciones son identificadas. Por la condición de orden podemos comprobar que están ciertamente sobreidentificadas. Por consiguiente, podemos proceder con el proceso de estimación.

¹⁶ Ver Greene (1997), p. 750.

¹⁷ Ver Greene (1997), p. 729.

Cuadro No. 1

Identificación del Modelo de Ecuaciones Simultáneas

Ecuación	Variables Endógenas		Variables Exógenas		Condición de Orden	# var. en la ecuación	Condición de Rango
	Incluidas	Excluidas	Incluidas	Excluidas			
Inflación	2	14	12	26	24	14	mf
Crecimiento	1	15	13	25	24	14	m-1
Pobreza	3	13	10	28	25	13	po-1
Interés	1	15	7	31	30	8	ff
Externo	3	13	11	27	24	14	l-1
Fiscal	3	13	13	25	22	16	f-1
Tarifas	2	14	9	29	27	11	wtar
Impuestos	1	15	8	30	29	9	wtax
Expectativas de Inflación	0	16	2	36	36	2	p+1
Expectativas de crecimiento	0	16	2	36	36	2	y+1
Expectativas de pobreza	0	16	2	36	36	2	po+1
Expectativa fiscal	0	16	2	36	36	2	f+1
Expectativa de Cambiarias	0	16	2	36	36	2	e+1
Expectativa Monetaria	0	16	2	36	36	2	m+1
Términos de Intercambio	0	16	6	32	32	6	ti-1
Financiación Externa	0	16	6	32	32	6	gd-1
Producción Petrolera	0	16	6	32	32	6	pe-1
Variables Endógenas en el sistema			17				
Variables Exógenas en el sistema			38				

4. Estimación Restringida de Ecuaciones Simultáneas

Las restricciones mencionadas y los efectos de la estimación conjunta definen un grupo de parámetros diferente de aquellos producidos por las ecuaciones individuales en el proceso de selección. Algunos de los coeficientes muestran incluso un signo no esperado. Aparte de la incorrecta especificación del modelo, que siempre es una posibilidad, existen varias razones para explicar esas incongruencias. Después de todo, los datos usados, cuando están disponibles y consistentes, se refieren al período lleno de lo que algunos econométricos llamarían “quiebres estructurales”. El período de muestra -solo 49 observaciones-

corresponde a la transición desde una economía orientada a una industrialización tardía por sustitución de importaciones, a un esquema “neoliberal” con una secuencia de reformas de libre mercado y de paquetes de estabilización cada vez más radicales. Sin mencionar dos grandes terremotos, uno de los cuales destruyó partes importantes de la infraestructura petrolera; inundaciones; sequías; El Niño; La Niña; el secuestro de un Presidente en funciones; la destitución, en otra administración, del Vicepresidente por parte del Congreso y el derrocamiento popular del Presidente siguiente; varias huelgas generales que duraron varios días cada una; una rebelión de las Nacionalidades Indígenas a lo largo y a lo ancho del país; una guerra no declarada con el Perú; una Asamblea Constituyente, etc.

En lugar de llenar la estimación con variables dicotómicas, se optó por una estimación restringida de todos los parámetros teóricamente encadenados. Como en los cuadros 2 y 3 documentan, las restricciones no parecerían forzar mucho la estimación, ...si una comparación de los resultados restringidos con aquellos de un modelo sin restricciones fueran relevantes. Desafortunadamente, las restricciones transforman el modelo lineal en un modelo no lineal y la comparación no es pertinente.

Los estimadores originales de este modelo restringido, con valores iniciales derivados de regresiones individuales con los “signos correctos” bajo Mínimos Cuadrados en Dos Etapas, presentaron estadísticos muy pobres, la mayoría de ellas estadísticamente no distintos de cero. Estos resultados no necesariamente descalificaban al modelo puesto que la no linealidad dejaba abierta la búsqueda por un óptimo global en el procedimiento de Mínimos Cuadrados en Tres Etapas Iterativo. De modo que se siguió una larga búsqueda por mejores resultados, manteniendo intacta la especificación original y probando con valores iniciales diferentes¹⁸. La estrategia fue inspirada en la noción de los algoritmos genéticos (AG)¹⁹, utilizada ampliamente en la solución de problemas de optimización no lineal.

¹⁸ A diferencia del llamado “minado de datos” que quita y pone variables explicativas, cambiando la estructura del modelo hasta lograr “mejores” estadísticos –tradicionalmente, altos coeficientes de determinación–, este procedimiento permite lograr estimaciones óptimas para estructuras teóricas bastante inflexibles. Para una crítica rigurosa del “minado de datos”, ver los trabajos de la escuela “británica” de Econometría, por ejemplo: Charemza, W. & D. Deadman (1997).

¹⁹ Los algoritmos genéticos (AG) han sido usados en una gran variedad de problemas de optimización no lineales, y su uso para buscar un mejor vector de valores iniciales parece natural. Nuestro experimento, sin embargo, es muy primitivo, en el cual mucha de la aleatoriedad típica de los procedimientos propios está reemplazada con la aleatoriedad usada para calificar el grado de “adaptabilidad”, en el léxico de los AG. Además, dadas las necesidades específicas de nuestro ejercicio, nos saltamos todo el problema de representación y usamos directamente los vectores de coeficientes en vez de la transformación binaria. Para una introducción formal, ver capítulo 8 en Judd, K. (1998) y para una aplicación didáctica, ver Bauer, R. (1994).

5. Algoritmos Genéticos

En esta sección veremos porqué los algoritmos genéticos aparecen como una solución idónea al problema de estimación planteado en las secciones anteriores, al proporcionar un método sistemático de búsqueda de los mejores candidatos para un óptimo global en la estimación restringida planteada.

La identificación de un óptimo global para la función objetivo utilizada en la estimación (en este caso Mínimos Cuadrados en tres Etapas) es crucial para que la gran mayoría de propiedades teóricas de cualquier estimador econométrico tenga sentido, en particular las referidas a la consistencia y la normalidad asintótica. Amemiya, (1985) por ejemplo, proporciona ciertas claves de interpretación para el caso de óptimos locales²⁰, pero ningún teorema local da elementos para situaciones de múltiples óptimos locales, dejando un gran vacío respecto a la aplicabilidad de este tipo de opciones y abocando a la necesidad de asegurar un óptimo global para lograr soporte teórico para las estimaciones de indicadores tan comunes como los de Máxima Verosimilitud y Mínimos Cuadrados.

Mientras la función objetivo no presente significativas no-linealidades, el hallazgo de un óptimo global no representa mayores complejidades ni misterios, pero a medida que la complejidad aumenta, la topografía de las funciones en el hiperplano de su espacio paramétrico puede albergar óptimos globales en sitios muy recónditos. En esas circunstancias, cortas distancias en el espacio paramétrico pueden separar óptimos locales con grandes diferencias en el valor de la función objetivo y, aunque no haya garantía absoluta de un óptimo global, es necesario chequear sistemáticamente un gran número de óptimos locales y escoger el de mejores propiedades de entre ellos, como el mejor candidato a óptimo global.

Una estrategia muy común en paquetes econométricos es factible solo si las no-linealidades involucran funciones diferenciables, de modo que pueden optimizar la función objetivo indirectamente, siguiendo la pendiente e iterando sobre las ecuaciones de primeras derivadas. Aquí se incluye la familia de procedimientos como Gauss-Newton y Newton-Raphson y sus versiones modificadas (Fletcher y Powell (1963), Goldfeld, Quandt y Trotter (1966), Marquardt(1963) y otros). Todos estos métodos son bastante eficientes hallando óptimos locales, pero la única garantía de hallar un óptimo global reside en cierto conocimiento a priori acerca de la característica de convexidad (concavidad) global única de la función objetivo. Una práctica que intenta reducir el grado de incertidumbre es realizar una especie de "operación rastrillo" con este tipo de procedimientos, dando diversos juegos de valores iniciales para "peinar" el posible espacio paramétrico.

²⁰ Ver Amemiya (1985), p.110-111.

Otro tipo de estrategias debe aplicarse si las funciones objetivo son no-diferenciables. Estimadores semiparamétricos son, en general, más robustos que los paramétricos a errores de especificación, pero a un costo computacional mayor en tanto requieren una optimización directa de la función objetivo y no solo sus primeras derivadas. No hay un procedimiento general para estos casos.

Los algoritmos genéticos no necesariamente requieren funciones objetivo “bien comportadas”, de condiciones específicas de derivabilidad y pueden lidiar con discontinuidades y múltiples óptimos locales, sin necesidad de un conocimiento previo de las propiedades de concavidad o convexidad de la función objetivo.

Un algoritmo genético busca soluciones óptimas iterando sobre un procedimiento que recuerda en muchos aspectos la idea darwiniana de la selección natural. Para un problema de optimización dado, el procedimiento empieza con una población inicial de candidatos a solución (primera generación) y, bajo ciertos criterios básicos de selección, establece un subconjunto sobre el que operará el mecanismo que dará lugar a la producción de una nueva generación de candidatos de solución. Como en el caso de la evolución natural, la herencia de la nueva “camada” refleja los rasgos predominantes en el subconjunto seleccionado de la primera generación para “reproducirse”, de modo que es crucial el criterio de selección que diferencia la probabilidad de cada candidato de cada generación para transmitir sus “genes”. Los criterios de selección del subconjunto de candidatos en cada generación, claro, se orientan a resolver el problema de optimización específico, eliminando a los candidatos con rasgos menos favorables y abriendo rutas de exploración hacia nuevos tipos de candidatos. De este modo, cada nueva generación se construye sobre la base de los rasgos más deseables de la previa. Eventualmente, la población inicial evoluciona fortaleciendo la presencia de aquellas características más buscadas y reduciendo la de las indeseadas, hasta lograr una solución óptima y la iteración acaba.

Estos algoritmos de búsqueda permiten “barrer” amplísimos espacios paramétricos para elevar el nivel de confianza de que la solución es un óptimo global y no solo local. A diferencia de los métodos más convencionales que siguen la pendiente de la función objetivo, estos algoritmos –que pueden incluir a los anteriores– pueden explorar posibilidades de intrincadas cimas y simas en topografías matemáticas considerablemente abruptas. De cualquier forma, nunca se puede lograr seguridad absoluta de un óptimo global cuando se trata de problemas de significativa no-linealidad, y el nivel de confianza y la precisión de la solución depende del número de generaciones y/o iteraciones permitidas en cada búsqueda. En tanto los algoritmos genéticos incluyen un grado aleatorio de búsqueda, los refinamientos a un alto grado de precisión no son inmediatos y tienden a ser mucho más lentos que los basados exclusivamente en los métodos de seguir la pendiente.

La velocidad de convergencia puede ser mejorada notablemente estrechando los criterios de selección en cada fase de la búsqueda, de modo que cuando la población de candidatos de una generación ha logrado ciertas características deseadas, o cuando la búsqueda se ha estabilizado en torno a un área cercana a un posible óptimo global, sin mayores avances entre una generación y otra, se puede recurrir a tamices más finos y exigentes de selección y/o se pueden escoger para la mutación a subconjuntos más pequeños.

Cuando no hay mejoras significativas con el procedimiento de selección usado repetidamente en sucesivas generaciones, la base de caracteres existente entre los candidatos como tales es insuficiente para la exploración, inclusive con *crossovers*. Entonces son las mutaciones benéficas las que pueden sacar al algoritmo de su empantanamiento. Si no son beneficiosas, las mutaciones rápidamente desaparecen en la selección, si lo son, continuarán acercando a los candidatos al óptimo hasta que una nueva mutación es requerida. La tasa de mutación puede incrementarse para acelerar la búsqueda pero al riesgo de no dar tiempo suficiente para que la mutación se extienda entre la población y se deje sin explorar amplios “terrenos” donde podría estar el óptimo global²¹.

En el caso de esta estimación de ecuaciones simultáneas restringidas que se volvió no-lineal en parámetros, las distintas iteraciones de Mínimos Cuadrados en Tres Etapas, se utilizaron secuencialmente como valores iniciales a los mejores resultados de tres diferentes fuentes:

- los mejores resultados con un criterio global
- los mejores resultados de cada ecuación individual, y
- las mejores estadísticas t para cada parámetro

Dentro de ciertos límites arbitrarios, los vectores de los valores iniciales para corridas subsecuentes fueron una mezcla de las estimaciones seleccionadas.²²

El criterio global fue una combinación del valor de la función objetivo, los estadísticos de Durbin y los R-cuadrados de cada ecuación y las estadísticas- t de los parámetros más importantes. Los pesos en esta función de criterio cambiaron con

²¹ Dorsey, R. E. y W.J. Mayer (1994) Optimization utilizing genetic algorithms, en Johnson, J.D. y A. B. Whinston (Ed.) (1994) Advances in artificial Intelligence in Economics, Finance and Management, JAI Press.

²² “Transmutar” en la terminología de los AG. El procedimiento alcanza la “convergencia” en el sentido de los AG, i.e., que la selección de los vectores de coeficiente tienden a parecerse, pero no en el sentido de que siempre obtienen mejores estadísticas.

las iteraciones en tanto aparecía evidencia del deterioro o el mejoramiento irrelevante de las estadísticas. Sin embargo, el cuidado especial en los síntomas de autocorrelación fue una constante.

Aunque el procedimiento no garantiza convergencia y la arbitrariedad del criterio no permite un alto nivel de automatización, el resultado final muestra un mejoramiento significativo con respecto a las regresiones originales. Por construcción, el algoritmo escoge los estimadores con los estadísticos-t más fuertes posibles, dada la estructura de los datos y la especificación seleccionada, con importantes logros en eficiencia, al menos para el grupo de parámetros más relevantes. Nótese, sin embargo, el riesgo de sobrestimación del valor absoluto de cada parámetro implícito en el mecanismo de selección basado en estadísticos-t. La contraparte de este riesgo es la ventaja de la estimación conjunta en sí misma: simplemente no es posible empujar arbitrariamente cualquier parámetro hacia arriba sin cambiar la estimación de cada ecuación y eventualmente echar a perder la bondad de ajuste de las regresiones.

7. Los costos de las restricciones y la bondad de la estimación

El cuadro 2 muestra los estadísticos básicos del modelo restringido en comparación con otras dos versiones: una sin restricciones sobre los parámetros pero que usa la matriz de covarianza de la estimación restringida como pesos para la tercera etapa de la estimación (MCTE) y la otra “completamente” no restringida²³. El valor de la función objetivo es virtualmente el mismo, pese a los problemas de comparabilidad, y varias estadísticas para las ecuaciones mejoran significativamente, especialmente aquellas relacionadas con los síntomas de autocorrelación. En contraste con las estimaciones no restringidas, todos los estadísticos de Durbin del modelo restringido son confiables dentro de márgenes razonables y los R-cuadrados están en un rango entre 0.34 y 0.87 que es más bien alentador en lo concerniente a ecuaciones en tasas de variación y no en niveles.

Sin embargo, el costo de restricción aparece en el grado de importancia de los parámetros. Con el modelo “completamente” no restringido el 53% de los 133 parámetros son significativos en el nivel del 10%, mientras con el modelo restringido, solamente el 49%.

²³ Rigurosamente hablando, todos los modelos son restringidos de algún modo, y la mayoría del tiempo, esas restricciones no son explícitas.

Cuadro No. 2
Comparación entre estimaciones restringidas y no restringidas

Ecuaciones	Restringida		Var. Restringida		No Restringida	
	R-Cuadr.	DW	R-Cuadr.	DW	R-Cuadr.	DW
Inflación	0.88	1.93	0.85	1.75	0.85	1.7
Crecimiento	0.84	2.01	0.87	2.09	0.87	2.0
Pobreza	0.66	1.99	0.70	2.18	0.70	2.1
Interés	0.85	2.19	0.99	2.72	0.99	2.7
Reservas internacionales	0.34	1.86	0.37	1.80	0.37	1.8
Fiscal	0.43	1.99	0.30	2.24	0.30	2.2
Tarifas	0.48	1.87	0.47	1.71	0.47	1.7
Impuestos	0.44	2.10	0.41	2.28	0.41	2.2
Expectativas inflacionarias	0.98	1.91	0.98	1.98	0.98	1.9
Expectativas de crecimiento	0.96	1.84	0.96	1.75	0.96	1.7
Expectativas de pobreza	0.89	1.89	0.91	1.74	0.91	1.7
Expectativas fiscales	0.96	1.91	0.96	1.56	0.96	1.5
Expectativas cambiarias	0.96	1.96	0.96	1.57	0.96	1.5
Expectativas monetarias	0.93	1.94	0.93	2.01	0.93	2.0
Términos de intercambio	0.82	2.11	0.99	1.62	0.99	1.6
Financiamiento externo	0.98	1.83	0.96	0.24	0.96	0.2
Producción petrolera	0.95	2.03	0.99	1.18	0.99	1.1
Función objetivo	765		764.992		764.998	

No existe un test concluyente para certificar la suficiencia de esta estimación, pero, para explorar más adelante los costos de la restricción, podemos ver en el cuadro 3 los resultados de la prueba J de McKinnon y Davidson.

Básicamente, estas pruebas son los valores p para la significancia estadística del coeficiente en la regresión de los residuos de cada regresión contra las diferencias entre los estimadores del modelo probado y una alternativa. Mientras más alto es el valor, es más probable que el coeficiente sea diferente a cero y, por lo tanto, el modelo alternativo explica algunos movimientos en las variables que el modelo probado no puede explicar. Desafortunadamente, dos advertencias aparecen en la aplicación de esta prueba del modelo: una, que está diseñado para regresiones individuales, no para estimaciones conjuntas, y dos, que los resultados son asintóticos y tenemos una muestra pequeña. Surgen problemas adicionales en la prueba del modelo alternativo, si los resultados no son confirmatorios o ambiguos y cuando no hay una teoría definitiva al respecto²⁴. Sin embargo, para tener una idea

²⁴ Como revisión de estudios para referencia, ver McAleer, M. "Sherlock Holmes y Search for Truth: A diagnostic Tale" en Oxley, L. et al. (1995), "Surveys in Econometrics" Basil Blackwell. Por otro lado, Zheng, J. (1996), "A Consistent Test of Functional Form Via Non-Parametric Estimation Techniques", Journal of Econometrics 75, p. 263-289, propone una prueba de especificación mucho más general contra todas las desviaciones posibles del modelo probado, usando alternativas no paramétricas. Sin embargo, se trata todavía de una opción de ecuación individual y con una muestra típica del tamaño requerido en las estimaciones de kernel (en las simulaciones de muestra pequeña reportadas, $n=100$).

de las pérdidas en la estimación con las restricciones, asumamos un criterio arbitrario para “dominancia” de un modelo sobre el otro: si el valor p de uno es mayor que el 50% y el del otro es menor, o si el radio entre ambos valores p es mayor que 100, el modelo probado “domina” a su alternativa, si los dos son menores del 30%, ninguno tendrá ventaja sobre el otro.

Sin embargo, podemos ver en el cuadro que, aún si no es concluyente, tenemos alguna evidencia favorable para nuestras restricciones. En 8 de los 17 casos, el modelo restringido tiene alguna ventaja y el modelo no restringido solamente en 3. Considerando solamente las 6 ecuaciones medulares, las cosas están menos claras: tenemos solo 2 ecuaciones con suficiente ventaja para cada aplicación. No obstante, recordemos que las ecuaciones en las cuales la versión no restringida tiene cierta “dominancia” son aquellas en las que el modelo restringido tiene muy alta bondad de ajuste. (R-cuadrados de 0.84 y 0.85 para crecimiento e intereses, respectivamente) y, en el caso de la ecuación de tasas de interés, hay signos apreciables de autocorrelación sin corrección en el modelo no restringido (DW=2.7).

Cuadro No. 3

Comparación entre Modelos Restringidos y no Restringidos

PRUEBA J			
Ecuación	A	B	Dominancia
Inflación	0.470	0.002	Restringido
Crecimiento	0.001	0.989	No Restringido
Pobreza	0.002	0.017	Ninguno
Interés	0.000	0.905	No Restringido
Externo	0.058	0.217	Ninguno
Fiscal	0.782	0.000	Restringido
Tarifas	0.583	0.114	Restringido
Impuestos	0.556	0.203	Restringido
Expectativas inflacionarias	0.217	0.577	No Restringido
Expectativas de crecimiento	0.841	0.401	Restringido
Expectativas de pobreza	0.025	0.954	No Restringido
Expectativas fiscales	0.661	0.039	Restringido
Expectativas cambiarias	0.507	0.030	Restringido
Expectativas monetarias	0.764	0.307	Restringido
Términos de intercambio	0.000	0.000	Ninguno
Financiamiento externo	0.000	0.000	Ninguno
Producción petrolera	0.000	0.000	Ninguno

- a: valor $p =$ no restringido - restringido explica los residuos restringidos.
 b: valor $p =$ no restringido - restringido explica los residuos no restringidos.
 Dominio: si el valor $p > .5$ y el otro es $< .5$ o si el radio es > 100 .
 Ninguno: si ambos valores p son $< .3$.

Terminaremos nuestra discusión acerca de las propiedades estadísticas de la estimación, refiriéndonos a la precisión de la predicción, con una breve referencia a algunos de los índices de Theil para el centro del modelo. Usando la descomposición de Theil del error cuadrático medio, podemos ver las fuentes de la incompatibilidad entre valores actuales y estimados, las proporciones de varianzas debidas a sesgo, regresión y perturbación, como se conocen en la literatura²⁵. El componente de disturbio o perturbación representa la fuente no sistemática de error y es deseable tener los valores cerca de 1. La proporción de sesgo mide el error sistemático como una desviación del estimador promedio del valor promedio efectivo de la variable; si no está cerca a cero, el modelo debe ser revisado. La proporción de regresión mide otras fuentes de error sistemático derivadas del hecho de que el coeficiente de la regresión de los valores reales en los valores ajustados es diferente de 1, y si este componente es demasiado grande, el modelo puede presentar problemas. No tenemos un test para el modelo completo, pero podemos tener una idea del potencial y de las limitaciones de las estimaciones, realizando un breve análisis ecuación por ecuación. En todas las ecuaciones, la parte de error debido al sesgo en la estimación es irrelevante y la parte más importante está explicada por la proporción de perturbación. Excepto en el caso de la ecuación de la tasa de interés, la parte no sistemática del error cuadrático medio es más que el 92%, sugiriendo una estimación prometedora²⁶. La última columna muestra la versión no restringida del coeficiente de desigualdad de Theil (1961), en donde valores cercanos a cero indican un ajuste perfecto²⁷.

Cuadro No. 4

Descomposición de Error Cuadrático Medio

Descomposición de Theil	Proporción Sesgo	Proporción Regresión	Proporción Disturbio	Desigualdad de Theil	Coefficiente Correlación
Inflación	0.0001954	0.0021904	0.99761	0.18387	0.93571
Crecimiento	0.0000548	0.073816	0.92613	0.20485	0.91648
Pobreza	0.0002656	0.0045391	0.9952	0.32961	0.81157
Interés	0.0020766	0.38855	0.60938	0.31028	0.92085
Reserva Internacional	0.0012851	0.0074332	0.99128	0.49278	0.58228
Fiscal	0.0002749	0.024142	0.97558	0.431	0.65511

²⁵ Estoy siguiendo a Kennedy (1998), capítulo 18 y a Granger y Newbold, capítulo 9.

²⁶ Pindyck R. y Rubinfeld (1998), p. 385, presentan otra descomposición de Thiel en sesgo, varianza y covarianza. La interpretación de esta descomposición es muy controvertida. Granger, C. y P. Newbold (1986), p. 286 argumentan que la interpretación es simplemente imposible porque las proporciones dependen (especialmente las dos últimas) de las características inherentes de las series involucradas. Clemens, M. y Hendry, D. (1998), atribuyen esta imposibilidad a la no monotonidad de estos índices con respecto al error cuadrático medio.

²⁷ Ver Greene (1997), p. 373. Esta versión es preferible porque depende monótonicamente del error cuadrático medio, ver Clements y Hendry (1998), p. 65

Otro aspecto a ser considerado en la evaluación de un modelo es su habilidad para capturar los puntos de viraje de tendencia de las series. Ese tipo de información no puede inferirse de los estadísticos usuales. Aplicaremos los índices de Theil a las diferencias de las variables reales y estimadas para medir la coincidencia de la dirección de los movimientos de las variables. En este caso, el cuadro 5 se refiere a las segundas diferencias de las variables de los logaritmos y, en general, están muy bien capturadas por las estimaciones. Con la excepción de la inflación y las reservas internacionales, las correlaciones son más bien altas, el índice de desigualdad refleja un nivel bajo de error cuadrático medio. Más aún, excepto -de nuevo- en el caso de inflación, en todo el resto de estimaciones, la proporción de perturbación -la fuente no sistemática- explica más del 60% del error cuadrático medio. Adicionalmente, el componente de sesgo es virtualmente cero en todos los casos. Todo esto sugiere que el modelo puede capturar la mayoría de los movimientos cuantitativos y cualitativos de las variables.

Cuadro No. 5

Prueba de Puntos de Viraje

Theil	Proporción Sesgo	Proporción Regresión	Proporción Disturbio	Desigualdad de Theil	Coefficiente Correlación
Inflación	0.0018363	0.58531	0.41285	0.66327	0.1407
Crecimiento	0.0005399	0.11369	0.88577	0.5235	0.47201
Pobreza	0.0000003	0.28182	0.71818	0.47126	0.81432
Interés	0.0001541	0.28966	0.71019	0.50435	0.79896
Internacional	0.0054727	0.15155	0.84297	0.67672	0.16482
Fiscal	0.0000956	0.39568	0.60423	0.44523	0.86371

Resta revisar el funcionamiento del modelo, como un todo, en términos del contenido económico de sus simulaciones, lo cual rebasa el espacio reservado para este artículo. La siguiente sección, sin embargo, pasa revista a cada estimación de las ecuaciones para tener una idea de la relación económica que el modelo captura.

7. Las Ecuaciones

7.1. Inflación

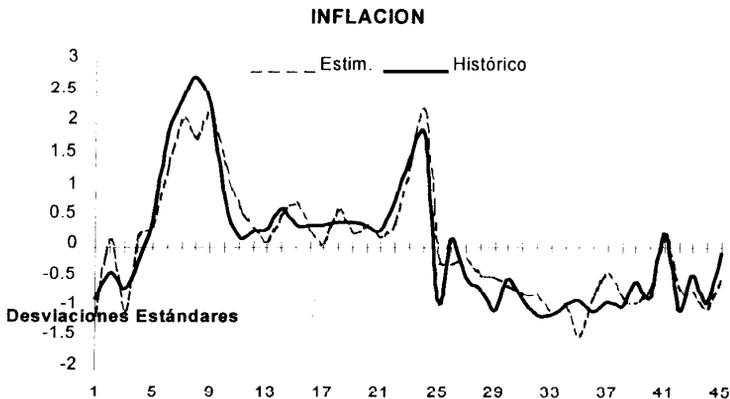
Como reportamos en el cuadro 6 y puede ser visto en el gráfico 2, la estimación de la inflación es una de las que mejor ajusta entre las ecuaciones medulares ($R^2=0.88$). Más aún, a pesar de un valor relativamente bajo respecto a las otras

ecuaciones, el índice Theil en diferencias, sugiere que el modelo captura claramente los puntos de viraje y el orden de magnitud de los valores extremos presentes en el período muestral.

Nuestro modelo asume que las empresas tienen poder de mercado en esta economía y que fijan precios con un margen sobre los costos directos. Como variante de la regla convencional de precios de Lerner, sin embargo, exploraremos la hipótesis de que las elasticidades no son invariantes en el tiempo -como algunas veces está implícitamente asumido-, sino que cambian con la demanda efectiva específica para cada producto, considerando el poder adquisitivo de los consumidores potenciales heterogéneos. Más aún, las empresas solo tienen una idea imperfecta de los movimientos de su demanda relevante y se guían en sus decisiones de precios a través de indicadores agregados como la oferta monetaria.

Gráfico No. 2

Simulación Histórica para Inflación



Luego, la ecuación para inflación contiene elementos de empuje de costos, tirón de demanda e inercia, tomando en cuenta, de alguna manera, las diferentes explicaciones encontradas en la literatura.

La estimación confirma varios estudios de la economía ecuatoriana que reconocen que durante el período en cuestión, la inercia es una fuerza muy poderosa en el movimiento de los precios, con una elasticidad de 0.76 de la inflación actual

con respecto a su último valor. Sin embargo, en contraste a la mayoría de explicaciones acerca de este tema, la estimación sugiere que el segundo factor más importante en la evolución del proceso inflacionario está relacionado con cambios en la distribución del ingreso. La pauperización de la sociedad implica mercados más estrechos, lo cual se da en el marco mayoritario de "mercados de vendedores", con una tradición que privilegia ganancias en precios antes que en masa de ventas. De este modo, las empresas alzan sus precios, apostando su destino al poder de compra de los segmentos de ingresos altos en sus mercados. No obstante, la reducción de los mercados potenciales constituye por sí mismo una limitación a esta práctica. De las estimaciones mostradas en el cuadro 6 podemos deducir que existe una fuerte relación entre inflación y pobreza: la regresión muestra elasticidades de 0.3 y 0.2 para el nivel de pobreza contemporáneo y esperado, respectivamente.

Combinados en términos corrientes y esperados, una expansión monetaria de una desviación estándar tiene menos que 0.11 desviaciones estándares como respuesta directa en precios, por lo que parece que los factores monetarios son importantes pero no tanto como el impacto de los costos, especialmente aquellos que son producto de las devaluaciones y de los cambios en el precio de la gasolina. Los salarios, los intereses y los impuestos parecen que juegan un papel menor entre los costos.

El caso de los salarios es, sin embargo, muy relevante para el debate sobre políticas de reactivación y tiene importante evidencia fuera de la muestra. Posiblemente el episodio más notorio se dio después del último régimen militar. El primer gobierno constitucional después de casi una década firmó un decreto doblando el salario mínimo y reduciendo la semana laboral de 44 a 40 horas en 1980, con un efecto casi imperceptible en los precios (un incremento de un par de puntos en la inflación anual) y desempleo. Desde entonces, cuando la proporción salarial del ingreso nacional alcanza un pico de 33% del PIB, los salarios han experimentado un deterioro continuo hasta el 11% del PIB a comienzos de los noventa, con niveles de inflación que alcanzaron el 100%.

Finalmente, nótese que el coeficiente para tarifas incluye el efecto en costos a través de insumos importados y de cambios en la programación de demanda debido al efecto de sustitución en bienes finales.

Cuadro No. 6
Resultados econométricos para inflación

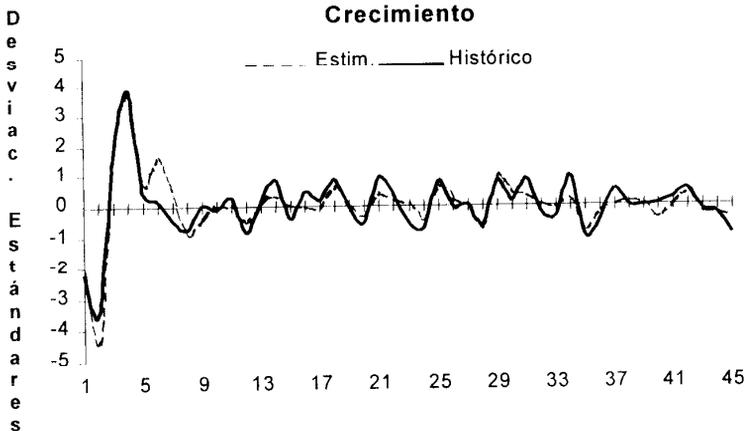
Variables	Ecuación de inflación		
	Parámetro	Error Estándar	Estadístico-t
Inflación rezagada	0.763	0.063	12.145
Pobreza	0.288	0.053	5.441
Pobreza esperada	-0.197	0.050	-3.963
Devaluación	0.176	0.055	3.191
Moneda	0.108	0.046	2.354
Gas	0.090	0.046	1.956
Salario	0.053	0.047	1.125
Tarifa	0.049	0.044	1.113
Impuestos	0.048	0.040	1.193
Interés	0.031	0.047	0.663
Moneda esperada	0.017	0.046	0.366
Devaluación rezagada	0.002	0.005	0.408
Constante	-0.023	0.047	-0.478
Autocorrelación	0.135	0.130	1.042

7.2. Crecimiento

Esta ecuación constituye otro de los mejores ajustes de la estimación conjunta ($R^2=0.84$) y, nuevamente, predice muy bien los puntos de viraje de las series reales, a pesar de que al principio de la muestra se incluye, por ejemplo, los serios estragos sufridos en la producción por efecto del terremoto de 1987. El gráfico 3 ilustra la bondad del ajuste de la estimación.

No es una sorpresa que la elasticidad más alta en la ecuación que explica el movimiento del PIB esté relacionada con la producción petrolera (ver Cuadro 7). Realmente, su valor es el mayor de todos los parámetros de las ecuaciones consideradas aquí. Como mostró el terremoto de 1987, una gran caída en la producción petrolera implica una gran caída en todos los niveles de actividad, eso no solamente se debe a los encadenamientos hacia delante y hacia atrás a la *Hirschman*, sino también a todos los multiplicadores del ingreso que esta actividad tiene sobre el resto de la economía, a través de las exportaciones y del sector público. Parte del efecto de la venta petrolera es capturado también por el coeficiente de términos de intercambio: uno de sus componentes principales es el precio del crudo. El siguiente factor en importancia es el crédito como facilitador del crecimiento, representado por la expansión de la oferta de dinero en el período anterior.

Gráfico No. 3
Simulación histórica para crecimiento



Explorando el tirón de demanda, asumimos que las empresas pueden perfectamente discriminar entre los principales mercados (externos, domésticos-privados y demandas fiscales). La elasticidad precio de la producción, entonces, captura la consecuencia en cantidades de las decisiones de precios hechas por las empresas, dada la forma de la demanda que cada uno enfrenta domésticamente. A pesar de esto, las expectativas de las condiciones de distribución también afectan a las decisiones de la producción para el siguiente período y representa un factor determinado para las decisiones de precios.

Las otras fuentes principales de la demanda son el sector público, representado por las elasticidades con respecto al gasto público y la inversión pública, y el entorno internacional, capturado por la elasticidad con respecto a la tasa de cambio. Este último término, también contiene, con el signo opuesto, el efecto de los costos de la producción. Los otros costos a ser considerados son los impuestos, la tasa de interés y el precio de la gasolina. El efecto de los salarios no aparece significativamente diferente de cero, bajo varias especificaciones intentadas en las primeras etapas de la estimación. Asumimos que el impacto de estos costos está relacionado con mercados diferentes de aquellos capturados por el coeficiente de la inflación.

Cuadro No. 7
Resultados econométricos para crecimiento

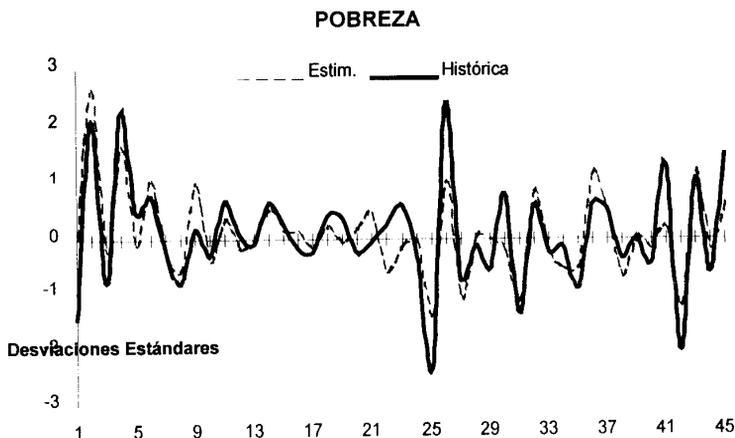
Variables	Ecuación de crecimiento		
	Parámetro	Error Estándar	Estadístico-t
Petróleo	0.923	0.050	18.509
Moneda rezagada	0.248	0.053	4.720
Devaluación	0.129	0.048	2.659
Términos de comercio	0.086	0.045	1.908
Gasto fiscal	0.081	0.058	1.405
Inversión pública	0.067	0.046	1.450
Inflación	-0.066	0.047	-1.389
Impuestos	-0.042	0.059	-0.714
Pobreza esperada	-0.037	0.055	-0.669
Crecimiento rezagado	0.026	0.014	1.891
Interés rezagado	-0.011	0.049	-0.221
Gasolina	-0.003	0.037	-0.068
Constante	-0.016	0.034	-0.472
Autocorrelación	-0.610	0.090	-6.774

7.3. Pobreza

Esta ecuación no tiene el mismo nivel de bondad de ajuste que las anteriores ($R^2 = 0.66$). Sin embargo, todavía presenta un buen seguimiento de los puntos de viraje y los órdenes de magnitud de los cambios (ver gráfico 4).

De acuerdo a la estimación, el factor más importante en los movimientos de corto plazo en la incidencia de la pobreza es la tasa de devaluación, con una elasticidad de 0.41 (cf. Cuadro 8). La devaluación cambia los precios relativos entre sectores transables y no transables y, consecuentemente, la demanda de trabajo y la generación de ingreso asociada. Los sectores transables, dados los patrones de inserción en la economía global, son intensivos en mano de obra no calificada y barata, mientras que los sectores no transables -fomentados en general por el esquema de sustitución de importaciones y por el crecimiento del sector público- tiene una intensidad relativa en trabajadores con un nivel de educación más alto.

Gráfico No. 4
Simulación Histórica para pobreza



En una economía con niveles altos de desempleo y subempleo, la explicación típica a lo Hecksher-Ohlin-Samuelson-Rybczynski (HOSR, en adelante) no es la más adecuada: en lugar de los mejoramientos previstos en la distribución del ingreso, el acelerado proceso de devaluación y las reformas orientadas a la globalización del mercado han definido una polarización aguda de la sociedad. La explicación básica es que la falta de empleos para algunos de los escalafones más calificados de la oferta laboral, obliga a estos trabajadores a buscar trabajo entre la demanda potencial de trabajadores menos calificados, copando estos últimos segmentos del mercado laboral. Este efecto “cascada” se repite sucesivamente dejando a los trabajadores no calificados aún más vulnerables que antes.

La siguiente variable explicativa es el movimiento del salario mínimo, actual y rezagado un período: en total, una desviación estándar de incrementos de salarios puede tener una desviación estándar de 0.35 en la reducción de la incidencia de la pobreza. El salario mínimo legal tiene una incidencia que va más allá de la gente que directamente cubre, porque constituye una referencia para contratos de ingresos para los sectores formal e informal, y por los efectos amplificadores sobre el sector informal.

Capturando la estructura de los contratos escalonados, sorpresas en la tasa de inflación esperada constituyen el siguiente factor en importancia, con una elasticidad del 0.25. Ese valor refleja los diferentes grados de impacto que el incremento no esperado en precios tiene entre la población con ingresos fijos y los otros segmentos de la población.

La elasticidad de la pobreza con respecto a la tasa de interés captura el papel del conflicto distributivo entre los más pobres de la población y los sectores rentistas de la economía.

El efecto conjunto del nivel de la actividad económica es alrededor de -0.16, incluyendo la elasticidad actual y la rezagada de la pobreza con respecto al PIB. Entre los otros diferentes componentes, el empleo y el ingreso generado por el sector público representa un efecto adicional de alrededor de 0.05 en la reducción de la pobreza.

La incidencia de la pobreza presenta un nivel importante de inercia (0.16), efecto que puede ser más que compensado por la autocorrelación, cuyo coeficiente es suficientemente grande y negativo (-0.4).

Cuadro No. 8

Resultados econométricos para pobreza

Ecuación de pobreza			
Variables	Parámetro	Error Estándar	Estadístico-t
Devaluación	0.407	0.087	4.662
Salario	-0.251	0.076	-3.321
Inflación	0.248	0.617	0.401
Inflación rezagada	-0.248	0.617	-0.401
Interés	0.246	0.076	3.254
Pobreza rezagada	0.161	0.142	1.134
Crecimiento rezagado	-0.118	0.088	-1.347
Salario rezagado	-0.097	0.078	-1.249
Crecimiento	-0.044	0.078	-0.562
Gasto fiscal rezagado	-0.034	0.104	-0.331
Inversión pública rezagada	-0.013	0.070	-0.186
Constante	0.065	0.058	1.125
Autocorrelación	-0.402	0.208	-1.934

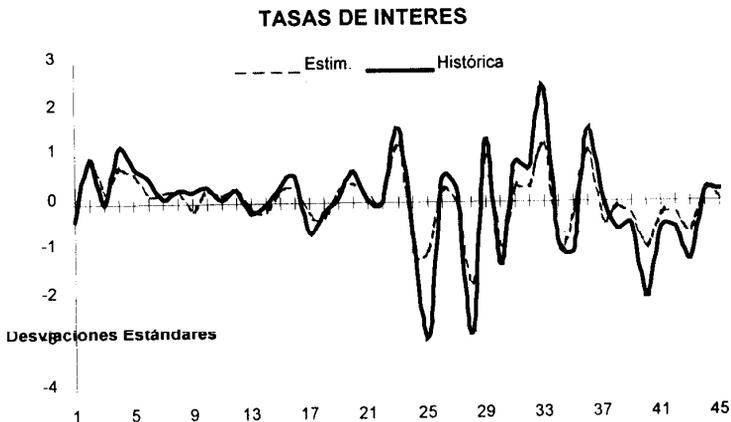
7.4. Ecuación para Tasa de Interés

La estimación de cambios en la tasa de interés tiene un coeficiente de determinación relativamente alto ($R^2 = 0.85$). Como hemos visto, la regresión no

solamente sigue los puntos de viraje real con gran exactitud, sino también puede capturar los cambios cualitativos, como el cambio en el nivel de volatilidad debido a quiebres en la política económica en 1992 (estabilización con ancla de la tasa de cambio), como puede ser visto en el gráfico 5.

Gráfico No. 5

Simulación histórica para tasas de interés



Esta variable condensa muchas fuerzas especulativas en el mercado y es por eso que la mayoría de sus movimientos están regidos por variables de expectativas. En tanto que el lado derecho de la ecuación mide los cambios en la tasa de interés nominal, la tasa esperada de inflación es tomada en cuenta en el lado izquierdo, y ciertamente, tiene un efecto importante con una elasticidad de 0.17 (ver cuadro 9). La oferta de dinero incrementa la cantidad de recursos para el mercado de préstamos y, por consiguiente alivia la presión de las tasas de interés.

La importante presencia de la devaluación esperada captura el efecto de sustitución que cambios en la tasa relativa de retorno pueden tener sobre activos denominados en moneda doméstica contra colocaciones en moneda extranjera.

Del lado de la demanda, las empresas solicitan créditos para cubrir su capital de trabajo de acuerdo con el nivel esperado de actividad y tienen competencia del sector público en su necesidad de financiar sus déficits.

El parámetro autorregresivo y el término de autocorrelación son positivos, lo cual sugiere un nivel importante de inercia para las tasas de interés nominal y un alto grado de persistencia para cualquier choque en el mercado crediticio.

Cuadro No. 9

Resultados econométricos para tasa de interés

Ecuación de tasa de interés			
Variables	Parámetro	Error	
		Estándar	Estadístico - t
Inflación esperada	0.168	0.119	1.411
Moneda	-0.117	0.060	-1.959
Devaluación esperada	0.102	0.088	1.161
Balance fiscal esperado	-0.088	0.084	-1.043
Crecimiento esperado	0.072	0.081	0.884
Balance fiscal	-0.069	0.077	-0.893
Interés rezagado	0.011	0.014	0.837
Constante	0.000	0.151	0.000
Autocorrelación	0.505	0.074	6.849

7.5. Ecuación de Reservas Internacionales

La estimación de la ecuación de reservas internacionales presenta resultados menos favorables que el resto del sistema, especialmente los índices de la bondad de ajuste ($R^2=0.34$). Sin embargo, dado que estamos manejando una ecuación en tasas de cambio y que los estimados son capaces de rastrear a la mayoría de los puntos de viraje de las series, podemos estar relativamente confiados en el potencial del modelo para explicar los amplios movimientos de este índice, como lo ilustra el gráfico 6, aún cuando tenemos que manejar algunos niveles de ruido. Parece entonces, que tenemos suficientes elementos para confiar en la exactitud de los virajes en el tiempo de los estimados y de su orden de magnitud²⁸.

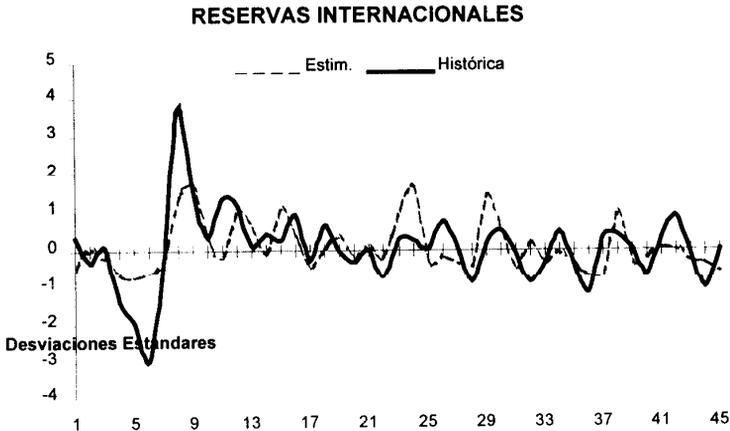
El cuadro 10 muestra que las variables más importantes para los movimientos del balance externo²⁹ están relacionadas a las exportaciones netas del petróleo y sus derivados, es por eso que el coeficiente de la producción petrolera (0.33) y el precio doméstico de la gasolina (capturando el efecto de sustitución, una elasticidad de 0.26) son tan altos. Además, detrás de los movimientos de la variable "términos de intercambio" (un coeficiente de 0.18) el precio internacional del crudo juega un papel importante.

²⁸ Hay que considerar, sin embargo, que esto es un índice y su relevancia es más bien cualitativa.

²⁹ Medidos como porcentaje de M2, como se señaló anteriormente.

Gráfico No. 6

Simulación histórica para Reservas Internacionales



Consistentemente con la ecuación de tasas de interés, la especulación puede afectar fuertemente a la reserva monetaria. Las expectativas de devaluación en un futuro cercano pueden causar un ataque especulativo que puede debilitar al sector externo casi en la misma cantidad (-0.23) que lo que supuestamente la devaluación pretendía mejorar (0.24) a través de un incremento en las exportaciones netas.

Los cambios en las importaciones están determinados por la tasa de cambio, los aranceles o tarifas y el nivel de actividad. El primer factor está ya tomado en cuenta y dominado por el efecto positivo en las exportaciones. La elasticidad con respecto a las tarifas es más bien bajo, 0.016 y la elasticidad del ingreso es 0.2.

El curso de las exportaciones no solamente depende de la tasa de cambio: las empresas tienen que manejar sus costos, aunque no necesariamente del mismo modo que lo hacen con la producción para el mercado doméstico. Dos tipos importantes de costos están ya considerados y dominados por otros factores: la inflación importada a través de la tasa de cambio y el precio de la energía, a través del precio de la gasolina. Se mantienen otros dos costos básicos: el salario, con un coeficiente de -0.13 y la tasa de interés. Al considerar este último factor, tenemos que incluir otros efectos, como la atracción de capital extranjero de corto plazo que puede generar altas tasas de interés. Capturando el efecto en los mercados financieros y los efectos de sustitución, la tasa de inflación tiene un coeficiente de -0.029.

Cuadro No. 10

Resultados econométricos de las Reservas Internacionales

Ecuación de reservas internacionales			
Variables	Parámetro	Error	
		Estándar	Estadístico - t
Petróleo	0.333	0.180	1.849
Gasolina	0.258	0.136	1.896
Devaluación rezagada	0.237	0.121	1.953
Expectativas de devaluación	-0.225	0.110	-2.049
Reservas internacionales rezagadas	0.223	0.137	1.628
Crecimiento	-0.200	0.174	-1.152
Términos de intercambio	0.182	0.107	1.706
Salario	-0.125	0.106	-1.179
Deuda	0.061	0.091	0.674
Expectativas de pobreza	-0.042	0.127	-0.329
Inflación	-0.029	0.134	-0.220
Interés	0.022	0.104	0.214
Tarifas	0.016	0.109	0.144
Constante	0.044	0.107	0.409
Autocorrelación	0.000	0.178	0.000

El flujo de capital neto para el sector público (desembolsos menos el servicio de la deuda externa) tiene una elasticidad de 0.06.

Finalmente pero no de menor importancia, las expectativas de la incidencia de la pobreza tienen un efecto debilitador en el balance externo (-0.04). Los inversionistas extranjeros están monitoreando de cerca la estabilidad social de los mercados emergentes y los signos de polarización y la agitación social pueden provocar que dirijan sus capitales a lugares más seguros.

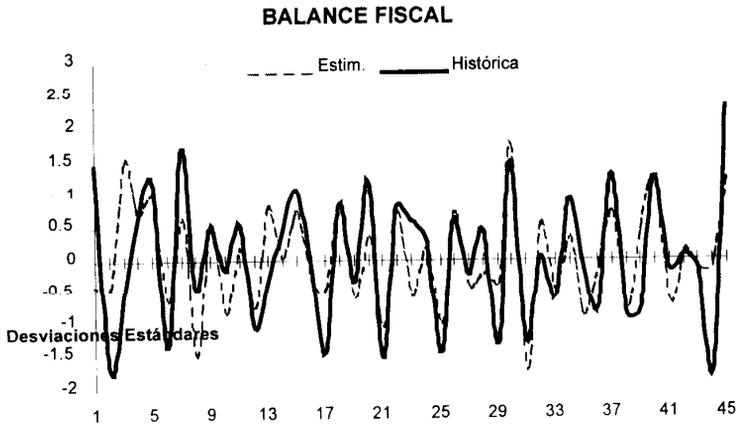
Nótese que los términos autorregresivos también sugieren un grado importante de inercia.

7.6. Ecuación del Balance Fiscal

La estimación de la ecuación del balance fiscal captura la mayoría de las variaciones y su rango aún con la evidencia de una presencia importante de perturbaciones estocásticas en el comportamiento de esta variable ($R^2 = 0.43$). Más aún, mirando al gráfico 7 que presenta la estimación y la variable real, parece que el modelo puede predecir con gran exactitud varios puntos extremos de la muestra.

Gráfico No. 7

Simulación Histórica del Balance Fiscal



El primer término que aparece en el cuadro 11 representa la elasticidad con respecto a la situación fiscal en el período anterior (0.32), lo que implica un alto grado de persistencia de los choques que afectan el sector público. El signo negativo de la autocorrelación suaviza esos efectos. Pasemos a un análisis más detallado de los resultados econométricos.

En el lado del gasto, en orden de importancia tenemos los siguientes factores:

- Los cambios en las fuentes principales de la demanda pública, en términos reales: gasto fiscal (-0.28) e inversión pública (-0.11)
- El efecto de cambios en el salario mínimo vital (-0.27)
- Gastos adicionales debido al incremento de la pobreza (-0.095)
- El efecto de la inflación (-0.08)

En el lado del ingreso, podemos contar:

- Aquellos factores relacionados con los ingresos petroleros: el precio internacional del petróleo capturado por los términos de intercambio (0.19), el precio doméstico de la gasolina (0.1) y la producción petrolera (0.02). Además, debemos considerar el efecto de una devaluación (0.05) en el cual el ingreso de

las exportaciones domina el efecto negativo debido al servicio de la deuda externa y las importaciones del sector público.

- La tasa de la tarifa sobre las importaciones (0.13), y en menor importancia, la tasa de impuestos sobre producción doméstica (0.02).
- El efecto de crecimiento del PIB, dado la tasa de impuesto (0.04)
- La financiación externa neta del servicio de la deuda.

Cuadro No. 11

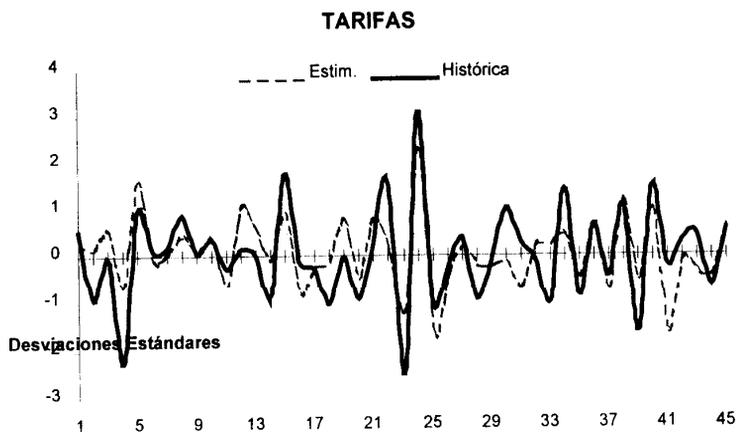
Resultados econométricos del balance fiscal

Ecuación del balance fiscal			
Variables	Parámetro	Error	
		Estándar	Estadístico - t
Balance fiscal rezagado	0.321	0.243	1.324
Fiscal	-0.276	0.128	-2.150
Salario	-0.265	0.140	-1.900
Términos de intercambio	0.187	0.120	1.566
Tarifas	0.131	0.145	0.901
Inversión pública	-0.111	0.119	-0.931
Gasolina	0.097	0.134	0.720
Pobreza	-0.095	0.176	-0.540
Deuda	0.093	0.129	0.721
Inflación	-0.083	0.106	-0.780
Devaluación	0.052	0.053	0.987
Crecimiento	0.046	0.244	0.187
Petróleo	0.023	0.262	0.087
Impuestos	0.021	0.150	0.137
Constante	0.011	0.082	0.135
Autocorrelación	-0.302	0.250	-1.207

7.7. Ecuaciones de tarifas e impuestos

Estas ecuaciones auxiliares nos ayudarán a entender la dificultad de ejecución y recaudación de las principales rentas fiscales. El importante papel de los choques estocásticos en explicar la recaudación de las rentas fiscales ($R^2 = 0.48$ para tarifas y $R^2 = 0.44$ para impuestos) argumenta en favor de nuestra opción de endogenizar estos instrumentos de política para la simulación y control. Sin embargo, se nota que los gráficos 8 y 9 dan a entender que las dos regresiones han captado los movimientos claves de las variables y la mayoría de la evolución en el tiempo de sus puntos de viraje.

Gráfico No. 8
Simulación histórica para tarifas



Los cuadros 12 y 13 muestran que la variable explicativa más relevante en cada ecuación es la endógena rezagada, la cual, a más del término de autocorrelación, puede reflejar un proceso de ajuste parcial (relacionada ambas al atraso en la recaudación de impuestos y reglas contables específicas).

Cuadro No. 12

Resultados econométricos para aranceles o tarifas

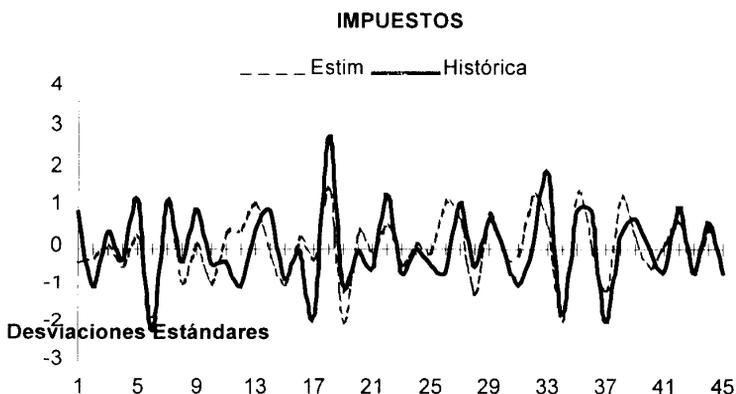
Ecuación para tarifas			
Variables	Parámetro	Error Estándar	Estadístico - t
Tarifa rezagada	-0.529	0.102	-5.170
Reserva internacional rezagada	0.353	0.102	3.450
Crecimiento	-0.311	0.096	-3.228
Devaluación rezagada	0.287	0.108	2.647
Tarifa legal	0.205	0.109	1.878
Gasto fiscal	0.169	0.091	1.865
Interés rezagado	0.095	0.087	1.084
Inflación	-0.088	0.106	-0.826
Inversión pública	0.045	0.095	0.472
Constante	0.075	0.095	0.794
Autocorrelación	-0.018	0.153	-0.120

En ambos casos, tarifas e impuestos, las elasticidades de los ingresos respectivos como una respuesta a cambios en la “tasa legal” son más bien bajos (0.2 para tarifas y 0.1 para impuestos). Las elasticidades bajas son, en parte, debidas a la presencia de términos autorregresivos y de autocorrelación que captura muchos de los efectos del entorno institucional.

El llamado efecto Olivera-Tanzi (esto es, la pérdida del ingreso fiscal debido al desgaste del valor durante el tiempo que toma recaudar los impuestos) es -0.09 para tarifas y -0.05 para impuestos domésticos.

Gráfico No. 9

Simulación histórica para impuestos



El resto de coeficientes capturan los diferentes efectos que varias variables podrían tener sobre el efecto de la tasa legal, especialmente cuando tratamos de discriminar la parte de la base imponible relacionada a actividades del sector público (supuestamente menor tendencia a la evasión), y la evolución de tipos de ingresos de fácil monitoreo (salarios).

Cuadro No. 13
Resultados econométricos de impuestos

Ecuación para impuestos			
Variables	Parámetro	Error Estándar	Estadístico - t
Impuesto rezagado	-0.344	0.301	-1.143
Gasto fiscal rezagado	0.220	0.128	1.711
Interés rezagado	-0.202	0.116	-1.751
Impuesto legal	0.107	0.102	1.048
Salario rezagado	0.100	0.111	0.904
Devaluación rezagada	-0.080	0.105	-0.765
Inflación	-0.053	0.099	-0.537
Constante	0.002	0.073	0.023
Autocorrelación	-0.560	0.269	-2.078

7.8. Expectativas

El tratamiento de las expectativas de los agentes seguirá una forma general que permitirá la adecuada flexibilidad para la simulación de diferentes regímenes de expectativas. Ya que no sabemos cuál es la forma funcional exacta con la que los agentes hacen su proyección, ni las posibilidades de agregación de esas expectativas, usaremos una variable *proxy*. Aún sin pruebas formales, un cuasi-consenso entre econométristas es que una variable *proxy* mala es mejor que la omisión de variables relevantes³⁰. En el caso bajo estudio, no solo existe soporte teórico sino también mucha evidencia anecdótica que las expectativas son importantes.

Las características esenciales de la variable *proxy* deben ser:

- consistencia del modelo
- errores no sistemáticos de predicción
- uso eficiente del conjunto de información disponible al tiempo de la formación de las expectativas.

Bajo estas restricciones más bien débiles, varios regímenes de expectativas pueden ser tratados como casos especiales dentro de eventuales ejercicios de simulación y control. Entre esos tipos de regímenes incluimos: previsión perfecta, diferentes versiones de expectativas racionales, racionalidad restringida y aprendizaje.

³⁰ Ver Greene y Handbook of Econometrics.

La econometría usual para la estimación de modelos de expectativas racionales³¹ está interesada en el modelo real de formación de expectativas, postulando que se lo conoce y es único. Nótese, sin embargo, que aquí solamente necesitamos una variable *proxy* y que dejamos abierto un espectro de posibilidades en torno a la formación real de expectativas. La computación modelo-consistente de valores futuros de las variables requiere formas funcionales no lineales relativamente complejas, usando toda la información disponible en el sistema³². Necesitamos solamente una *proxy* para que nos ayude a entender como las expectativas influyen al resto del sistema y como la economía maneja, en el agregado, la información acerca del futuro y aprende acerca de errores pasados. La consistencia del modelo puede ser asegurada posteriormente en las simulaciones, por ejemplo en un marco del control dinámico en el cual la variable principal será reemplazada por la simulación del modelo de la variable para el período futuro³³.

Siguiendo el espíritu de los métodos estándar usados en econometría con expectativas racionales³⁴, este fue el procedimiento de la estimación:

Primero, construí series de promedios móviles ponderados de la variable en la actualidad, el siguiente período y el subsiguiente, con el vector ponderador (0.1, 0.7, 0.3)³⁵. Esta referencia inicial asume que los agentes tienen una muy buena idea - aunque no perfecta en términos de fechas y exactitud- de lo que está pasando en su esfera específica de actividades. En el agregado, la economía puede entender, como colectivo, la tendencia general y la magnitud de las cristalizaciones de las variables del siguiente período.

El siguiente paso fue usar el estimado de correr mínimos cuadrados en dos etapas (variables instrumentales) de la variable principal contra este promedio móvil ponderado. El propósito de este procedimiento es doble: primero asegura que la *proxy* para expectativa tenga un error medio de cero, y segundo, garantiza que la variable adelantada sea construida exclusivamente con la información disponible al momento de la formación de la expectativa. El procedimiento fue corregido por autocorrelación cuando el valor absoluto de la desviación de 2 del estadístico

³¹ Ver Lovell, M.C. (1986), por ejemplo, y para una forma más sofisticada, Hansen L.P. y T. Sargent (1991).

³² Una aproximación econométrica modelo-consistente para el conjunto de expectativas no solo que podría ser una tarea compleja, sino también irrealizable porque agotaría los grados de libertad disponibles.

³³ Ejercicios de este tipo se hacen en Páez 1999^a.

³⁴ Ver Pesaran, M.H. (1987)

³⁵ Al tratar con tasas de cambio, un simple movimiento promedio podría reflejar muy pobremente la evolución de la variable.

Durbin Watson sea más alta que 0.5, en esos casos, el conjunto de instrumentos corresponde al período previo para evitar inconsistencias. El resultado entonces es una combinación lineal del conjunto de los instrumentos presentes y/o rezagados, que se asemeja mucho al movimiento de la variable en el futuro.

Con estas variables *proxy*, procedimos a estimar las formaciones de expectativas en el marco del modelo de ecuaciones simultáneas con la fórmula:

$$y_t^e = \alpha y_{t+1}^* - \rho (y_{t-1}^e - \alpha y_t) + \varepsilon$$

dónde ρ es el término de autocorrelación que en este caso también funciona como un coeficiente de aprendizaje, y y^* es el estimador modelo-consistente de la variable. es decir, la estimación del valor de la variable del siguiente período, y_{t+1} , dado el conjunto de información disponible al momento, I_t , y^e es la expectativa futura y ε es el ruido blanco. Bajo la versión “débil” de expectativas racionales, el término de aprendizaje, ρ es cero y α es 1. Bajo la versión “fuerte”, con previsión perfecta, tenemos que añadir la imposición que la varianza de ε es cero.

Consideremos otro tipo de expectativas. Con expectativas adaptativas, por ejemplo, asumimos que los agentes revisan sus expectativas basadas en la corrección del error de predicción del período anterior, por lo pueden estar representados por la fórmula:

$$y_t^e - y_{t-1}^e = \beta(y_t - y_{t-1}^e)$$

En relación a nuestra especificación, podemos confirmar que las expectativas adaptativas no son modelo-consistentes. Expectativas adaptativas implicarían que y^* es siempre cero, rechazando ineficientemente toda la información disponible acerca del futuro cercano³⁶. Este caso en especial requiere, además, que el valor absoluto de ρ sea igual al valor absoluto de $(1/(\alpha - 1))$.

El cuadro 14 muestra los resultados de la estimación conjunta de las expectativas. Por construcción, todos los índices de bondad de ajuste, por lo general, son muy altos.

³⁶ Dada la normalización usada aquí, la existencia de una tendencia no implica una subestimación permanente bajo expectativa adaptativas, como lo sugieren la mayoría de libros de texto.

Cuadro No. 14

Resultados econométricos para expectativas

Ecuaciones para expectativas			
Variables	Parámetro	Error Estándar	Estadístico - t
Expectativa de inflación	1.028	0.014	72.490
Autocorrelación	-0.052	0.114	-0.457
Expectativa de crecimiento	1.007	0.023	44.484
Autocorrelación	-0.428	0.110	-3.906
Expectativa de pobreza	1.100	0.064	17.234
Autocorrelación	-0.089	0.174	-0.513
Expectativa de balance fiscal	1.009	0.055	18.248
Autocorrelación	-0.298	0.236	-1.265
Expectativa cambiaria	1.006	0.034	29.917
Autocorrelación	-0.136	0.173	-0.784

7.9. El patrón de los choques exógenos

En un intento por reproducir los pronósticos de los hacedores de política acerca del funcionamiento de las principales variables exógenas que los hacedores de política y los agentes incluyen en sus estrategias, tendremos que tomar en cuenta la parte “previsible” de sus movimientos. Esta especificación permitiría modelar con mucha flexibilidad ciertos casos de expectativas y ciertos escenarios de incertidumbre en ejercicios de control óptimo. Las tres variables exógenas son explicadas por un término autorregresivo, por la autocorrelación y por un componente residual ciclo-tendencia capturado por un polinomio cúbico (ver cuadro 15)³⁷.

³⁷ Aún cuando algunos de los términos de esta especificación no sean estadísticamente diferentes de cero, hacen diferencia en las estimaciones y mantengo la estructura a lo largo de todas las fases de la estimación. Compárese esta opción con la sugerencia de Fair (1984) de un sistema autorregresivo de octavo orden

Cuadro No. 15
Resultados econométricos para choques exógenos

Ecuación de términos de intercambio			
Variables	Parámetro	Error Estándar	Estadístico - t
Constante	-0.10426	1.08495	-0.09610
Tendencia lineal	0.00000	0.16027	0.00000
Tendencia cuadrática	0.00003	0.00669	0.00378
Tendencia cúbica	-0.00001	0.00008	-0.10351
Térm. De intercambio rezagados	0.090060	0.07480	1.21129
Autocorrelación	0.40460	0.07938	5.09718
Ecuación de deuda externa			
Variables	Parámetro	Error Estándar	Estadístico - t
Constante	1.43315	0.76264	1.87919
Tendencia lineal	-0.05499	0.02083	-2.63963
Tendencia cuadrática	0.01690	0.00618	2.73254
Tendencia cúbica	-0.00019	0.00007	-2.82519
Deuda rezagada	0.10090	0.02577	3.91510
Autocorrelación	0.77811	0.02746	28.33510
Ecuación de petróleo			
Variables	Parámetro	Error Estándar	Estadístico - t
Constante	-0.19220	1.01628	-0.18912
Tendencia lineal	0.02432	0.14787	0.16446
Tendencia cuadrática	-0.00023	0.00613	-0.03753
Tendencia cúbica	0.00000	0.00008	-0.02648
Petróleo rezagado	0.09454	0.06187	1.52810
Autocorrelación	0.46525	0.06887	6.75543

8. A modo de síntesis y conclusión

Este artículo ha puesto a consideración del lector una nueva combinación de técnicas para la estimación de modelos complejos utilizando algoritmos genéticos. El procedimiento es laborioso, empezando por el manejo de los datos preliminares, pasando por la construcción y transformación de las variables, el proceso de la especificación y la identificación y, finalmente, la estimación, con varias pruebas estadísticas para cerciorarnos de las bondades del procedimiento escogido. Aunque lejos de perfecto, el modelo presenta características suficientemente confiables y el examen de los resultados ecuación por ecuación, sugiere que es posible decir una historia consistente acerca de los parámetros del modelo.

El propósito final de esta investigación es evaluar los fundamentos técnicos para alistar un modelo apto para instrumentar políticas de estabilización alternativas que incluyan preocupaciones por temas de crecimiento y equidad social, en lugar de los programas típicamente aplicados que, por lo general, insisten sin éxito en el control de la inflación a cualquier costo. Además de su utilización en el diseño de políticas alternativas, este modelo puede servir para realizar simulaciones de diversas medidas y evaluar así su impacto en el desempeño macroeconómico y en las condiciones sociales del país. En otra línea más sofisticada de aplicación, el modelo también puede ser incluido en ejercicios de teoría de juegos (estableciendo diversas tipologías de gobierno o alternativas hipótesis en torno a la formación de expectativas) o de control óptimo³⁸ (como por ejemplo, buscar la combinación de políticas que minimizarían la incidencia de la pobreza en un período dado o la política arancelaria que mejor contribuiría a la reactivación, etc.).

Al concentrarse en horizontes de corto y mediano plazo, es necesario alertar que otros elementos claves para la comprensión del desempeño de la economía en el largo plazo, como la acumulación de capital, por ejemplo, no juegan un papel en el modelo. Inflación, crecimiento y pobreza son las principales preocupaciones aquí. Dadas las restricciones de la economía, tres variables endógenas más han tenido que ser consideradas para monitorear los principales equilibrios macroeconómicos: cambios en las tasas de interés, en el balance externo y en la situación fiscal.

En contraste con la mayoría de la literatura, donde la extensión de la pobreza es, a lo mejor, visto como un resultado desafortunado y temporal de políticas necesarias, en este modelo vemos evidencia de una fuerte vinculación sistémica entre la evolución de la pobreza y el resto de la economía.

Por una parte, esta investigación ha encontrado que los niveles de pobreza son altamente sensibles a cambios de corto plazo en las variables. Esto no niega los factores profundos y estructurales que definen el problema de la pobreza en el largo plazo, pero llama la atención acerca de la responsabilidad en el diseño y manejo de las políticas macroeconómicas de corto plazo³⁹.

Por otro lado, la variable que refleja los cambios en la pobreza tiene un impacto importante en la dinámica del modelo. La pobreza -corriente, rezagada o esperada- tiene un impacto directo en inflación y crecimiento y también afecta los equilibrios macroeconómicos. Los vínculos recurrentes y la retroalimentación que constituyen el sistema hacen que este efecto sea penetrante y persistente. Esto sugeriría que cualquier intento para estabilizar los agregados marco independientemente de las consecuencias sociales de los medios es no solamente moralmente cuestionable, pero también técnicamente imprudente y hasta contraproducente.

³⁸ Ver, por ejemplo, Páez (1999a) y Páez (2000b).

³⁹ El corolario de esta aseveración es que las políticas macroeconómicas por sí mismas no serían suficientes para emprender un programa serio en contra de la pobreza y que un grupo sistemático de políticas a nivel microeconómico y sectorial es también necesario

Bibliografía

- Amemiya, T. (1985), *Advanced Econometrics*, Harvard University Press, Cambridge MA.
- Banerjee, A. and D. Hendry 1997, *The Econometrics of Economic Policy*, Blackwell Publishers, Oxford, UK.
- Bauer, R. J. 1994, *Genetic Algorithms and Investment Strategies*. John Wiley & Sons. New York.
- Banco Central del Ecuador, 1999a. Boletín Anuario 21. Quito.
- Banco Central del Ecuador, 1999b. Cuentas Nacionales Trimestrales. Quito.
- Belsley, D. A. 1986, Centering, the Constant, First-Differencing and Assessing Conditioning, in Belsley, D. and E.Kuh 1986. *Model Reliability*. The MIT Press, Cambridge, MA.
- Bowden, R. J. and D. A. Turkington, 1984. *Instrumental Variables*. Cambridge University Press. Cambridge, MA.
- Charemza, W. & D. Deadman 1997, *New Directions in Econometric Practice. General to Specific Modelling, Cointegration and Vector Autoregression*. Edward Elgar, UK.
- Chow, G. C. 1983, *Econometrics*. McGraw Hill, New York.
- Clements, M. P. and D. F. Hendry. 1998, *Forecasting Economic Time Series*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- DeGroot, M. 1986, *Probability and Statistics*. Addison-Wesley Publishing Co. 2nd. ed.
- Dharmapala, D. & M. McAleer. 1996, "Econometric methodology and the philosophy of science", *Journal of Statistical Planning and Inference* v. 49, 9-37.
- Dorsey, R. E. y W.J. Mayer (1994), Optimization utilizing genetic algorithms, en Johnson, J.D. y A. B. Whinston (Ed.) (1994) *Advances in artificial Intelligence in Economics, Finance and Management*, JAI Press.

- Enders, W. 1995, *Applied Econometric Time Series*. John Wiley & Sons, New York.
- Fair, R. C. 1984, *Specification, Estimation and Analysis of Macroeconometric Models*. Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Fair, R. C. 1994, *Testing Macroeconometric Models*. Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Granger, C. W. J. and P. Newbold 1986, *Forecasting Economic Time Series*. 2nd. ed. Academic Press, Inc.
- Greene, W.H. 1997, *Econometric Analysis*. 3rd. ed. Prentice Hall, New Jersey.
- Hall, B. 1995, *Time Series Processor, Version 4.3. User's Guide*. TSP International.
- Hall, B. 1995, *Time Series Processor, Version 4.3. Reference Manual*. TSP International.
- Hamilton, J. 1994, *Time Series Analysis*. Princeton University Press. New Jersey.
- Hansen, L. P. and T. Sargent. 1991, *Rational Expectations Econometrics*. Westview Press. Boulder, CO.
- Judd, K. L. 1998, *Numerical Methods in Economics*. The MIT Press, Cambridge MA.
- Kendrick, D. 1990, *Models for Analyzing Comparative Advantage*. Kluwer Academic Publishers. Holland.
- Kennedy, P. 1998, *A Guide to Econometrics*. 4th. ed. The MIT Press, Cambridge, MA.
- Kingdon, J. 1997, *Intelligent Systems and Financial Forecasting*. Springer-Verlag London Limited, UK.
- Klein, L. (ed.) 1993, *Macroeconomic Modelling and Policy Implications*. In Honour of Pertti Kukkonen. North Holland. Amsterdam.
- Lovell, M.C., "Test of the Rational Expectations Hypothesis" *The American Economic Review*, vol. 76, March 1986, pp.110-124.

- McAleer, M. 1995, *Sherlock Holmes and the Search for the Truth: A Diagnostic Tale*, in Oxley, L. et al. 1995. *Surveys in Econometrics*. Basil Blackwell, Cambridge, MA.
- Miller, P. J. (ed.) 1996, *The Rational Expectations Revolution. Readings from the front line*. The MIT Press. Cambridge, MA.
- Páez, P. 1999a., *An Optimal Control Framework for Alternative Economic Policies in Ecuador*. PhD. Dissertation. University of Texas at Austin.
- Páez, P. 1999b., *Poverty and Alternative Stabilization Policies*. Ponencia presentada al 17mo. Congreso Mundial de la Asociación de Estudios del Tercer Mundo, San José de Costa Rica, noviembre de 1999.
- Páez, P. 2000a., *Redes Neuronales para la estimación de la pobreza en el Ecuador*. En *Cuestiones Económicas* vol. 16 No. 1, Banco Central del Ecuador. Quito.
- Páez, P. 2000b., *Democracia, Lucha contra la Pobreza y Alternativas de Estabilización*. En *Cuestiones Económicas* vol. 16 No. 2, Banco Central del Ecuador. Quito.
- Pesaran, M. H. 1987, *The Limits to Rational Expectations*. Basil Blackwell. Oxford, England.
- Pyndick, R. y D. Rubinfeld 1998, *Econometric Models and Economic Forecasting*. 4th. ed. Irvin McGraw Hill.
- Sargent, T., 1993, *Bounded Rationality in Macroeconomics*. Clarendon Press, Oxford, UK.