

Modelización de la crisis financiera de 1994 mediante los Mapas Cognitivos Borrosos

Dra. Martha Rodríguez García ^I
y Dr. Klender Cortez Alejandro ^{II}

RESUMEN

La modelización de las crisis financieras ha sido uno de los tópicos que hoy día es difícil de resolver. Diversos esquemas tales como regresiones, redes neuronales y sistemas neuroborrosos han sido desarrollados y aplicados; aunque la predicción de tales sistemas es cuestionable en el mundo real. Una limitante importante es que en las crisis financieras intervienen gran cantidad de variables cualitativas y cuantitativas interrelacionadas. Los Mapas Cognitivos Borrosos (MCB) parecen ser una herramienta metodológica que resuelve la introducción de variables cualitativas, es por ello que en el siguiente artículo haremos uso de los MCB para explicar la crisis financiera de 1994 en México.

ABSTRACT

The simulation of the financial crises has been one of the topics that nowadays are difficult to solve diverse schemes such as regressions, networks and fuzzy networks systems have been developed and

Palabras clave: Mapas cognitivos borrosos, redes neuronales artificiales, crisis financiera, México.

Key words: Fuzzy cognitive maps, artificial networks, financial crisis, Mexico.

Recibido: 7 de marzo de 2008, aceptado: 30 de mayo de 2008

^I Profesor-Investigador, Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Contaduría Pública y Administración. Teléfono (81) 8349 3761, Fax: (81) 8376 7025, correo electrónico: marthadelpilar2000@yahoo.com.

^{II} Profesor-Investigador, Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Contaduría Pública y Administración. Teléfono (81) 8349 3761, Fax: (81) 8376 7025, correo electrónico: kcortez@facpya.uanl.mx.

applied; although the prediction of such systems is questionable in the real world. An important limit is that in the financial crises great amount of interrelated qualitative and quantitative variables takes part. The Fuzzy Cognitive Maps (FCM) seem to be a methodological tool that it solves the introduction of qualitative variables, is for that reason that in the following article we will make use of the MCB to explain the financial crisis of 1994 in Mexico.

INTRODUCCIÓN

Algunos meses antes de la crisis financiera en diciembre de 1994, se comentaba en los medios de comunicación y en las escuelas de economía que México presentaba signos de recuperación estables. Lo único preocupante era la composición de los flujos de capital y el cambio del gobierno que se avecinaba, pero debido al auge que se vivía, no se les tomó importancia. Lo anterior ocasionó que en diciembre de 1994 México viviera una de las peores crisis de su historia.

Trabajos como los de (Eichengreen, 2002) y (Desai, 2003) han analizado las crisis financieras para obtener posibles soluciones para prevenir su repetición. Además, existe literatura que compara las crisis mexicana de 1994-95 con otras crisis (Kregel, 1998) (Palma, 1998) (Esquivel y Larraín, 1999) (Palma, 2000) (Chang Varela y Jacobs, eds., 2002). Por otra parte, encontramos publicaciones que emplean redes neuronales artificiales para clasificar las fases en que se encuentra la economía mexicana, y si existen características indicativas de una posible crisis financiera (Oscar Pérez *et. al*, 2008). Una

limitante importante de los trabajos anteriores es que en las crisis financieras intervienen gran cantidad de variables cualitativas y cuantitativas interrelacionadas. Por ello, pensamos que los Mapas Cognitivos Borrosos (MCB) parecen ser una herramienta metodológica que resuelve la introducción de variables cualitativas.

El objetivo particular del siguiente trabajo de investigación es brindar un estudio adicional para interpretar la realidad compleja que México sufrió en las crisis y así poder entender las relaciones ocultas entre las variables del estudio. Debido a que los MCB permiten la inclusión de variables cualitativas y cuantitativas se utiliza esta metodología para explicar las hipótesis de la crisis financiera mexicana de 1994. Los objetivos del artículo son explicar la construcción de los MCB, analizar las hipótesis sobre las causas de la crisis financiera, simular la crisis financiera utilizando un modelo que incorpore las hipótesis que influyeron en ésta y finalmente, se presentan conclusiones y futuras líneas de investigación.

Concepto y antecedentes de los Mapas Cognitivos

La definición de los Mapas Cognitivos (MC) difiere de acuerdo al área de estudio en que se use, pero existe un consenso entre los investigadores, "Son grafos direccionados, es decir, una colección de nodos relacionados mediante arcos". (Marchant, 1999). La psicología es la precursora de los MC. El primero que utilizó el concepto de Mapa Cognitivo fue Tolman (1948) en su investigación "Cognitive maps in rats and men". Más tarde Cartwright and Harary (1956) dieron un importante avance en la década de los cincuenta, al introducir el concepto de **grado de equilibrio**

para tratar los problemas del equilibrio cognitivo en términos estadísticos y probabilísticos.

El cambio más importante en el uso de los MC lo dio Axelrod (1976) cuando presentó el primer estudio sistemático de los MC en la ciencia política y la teoría de decisión. Diez años después de los trabajos de Axelrod, Kosko (1986) introdujo la borrosidad ¹, lo que supone que los eventos no son totalmente ciertos o falsos, esto es, se presentan en cierto grado (Bojadziev y Bojadziev, 2007). La contribución de Kosko (1986) dio lugar a lo que denominamos Mapas Cognitivos Borrosos (MCB). Los MCB son estructuras que ayudan a representar modelos dinámicos complejos. Su uso se extiende a los campos de la ciencia política, la medicina, la economía y la meteorología, entre otros.

De acuerdo con Kosko (1986), los MCB son estructuras gráficas borrosas que representan un razonamiento causal. Su borrosidad permite grados borrosos de causalidad entre conceptos borrosos. Su estructura gráfica permite propagaciones sistemáticas causales, en particular, cadenas (enlaces) hacia atrás y hacia delante, lo cual permite que las bases de conocimientos crezcan por estas conexiones. Cada uno de los conceptos del mapa será un conjunto borroso, por lo que la denominación del diagrama suele llamarse MCB.

MATERIALES Y MÉTODOS

Construcción de los MCB

Para construir el MCB se deben considerar tres etapas:

- 1) Identificación de conceptos
- 2) Determinación de relaciones causales y por último
- 3) dinámica del mapa.

A continuación se explican cada una de ellas. En la primera etapa, el diseñador del MCB propone una colección de nodos o conceptos para un problema específico. Esta fase es importante ya que la inclusión o exclusión de variables puede perjudicar el futuro funcionamiento del MCB. En la segunda etapa se obtiene la matriz conocida como E y gráfica de los MCB, esto es, las relaciones (pesos) de causalidad entre los nodos que han de intervenir en el MCB. El aprendizaje que utilizan los MCB es no supervisado ², desde que se

¹ Kaufmann y Gil-Aluja (1986) mencionan que la teoría de los subconjuntos borrosos: "es una parte de las matemáticas que se halla perfectamente adaptada al tratamiento tanto de lo subjetivo como de lo incierto. Es un intento de recoger un fenómeno tal cual se presenta en la vida real y realizar su tratamiento sin intentar reformarlo para hacerlo preciso y cierto". Para Kosko (1995) es posible concebir el pensamiento como un subconjunto borroso y no como un lenguaje de caracteres, ya que la borrosidad reconoce un grado de pertenencia para cada elemento, esto es, un número real entre 0 y 1 inclusive.

² No requieren influencia externa para ajustar los pesos de las conexiones entre neuronas, se dice que se autoorganizan.

desconoce la estructura causal del mundo. Para obtener estas relaciones, el diseñador del MCB debe de seleccionar entre dos posibles formas. La primera se refiere a una forma subjetiva y la segunda mediante la construcción de una Red Neuronal Artificial (RNA) para obtener los pesos entre los nodos, a través de series históricas de datos.

En este trabajo optamos por la forma subjetiva, el aprendizaje será fácil de obtener mediante la opinión o cuestionamiento a especialistas en el campo bajo estudio. Cada uno de los especialistas dibujan sus gráficos causales o MCB, incluyendo o excluyendo los nodos que ellos creen intervendrán en el estudio. Se puede presentar un cuestionario sobre la influencia de un concepto frente a otro, ofreciendo varias alternativas borrosas, representadas simbólicamente, que después se traducirán a valores numéricos asociados a las conexiones. Por otra parte, si el diseñador del MCB no tiene idea sobre los pesos, podría implementar una RNA para obtener los pesos entre los nodos³. En la etapa tres seleccionamos la función umbral y obtenemos la dinámica del mapa. La matriz **E** es aquella que puede ser estimulada mediante los vectores de entrada; lo anterior se puede realizar a través de la multiplicación de vector-matriz⁴. Lo expuesto anteriormente se puede expresar de la siguiente manera: $\mathbf{E} = (e_{ij})_{1 \leq i, j \leq n}$: Matriz de arcos causales, $\tilde{C}(t) = C_1(t), C_2(t), \dots, C_n(t)$: Lista ordenada de antecedentes: ¿Qué pasa si? son preguntas en tiempo discreto t , $\tilde{C} \circ \mathbf{E} = \sum \tilde{C} \cdot \mathbf{E}^i$: Se refiere a una lista ordenada de consecuencias.

Esto significa que el MCB se convierte en un sistema computacional dinámico de preguntas "¿Qué si enciendo el nodo i ?" y respuestas a través de la operación producto, hasta dirigirse a un equilibrio en términos de ciclos límite con longitud $q=1, 2, \dots, m$. Donde m es el número de repeticiones del vector de salida (consecuencias). Sin embargo, la función depende del umbral T , necesario para realizar la iteración como se muestra a continuación:

$$\tilde{C}_i(t+1) = \begin{cases} 1 & \text{para } \sum_{i=1}^n \tilde{C} \cdot \mathbf{E}^i > T \\ 0 & \text{para } \sum_{i=1}^n \tilde{C} \cdot \mathbf{E}^i \leq T \end{cases}$$

Donde: $\tilde{C}_i(t+1)$: vector de estado de activación causal en el tiempo discreto $t+1$. \mathbf{E}^i : i -ésima columna de la matriz de conexiones causales **E**. T : umbral (puede tomar valores no negativos, ejemplo: $T=0, T=1/2$) n =número de nodos del MCB.

Una inferencia de primer orden es el vector de salida después de la operación umbral. Si volvemos a incluir la inferencia de primer orden dentro de la matriz **E** se obtiene una inferencia de segundo orden. Órdenes superiores son generadas iterativamente. Cada inferencia representa un vector con nodos prendidos o apagados y el MCB se equilibra, es decir se estabiliza en ciclos límite a través de la operación producto. Un MCB con n conceptos implica 2^n "Que si" preguntas, y converge a un ciclo límite tomando al menos 2^n iteraciones. Aunque Kosko (1992) ha demostrado que los MCB convergen con pocas iteraciones.

Por otra parte, los ciclos límite son patrones que se repiten. Un ciclo límite de longitud uno, es un punto fijo, es decir sólo se obtiene un vector de salida. Si tenemos una longitud de dos, existe biestabilidad o una oscilación en dos fases, tal que se obtienen dos vectores de salida y así sucesivamente. Cabe mencionar que el MCB analizado puede contestar a 2^n preguntas de "¿Qué si enciendo X nodos?", y una respuesta para cada pregunta con número de vectores de respuesta de ciclos límite $q=1, \dots, m$. donde m es el número de vectores que se repiten.

RESULTADOS

Aplicación de los MCB para simular la crisis financiera

El problema al que nos enfrentamos era explicar a través de un MCB las causas de la crisis financiera mexicana⁵, ya que en los salones de

³ La RNA es parecida a la de Hopfield pero a diferencia de ésta se emplea un algoritmo de aprendizaje distinto, conocido como algoritmo diferencial hebbiano Kosko (1986) y Kosko (1997), Hilera y Martínez (1995).

⁴ Si utilizamos la composición maximin, se comprueba que todo aquel signo negativo se elimina, por lo que se empleó la composición de producto.

⁵ Para Jadresic *et. al* (2007) las crisis financieras son desajustes en la cuenta de capitales derivadas de una aguda caída en la entrada neta de capitales privados, dificultando severamente la posibilidad de cumplir con las obligaciones de pagos externos. También se intensifica con la debilidad de las cuentas fiscales y del sistema político, que inhibe la adopción de políticas macroeconómicas y estructurales de emergencia y de corrección sistémica. Como lo comentan los evaluadores se puede llegar a confundir el término de crecimiento y crisis por lo que en el artículo optamos por definir crisis.

clase, fueron muchas las hipótesis manejadas, pero nunca simulamos una hipótesis que involucrara todas las anteriores, ya que carecíamos de la metodología de los MCB. A continuación se definen las variables como: C_1 = Sobrevaluación del tipo de cambio real (TCR), C_2 = Superávit en la balanza comercial (BC), C_3 = Crisis Económica, C_4 = Flujos de Capital Volátiles (FCV), C_5 = Riesgo País, C_6 = Confianza en el país, C_7 = Aspectos políticos negativos (asesinatos), C_8 = Credibilidad de los dirigentes ⁶, C_9 = Superávit en Reservas Internacionales (RI), C_{10} = Incremento de la Deuda Externa (DE), C_{11} = Diferencial en tasas de interés reales (México-Estados Unidos) (DTIR), C_{12} = Consumo, C_{13} = Inversión, C_{15} = Crecimiento Económico (PIB), C_{16} = Inestabilidad Política, C_{17} = Insurrección en Chiapas, C_{18} = Cambio de Gobierno. Una vez presentada la lista de variables se elaborarán los MCB para cada una de las causas de la crisis financiera mexicana. Cabe señalar que los valores de los pesos son borrosos ² y se pusieron de acuerdo a la opinión de expertos, esto es a las hipótesis que reflejaban los artículos de economía a mediados de los noventa.

Primera hipótesis. Economistas como P. Krugman (1996) establecen que la causa de la crisis de 1994 ha sido principalmente a que el tipo de cambio real estaba sobrevaluado. El mantenimiento constante de esta sobrevaluación aumenta el riesgo de país y disminuye la confianza y la credibilidad en los dirigentes, provocando fuga de reservas internacionales por las constantes pérdidas en la balanza comercial, que más tarde desembocarán en una crisis, lo anterior se observa en el inciso a) de la Figura 1.

Segunda hipótesis. Para G. Calvo y E. Mendoza (1996) la crisis financiera fue una crisis de Cuenta de Capital (CC). La inquietud de los inversionistas por conseguir ganancias a corto plazo, originó la desconfianza en el país y la crisis. (Ver inciso b) Figura 1).

Tercera hipótesis. Específicamente, R. J. Barro (1996) menciona que la vasta expansión del crédito interno después de octubre de 1994 pareció

un intento por mantener el valor en dólares de los bonos del gobierno y los depósitos bancarios. Lo anterior, se traduce en una disminución en las reservas internacionales (ya que es la contraparte del Crédito Interno) ocasionada por el déficit en la balanza comercial y los asesinatos políticos de Luis Donaldo Colosio y José Francisco Ruiz, que contribuyeron a agravar la crisis. (Ver inciso c) Figura 1).

Cuarta hipótesis. Esta hipótesis se incluye para tomar en cuenta cómo influyen las variables que forman el PIB en la crisis y ésta a su vez en el mismo y en las variables que la forman. Es decir, existe un ciclo difícil de romper ante la presencia de crisis. (Ver inciso d) Figura 1).

Quinta hipótesis. Por último, se observa cómo la inestabilidad política, el cambio de gobierno y el conflicto de Chiapas, se encuentran relacionadas con variables como riesgo del país o reservas internacionales causando una crisis. (Ver inciso e) Figura 1).

En cuanto a la dinámica de los MCB anteriores se utilizó una función umbral trivalente representada a través de la siguiente expresión matemática:

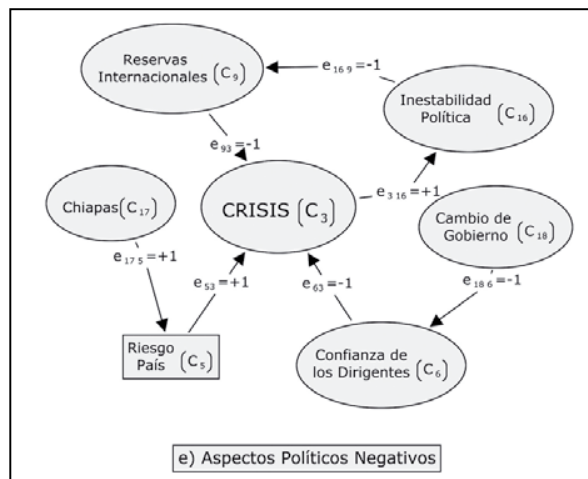
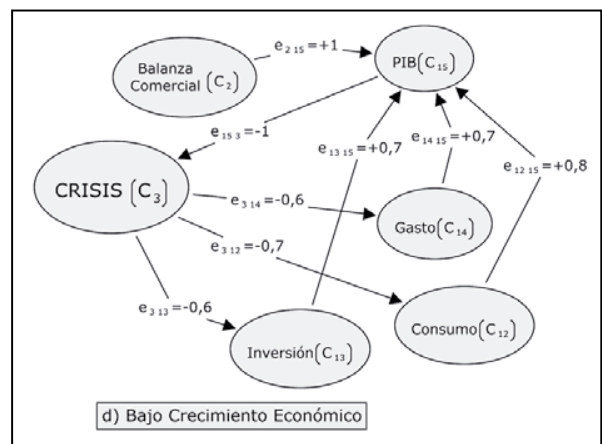
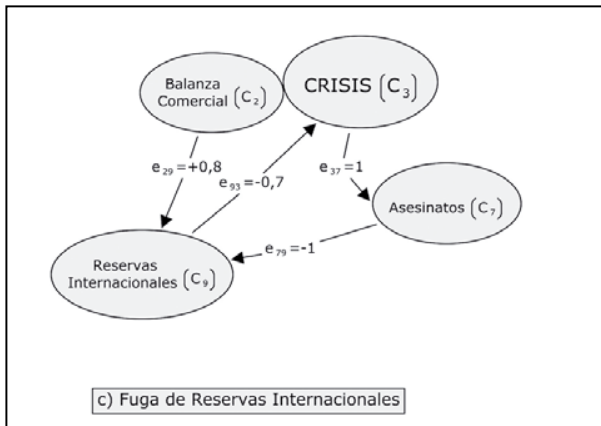
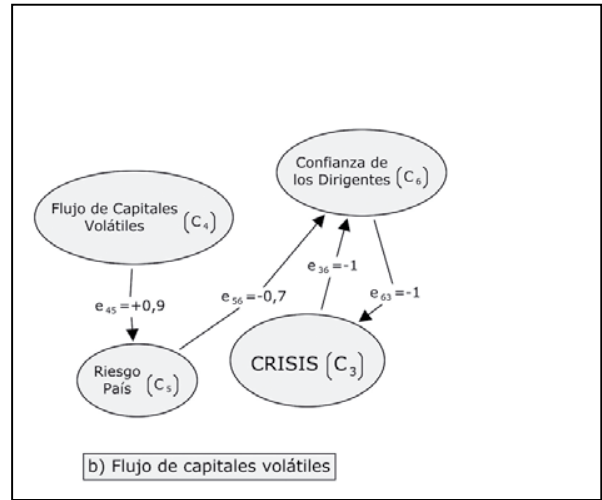
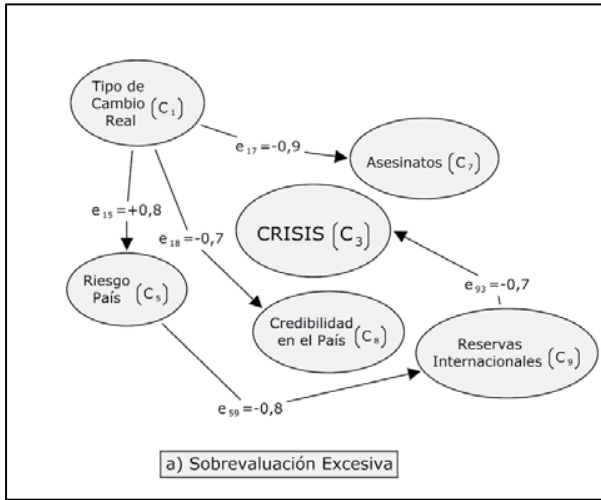
$$\tilde{C}_i(t+1) = \begin{cases} 1 & \text{para } \sum_{i=1}^n \tilde{C} \cdot E^i \geq 0,5 \\ 0 & \text{para } 0 \leq \sum_{i=1}^n \tilde{C} \cdot E^i < 0,5 \\ -1 & \text{para } \sum_{i=1}^n \tilde{C} \cdot E^i < 0 \end{cases}$$

Para no hacer una explicación muy exhaustiva, sólo simularemos (etapa tres de la construcción del MCB) la primera hipótesis. A continuación se presenta la dinámica del MCB presentado en la Figura 1. Así, tenemos que una sobrevaluación excesiva en el tipo de cambio, es decir, el vector de preguntas ¿Qué si? sería $\tilde{C}(0)=(1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0)$. Utilizando la operación producto y la función umbral anteriormente mencionada introducimos el vector a la matriz de relaciones causales **E** y realizamos la dinámica del sistema, los resultados se presentan en la Tabla 1.

La evolución del sistema puede razonarse de la siguiente forma: En $t=0$ existe una sobrevaluación en el tipo de cambio que en $t=1$ consigue aumentar el riesgo país, disminuye la confianza y baja la credibilidad de los dirigentes con lo que

⁶ El concepto borroso C_8 = Credibilidad de los dirigentes, mientras que su correspondiente negación es $\sim C_8$,=Desconfianza en la Burocracia.

⁷ Donde los pesos pueden ser representados mediante la siguiente escala de valores nada=0, muy poco=0,1, poco=0,3, débil=0,4, moderada=0,5, suficiente=0,7, fuerte=0,8, muy fuerte=0,9, intensamente fuerte=1.



en $t=2$ disminuyen las reservas internacionales provocando en $t=3$ la crisis financiera. El sistema se vuelve a repetir una y otra vez, es decir, se obtiene la repetición de cuatro vectores, $q=4$, lo que significa que estamos ante un punto periód-

co y en una situación de convergencia, ya que el sistema no varía con el tiempo, suponiendo nada de intervención del gobierno, lo cual no fue la realidad.

Cuenta de Capital) y la hipótesis 4 (caída del PIB) explican la crisis ya que la evolución del sistema activa el concepto de crisis. Lo anterior, hace sentido de acuerdo a la definición propuesta Jadresic *et al.* (2007) en donde las crisis son ocasionadas por desajustes en la cuenta de capitales y se intensifican malas de políticas macroeconómicas y estructurales de emergencia y de corrección sistémica.

Los resultados obtenidos corresponden a la presentación de un método que ayuda a relacionar variables cualitativas y cuantitativas; lo cual podría aplicarse no solamente al campo económico como aquí lo hicimos, sino a cualquier campo de investigación. La aplicación de los MCB para estudiar la crisis financiera de México de 1994 es una de varias aplicaciones que realizaremos en esta vía. Aquí se proponen un conjunto de variables y relaciones obtenidas a través de artículos económicos de la época.

Al sumar las hipótesis se observa que la sobrevaluación excesiva consigue aumentar el riesgo país, disminuye la confianza y baja la credibilidad de los dirigentes con lo que disminuyen las reservas internacionales provocando la crisis financiera. Todo esto, en un modelo en donde no influyen políticas de ajuste hace que la economía evolucione a un punto de crisis económica. Aunque ayuda a identificar las relaciones entre las variables y los efectos.

No hay que olvidar que se proporciona una propuesta sobre un MCB que muestra, una evolución simple pero cierta y que se asemeja a la realidad. Este MCB puede ser el inicio de otros MCB más sofisticados. Como líneas de investigación se propone agrupar los mapas anteriores y simular una realidad más compleja de la crisis de 1994. Otras líneas serían la estimación de posibles crisis a través del cambio de pesos.

BIBLIOGRAFÍA

- AXELROD, R. *Structure of decision: The Cognitive Maps of Political Elites*. Princeton: University Press, 1976.
- BARRO, R. *Getting Right: Markets and Choices in a Free Society*. The E.E.U.U: MIT Press, págs. 127-133, 1996.
- BOJADZIEV G. y BOJADZIEV M. *Fuzzy Logic for Business Finance, and Management*. USA: World Scientific Publishing, 2007.
- CALVO, G. y MENDOZA, E. Petty Crime and Cruel Punishment: Lessons from the Mexican Debate. *The American Economic Review: Papers and Proceedings*. Págs. 170-175, 1996.
- CARTWRIGHT D. C. y HARARY, F. Structural Balance: A Generalization of Heider's Theory. *Psychological Review*. Vol 63, págs. 277-293, 1956.
- DESAI, P. *Financial Crises, Contagion and Containment: From Asia to Argentina*, Princeton; Princeton University Press; 2003.
- EICHENGREEN, B. *Financial Crises and What to Do about Them*, New York: Oxford University Press, 2002.
- HILERA J.R. y MARTÍNEZ V.J. *Redes Neuronales Artificiales: Fundamentos, Modelos y Aplicaciones*. España: Editorial RAMA, 1995.
- JADRESIC, ESTEBAN, SCHMIDT-HEBBEL, KLAUS y VALDES, RODRIGO. Crisis financieras internacionales, prestamista de última instancia y nueva arquitectura financiera internacional. *Cuad. Econ*, vol.40, no.120, págs. 359-391, 2003.
- KOSKO, B. Fuzzy Cognitive Maps, *International Journal of Man-Machine*. Vol 24, núm. 1, págs. 65-75, 1986.
- KOSKO, B. *Neural Networks and Fuzzy Systems: A Dynamical Systems Approach to Machine Intelligence*. EE.UU: Prentice Hall, 1992.
- KOSKO, B. *Fuzzy Engineering*. EE. UU: Prentice Hall, 1997.
- KREGEL, J. "East Asia is Not Mexico: The Difference between Balance of Payments Crises and Debt Deflations", *Working Paper*, núm. 235, The Levy Economics Institute, 1998.
- KRUGMAN, P. *For Internationalism. Challenging Conventional Wisdom*. E.E.U.U: The MIT Press, págs. 129-139, 1996.
- MARCHANT, T. Cognitive Maps and Fuzzy implications. *European Journal of Operational Research*. Volumen 114, págs. 627-637, 1999.
- PALMA, G. "Three and a Half Cycles of 'Mania, Panic and [Asymmetric] Crash': East Asia and Latin America Compared", *Cambridge Journal of Economics*, vol. 22, núm. 6, págs. 780-808, 1998.
- PALMA, G. "The Three Routes to Financial Crises: The Need for Capital Controls", *CEPA Working Papers*, núm. 18, november, New School for Social Research, New York (also in H.-J. Chang, ed., *Rethinking Development Economics*, London, Anthem Press, 2003), 2000.
- PÉREZ VEYNA O., GARCÍA SALGADO O. y DÍAZ GUTIÉRREZ M. Modelación por redes neuronales artificiales de los ciclos económicos en México. *XII Congreso Internacional de la Academia de Ciencias Administrativas A.C. (ACACIA)*. Tijuana: ACACIA, 2008.
- TOLMAN, E.C. Cognitive Maps in Rats and Men. *Psychological Review*, vol 55, págs. 189-208, 1948.
- VARELA, F. and JACOBS, G. (eds.). *Crisis cambiarias y financieras. Una comparación de dos crisis*, Madrid, Pirámide, 2002.
- ZAUS, M. *Crisp and Soft Computing with Hypercubical Calculus*. Alemania: Physica-Verlag Heidelberg, 1999.