

REDES NEURONALES Y SISTEMAS AUTOPOIÉTICOS. UNA APROXIMACIÓN A LOS SISTEMAS FINANCIEROS

Luis T. DÍAZ MÜLLER *

Para la doctora Olga Islas, con amistad

SUMARIO: I. *Introducción.* II. *Sistemas financieros y redes neuronales. La perspectiva voz y salida de A. Hirschman.* III. *Sistemas financieros: red de redes. La perspectiva de la teoría del desarrollo.* IV. *Teorías del desarrollo: desarrollo humano y equidad.* V. *El sistema financiero y el paradigma del desarrollo. Redes neurales.* VI. *Desarrollo: redes neuronales y sistemas financieros.*

I. INTRODUCCIÓN

¿Pueden las máquinas pensar?

Este ensayo pretende estudiar la relación entre sistemas autopoieticos y redes neuronales y su aplicación a los sistemas financieros: complejos y emergentes.¹

La inteligencia consiste en una solución racional de problemas. La teoría de sistemas aporta mucho a esta discusión; sin embargo, queremos ir más allá de este enfoque. Desde el desarrollo pensamos que es parte importante la relación mundo político-mundo social para elevar las condiciones de vida (enfoque de la pobreza) de la mayoría de la población que vive en condiciones de subdesarrollo.²

* Investigador en el Instituto de Investigaciones Jurídicas de la UNAM.

¹ Maturana R., Humberto y Varela G., Francisco, *De máquinas y seres vivos. Auto-poiesis: la organización de lo vivo*, 6a. ed., Editorial Lumen, 2004.

² Bertalanffy, Ludwig von, *Teoría general de sistemas*, México, Fondo de Cultura Económica, 1976.

Nuestro propósito consiste en estudiar, mediante un enfoque relacional, las interacciones entre sistemas autoorganizativos (autopoiéticos) y las redes neuronales en su aplicación a los sistemas financieros complejos y emergentes (Maturana y Varela).

No se trata de una fantasía ociosa. Más bien, el propósito final desde el enfoque y de la realidad del subdesarrollo consiste en proponer desde la óptica de Albert Hirschman (salida, voz, lealtad), una nueva concepción del desarrollo, en especial de América Latina. De tal manera que este trabajo debe considerarse simplemente como una aproximación preliminar.³

Este enfoque relacional o conexionista pretende, entonces, relacionar:

- a) Sistemas financieros: de Breton-Woods a los sistemas financieros y de mercado de capitales y el sistema de A. Hirshman.
- b) Este trabajo sugiere un modelo relacional de distintos sistemas interconectados e interdependientes: su finalidad consiste en mejorar las condiciones de subdesarrollo.

La discusión que recorrió todo el siglo pasado hasta la caída del Muro de Berlín, y tuvo que ver con el enfoque soviético de la economía (Stalin), centralmente planificada, y el enfoque socialdemócrata-keynesiano, y con el nivel de vida y la tasa de crecimiento:⁴ en el fondo, tras la crisis de 1929, se trataba de amortiguar los impactos negativos de la crisis mundial de 1929.

Los programas de ajuste estructural, especialmente desde 1980, impuestos por el Banco Mundial y el Fondo Monetario Internacional, han conducido a mantener los niveles de pobreza (subdesarrollo) en las sociedades subdesarrolladas, que comprenden a tres cuartos de la humanidad (Asia, África, América Latina).

Una hipótesis principal que propone este trabajo consiste en sugerir que un cambio o alteración de los sistemas financieros y sociales puede ayudar a superar la situación de subdesarrollo:⁵ la crisis de la deuda latinoamericana-

³ Hirschman, Albert, *Salida, voz y lealtad*, México, FCE, 1977; Sunkel, Osvaldo (compilador), *El desarrollo desde dentro*, FCE, El Trimestre Económico, 1991; Maturana R., Humberto y Varela G., Francisco, *De máquinas y seres vivos. Autopoiesis: la organización de lo vivo*, Santiago, Editorial Universitaria-LUMEN, 1994.

⁴ Pollin, Robert, "Estructuras financieras y política económica igualitaria", *New Left Review*, Madrid, núm. 8, mayo-junio de 2001.

⁵ *Ibidem*, p. 10.

na en la década de los ochenta, y las inmensas fusiones en Estados Unidos y el Reino Unido a fines de la misma década, son buena muestra de este desajuste estructural: las décadas perdidas señaladas por la CEPAL.

En términos generales, existen dos sistemas financieros principales: 1) el sistema basado en la estructura bancaria, y 2) el sistema basado en el mercado de capitales. El primero descansa en mecanismos ajenos al mercado para organizar las instituciones financieras: Japón, Alemania, Francia, Corea del Sur. Los sistemas basados en los mercados de capitales (Estados Unidos y Gran Bretaña) presentan dificultades a la hora de coordinar problemas, incentivos, información, en las economías capitalistas y en los sistemas económicos complejos.⁶

Nuestro enfoque de análisis consiste en la visión planteada por A. Hirschman (salida-voz-lealtad): la predominancia de salida y voz. Se trata de crear mecanismos de “voz democrática”⁷ directamente vinculados al tema del desarrollo social.

- a) Utilizo el enfoque de los sistemas autopoieticos (Maturana, Flores, Varela), en especial el de “cláusula operacional”;
- b) Utilizo el concepto de redes de conexiones (conexionismo) entre los distintos sistemas;
- c) Empleo el concepto de “voz de salida” para referirme al tránsito de una sociedad elitista a una “sociedad de desarrollo compleja” (como la denomino);
- d) El trabajo utiliza un “sistema de sistemas”. Sin embargo, como la voz de salida es el *desarrollo*, sería difícil afirmar que este esfuerzo sólo comprende a la teoría de sistemas a la manera de Von Bertalanffy,⁸ Norbert Wiener, David Easton: podría hablar de un “sistema estructural” de desarrollo.

El objetivo final es el desarrollo. ¿Por qué, entonces, utilizar la teoría de los sistemas autopoieticos o autoorganizativos?⁹

⁶ *Ibidem*, p. 51.

⁷ Hirschman, Alberto, *Salida, voz, lealtad*, México, Fondo de Cultura Económica, p. 70.

⁸ Bertalanffy, Ludwin von, *Teoría general de los sistemas*, México, Fondo de Cultura Económica, 1978.

⁹ Elementos para mi idea de sociedad racional y estructural pueden verse en Herrera, Manuel y Castillo, Antonio Jaime, *Sociedades complejas*, Barcelona, Ariel, 2003, pp. 14 y 55.

A decir verdad, la teoría de sistemas (Easton, 1965) se me hace escasa a la hora de analizar e interpretar las conexiones y relaciones entre los sistemas complejos autopoiéticos y los sistemas financieros emergentes (A. Hirschman), desde el prisma de un enfoque neuroestructuralista del desarrollo.

Los sistemas autopoiéticos o autoorganizativos se caracterizan por:

- 1) La autonomía como rasgo fundamental de los seres vivos (autonomía no es aislamiento);
- 2) La autonomía en los sistemas vivos es un rasgo de autoproducción (autopoiesis);
- 3) Todo lo que tiene lugar en una organización autopoiética está subordinado a la realización de su autopoiesis: un sistema vivo se caracteriza por ser una red de procesos de producción de componentes que de manera continua se manifiestan en un espacio físico;
- 4) Que la consecuencia básica de la organización autopoiética es que todo lo que tiene lugar en un sistema autopoiético está subordinado a la realización de su autopoiesis: de lo contrario se desintegra;
- 5) Que el rasgo fundamental que caracteriza al sistema nervioso es que una red cerrada de neuronas interactuantes en las que cada estado de actividad neuronal genera otros estados de actividad neuronal;
- 6) Que el lenguaje aparece como un fenómeno propio de los sistemas vivos. En el acoplamiento estructural recíproco de, por lo menos, dos organismos con sistemas nerviosos, y que la autoconciencia aparece como un fenómeno individual del acoplamiento estructural.¹⁰

Sostengo que las redes neuronales constituyen un sistema autopoiético relacionado e interdependiente con los sistemas financieros complejos a que me referiré más adelante.

Por lo tanto: sistemas de redes neuronales autopoiéticas pueden tener las mismas funciones y morfología si se aplican a los sistemas financieros complejos y emergentes:¹¹ insisto en que el sistema de redes neuronales puede ser aplicado a la construcción de un sistema autopoiético financiero de carácter complejo con el propósito de alterar los sistemas jerárquicos estables que mantienen la condición de subdesarrollo.

¹⁰ Maturana R., Humberto, *La realidad: ¿objetiva o construida? II. Fundamentos biológicos del conocimiento*, México, Arthropos-Iberoamericana-ITESO, 1996, pp. 226 y 255.

¹¹ Steven, Jonson, *Sistemas emergentes*, México, Fondo de Cultura Económica, 2004.

II. SISTEMAS FINANCIEROS Y REDES NEURONALES. LA PERSPECTIVA VOZ Y SALIDA DE A. HIRSCHMAN

Redes neuronales como sistemas autopoieticos

Las redes de neuronas artificiales (RNA) son un paradigma de aprendizaje y procesamiento automático inspirado en la forma en que funciona el sistema nervioso de los animales. De tal manera que las redes neuronales artificiales (ANN) son sistemas paralelos para el procesamiento de la información inspirada en el modo en que las neuronas biológicas del cerebro procesan información. Asimismo, si el cerebro funciona a base de muchas neuronas interconectadas entre sí y es precisamente el comportamiento colectivo de todas ellas lo que caracteriza su forma de procesar la información, el sistema financiero opera en la misma forma y sentido.

Estamos en presencia del paradigma de la complejidad que, como se observará, guarda muchas e importantes relaciones con la estructura y funcionamiento de los sistemas autopoieticos:¹²

Esta *imitación* del cerebro sugiere ciertos conocimientos previos. El cerebro contiene un gran número de células especializadas llamadas neuronas. Una neurona tiene tres partes: a) un cuerpo celular; b) una fina estructura de entrada (dendrita); c) una gran estructura de salida (axon). Desde los estudios de Ninsky y Papert (1969) se viene formulando una teoría sistemática de las redes neuronales: aquí vale la pena recordar la “máquina de Turing”¹³ y el Programa ELIZA creado por Weizenbaum (1966, MIT).

La estrategia conexionista que se propone consiste en estudiar el aprendizaje que se puede basar en cambios cerebrales que surgen del grado de actividad correlativa entre las neuronas. Es el caso de la “Regla de Hebb” (Donald Hebb, 1949).

Esta estrategia “cerebral” da origen a un sistema autopoietico que se conecta con otro del mismo tipo: el sistema financiero. Se entiende por *sistema autopoietico* una red de procesos de producción (transformación y destrucción) de sus componentes: 1) regeneran continuamente la red de

¹² Olmedo, Elena *et al.*, *Utilización de redes neuronales en la caracterización, modelización y predicción de series temporales económicas en un entorno complejo*, Madrid, versión fotocopiada, s/f.

¹³ Costi, John L., *El quinteto de Cambridge*, Madrid, Taurus, 1998. Un interesante diálogo entre CP. Snow (novelista y fisico); Erwin Schrödinger (fisico cuántico); Ludwig Wittgenstein (filósofo); J. B. S. Haldane (genetista) y Alan Turing (matemático).

procesos (relaciones) que los han producido a través de sus interacciones y transformaciones, y 2) configuran a la máquina como una unidad concreta en el espacio en que los componentes existen, ejerciendo el dominio topológico de su realización como red.

Por lo tanto, Maturana y Varela, coincidiendo con Nusohuz, establecen el concepto de autopoiesis, *como una propiedad de los sistemas celulares*, de una propiedad más general de la cláusula operacional que se aplica a una categoría más general de *sistemas*.¹⁴

Vamos resolviendo el asunto. El sistema nervioso, que es un conjunto de neuronas o sistema, se empalma en la “red de redes”, que constituye el sistema financiero. Se trata de dos tipos de sistemas que pueden interconectarse.

Veamos. Lo que queremos avanzar, por ejemplo, es que el hipocampo o estrellita de mar, que se encuentra en el lóbulo temporal del cerebro, forma parte de la región de la memoria a corto plazo o memoria de trabajo, particularmente cuando está relacionada con los aspectos especiales del entorno del aprendizaje.¹⁵

Lo que queremos sostener es que tanto el sistema de redes neuronales (sistema nervioso) como el sistema financiero constituyen un conjunto de redes “inteligentes” de aprendizaje. Por tanto, el cerebro está bastante cerca del procesamiento de redes artificiales: planificación y razonamientos secuenciales: *los sistemas financieros son sistemas de redes neuronales artificiales*.¹⁶

III. SISTEMAS FINANCIEROS: RED DE REDES. LA PERSPECTIVA DE LA TEORÍA DEL DESARROLLO

Los sistemas financieros pueden ser de dos tipos:

- Sistemas basados en la estructura bancaria;
- Sistemas basados en el mercado de capitales.¹⁷

¹⁴ Por supuesto, me refiero a los trabajos de Maturana, Varela y Flores. Véase Flores, Fernando y Winograd, Terry, *Hacia la comprensión de la información y la cognición. Ordenadores y conocimiento: fundamentos para el diseño del siglo XXI*, Barcelona, Editorial Hispano-Europea, 1989, pp. 74 y 75.

¹⁵ Clark, Andy, *Estar ahí*, Barcelona, Paidós, 1999, pp. 100 y 101.

¹⁶ Díaz Müller, Luis T., *Bioética, salud y derechos humanos*, México, Porrúa, 2001.

¹⁷ Pollin, Robert, “Estructuras financieras y política económica igualitaria”, *New Review*, Madrid, mayo-junio de 2001, pp. 53 y 55.

El análisis histórico de Alexander Gerschenkron para la experiencia alemana se ve corroborado con el clásico de Rudolph Hilferding: *Finance Capital: A Study of the Latest Phase of Capitalist Development* (Londres, 1891). En realidad, los sistemas basados en las estructuras bancarias se caracterizan por un pequeño número de bancos universales activamente comprometidos con la financiación a largo plazo de la actividad inversora en las empresas no financieras. En estas economías hay un mercado secundario de activos financieros relativamente reducido. John Zysman agregó un tercer elemento importante a la distinción entre mercados bancarios y mercados de capitales: *la participación del gobierno*.¹⁸

¿Por qué el sistema financiero puede ser observado desde el punto de vista de las redes neuronales?

- a. En primer lugar, porque constituye una red de redes: un sistema, como lo anotamos anteriormente.
- b. En segundo lugar, porque las redes neuronales funcionan como un sistema complejo e integrado, al igual que los sistemas financieros.
- c. Existen elementos de analogía formal, especialmente a partir del neoconexionismo, entre muchas categorías de sistemas.¹⁹
- d. El sistema financiero, en términos generales, está constituido por: a) el Fondo Monetario Internacional (FMI, 1944) y el Banco Mundial en el nivel internacional; b) por los sistemas nacionales bancarios o de mercados de capitales: bien se trate del modelo alemán o del modelo anglosajón: ¿qué significado tiene para la teoría del desarrollo? Lo veremos más adelante.
- e. La operatividad que le vemos a la aplicación de redes neuronales a sistemas financieros tiene que ver con el mundo de la comunicación.²⁰ Fernando Flores Luhman, Terry Winograd, teorías de sistemas.
- f. De hecho, los sistemas comunicacionales (voz, lealtad, compromiso) resaltan ser más operativos, más funcionales, en este mundo de la globalización. Entendiendo el proceso de la globalización como

¹⁸ Zysman, John, *Government, Markets and Growth: Financial Systems and the Politics of Industrial Change*, Nueva York, Ithaca, 1983.

¹⁹ Grauhard, Stephen R. (comp.), *El nuevo debate sobre la inteligencia artificial. Sistemas simbólicos y redes neuronales*, Barcelona, Gedisa, 1993, pp. 116 y 155.

²⁰ Flores, Fernando y Winsgrad, Terry, *Hacia la comprensión de la información y la cognición*, Barcelona, ESADE, 1989.

un sistema de sistemas inclusivo. Consiste en un “programa de investigación” (Lakatos), que a través del sistema de redes o redes neuronales perfecciona y mejora la comunicación entre ambos sistemas.

- g. Por lo tanto, las organizaciones (como los sistemas financieros) son redes de compromisos. Si se pensara en el caso de la deuda externa (Argentina) podría quedarnos más clara esta situación: *comunicación es compromiso*.²¹ Los sistemas neuronales aplicados a sistemas financieros son redes de comunicación y compromiso.
- h. En conclusión (provisional): las redes neuronales o redes de neuronas artificiales (RNA) son un paradigma de aprendizaje (conocimiento) y procesamiento automático inspirado en la forma en que funciona el sistema nervioso: RNA o ANN (en inglés: Artificial Neural Networks).
- i. En el caso de las redes neuronales de Kohonen o mapas autoorganizados se confirma la idea de que las redes neuronales reflejan la “idea de entender el proceso de aprendizaje como un procedimiento estadístico de tipo recesivo”.²² Son modelos de tipo entrada-salida (*input-output*) tan característicos de la teoría de sistemas.
- j. Interesa destacar que el modelo de redes neuronales constituye un sistema de aprendizaje: “las redes neuronales (Nychka *et al.*, 1992; Fungelgeis, 1996; y White, 1989) son una clase de modelos no lineales inspirados en la *arquitectura neuronal del cerebro*. Nacieron en el campo de la inteligencia artificial (IA) como un intento de modelizar la capacidad de aprendizaje de los sistemas biológicos neuronales mediante la modelización de la estructura del cerebro”,²³ la importancia de las neurociencias y de las ciencias cognitivas.
- k. En torno al aprendizaje: hasta aquí queríamos llegar: *el aprendizaje es un proceso continuo de transformación del comportamiento por medio del cambio continuo en la capacidad del sistema nervioso*. Por tanto, si los sistemas neuronales de los sistemas financieros pueden “aprender” (inteligentemente), podrán enfrentarse

²¹ Díaz Müller, Luis T., *El derecho al desarrollo y el nuevo orden mundial*, México, UNAM, 2004.

²² Olmedo, Elena *et al.*, *Utilización de redes neuronales en la caracterización, modelación y predicción de series temporales económicas en un entorno complejo*, Sevilla, Depto. de Economía Aplicada, s/f.

²³ *Idem*.

con mayores capacidades al tema valórico de fondo de este trabajo: el desarrollo con equidad.

IV. TEORÍAS DEL DESARROLLO: DESARROLLO HUMANO Y EQUIDAD

El planteamiento de Albert Hirschman

El desarrollo con equidad también se manifiesta a nivel de los sistemas económicos en la búsqueda de superar la situación de subdesarrollo. Actores internos y externos confluyen en la discusión sobre el desarrollo humano y los niveles de pobreza:²⁴ es el caso del impacto de la globalización neoliberal y de las políticas económicas privatizadoras. Aquí se hace necesario discutir el papel del Estado en la vida económica.

¿Por qué el modelo neoclásico asume que el comportamiento de los actores es racional?²⁵ Más aún, es interesante el aporte de la sociología al estudio de la economía en términos de análisis de las relaciones sociales: ¿existe la competencia perfecta?

En un nivel macro volvemos al tema de las teorías del desarrollo. De hecho, me pronuncio por un enfoque alternativo al modelo neoliberal, modelo que descansa en la liberalización de los mercados como factor estimulante del ahorro, la inversión y su productividad. La liberalización de los mercados financieros ocupa un papel protagónico.²⁶

El neoestructuralismo, por tanto, planteó con claridad un conjunto de desarrollos analíticos sobre la existencia de una heterogeneidad estructural en las economías nacionales y en la mundial, la presencia de desequilibrios múltiples y profundos, el papel fundamental de las variables institucionales, la inestabilidad y el deterioro de los términos del intercambio que afecta a economías inflexibles y la distribución asimétrica de los benefi-

²⁴ Herrera, Manuel y Castillo, Antonio Jaime, *Sistemas complejos*, Barcelona, Ariel, 2004.

²⁵ Aquí ingresamos al asunto de la psicología de las decisiones económicas: la Project Theory (Prensky y Kahneman) y la toma de decisiones.

²⁶ French-Davis, Ricardo, "Formación de capital y marco macroeconómico: bases para un enfoque neoestructuralista", en Sunkel, Osvaldo (comp.), *El desarrollo desde dentro. Un enfoque neoestructuralista para la América Latina*, México, Fondo de Cultura Económica, Trimestre Económico, 1991.

cios del intercambio tecnológico:²⁷ la discusión sobre el desarrollo continúa pendiente.

En la perspectiva de Albert Hirschman, las opciones salida-voz en los sistemas financieros tiene importancia para explorar en qué medida se pueden utilizar los sistemas financieros para aumentar la igualdad y la eficacia, ésta es la razón fundamental de aplicar la teoría de las redes neuronales a los sistemas financieros. Es la idea central de este trabajo.

La opción voz tiene que ver con el intento de cambiar un estado de cosas poco satisfactoria. La opción voz consiste en lo que en los sistemas políticos se denomina la “articulación de intereses”.²⁸ La opción de voz es la única forma en que los clientes o miembros insatisfechos pueden reaccionar siempre que no exista la voz de salida.

La opción salida se refiere a la economía; la voz, a la política. La función de salida tiene mucho que ver con la función de reacción. La salida es la competencia en el marco de mercados “normales”; la salida puede funcionar como mecanismo de recuperación de fallas a nivel del sistema económico.

El sistema financiero angloamericano resulta ser un claro ejemplo de un sistema caracterizado por la opción-salida: “lo crucial en la organización de un sistema financiero eficaz no es si el sistema se basa en la estructura bancaria o en el mercado de capitales, sino cómo conseguir la mezcla apropiada de voz y de salida”.²⁹

¿Cuánto tiene que ver el sistema financiero con el desarrollo?

V. EL SISTEMA FINANCIERO Y EL PARADIGMA DEL DESARROLLO

Redes neuronales

En el plano internacional, los acuerdos de Breton-Woods (1944) organizaron el sistema financiero de posguerra.³⁰

²⁷ French-Davis, *op. cit.*, p. 195.

²⁸ Hirschman, Albert O., *Salida, voz y lealtad. Respuestas al deterioro de empresas, organizaciones y Estados*, México, FCE, 1977, p. 36.

²⁹ *Ibidem*, p. 39.

³⁰ *Ibidem*, p. 40.

Lo que sostengo es que el sistema financiero internacional se organizó, en términos reales, como un mecanismo de salida: excluyó a los países pobres, no resolvió (ni mucho menos) la crisis de la deuda externa desde agosto de 1982 en adelante.³¹

La pregunta de fondo es: ¿cómo establecer un sistema financiero que vincule al desarrollo con la equidad?

Siguiendo la tesis de A. Hirschman, sostengo que un nuevo “sistema de sistemas” de redes neuronales aplicadas a sistemas financieros podría ayudar a resolver la combinación desarrollo con equidad (CEPAL, 1994).

Se trata, en el fondo, de provocar una articulación de intereses, mediante un equilibrio entre desarrollo político y desarrollo económico, teniendo como meta u objetivo principal el desarrollo productivo con equidad.

¿En qué puede ayudar el enfoque de redes neuronales a este propósito?

Veamos un enfoque comparativo. Las redes neuronales son agregados de células nerviosas interconectadas o neuronas. El cerebro humano, por ejemplo, es una red neuronal que comprende alrededor de diez mil millones de neuronas interconectadas;³² los sistemas financieros son sistemas inteligentes, al igual que el sistema nervioso central.

Si la sociedad, si el sistema económico, es capaz de emitir señales (la deuda externa es buen ejemplo), a la manera de la opción-voz, no se produce un esquema de negociación que permita una articulación de intereses. En otras palabras, en la re-negociación de la deuda externa (DE) no se ha producido una opción-voz: los organismos financieros internacionales han impuesto unilateralmente sus intereses (Argentina, *v. gr.*).

Las redes neuronales son células vivientes capaces de recibir y transmitir señales electroquímicas de manera altamente especializada (neuronas formales de McCulloch-Pitts). Sostengo que la red neuronal formal es como un sistema financiero complejo.

En realidad, el entramado del sistema financiero complejo, a partir de redes neuronales, tiene como propósito hacer más eficiente y más igualitaria la aplicación de estas redes en la perspectiva del desarrollo. Es más: las redes neuronales son dispositivos inspirados en la *funcionalidad* de las neuronas

³¹ Díaz Müller, Luis T., *El derecho al desarrollo y el nuevo orden mundial*, México, UNAM, 2004.

³² Cowan, Jock D. y Sharp, David H., “Redes neuronales e inteligencia artificial”, en Grauhard, Stephen R. (comp.), *El nuevo debate sobre la inteligencia artificial. Sistemas simbólicos y redes neuronales*, Barcelona, Gedisa, 1993, pp. 81 y 55.

biológicas, aplicadas al reconocimiento de patrones que las convierten en aptas para modelar y efectuar predicciones en sistemas muy complejos: organizar la información, comunicar, eficientar, predecir, y, sobre todo, hacer más igualitario el sistema financiero complejo.

El término ideal sería que mediante las funciones de predicción, mediante la aplicación de redes neuronales y sistemas expertos (el pensamiento de un experto), el sistema pudiera corregirse a sí mismo (autoorganización = auto-poiesis) y regresar (opción de voz o de articulación de intereses) a una situación *igualitaria* de equilibrio estable³³ no es la realidad de hoy en día, como hemos visto en el caso de la deuda externa.

Ahora bien, para poder aplicar el sistema de redes neuronales a los sistemas financieros en esta investigación preliminar y exploratoria debemos caracterizar a las redes neuronales:

1. Una neurona sólo produce una señal (se dispara) si la señal de entrada supera una determinada cantidad en un periodo corto de tiempo;
2. Las sinapsis varía en fuerza;
3. Las sinapsis pueden ser excitatorias o inhibitorias.
4. El sistema de redes neuronales de sistemas financieros (SIRENEFA) es un sistema abierto, sujeto a las variaciones mundiales, y complejo.

En el plano de los sistemas financieros, puede producirse una “sinapsis financiera” que permita una mayor eficacia (sistema y decisión) en términos de igualdad. Queda pendiente cómo construir un nuevo sistema financiero a favor de los países subdesarrollados.

Si a una red neuronal le asignamos un determinado valor (en la línea de la teoría de sistemas), esto permitirá que se construya un sistema financiero. Reconoce, ciertamente, su relación con la teoría de sistemas. En su propósito final está la gran duda: ¿cómo resolver la situación de subdesarrollo?

Las redes neuronales aplicadas a sistemas financieros poseen las siguientes características:

1. Elementos de procesamiento;
2. Alto grado de interconexión;

³³ Aunque este planteamiento es personal, puede verse Maturana, Humberto y Varela, Francisco J., *El árbol del conocimiento*, Santiago, Editorial Universitaria, 1985.

3. Mensajes (comunicación);
4. Interacción (sistemas) entre ambos conjuntos de elementos: la aplicación de redes neuronales a los sistemas financieros. Más bien, son las variables externas las que desequilibran el SIRENEFA.

Concluyo que los sistemas financieros son redes neuronales autoorganizadas.³⁴ Aquí se introduce nuevamente el concepto de autopoiesis. H. Maturana y F. Varela afirmaron:

Que la célula es un sistema autopoietico.

- 1) Produce relaciones constitutivas (aquí habría que tratar el tema de la comunicación;
- 2) Producción de relaciones de especificidad: son relaciones que determinan la identidad y las propiedades de los componentes de la organización autopoietica.
- 3) Producción de relaciones de orden³⁵

VI. DESARROLLO: REDES NEURONALES Y SISTEMAS FINANCIEROS

En el tema del desarrollo, las redes neuronales aplicadas a sistemas financieros pueden jugar un papel importante. Así, la autoorganización y la flexibilidad de las redes neuronales pueden equilibrar bajo condiciones de igualdad (A. Sen), el régimen de los sistemas financieros de redes neuronales. Por lo tanto, como se observa en este trabajo, debemos revisar las teorías del desarrollo.

No es fácil explorar este aporte de redes neuronales aplicadas a sistemas financieros. Quizá en otras áreas como el modelo de mercados o la competitividad de las empresas, este modelo de aplicación pudiera resultar más cómodo. En última instancia, lo que se persigue es explorar la aplicación de redes neuronales a las teorías del desarrollo.

³⁴ Serrano Cinca, Carlos, "Las redes neuronales autoorganizadas: aplicaciones en la gestión empresarial", en Sierra Molina, G. y Bonsón Porte, E. (eds.), *Artificial Intelligence in Accounting, Finance and Tax*, Huelva, pp. 287-310.

³⁵ Maturana, Humberto y Varela, Francisco, *De máquinas y seres vivos. Autopoiesis: la organización de lo vivo*, Santiago de Chile, Editorial Universitaria-LUMEN, 1994, p. 83.

En este sentido, este trabajo debe considerarse como preliminar y exploratorio. La tesis de voz, desde el punto de vista de las teorías del desarrollo, siguiendo las elaboraciones de A. Hirschman, puede permitir “articular” intereses: una salida de no-voz, o contradictoria, que podría tomarse como un caso de estudio, es el tema de la deuda externa a partir de la crisis de agosto de 1982, en que se han elaborado ciertos escenarios prospectivos.