

que los coeficientes XXX son insesgados (Ver Cuadro 3). Se demuestra así que H-C no es estadísticamente distinto de cero con un nivel de significancia de 5%. Si se rechazara la hipótesis nula, esto nos indicaría que las estimaciones del Filtro de Kalman estarían presentando algún patrón de sub o sobrepredicción sistemática. Estaríamos en presencia de un sesgo de especificación.

El valor calculado para H-C en el caso de MCOR, también cae dentro de la zona aceptación de la hipótesis nula. Por lo tanto, se llega a una conclusión similar a la anterior.

Por su parte, la prueba RESET de Ramsey²⁹, para detectar errores de especificación en el caso de MCO, nos indica que el modelo está correctamente especificado, ya que el valor F estimado es inferior a su valor crítico. Por lo tanto, no hay problemas de sesgamiento.

En consecuencia, el test Harvey-Collier, aplicado tanto a MCOR como a Filtro de Kalman, y la prueba RESET de Ramsey, llegan a la misma conclusión: no hay problemas de sesgo.

Por otro lado, de acuerdo a la Razón de Von Neumann y al test Harvey-Collier, el algoritmo del Filtro de Kalman, aplicado a la estimación de la demanda de dinero, es considerado un procedimiento econométrico óptimo, no así MCO ni MCOR.

7. La capacidad predictiva

Para medir la capacidad predictiva del Filtro de Kalman y compararla con las otras técnicas de predicción, utilizaremos los errores de predicción un periodo hacia adelante calculados en el proceso de filtración, para determinar los valores de la Raíz del Error Cuadrático Medio (RECM) (Ecuación (41)), el Error Medio Absoluto (EMA) (Ecuación (42)) y el Coeficiente de Desigualdad de Theil (U) (Ecuaciones (43) y (44)).

Para realizar las predicciones y comparaciones utilizamos los trimestres del año 1992. Es decir, se llevó a cabo una proyección ex-post, o fuera de la muestra. Con esta finalidad se hizo lo siguiente:

1) Se estimaron los coeficientes por MCO para el período 1983.I-1991.IV. Estos coeficientes que se suponen constantes para todo el período de proyección, se utilizaron para proyectar los saldos monetarios reales para los cuatro trimestres de 1992.

2) Se aplicó MCOR para el período 1983.I-1991.IV y los coeficientes estimados para 1991.IV se utilizaron para proyectar los saldos monetarios reales de 1992.I. Se aplica nuevamente MCOR para el período 1983.I-1992.I, y los coeficientes estimados para

²⁹ En el caso de MCO no se puede utilizar el test Harvey-Collier para verificar la especificación funcional, ya que MCO no es un método recursivo. Por esta razón se utiliza la prueba RESET de Ramsey. Para detalles sobre esta prueba ver, por ejemplo, Gujarati [1992], pág. 347.

1992.I se utilizaron para proyectar los saldos reales de 1992.II. Así sucesivamente, hasta llegar a la proyección de 1992.IV. Es decir, la estimación se actualiza cada vez que se dispone de una nueva observación.

3) Se aplicó el Filtro de Kalman para el período 1983.I-1991.IV y los coeficientes estimados para 1991.IV se utilizaron para proyectar los saldos monetarios reales de 1992.I. Se aplica nuevamente el Filtro de Kalman para el período 1983.I-1992.I, y los coeficientes estimados para 1992.I se utilizaron para proyectar los saldos reales de 1992.II. Así sucesivamente, hasta llegar a la proyección de 1992.IV. Es decir, la estimación se actualiza cada vez que se dispone de una nueva observación. La diferencia con MCOR, como ya se ha señalado en otras oportunidades, es que el Filtro de Kalman da una mayor ponderación a las observaciones más recientes³⁰ y además, contiene un mecanismo de actualización del vector de estado mediante la incorporación de las innovaciones o errores recursivos de predicción³¹.

Los resultados de las proyecciones, así como los valores efectivamente observados para los saldos monetarios reales, se pueden observar en el Cuadro 4. Las proyecciones con el Filtro de Kalman se hicieron, a modo de análisis de sensibilidad, con tres valores para f . Debe recordarse que para $f=0$, el Filtro de Kalman tiende a dar resultados que se aproximan a los de MCOR.

En el Cuadro 5 se presentan los errores de predicción en los saldos monetarios reales como porcentaje del valor observado. Se puede ver, que tanto MCO como MCOR, presentan altos niveles de subpredicción durante todo el período de proyección. Por ejemplo, para 1992.I, MCO y MCOR tienen un error de predicción de 16.2%, mientras que el error de predicción del Filtro de Kalman cuando $f=0.8$, es de sólo 2.1%. Para 1992.IV, los errores de predicción para MCO Y MCOR son 35.8% y 28%, respectivamente. Mientras que para el Filtro de Kalman, los errores de predicción no llegan al 1%.

³⁰ Muy similar a lo que hace el método de Holt-Winters aplicado a series de tiempo.

³¹ Ver Ecuaciones (20) a (24).

Cuadro 4
M1 real observado y proyectado
(1992.1 - 1992.4)
(Millones de Bs. a precios de 1984)

	Observado	FILTRO DE KALMAN				
		MCO	MCOR	f=0	f=0.3	f=0.8
1992.1	41875	35084	35084	37467	42814	42751
1992.2	41435	31747	32545	35579	42736	43183
1992.3	40679	33415	35616	38775	42952	42746
1992.4	40044	25726	28839	31364	38801	39792

Fuente: Cálculos propios.

Cuadro 5
Errores de predicción en M1 (1992.1 - 1992.4)
(Como porcentaje del valor observado)

	FILTRO DE KALMAN				
	MCO	MCOR	f=0	f=0.3	f=0.8
1992.1	-16,2%	-16,2%	-10,5%	2,2%	2,1%
1992.2	-23,4%	-21,5%	-14,1%	3,1%	4,2%
1992.3	-17,9%	-12,4%	-4,7%	5,6%	5,1%
1992.4	-35,8%	-28,0%	-21,7%	-3,1%	-0,6%

El signo (-) indica una subpredicción y el signo (+) una sobrepredicción.

Fuente: Cálculos propios.

La diferencia en la precisión de las predicciones hechas con los tres métodos econométricos, se puede ver también en los Gráficos 15 y 16.

Gráfico 15
Proyección de saldos monetarios reales
MCO, MCOR, FK 0,3

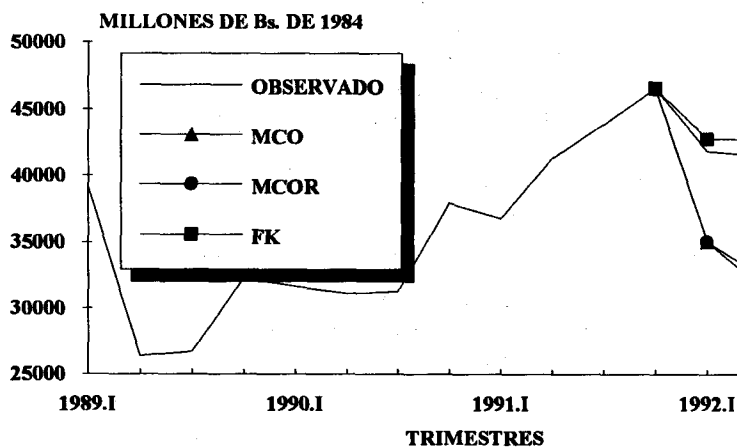
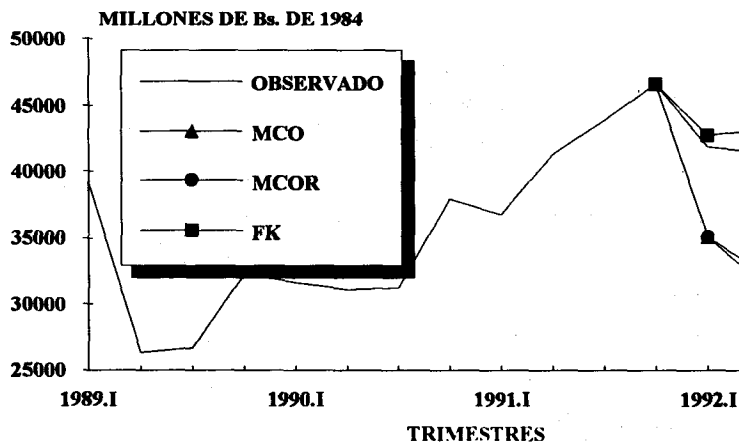


Gráfico 16
Proyección de saldos monetarios reales
MCO, MCOR, FK 0,8



En los cuadros 6, 7 y 8 se pueden ver los valores estimados para RECM, EMA y U_2 , respectivamente, los cuales permiten medir y comparar la precisión de las predicciones. En el caso del Filtro de Kalman cuando $f=0.3$ y $f=0.8$, los valores obtenidos para RECM y EMA son mucho más cercanos a cero que los valores obtenidos en caso de MCO y MCOR. Esto indica que las predicciones hechas con el Filtro de Kalman serán mucho más precisas.

Lo mismo sucede con el Coeficiente de Desigualdad de Theil. Los valores para U_2 calculados con el Filtro de Kalman están más cercanos a cero. De acuerdo a los valores de U_2 para MCO y MCOR, podemos decir que las predicciones hechas con estos métodos son peores que las predicciones statu quo. Los valores de U_2 para todos los períodos de proyección son muy superiores a 1.

CUADRO 6
Raíz del error cuadrático medio
(1992.1 - 1992.4)

m	MCO	MCOR	FILTRO DE KALMAN		
			f=0	f=0.3	f=0.8
1	0,162	0,162	0,105	0,022	0,021
2	0,201	0,190	0,125	0,027	0,033
3	0,194	0,171	0,105	0,039	0,040
4	0,245	0,204	0,142	0,037	0,035

m = períodos de proyección

Fuente : Cálculos propios.

CUADRO 7
Error medio absoluto
(1992.1 - 1992.4)

m	MCO	MCOR	FILTRO DE KALMAN		
			f=0	f=0.3	f=0.8
1	0,162	0,162	0,105	0,022	0,021
2	0,198	0,188	0,123	0,027	0,032
3	0,192	0,167	0,098	0,037	0,038
4	0,233	0,195	0,128	0,035	0,030

m = períodos de proyección

Fuente: Cálculos propios.

CUADRO 8
Coefficiente de desigualdad de Theil
(1992.1 - 1992.4)

m	MCO	MCOR	FILTRO DE KALMAN		
			f=0	f=0.3	f=0.8
1	1,439	1,439	0,934	0,199	0,186
2	2,684	2,528	1,657	0,364	0,450
3	3,139	2,754	1,691	0,640	0,654
4	4,576	3,787	2,637	0,697	0,650

m = períodos de proyección

Fuente: Cálculos propios.

Conclusiones

El Filtro de Kalman es un proceso recursivo para la estimación de los coeficientes β de un modelo. Su característica más importante es que estima coeficientes diferentes para cada período t, los cuales están vinculados a los coeficientes de períodos anteriores a través de una ecuación de transición. El método opera luego de plantear el modelo en su versión latente, y dadas ciertas condiciones iniciales. Los coeficientes serán estimados y continuamente actualizados mediante las ecuaciones de predicción y actualización, a medida que se dispone de nueva información.

A través de este trabajo se ha utilizado el algoritmo del Filtro de Kalman para la estimación de los coeficientes de dos importantes funciones para la economía venezolana. Se demostró, en ambos casos, que el Filtro de Kalman puede ser un procedimiento óptimo aún cuando Mínimos Cuadrados no lo sea. Se puso en evidencia el mejoramiento relativo que se logra en la capacidad predictiva de un modelo, utilizando una técnica econométrica algo más sofisticada, que permite actualizar la estimación de los coeficientes, dándole una mayor ponderación a las observaciones más recientes. Es bien sabido que la información del pasado lejano puede ser de poca importancia para proyectar el futuro cercano de variables económicas, sobre todo en ambientes macroeconómicos relativamente inestables. Además, puede conducir a distorsiones importantes en los valores proyectados. La gran virtud del Filtro de Kalman es su capacidad de adaptación a las situaciones cambiantes, mediante la estimación de coeficientes variables.

Esperamos con esta investigación haber hecho un pequeño aporte a la investigación económica empírica, que permita mejorar la confiabilidad en el uso de modelos de predicción económica, cuya credibilidad disminuye, sobre todo, en épocas de inestabilidad y transformaciones macroeconómicas.

Cabe señalar, por último, que posibles líneas futuras de investigación pudieran centrarse en la aplicación del Filtro de Kalman a diferentes situaciones:

- 1) Aplicación al caso de datos de corte transversal, para analizar su comportamiento en caso de presencia de heteroscedasticidad.
- 2) Aplicación al caso de datos de corte transversal y series de tiempo (Panel Data), para analizar su comportamiento en caso de presencia conjunta de heteroscedasticidad y autocorrelación en los datos.
- 3) Aplicación a casos donde hay problemas importantes de multicolinealidad y
- 4) Aplicación a la estimación de los parámetros de un modelo formulado en base a un sistema de ecuaciones simultáneas.

Bibliografía

- AKERLOF G. y MILBOURNE, D., "The Short-run Demand for Money", *Economic Journal*, 90, 1980.
- ATHANS, M., "The Importance of Kalman Filtering Methods for Economic Systems", *Annals of Economic and Social Measurement*, 2, 1974, pp. 49-64.
- AZNAR GRASA, A., *Planificación y Modelos Económicos*. Ediciones Pirámide S.A., Madrid, 1978.
- BOHARA, A.K. y C. SAUER, "Competing Macro-Hypothesis in the United States: A Kalman Filtering Approach", *Applied Economics*, 24, 1992, pp. 389-399.
- BOMHOFF, Eduard J., "Stability of Velocity in the Major Industrial Countries : A Kalman Filter Approach", *IMF Staff Papers*, Vol.38, Nº 3, septiembre 1991, pp. 626-642.
- CAVAGLIA, Stefano, "The Persistence of Real Interest Differentials: A Kalman Filtering Approach", *Journal of Monetary Economics*, 29, 1992, pp. 429-443.
- CHOW, Gregory C., "On the Long-run and Short-run Demand for Money", *Journal of Political Economy*, Vol.74, Nº 2, 1966.
- CHOW, Gregory C., *Econometrics*. McGraw-Hill, New York, 1983.
- COOLEY, T.T. y E.C.PRESCOTT, "Varying Parameters Regression: A Theory and Some Applications", *Annals of Economic and Social Measurement*, Vol.2, Nº 4, octubre 1973, pp. 463-474.
- COOPER, J. Phillip, "Time Varying Regression Coefficients : A Mixed Estimation Approach and Operational Limitations of the General Markov Structure", *Annals of Economic and Social Measurement*, Vol.2, Nº 4, octubre 1973, pp. 525-530.

- CRYER, Jonathan C., *Time Series Analysis*. Duxbury Press, Boston, 1986.
- DOLADO, J.J., "La Estabilidad de la Demanda de Dinero en España, (1974-84)", *Boletín Económico del Banco de España*, Septiembre 1985.
- DUTTA, Manoranjan, *Métodos Económicos*. South-Western Publishing Co., Cincinnati, 1982.
- FAIR, R.C., "International Evidence on the Demand for Money", *National Bureau of Economic Research*, Working Paper N° 2106, 1986.
- FOMBY, Thomas B., Carter R. HILL and Stanley R. JOHNSON, *Advanced Econometric Methods*. Springer-Verlag, New York, 1984.
- GOLDSTEIN, M. y KHAN, N., *Income and Price Effects in Foreign Trade*, en R.W. Jones y P.B. Kenen, eds., *Handbook of International Economics*, Vol.II, North-Holland, Amsterdam, 1985.
- GRANGER, C.W. y P. NEWBOLD, *Forecasting Economic Time Series*. Academic Press, San Diego, California, 1986.
- GREENE, Williams. H., *Econometric Analysis*. Macmillan Publishing Company, New York, 1993.
- GUJARATI, Damodar N., *Econometría*. McGraw-Hill, México, 1992.
- HARVEY, A.C., *Forecasting Structural Time Series Models and the Kalman Filter*. Cambridge University Press, Cambridge, 1989.
- HARVEY, A.C., *Applications of the Kalman Filter in Econometrics*, in T.F. Bewley (Editor), *Advances in Econometrics-Fifth World Congress*, Volume I, 285-213. Cambridge University Press, Cambridge, 1987.
- HARVEY, A.C., "The Kalman Filter and its Applications in Econometrics and Times Series Analysis", *Methods of Operations Research*, 44, 1982, pp. 3-18.
- HARVEY, A.C., y P. COLLIER, "Testing for Functional Misspecification in Regression Analysis", *Journal of Econometrics*, Vol.6, 1977, pp. 103-119.
- HENDRY, David F., *Predictive Failure and Econometric Modelling in Macroeconomics: The Transactions Demand for Money*, en P. Ormerod. ed., *Economic Modelling*, Ed. Heinemann, 217-242, Londres, 1979.
- HENDRY, D.F. y ERICSSON N.R., "Modeling Money Demand", *The American Economic Review*, Vol. 81, N° 1, Marzo 1991.
- INTRILIGATOR, Michael D., *Modelos Económicos, Técnicas y Aplicaciones*. Fondo de Cultura Económica, México, 1990.
- JADRESIC, E., "Elasticidades Empleo-producto de la Economía Chilena", *Notas Técnicas*, N° 85, CIEPLAN, Santiago de Chile, julio 1986.

- JAZWINSKI, A.N., *Stochastic Processes and Filtering Theory*. Academic Press, New York, 1970.
- JOHNSTON, J., *Econometric Methods*. McGraw-Hill, New York, 1984.
- JUDD J. y SCADDING, J., "The Demand for Money in the United States : A Survey of the Post 1973 Literature", *Journal of Economic Literature*, 1982.
- KALMAN, R.E., "A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems", *Journal of Basic Engineering*, 82, 1960, pp. 35-45.
- LABAN, R., "El Teorema de Extracción de Señales y la Estimación de Parámetros Variables: Una Nota", *Cuadernos de Economía*, Pontificia Universidad Católica de Chile, 1987a.
- LABAN, R., "Evolución de la Demanda por Dinero en Chile (1974-86): Una Aplicación del Filtro de Kalman", *Colección Estudios de CIEPLAN*, N° 22, Santiago de Chile, Diciembre 1987b.
- LUBRANO, MICHEL y Otros, "Stability of a U.K. Money Demand Equation: A Bayesian Approach to Testing Exogeneity", *Review of Economic Studies*, 53, agosto 1986, pp. 603-634.
- McCALLUM, Bennett, *Monetary Economics. Theory and Policy*. Macmillan Publishing Company, Nueva York, 1989.
- MADDALA, G.S., *Econometría*. McGraw-Hill, Madrid, 1985.
- MANKIW N.G. y SUMMERS L.M., "Money Demand and the Effects of Fiscal Policies", *Journal of Money, Credit and Banking*, 1986.
- MAULEON, Ignacio, *Oferta y Demanda de Dinero: Teoría y Evidencia Empírica*. Editorial Alianza, Serie Economía y Finanzas, Madrid, 1989.
- MEINHOLD R. y N. SINGPURWALLA, "Understanding the Kalman Filter", *The American Statistician*, 37, 2, 1983, pp. 123-127.
- MELLER, P. y R. LABAN, "Aplicación del Filtro de Kalman a la Estimación de Elasticidades Variables en el Mercado del Trabajo Chileno (1974 - 1985)", *Análisis Económico*, Universidad de Santiago de Chile, VOL.2, N° 1, Junio 1987.
- MILBOURNE R., "Financial Innovation and the Demand for Liquid Assets", *Journal of Money, Credit and Banking*, 1986.
- MILLS, Terence C., *Times Series Techniques for Economists*. Cambridge University Press, Cambridge, 1990.
- MONTENEGRO García, Alvaro, "El Filtro de Kalman: Derivación y Práctica", *Desarrollo y Sociedad*, N° 28, septiembre de 1991, Centro de Estudios sobre

Desarrollo Económico (CEDE), Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.

NOVALES, Alfonso, *Econometría*. McGraw-Hill, Madrid, 1993.

OTTER, P.W., "The Discret Kalman Filter Applied to Linear Regression Models: Statistical Considerations and an Application", *Statistica Neerlandica*, 32, 1978.

RIUTORT, Matías, *Demanda de Importaciones y Demanda de Dinero: Una Aplicación de Filtro de Kalman*. Instituto de Investigaciones Económicas y Sociales, Universidad Católica Andrés Bello. Caracas, 1994.

ROLEY, Vance V., "Money Demand Predictibility", *Journal of Money, Credit and Banking*, Vol. 17, N° 4, 1985.

SALAS, Javier, *Econometría Aplicada a los Países en Desarrollo. El Caso Mexicano*. Fondo de Cultura Económica, México, 1990.

SARRIS, S., "A Bayesian Approach to Estimation of Time-varying Regression Coefficients", *Annals of Economic and Social Measurement*, Vol.2, N° 4, octubre 1973, pp. 501-523.

WATSON, P.K., "Kalman Filtering as an Alternative to Ordinary Least Squares - Some Theoretical Considerations and Empirical Results", *Empirical Economics*, Vol.8, 1983. pp.71-85.