

CAOS E INTERVENCIÓN CAMBIARIA EN PAISES EMERGENTES: EL CASO DE MÉXICO Y CHILE

Klender Cortez, kcortez@facpya.uanl.mx, Universidad Autónoma de Nuevo León

Martha del Pilar Rodríguez, marthadelpilar2000@yahoo.com, Universidad Autónoma de Nuevo León

RESUMEN

En el siguiente artículo analizamos si las economías de México y Chile con sistemas cambiarios de bandas muestran un comportamiento caótico. Para ello, realizamos un breve repaso de la situación histórica de estas economías bajo el sistema de bandas cambiarias. En el caso de México el periodo analizado fue de 1991 a 1994 y el de Chile de 1984 a 1999. En este contexto, lo que deseamos responder es si el TC pesos/dólar en régimen de intervención cambiaria sigue un comportamiento caótico o no. Para ello, realizamos algunas pruebas de detección entre ellas podemos mencionar la reconstrucción del espacio de fases de Packard et al. (1980), Ruelle (1981) y Takens, (1981), el test BDS elaborado por W. Brock, W. Dechert y J. Scheinkman (1987) para la detección de la dependencia no lineal de nuestras series, el cálculo de la dimensión de correlación desarrollado por Grassberger y Procaccia (1983) y la estimación de los exponentes de Lyapunov con el algoritmo de Kantz (1994). La investigación se divide en 4 temas, primero exponemos una breve explicación de los regímenes cambiarios, después se hace una revisión de las bandas cambiarias para el caso mexicano y chileno, posteriormente se presenta un repaso de la teoría del caos y su aplicación en las finanzas y por último las herramientas de detección de una dinámica caótica en el TC para las dos economías. Los resultados muestran una dinámica no lineal e indicios de un posible comportamiento caótico en las dos economías bajo estudio. El TC de México muestra una mayor volatilidad y un menor horizonte de predicción que el TC en Chile durante el periodo de Bandas Cambiarias, ya que el TC en México fluctuaba en una zona objetivo donde las autoridades monetarias intervenían sólo en el caso en donde se tocarán los límites de esta zona. Por otro lado, en el caso de Chile la volatilidad era menor, ya que el tipo de cambio se ajustaba a un sistema de bandas cambiarias reptantes el cual se fijaba en torno a una paridad central (inicialmente fijada respecto del dólar de EE.UU.), que se depreciaba en función de la diferencia entre la inflación doméstica y la inflación externa.

Palabras clave: Teoría del Caos, Tipo de Cambio, Bandas Cambiarias, México y Chile

ABSTRACT

In this paper we analyze the existence or not of a chaotic dynamic in the exchange systems in Mexico and Chile during the bands regime. We show a brief review of the historical situation of these economies under the exchange bands regime. We analyze the Mexican data from 1991 to 1994, and the Chilean experience from 1984 to 1999. The objective of this paper is to demonstrate if the exchange rate during the regime of monetary intervention follows or not a chaotic dynamic. We use some detection test for chaotic behavior such as the state space reconstruction approach of Packard et al. (1980), Ruelle (1981) and Takens, (1981), the BDS test of Brock, Dechert & Scheinkman (1987), the correlation dimension technique developed by Grassberger & Procaccia (1983), and the estimation of the Lyapunov exponents using the algorithm of Kantz (1994). The investigation is divided in 4 subjects, first we expose a brief explanation of the exchange regimes, later we make

a revision of the exchange bands for the Mexican and Chilean experience, later it appears a review of the chaos theory and its application in finances, and finally we apply some detection techniques for a chaotic dynamics in the exchange rates for the two economies. The results show a nonlinear dynamics and a possible chaotic behavior in the two economies under study. The Mexico peso shows a greater volatility and a smaller prediction horizon than the Chilean peso during the exchange bands regime, since the peso in Mexico was fluctuated in an target zone where the monetary authorities intervene only in the case where the limits of this zone were touched. On the other hand, the Chilean volatility was smaller, since the exchange rate was adjusted in a Crawling bands around a central parity (initially fixed respect to the USA dollar), that was depreciated based on the difference between the domestic inflation and the external inflation.

Key word: Chaos Theory, Exchange Bands Regime, Mexico and Chile

1. INTRODUCCIÓN

Si consideramos todos los intercambios comerciales que se realizan en moneda extranjera podemos darnos una idea de lo complejo que es este mercado. En la antigüedad, los diferentes reinos utilizaban el trueque para comprar y vender mercancías entre ellos. Sin embargo, en tiempos modernos estas operaciones se transformaron en un amplio rango de acuerdos monetarios que van desde las transacciones en el mercado negro de tipo de cambio, es decir, actividades al margen del sistema legal, hasta acuerdos multilaterales que incluyen varios países y que están supervisados por organizaciones internacionales. En este artículo pretendemos comprobar si la utilización de un sistema de bandas conduce a un comportamiento caótico, para ello, empleamos como casos de estudio a la economía mexicana y a la chilena, las cuales utilizaron bandas cambiarias bajo ciertas modalidades, la primera de ellas con bandas objetivo y la segunda con bandas reptantes. La investigación se divide en 6 partes en donde la primera y la última se refieren a introducción y conclusiones, respectivamente, la segunda parte en una breve explicación de regímenes, la tercera a la revisión de las bandas para el caso mexicano y chileno, la cuarta en un breve repaso de la teoría del caos y su aplicación en finanzas y por último las herramientas de detección de una dinámica caótica en el TC (Tipo de Cambio) para las dos economías.

2. REGÍMENES CAMBIARIOS FLEXIBLE VS FIJO

Los regímenes de TC extremos se dividen en dos. En el tipo de cambio fijo, las autoridades se comprometen a intervenir en el mercado con objeto de mantener una determinada paridad previamente establecida. El ejemplo más claro es el Patrón Oro, Cuando se cuenta con un tipo de cambio fijo éste es identificable y los agentes económicos pueden tomar decisiones a corto plazo con poca incertidumbre cambiaria, ya que se elimina la especulación. Los comerciantes pueden realizar sus transacciones en otros países sin temer que los tipos de cambio varíen repentinamente y sus proyectos dejen de ser rentables. La dificultad de este sistema está en que los tipos de cambio fijos pueden impedir la realización de arreglos económicos si los precios y el comercio internacional se desajustan excesivamente, esto es, cuando hay un déficit (o superávit) continuo en la balanza comercial.

Después de la caída del sistema de Bretton Woods se celebró en París una cumbre en 1975, ahí se estableció formalmente el régimen de tipo de cambio flexible y se permitió la intervención en el mercado cambiario para mantener orden en éste. Años después, el 23 de septiembre de 2003 en Dubai, Emiratos Árabes Unidos, el director gerente del FMI Horst Köhler abogó por mayor flexibilidad en los tipos de cambio, sin

nombrar a ningún país y ninguna divisa. Este pronunciamiento surgió debido a la debilidad del dólar frente al euro y a la subvaluación de las monedas asiáticas.⁵ Para terminar y definir el sistema actual utilizamos la descripción de Rivera y Rivera (1994: pág. 616): “El sistema monetario internacional es una colección de tratados, reglas, procedimientos e instituciones que gobiernan las relaciones financieras entre las naciones y usualmente permanece en segundo plano con bancos, inversionistas, especuladores y otros comerciales.

En el TC flexible, las fuerzas de la oferta y la demanda en los mercados de divisas determinan en todo momento el valor de equilibrio del TC. Los agentes económicos pueden enfrentarse a condiciones adversas de riesgo cambiario a corto y largo plazo, por lo que hace difícil su predicción. Sin embargo, en este sistema existe un mecanismo automático en donde la oferta y la demanda interactúan para determinar el tipo de cambio de mercado; de esta forma, se ajustan los precios de los productos que se comercializan en el mercado internacional.

En la práctica los regímenes cambiarios que se utilizan son una combinación de ambos. Por ejemplo, en un régimen de TC “fijo” con bandas cambiarias las cotizaciones fluctúan dentro de una “banda” alrededor de una paridad central (que puede a su vez, alterarse en caso necesario). Por otro parte, en un régimen de TC “flexible”, las autoridades suelen comprar o vender divisas para limitar aquellas fluctuaciones consideradas como excesivas o también pueden modificar su política monetaria para influir en sus tipos de cambio. A esta última forma se la conoce como tipo de cambio flexible dirigido o de fluctuación sucia. Existen sistemas cambiarios que han sido diseñados por las autoridades monetarias para defender el tipo de cambio, en particular comentaremos brevemente el sistema de Bandas Cambiarias y el Bandas Raptantes, utilizados en México y Chile respectivamente.

3. EXPERIENCIAS CON BANDAS CAMBIARIAS

CASO MEXICANO (1991-1994)

El sistema de bandas cambiarias se presenta cuando un grupo de países decide mantener sus tipos de cambio bilaterales (es decir, el tipo de cambio entre cada par de países) dentro de reducidos límites o bandas en torno a una paridad central. Los tipos de cambio son defendidos cuando se alcanzan los márgenes de fluctuación, aunque también son habituales las intervenciones intramarginales.

Este sistema se justifica en situaciones en que los flujos de capitales se mueven de acuerdo a las expectativas de apreciación o devaluación, durante los noventa, en Latinoamérica la apreciación de las monedas causadas por la mayor apertura comercial, se tradujeron en mejoras de productividad, con entradas fuertes de capitales a la región, que tuvieron efectos apreciativos en las distintas monedas, y con expectativas que se seguirían apreciando en el tiempo, por lo que continuaron entrando capitales a la región. Cuando estas expectativas se revirtieron, como también lo hicieron los flujos de capitales, las monedas de la región tuvieron fuertes depreciaciones como las ocurridas en México en 1994, y la de Brasil en 1999.

Sin embargo, se corre el riesgo de hacer indefendibles los bordes de la banda, cuando las presiones del mercado ejercidas por los especuladores tienen fuerza, poniendo en riesgo la credibilidad de la autoridad monetaria en poder mantener los límites de la banda, y haciendo que los especuladores tomen más fuerza con las consiguientes pérdidas de divisas asociadas cuando las presiones son de devaluación y hagan alcanzar el límite superior de la banda de fluctuación.

El 10 de noviembre de 1991 México adoptó un sistema de bandas cambiarias como lo muestra la figura 1. El esquema consistía en dejar que el TC flotara dentro de una banda que se ensanchaba diariamente. El Banco de

México sólo intervenía en el mercado cuando el tipo de cambio llegaba a tocar cualesquiera de los límites de la banda. Si alcanzaba el inferior, tenía que comprar dólares y si tocaba el superior, debía venderlos. El establecimiento de un régimen cambiario de flexibilidad limitada tal como lo sería una banda cambiaria, también funcionaba como ancla al establecer un nivel máximo permisible para el TC.

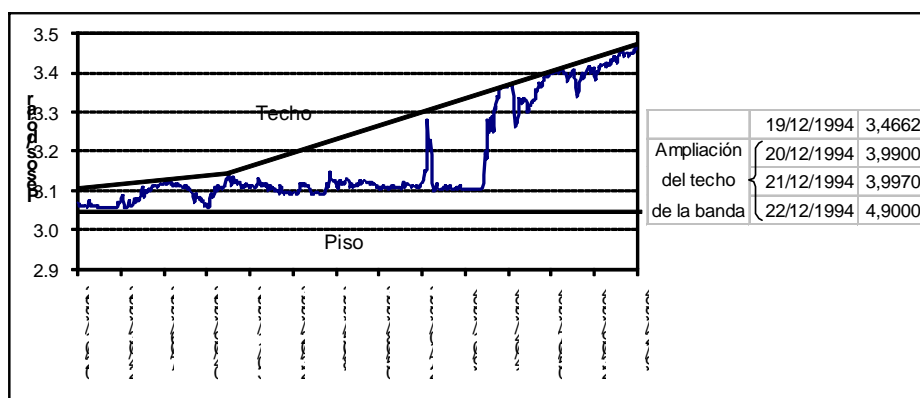


Figura 1: Bandas cambiarias en México (1992-1994). Tipo de cambio pesos por dólar a la venta. Interbancario a 48 horas al cierre.

Al efecto, el Banco de México decidió inicialmente que el piso de la banda quedara fijo en el nivel de 3,0512 nuevos pesos por dólar, es decir, el TC al cual el Banco Central estaba dispuesto a comprar divisas, mientras que al techo de la banda se le dio un ascenso diario llamado comúnmente “desliz” de 0,0002 pesos por dólar/día. A partir del 20 de octubre de 1992 el límite superior de la banda de flotación del TC se comenzó a deslizar a razón de 0,0004 pesos por día y el límite inferior permaneció fijo en el nivel de 3,0512 pesos por dólar. Sin embargo, del primero de enero al 19 de diciembre de 1994 el TC se depreció el 12,6 por ciento dentro de la banda de flotación, lo cual demuestra la gran amplitud que ésta había alcanzado¹. El régimen descrito se sostuvo hasta el 19 de diciembre de 1994. El día 20 del mismo mes se elevó el techo de la banda 15,3 por ciento, conservándose el ritmo de desliz hasta entonces vigente. Esta fórmula no resultó sostenible, por lo que el esquema de banda se abandonó, pasándose a un régimen de flotación a partir del 22 de diciembre de ese año.

CASO CHILENO (1984-1999)

Williamson (2000, 2005) ha propuesto un régimen de banda reptante, denominado de regla BBC (Basket – Band – Crawl) o regla CBR (paridad Canasta, Banda ancha y tipo de cambio Reptante), como alternativa a cualquiera de las dos esquinas. Según Williamson, este esquema permite a los países evitar crisis cambiarias, la canasta prevendría una posible sobrevaluación de la moneda, la banda daría oportunidad a un ajuste inmediato y el tipo de cambio reptante prevendría que la paridad se desalineara por la acumulación de diferencias entre

¹ 3La crisis de diciembre de 1994 fue generada por varias causas, entre las más importantes tenemos: a) La sobrevaloración del tipo de cambio real; b) La expansión del crédito del Banco de México, el banco central equilibraba la fuga de reservas con un incremento dramático del crédito interno y no por una baja en la base monetaria; c) Desequilibrios financieros y sobre préstamos (inestabilidad política). El 23 de marzo el candidato a la presidencia Lic. Luis Donaldo Colosio fue asesinado. El propio hecho y las inquietudes que surgieron en cuanto a su autoría y en el curso de las investigaciones desataron gran intranquilidad. La reserva internacional del Banco de México, que el día del asesinato era de 28 mil 321 millones de dólares, cayó casi 11 mil millones en los treinta días posteriores al crimen; d) Error de diciembre de 1994, los inversionistas extranjeros perdieron la confianza en el compromiso de México con la paridad fija y se suscitó una fuga de reservas internacionales.

inflación doméstica y externa. Sin embargo, cabe contrargumentar a dicha propuesta que la regla CBR estaría sujeta a las mismas limitaciones que los esquemas menos flexibles sólo que en un grado menor. En particular, las sobre apreciaciones cambiarias y los ataques especulativos seguirían siendo probables.

A diferencia de las bandas incluye la posibilidad de modificación de los límites de máxima apreciación y depreciación del tipo de cambio, habitualmente llegado un determinado valor o en función de los diferenciales de inflación.

En 1984 las autoridades monetarias de Chile adoptaron un régimen de banda cambiaria reptante, al definir una banda de flotación en función a una paridad central respecto del dólar de EE.UU. que se depreciaba en función de la diferencia entre la inflación doméstica y la inflación externa.

Debido a la aguda restricción de recursos del exterior y al elevado desempleo de la economía Chilena el Banco Central de Chile a mediados de los años 1980 con el fin de proteger un tipo de cambio real competitivo, emplea la banda reptante. Debido al mejoramiento de la situación económica Chile decide dejar como primer objetivo la política cambiaria y adopta una meta de inflación explícita a partir de 1991. Sin embargo, la mantención de la banda cambiaria reptante hasta el año 1999 generó frecuentes problemas entre estos objetivos, que se resolvieron a favor de la meta inflacionaria, modificándose los parámetros de la banda.

La Figura 3 presenta una perspectiva histórica a lo largo de 15 años de los cambios en los parámetros que definieron la banda cambiaria en los distintos subperiodos de su vigencia en el período 1986-1999.

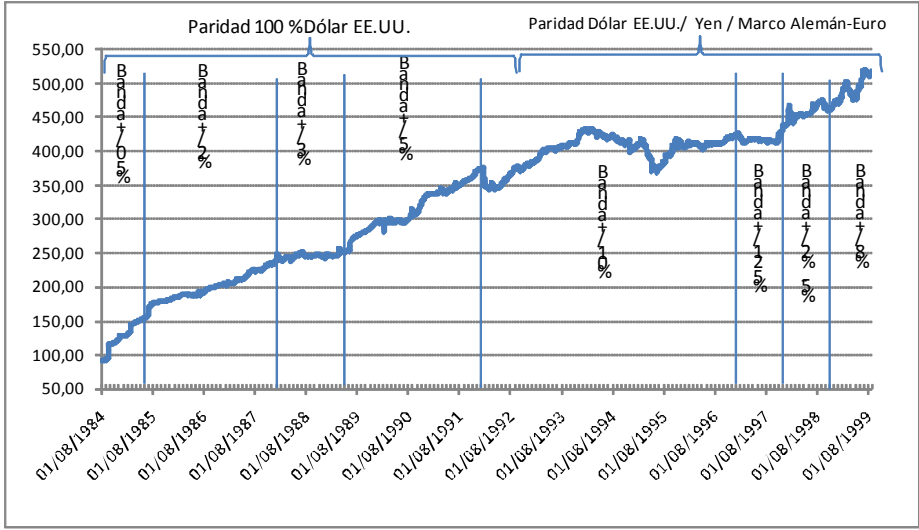


Figura 3: Tipo de Cambio Peso Chileno/ Dólar. Fuente: Banco Central de Chile y Frenkel et. al (2000).

En Schmidt-Hebbel (2006) se menciona que la composición de monedas estuvo concentrada en el dólar de EE.UU. hasta julio de 1992. En esa fecha la ponderación del dólar se reduce a un 50%, dando lugar a ponderaciones del marco alemán y del yen japonés, con una reducción adicional de la ponderación del dólar a 45%, en diciembre de 1992. Este proceso se revierte en enero de 1997, cuando la ponderación del dólar vuelve a elevarse a un 80%. La regla de depreciación real de la paridad central de la banda (basada en la diferencia entre inflación doméstica pasada e inflación externa estimada) buscaba mantener la paridad de poder de compra, implicando un valor de depreciación real igual a cero hasta diciembre de 1992. A partir de esa fecha, a la luz de que el tipo de cambio se encontraba frecuentemente cerca del o sobre el límite más apreciado de la banda (con la consiguiente acumulación de reservas internacionales), se adoptó una tasa anual de apreciación real preanunciada de la paridad central de 2%.

Las realineaciones sorprendidas de la paridad central fueron frecuentes e intensas durante la vigencia de la banda. Durante la década de 1980 dichas realineaciones fueron típicamente depreciaciones discretas, en respuesta a que el tipo de cambio se encontraba en el límite más depreciado, con la consiguiente pérdida de reservas. Lo opuesto se observó en la década de 1990 y hasta 1997, cuando las realineaciones fueron apreciaciones discretas de la paridad central. Particularmente intensa fue la apreciación de 9.7% adoptada en diciembre de 1994. Finalmente, la amplitud de la banda se incrementó monótonicamente desde 1984, cuando se inició con $\pm 0.5\%$, hasta 1997-1998, cuando llegó a estar en $\pm 12.5\%$. Para hacer frente a las presiones de devaluación como consecuencia de la crisis asiática, el Banco Central estrechó la amplitud de la banda en forma asimétrica a mediados de 1997, a -2% y $+5\%$, pero volvió, al cabo de pocos meses, a implementar un proceso de ampliación gradual preanunciada, que culmina en una amplitud de $\pm 8\%$ a la fecha en que se reemplaza la banda por la flotación cambiaria (septiembre de 1999).

4. TEORÍA DEL CAOS EN ECONOMÍA Y FINANZAS

El estudio de la dinámica caótica empezó con el trabajo de Poincaré (1893). Más tarde llegaron otros investigadores en el campo de la dinámica caótica como Birkhoff (1926), Cartwright y Littlewood (1945), Kolmogorov (1958) y Smale (1967). Sin embargo, el crédito de la teoría moderna del caos se le atribuye a Lorenz (1963) en sus investigaciones con el tiempo meteorológico.

Para ampliar el tema con una perspectiva histórica véase Gleick (1987) e Stewart (1991). G. Gandolfo (1997: pág. 505) comenta que no existe una definición matemática generalmente aceptada para el "caos". En Stewart (1991: pág. 22) se menciona que en la conferencia internacional sobre la teoría del caos que se celebró en la Real Sociedad de Londres en 1986 se definió al caos como un comportamiento estocástico que ocurre en un sistema determinista. Lorenz (1995: pág. 2) define un proceso caótico como un "proceso que parece comportarse de acuerdo con el azar aunque, de hecho, su desarrollo esté determinado por leyes precisas". Existe este comportamiento cuando la predicción a largo plazo de un sistema es imposible debido a la incertidumbre en el estado inicial del sistema que crece exponencialmente rápido en el tiempo. El sistema no descansa en un equilibrio estable. Para una definición más rigurosa de "caos" en un sistema dinámico véase W. Brock y C. Sayers (1988).

E. Lorenz (1963) fue el primero quien describió las principales características que definen al caos: la aparente aleatoriedad y la sensibilidad a las condiciones iniciales. Otros investigadores como Guckenheimer y Holmes (1986: cap. 5) señalan que la dinámica caótica depende de la existencia de un atractor extraño. Nieto (1998: págs. 329) define un atractor como una descripción del comportamiento a largo plazo de un sistema en el espacio de fases. Mandelbrot (1982) utilizó el término atractor fractal para referirse a un atractor extraño por representar un conjunto de puntos cuya dimensión en el espacio de fases no es un número entero (dimensión fractal).

Los sistemas caóticos entran en el campo de los sistemas dinámicos. La dinámica es el estudio matemático del movimiento. Por ello, Fernández (1994: pág. 29) señala que "los sistemas dinámicos están constituidos por un conjunto de elementos, cuyo estado se caracteriza a su vez por un conjunto de variables x, y, \dots, z , entre las que existen relaciones matemáticas, denominadas leyes o ecuaciones de movimiento o evolución". El interesado en ampliar los conceptos de la teoría del caos puede consultar Devaney (1989), Tsonis (1992), Ott (1993), Trippi (ed.) (1995), Martín et al. (1995), entre otros.

En relación a la teoría del caos en el análisis financiero y económico, una variable mostraría un comportamiento caótico si su evolución resultase aparentemente aleatoria siendo en realidad determinista. Por ejemplo, la dependencia no lineal de la variación en el TC (Tipo de Cambio) sería de carácter determinista y no estocástica. Dentro de este enfoque cabría la posibilidad de realizar predicciones a corto plazo dadas unas condiciones iniciales. En este sentido, la función que describiría el comportamiento de la variación del TC sería aperiódica y su evolución temporal sería muy sensible a cambios en el valor de las condiciones iniciales.

De esta forma, las investigaciones en el campo financiero y económico usando la teoría del caos se centran en dos ramas. Por un lado, en el desarrollo de un modelo que permita simular un comportamiento caótico, véase por ejemplo la colección de artículos publicados por Creedy y Martín (eds.) (1994), lo que dota de mayor sentido la otra línea de investigación, esto es, en detectar si la dinámica de la variable en cuestión sigue o no un comportamiento caótico. En cuanto a esta última, al principio el análisis se concentraba en el estudio de variables macroeconómicas, por ejemplo, el trabajo de Brock y Sayers (1988). En general estos estudios rechazaban la presencia de un comportamiento caótico en este tipo de variables. Belaire y Contreras (1997) mencionan que ello puede deberse al carácter agregado en estas variables, la consecuencia es que podemos tener una dinámica caótica perfectamente detectable para cada una de las componentes de una variable, pero ésta puede aparecer como aleatoria para los mismos contrastes. Otra causa es la escasez de datos en este tipo de variables.

Estos resultados desplazaron el análisis hacia las variables financieras como es el caso de los índices bursátiles, precios de acciones, tasas de interés y tipos de cambio. Ello debido a que las series temporales de este tipo de variables contienen más datos. Las investigaciones en la dinámica del TC usando la teoría del caos se centran también en las dos ramas mencionadas, es decir, en el desarrollo de un modelo que permita simular un comportamiento caótico, por ejemplo, el modelo de tipo de cambio desarrollado por Grauwe et al. (1993) o en detectar si la dinámica del TC de una divisa sigue o no un comportamiento caótico como los trabajos realizados por Bajo et al. (1992), Grauwe et al. (1993), Belaire y Contreras (1997), es en esta vía en la que nos enfocaremos, en el siguiente sección aplicaremos algunas técnicas de detección del comportamiento caótico.

5. ANÁLISIS EN EL TC PESOS/DÓLAR

En esta sección estudiamos las herramientas para la detección de una dinámica caótica en el TC pesos/dólar en ambas monedas. Posteriormente, aplicamos estas técnicas a nuestras series del TC peso/dólar con la finalidad de detectar, si existe, un comportamiento caótico en los datos. Las series que usamos son las primeras diferencias logarítmicas del TC pesos/dólar para el periodo 02/01/92 al 22/12/94 en el caso de México² y el TC pesos/ dólar para el periodo de 01/08/1984 al 01/09/1999 para Chile³. Ambas series muestran alto grado de leptocurtosis y asimetría, siendo el peso chileno más volátil que el peso mexicano medido por la desviación estándar de las diferencias logarítmicas, esto podría deberse a la diferencia en el sistema de bandas cambiarias. Además aplicamos el test de Kolmogorov-Smirnov para la prueba de normalidad el cual dio como resultado el rechazo de que los datos siguen una distribución normal.

² Tipo de Cambio Interbancario a la Venta peso mexicano dólar a 48 horas cotización al Cierre. Para operaciones al mayoreo entre bancos, casas de bolsa, casas de cambio, particulares. Este tipo de cambio es aplicable para liquidar operaciones el segundo día hábil bancario inmediato siguiente a la fecha de su concertación. Fuente: Banco de México.

³ Tipo de cambio del dólar de los Estados Unidos de América calculado en función de las transacciones efectuadas por las empresas bancarias en el día hábil bancario anterior. Fuente: Banco Central de Chile.

De esta forma, como mencionan Espinosa (2001: pág. 179) el test BDS detectará la dependencia no lineal y rechazará la hipótesis de variables iid. Si la hipótesis nula se rechaza en el test BDS, entonces los datos no son iid por causa de la no estacionariedad, no linealidad o existencia de algún comportamiento caótico como lo señala Opong et al. (1999: pág. 272) entre otros.

Antes de realizar este test aplicamos la prueba de Ljung-Box sobre los residuos de un modelo ARMA⁴. Los resultados muestran que los residuos son independientes, lo que implicaría una aparente aleatoriedad. Sin embargo, la prueba de Ljung-Box sólo detecta la dependencia lineal, por ello aplicamos el test BDS el cual, a diferencia del Ljung-Box, detecta toda clase de dependencia, lineal o no lineal. En las tablas de las figuras 10 y 11 mostramos el estadístico $W_m(R)$ para diferentes valores de m (dimensión de inmersión) y R (distancia mínima entre los puntos del espacio de fases) para el TC de México. Como podemos observar, se rechaza la hipótesis de que las observaciones sean variables iid con un 95% de confianza. El estadístico $W_m(R)$ presenta valores muy grandes (superiores a 2) en ambas economías. Este hallazgo nos muestra que existe una dependencia no lineal entre las observaciones, ya que como mencionamos, la dependencia lineal se rechazó con el test de Ljung-Box, lo que nos lleva a preguntarnos en primera instancia sobre la posibilidad de la existencia de un comportamiento caótico.

		m	2	3	4	5	6	7	8	9	10
México	$0,5 \sigma$		12,0560	16,5840	19,3330	22,5250	25,5920	28,9690	32,9690	37,5900	43,1270
	σ		11,4070	13,8570	14,6150	14,9650	15,0570	15,0630	15,0280	15,0650	15,1590
	$1,5 \sigma$		15,7550	16,8890	16,6180	16,0690	15,7070	15,3310	14,9730	14,6580	14,3770
	$1,75 \sigma$		17,3020	18,2790	17,6300	16,7940	16,2800	15,8040	15,3700	14,9820	14,6360
	2σ		16,3590	17,7950	17,1560	16,2840	15,6200	15,1060	14,6510	14,2460	13,8850

Figura 10: Test BDS para las primeras diferencias logarítmicas del TC pesos/dólar para diferentes valores de m (dimensión de inmersión) y R (distancia mínima entre puntos cercanos) para México.

		m	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Chile	$0,5 \sigma$		2,5324	4,0959	4,6157	4,5425	4,3025	3,8966	3,4513	2,9936	2,5702
	σ		1,8950	3,9588	5,7209	7,1816	8,4161	9,3957	10,1600	10,6960	11,0230
	$1,5 \sigma$		0,9476	2,1141	3,2509	4,3349	5,3570	6,3540	7,2638	8,0855	8,8304
	$1,75 \sigma$		0,6401	1,4891	2,3357	3,1460	3,9228	4,7200	5,4700	6,1802	6,8478
	2σ		0,4196	1,0376	1,6720	2,2815	2,8659	3,4828	4,0718	4,6429	5,1897

Figura 11: Test BDS para las primeras diferencias logarítmicas del TC pesos/dólar para diferentes valores de m (dimensión de inmersión) y R (distancia mínima entre puntos cercanos) para Chile.

CÁLCULO DE LA DIMENSIÓN DE CORRELACIÓN

Un método más práctico es el desarrollado por Grassberger y Procaccia (1983) llamado dimensión de correlación, una aproximación de la dimensión fractal que usa la integral de correlación $C_m(R)$. La integral de correlación es la probabilidad de que un par de puntos en el atractor estén dentro de una distancia R de uno al otro. Para contar el número de pares de puntos, primero reconstruimos la serie temporal en el espacio de fases

⁴ Para estimar el número de parámetros del modelo ARMA (p,q) utilizamos el criterio de Schwarz (CS) para el intervalo de $p, q \in [2, 10]$ desarrollado por Schwarz (1978), el cual como se menciona en Mills (1994: pág. 29) y Espinosa (2001: pág. 66) a diferencia de otros criterios penaliza más la inclusión de un mayor número de parámetros y por ello, evita errores en la estimación de modelos con gran cantidad de parámetros.

comenzando con una dimensión de inmersión pequeña $m = 2$, después empezamos con una distancia pequeña R y calculamos la integral de correlación $C_m(R)$ para esta distancia de acuerdo a la siguiente ecuación,

(1)

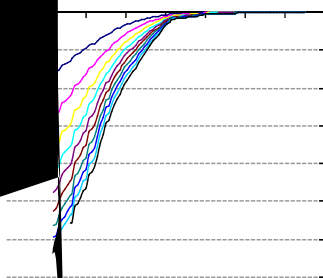
La función $\theta(x)$ se llama "funcion de Heavyside" debido a que toma el valor cero si la distancia entre dos puntos X_i y X_j es menor que R y es uno si la distancia es mayor.

Para la elección de R y de los incrementos siguientes utilizamos el valor sugerido en el programa TISEAN (TIme SEries ANalysis) elaborado por Hegger, Kantz, y Schreiber (1999).⁵ La idea es la siguiente. El primer valor de R es igual a la diferencia entre el máximo (*Max*) y el mínimo (*Min*) de las observaciones (X_t) de la serie temporal y el valor final sería un 0,1% del valor inicial de R , es decir, se estaría decrementando la distancia bajo el siguiente esquema,

(2)

donde $W = \frac{-i}{(k-1)}$ y k es el número de distancias R que se desean, o en otras palabras, el número de datos.

El cálculo de la dimensión de correlación nos puede ayudar en la detección de un comportamiento caótico. Por lo tanto, aplicamos esta metodología en nuestras series. Encontramos que para el caso mexicano la dimensión de correlación se satura en un valor de 2,5 para el TC (véase figura 6), a partir de una dimensión de inmersión específica, entonces podemos decir que posiblemente estemos ante la presencia de una dinámica caótica. Decimos "posiblemente" porque las conclusiones obtenidas tienen que ser validadas con más pruebas.



tipo de bandas cambiarias en ambas economías, siendo la banda reptante de Chile un sistema más complejo que las bandas cambiarias de México al intervenir más variables en el sistema.

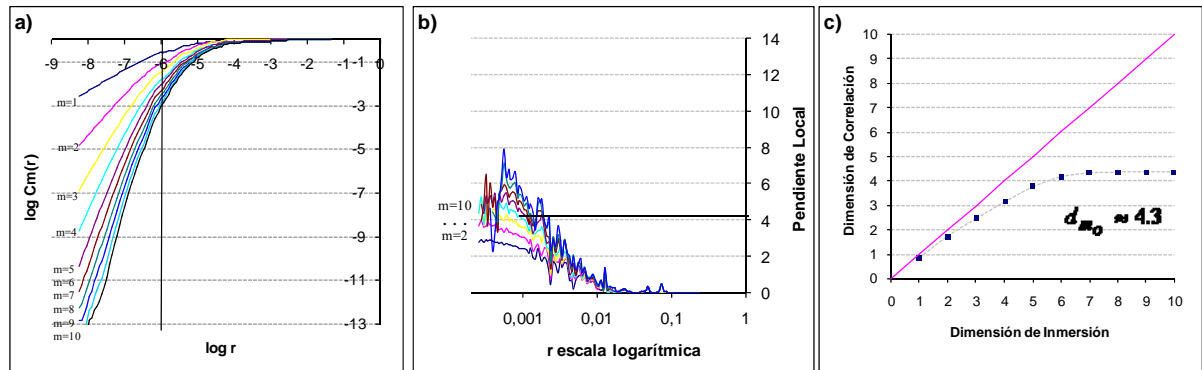


Figura 7: Cálculo de la dimensión de correlación para Chile para el periodo de bandas reptantes (BR) para el tipo de cambio.

CÁLCULO DE LOS EXPONENTES DE LYAPUNOV

El objetivo de este apartado es el determinar si nuestros datos presentan una característica muy importante de los sistemas caóticos: la dependencia sensible a las condiciones iniciales. En la sección anterior concluimos que el periodo de BC posiblemente presenta un comportamiento caótico, por lo que si esto es verdad entonces tendríamos un exponente de Lyapunov positivo indicando la sensibilidad a las condiciones iniciales. Para ello aplicamos el algoritmo de Kantz (1994) utilizando el programa TISEAN.

En el espacio de fases, los exponentes de Lyapunov se calculan midiendo cómo el volumen de la esfera cambia sobre el tiempo. Por ejemplo, si empezamos con un espacio de fases tridimensional y una esfera de puntos cercanos representando condiciones iniciales ligeramente diferentes entonces la esfera se convertirá después de un tiempo en un elipsoide. La tasa de crecimiento exponencial del volumen de la esfera es una medida del exponente de Lyapunov. La ecuación formal para el i -ésimo exponente de Lyapunov es:

$$\lambda_i = \lim_{t \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{t} \right) \log_2 \left[\frac{p_i(t)}{p_i(0)} \right] \quad (2)$$

donde $p_i(0)$ y $p_i(t)$ representan el eje principal del elipsoide en el periodo inicial y en t respectivamente.

La parte lineal del elipsoide crece a la tasa $2^{(\lambda_1)}$. El área de las primeras dos dimensiones crece a $2^{(\lambda_1 + \lambda_2)}$. El volumen del elipsoide tridimensional crece en $2^{(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3)}$. El procedimiento para dimensiones mayores que tres continúa de la misma forma. Por ello, tenemos el mismo número de exponentes de Lyapunov que dimensiones en el espacio de fases.

Las gráfica 8 muestra los resultados el tipo de cambio de México. Si para un rango Δn la función $S(\Delta n)$ presenta un crecimiento lineal entonces su pendiente sería la estimación del máximo exponente de Lyapunov (λ). En cuanto a la dimensión de inmersión empleada en los gráficos tomamos un valor de $m=3$ para diferentes valores de R . Cuando reconstruimos el espacio de fases de nuestras series habíamos dicho que la dimensión de inmersión era aparentemente igual a dos, ya que al visualizar las gráficas parecía que el atractor no cambiaba al pasar de la dimensión 2 a la 3, (véase figura 3). Sin embargo, con el estudio de la dimensión de correlación

calculamos que era necesario un espacio tridimensional para trazar el atractor del TC. Por ello, aunque a priori no es necesario conocer la dimensión de inmersión para calcular el exponente de Lyapunov con el algoritmo de Kantz, nosotros podemos decir que para nuestros datos $\Delta n=3$ por lo que hemos comentado.

En la figura 8 la economía mexicana exhibe un crecimiento lineal pronunciado sobre todo si tomamos valores de $n=3, 4, \dots, 10$. Para calcular el máximo exponente de Lyapunov hemos trazado una línea recta más gruesa (paralela a las otras líneas) en la parte superior de la figura 8 y calculamos su pendiente, la cual representa el valor estimado del máximo exponente de Lyapunov ($\hat{\lambda}$). El máximo exponente de Lyapunov calculado fue $\hat{\lambda} = 0,055$ lo que implica que la información no nos sería útil después de $1/0,055 \approx 18$ días hábiles, casi un mes.

Por otro lado, para el caso de chileno encontramos un máximo exponente de Lyapunov de $\hat{\lambda} = 0,045$ lo que muestra 22 días de predicción. En suma, con los resultados de las pruebas realizadas en el caso de dos monedas con un sistema cambiario de intervención como el de bandas cambiarias podría llevarnos aparentemente a un comportamiento caótico.

En suma, hemos ratificado un posible comportamiento caótico en ambos países al obtener un exponente de Lyapunov positivo lo que quiere decir que existe una dependencia sensible a las condiciones iniciales y que nuestras predicciones serían a corto plazo, aproximadamente un mes.

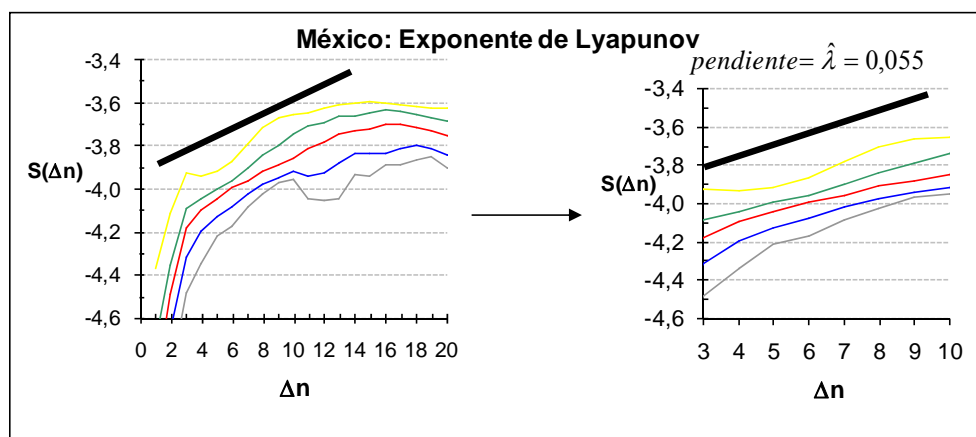


Figura 8: Cálculo del máximo exponente de Lyapunov utilizando el algoritmo de Kantz para el TC en México.

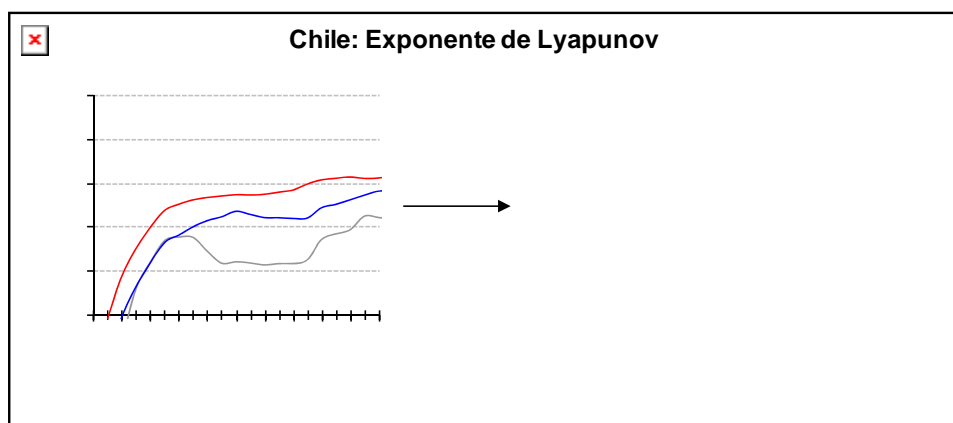


Figura 9: Cálculo del máximo exponente de Lyapunov utilizando el algoritmo de Kantz para el TC en Chile.

CONCLUSIONES

Al aplicar las técnicas para detectar una dinámica caótica concluimos que posiblemente nos encontremos ante la presencia de un comportamiento caótico. En este trabajo detectamos que México y Chile encontramos una dimensión de correlación de 2.5 para México y 4.3 para Chile, así como una dependencia sensible a las condiciones iniciales al obtener un exponente de Lyapunov positivo con un horizonte de predicción de aproximadamente un mes, siendo éste menor en México que en Chile.

Como se mencionó en este artículo, el TC de México mostraba una mayor volatilidad y fluctuaba en una zona objetivo donde las autoridades monetarias intervenían sólo en el caso en donde se tocarán los límites de esta zona. Por otro lado, en el caso de Chile la volatilidad era menor, ya que el tipo de cambio se ajustaba a un sistema de bandas cambiarias reptantes el cual se fijaba en torno a una paridad central (inicialmente fijada respecto del dólar de EE.UU.), que se depreciaba en función de la diferencia entre la inflación doméstica y la inflación externa. Como señala Schmidt-Hebbel (2006) la adopción de la banda cambiaria reptante por el Banco Central de Chile a mediados de los años 1980 se hizo para promover y proteger un tipo de cambio real competitivo, sin embargo, con el relajamiento de la restricción financiera externa y el alcance del pleno empleo en torno al año 1990, el objetivo de tipo de cambio real fue perdiendo importancia frente al reforzamiento del objetivo inflación, lo que llevó al Banco Central a adoptar una meta de inflación explícita a partir de 1991.

Por otro lado, al aplicar el test BDS filtrando los datos con modelos estocásticos lineales rechazamos la hipótesis de independencia, por lo que existe una dependencia no lineal, ya que el test de Ljung Box rechazó la dependencia lineal. El hecho de que el TC durante en las dos economías estuviera sujeto a intervenciones por parte de las autoridades monetarias, no significa que este periodo no tuviera una dinámica no lineal, P. Krugman (1991) concluye que el establecimiento de bandas o target zones afecta el comportamiento del TC y de las expectativas de los participantes del mercado aún y cuando éste se encuentre dentro de la zona de libre flotación. En suma, en las series de México y Chile el TC tiene indicios de una dinámica no lineal caótica.

BIBLIOGRAFÍA

- Bajo Rubio, Oscar y Sosvilla Rivero, Simón (1993). "Teorías del tipo de cambio: Una panorámica", *Revista de Economía Aplicada*, vol. 1, núm. 2, págs. 175-205.
- Banco de México (2003b). Informe sobre la inflación. Enero - Marzo 2003, Publicaciones del Banco de México, (disponible en: [http://www.banxico.org.mx / gPublicaciones / FSPublicaciones.html](http://www.banxico.org.mx/gPublicaciones/FSPublicaciones.html)), México, D.F.
- Belaire Franch, Jorge y Contreras, Dulce (1997). "¿Es caótico el tipo de cambio oficial peseta/dólar?", DAE Documento de Trabajo DT 97-02, Departamento de Análisis Económico, Universidad de Valencia.
- Birkhoff, George David (1926). *Dynamical systems*, American Mathematical Society, Providence.
- Brock, William A. y Sayers, Chera L. (1988). "Is the business cycle characterized by deterministic chaos?", *Journal of Monetary Economics*, vol. 22, núm. 1, págs. 71-90.
- Brock, William A; Dechert, W. Davis. y Scheinkman, José. A. (1987). "A test for independence based on the correlation dimension", SSRI Working Paper 8702, Department of Economics, University of Wisconsin-Madison.

- Cartwright, Mary L. y Littlewood, John E. (1945). "On non-linear differential equations of the second order: I. The equation $y-k(1-y^2)y+y=b\lambda\cos(\lambda t+\alpha)$, k large", *Journal of the London Mathematical Society*, vol. 20, págs. 180-189.
- Creedy, John y Martin, Vance L. (eds.) (1994). *Chaos and non-linear models in economics: Theory and applications*, Edward Elgar, Aldershot (Reino Unido).
- Devaney, Robert L. (1989). *An introduction to chaotic dynamical systems*. Segunda Edición. Addison-Wesley Publishing Company, Redwood City (California).
- Espinosa Navarro, Fernando (2001). *Modelización no browniana de series temporales financieras*. Tesis Doctoral, Universidad de Barcelona.
- Fernández Rodríguez, Fernando; Sosvilla Rivero, Simón y Andrada Félix, Julián (2002). "Testing chaotic dynamics via Lyapunov exponents", *FEDEA Documento de Trabajo 2000-07*, Fundación de Estudios de Economía Aplicada, Madrid.
- Gandolfo, Giancarlo (1997). *Economic dynamics*. Springer-Verlag, Berlín.
- Gleick, James (1987). *Chaos: Making a new science*, Viking Press, Nueva York. [Traducción al castellano: Gutierrez-Larraya, Juan A. (1988). *Caos: La creación de una ciencia*, Seix Barral, Barcelona].
- Grassberger, Peter y Procaccia, Itamar (1983). "Measuring the strangeness of strange attractors", *Physica*, 9D, págs. 189-208.
- Grauwe, Paul de; Dewachter, Hans y Embrechts, Mark (1993). *Exchange rate theory: Chaotic models of foreign exchange markets*. Editorial Blackwell. Gran Bretaña.
- Guckenheimer, John y Holmes, Philip (1986). *Nonlinear oscillations, dynamical systems, and bifurcations of vector fields*, Springer-Verlag, Nueva York.
- Hegger, Rainer; Kantz, Holger y Schreiber, Thomas (1999). "Practical implementation of nonlinear time series methods: The TISEAN package", *Chaos*, vol. 9, núm. 2, págs. 413-435.
- Kantz, Holger (1994). "A robust method to estimate the maximal Lyapunov exponent of a time series", *Physics Letters A*, vol. 185, núm. 1, págs. 77-87.
- Kolmogorov, Andrei Nikolaevich (1958). "A new metric invariant of transitive dynamical systems", *Doklady Akademiia Nauk SSSR*, vol. 119, págs. 861-864.
- Lorenz, Edward N. (1963). "Deterministic Nonperiodic Flow", *Journal of the Atmospheric Sciences*, vol. 20, núm. 2, págs. 130-141.
- Lorenz, Edward N. (1995). *La Esencia del Caos. Un campo de conocimiento que se ha convertido en parte importante del mundo que nos rodea*. Editorial Debate, Madrid. [Título original: *The Essence of Chaos*. UCL Press, Londres, 1993].
- Mandelbrot, Benoit B. (1982). *The fractal geometry of nature*, W. H. Freeman and Company, San Francisco. [Traducción al castellano: Llosa, Josep (1997). *La geometría fractal de la naturaleza*. Editorial Tusquets, Barcelona].
- Martín, Miguel Angel; Morán, Manuel y Reyes, Miguel (1995). *Iniciación al caos: Sistemas dinámicos*. Editorial Síntesis, Madrid.
- Mills, Terence C. (1994). *The econometrics modeling of financial time series*. Segunda Edición, Cambridge University Press, Cambridge.

- Nieto de Alba, Ubaldo (1998). *Historia del tiempo en economía. Predicción, caos y complejidad*. Editorial McGrawHill, Madrid.
- Ott, Edward (1993). *Chaos in dynamical systems*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Opong, Kwaku K; Mulholland, Gwyneth; Fox, Alan F. y Farahmand, Kambiz (1999). "The behaviour of some UK equity indices> An application of Husrt and BDS tests". *Journal of Empirical Finance*, vol. 6, num. 3, pags. 267-282
- Packard, N. H; Crutchfield, J. P; Farmer, J. D. y Shaw, R. S. (1980). "Geometry from a time series", *Physical Review Letters*, vol. 45, núm. 9, págs. 712-716.
- Poincaré, Henri (1893). *Les méthodes nouvelles de la mécanique céleste*. Gauthiers-Villar, París.
- Rivera Batiz, Francisco y Rivera Batiz, Luis (1994). *International finance and open economy macroeconomics*. Segunda Edición, McMillan, Nueva York.
- Ruelle, David (1981). "Chemical kinetics and differentiable dynamical systems", en Pacault, A. y Vidal, C. (eds.) (1981), *Nonlinear phenomena in chemical dynamics*. Springer-Verlag, Berlín.
- Schmidt-Hebbel Klaus (2006). "La Gran Transición de Regímenes Cambiarios y Monetarios en América Latina". *Documentos de política económica*, Banco Central de Chile. N.º 17 - Septiembre 2006.
- Schwarz, Gideon (1978). "Estimating the dimension of a model", *The Annals of Statistics*, vol. 6, núm. 2, págs. 461-464.
- Smale, Stephen (1967). "Differentiable dynamical systems", *Bulletin of the American Mathematical Society*, vol. 73, págs. 747-817.
- Stewart, Ian (1991). *¿Juega Dios a los dados? La nueva matemática del caos*. Crítica, Barcelona. [Título original: *Does God play dice? The new mathematics of chaos*, Basil Blackwood, Oxford, 1989].
- Takens, Floris (1981). "Detecting strange attractors in turbulence", en Rand, D. A. y Young, B. S. (eds.) (1981). *Dynamical Systems and Turbulence*, *Lecture notes in mathematics*, vol. 898. Springer, Berlin, pág. 366.
- Trippi, Robert R. (ed.) (1995). *Chaos & nonlinear dynamics in the financial markets: Theory, evidence and applications*. Editorial Irwin, Chicago.
- Tsonis, Anastasios A. (1992). *Chaos: From theory to applications*. Plenum, Nueva York.
- Williamson, J. (2000), *Exchange Rate Regimes for Emerging Markets: Reviving the Intermediate Option*. Washington, D.C: Institute for International Economics.
- Williamson, J. (2005), "The Choice of Exchange Rate Regime: The Relevance of International Experience to Chin Decision," mimeo, University of Finance and Economics, Beijing.