

LÓGICA BORROSA Y REDES NEURONALES ARTIFICIALES APLICADAS A LAS CIENCIAS SOCIALES: UN RETO A LA PRÁCTICA INTERDISCIPLINARIA (VERSIÓN EN DESARROLLO)

JOSÉ A. AMOZURRUTIA*

Introducción

El reto fundamental de la interdisciplinariedad es construir puentes entre dominios distantes con base en un lenguaje común. Puentes que salven del aislamiento a las disciplinas y a las personas dentro de una actualidad en donde se demanda la re-construcción de una red de relaciones más horizontales. Un presente desde donde se comprendan de otra forma los problemas comunes, bajo nuevas urdimbres y lenguajes comunes que permitan el desarrollo de una dialógica entre disciplinas orientadas a la construcción de objetos de estudio de interés común, a una solución a problemas apremiantes desde la construc-

ción de enfoques emergentes de la interdisciplinariedad.

En este trabajo quiero plantear la forma de construir algunos puentes entre la mirada sociológica y las miradas de dos teorías/técnicas de reciente surgimiento en diversos campos de desarrollo tecnológico: la lógica borrosa que permitirá construir el inicio y la terminación de dichos puentes, y las *redes neuronales artificiales*, que permitirán construir partes del cuerpo del puente. Con la conjunción de ambas técnicas es posible integrar y organizar totalidades heterogéneas como sistemas complejos cuya comprensión mejore las formas de explicación de nuestras necesidades sociales.

* José A. Amozurrutia es ingeniero químico, maestro en Sociología por la Universidad de Zaragoza, España, y miembro del Programa de Investigación en Epistemología de la Ciencia y Sistemas de Información y Comunicación, CEIICH-UNAM.

Inicialmente hago una introducción general a los conceptos básicos de ambas teorías/técnicas y su relación con el problema relativo a la disyunción mente/cuerpo y lo extrapolo al problema de las dos culturas. La aproximación que intento establecer está orientada a *instrumentar sistémicamente* operaciones epistémicas, así como proponer elementos para una mejor comprensión y explicación de los acoplamientos que vinculan y estrechan “realidades” entre los dominios de la biología del cuerpo con los de la mente y entre los de la mente con los dominios sociales. Concretamente sobre la mirada sociológica que basa la construcción de su conocimiento en una epistemología y metodología que parte de la continuidad entre dichos dominios.

Posteriormente describo con mayor detalle, pero sin entrar a formalismos matemáticos, los componentes sustantivos de la lógica borrosa y las redes neuronales artificiales como elementos fundamentales para modelar dichos puentes. El componente relativo a la vinculación de ambas teorías y posibles aplicaciones no se incluye en esta versión dado que requieren de un espacio no disponible para ello. Una versión completa del trabajo presentado está en: www.labcomplex.ceiich.unam/labcomplex/index.html.

Lógica borrosa y redes neuronales artificiales frente a grietas epistémicas y discontinuidades metodológicas

La Lógica Borrosa¹ (LB) y la Redes Neuronales Artificiales (RNA) son dos temas propios de las matemáticas y de la inteligencia artificial respectivamente. Han surgido a partir de necesidades y deseos al interior de una actividad interdisciplinaria practicada en los últimos 30 años. La LB se establece a partir del encuentro entre las matemáticas y algunas necesidades del campo de las ingenierías orientadas al área de control de procesos industriales. Las RNA emergen del deseo de encontrar analogías e isomorfismos entre la biología, las matemáticas y la física, concretamente, en el modelado electrónico y solución matemática de algunos comportamientos de la operación neuronal del cerebro.

En el caso de la LB aplicada al control de procesos, el propósito final es lograr una toma de decisiones más inteligente —autodeterminante y mejor matizada en torno a las operaciones de las máquina y/o de los procesos industriales. Ahí surge la necesidad de mejorar la relación entre los instrumentos automatizados de medición y de accionamiento de las máquinas, y la eficiencia y eficacia de los procesos industriales.

¹ También referida como Lógica Difusa o Lógica de conjuntos Borrosos y en inglés “Fuzzy Logic”. Sugerimos al lector que no haya tenido oportunidad de asociar la palabra “borrosa” o “difusa” a la lógica, que piense en ellas como una forma de aludir a la gama de grises que existe entre el blanco y el negro, como la alusión a una lógica que se establece en términos de matices de gris y no sólo en términos de blanco y negro (verdadero/falso).

Los ingenieros de procesos, como observadores de segundo orden,² han deseado tender puentes entre una lógica propia del lenguaje de los trabajadores que operan los procesos —custodiada y encerrada en su propia experiencia y consecuentemente un tanto borrosa, difusa para otras miradas, pero a su vez más inteligente y certera que la de las máquinas automatizadas—, y una lógica instaurada en la operación de las máquinas, como una forma tecnológica que asegura el control de su operación, una lógica más burda y menos precisa que la dictada por la experiencia de los operadores.

En el caso de las RNA, el interés surge de la necesidad de modelar una parte del comportamiento del cerebro: la forma de sus inferencias, de su aprendizaje, de su memoria. Con base en los comportamientos biológicos de las redes neuronales se establecen modelos matemáticos para transplantar sus interacciones y formas de operación a modelos de redes de circuitos lógicos digitales

basados en operaciones elementales e interrelacionados en forma de redes en operación recursiva.

En ambos casos, el impulso para su desarrollo ha sido vencer el reto de la *incommensurabilidad* entre dominios aparentemente distantes, de trabajar en la búsqueda y encuentro de “conectividades formalizables” que permitan resolver problemas bajo nuevos planteamientos. Utilizo el término de incommensurabilidad con dos propósitos:

- para aludir a la falta de medida común entre dos dominios —generalmente paradigmáticos—, que han sido concebidos y construidos bajo dos lenguajes diferentes y padeciendo los retos y las dificultades que presenta “la traducción entre ambos lenguajes” (Kuhn, 1989), pero también
- para aludir concretamente al reto de la *traducción de sentidos* entre el dominio propio de la mirada tecnocientífica de un ingeniero que *comprende y explica*³

² Pienso que la mirada reflexiva de los ingenieros y de muchos profesionistas y artistas es de segundo orden, pero no está hecha explícita a la manera de la cibernética o la sociocibernética. La atribución o característica relativa al respecto en la mirada hacia la reflexión social, se le atribuye a Heinz von Foerster (1999), quien la define en relación con la construcción de sistemas, y hace explícito que dichos sistemas son “sistemas que observan” al conductor del sistema, a diferencia de los “sistemas observados” propios de la cibernética de primer orden. La cibernética de segundo orden está basada en hacer explícita la reflexividad del constructor de los sistemas. Aquí no sólo aludo a la mirada reflexiva de la Sociocibernética (Geyer, 2006; Hornung, 2003; Aguado, 2003 y Scott, 2003), sino a la de los ingenieros que diseñan “sistemas duros” y que “controlan/conducen” procesos muy complicados.

³ Aludimos aquí a dos aproximaciones a los conceptos de comprensión y explicación: en primera instancia, bajo una mirada sociocientífica; tiene que ver con una construcción que interiormente hacemos cuando establecemos “conexiones de sentido” respecto a los motivos de una acción, esto es a lo que la suscita y “al promedio de lo mentado [y] de modo aproximativo” al contexto de la acción. Acción no sólo externa, sino mentada por el sujeto que comprende y “construida científicamente [...] para la elaboración del *tipo ideal* de un

una forma de uso y aplicación de procesos industriales mediante la LB y de las RNA, y la transplanta al dominio propio de la mirada reflexiva de un sociólogo abierto a otras formas de razonamiento para *comprender* procesos sociales.

Si bien los procesos mentales y los sociales pertenecen en primera instancia a dominios diferentes y distantes, el reto está en concebirlos y representarlos con base en elementos comunes en sus estructuras/procesos. Los nuevos ángulos de observación ofrecidos por estas teorías y el mejoramiento en la precisión de los instrumentos en las tecnologías asociadas han permitido una mayor *comprensión* en la mirada de constructores de sistemas de operación y control de procesos con mayor grado de autodeterminación. Bajo la LB se han transformado las formas para considerar/recortar los observables⁴ de entornos complejos y de remodelar la construcción y transmi-

sión de observables de segundo orden⁵ como resultados que son transmitidos al entorno. Bajo la perspectiva de las RNA en conjunción con la LB, se tienen nuevos ángulos para analizar el procesamiento, la transformación y la construcción de tomas de decisión en los procesos. Su estudio contribuye además, al esclarecimiento de las fases de aprendizaje y autoorganización en los sistemas donde se integran.

En consecuencia, esta nueva perspectiva contribuye a una mejor *explicación* de los problemas, a su racionalización y formalización, ya que al operar la LB y las RNA dentro de un dominio numérico, es posible potenciar las posibilidades de reflexión de los “observadores/constructores” con base en diferentes representaciones y *explicitar* demostraciones contenidas en procedimientos *algorítmicos* o en estrategias *heurísticas* propias del funcionamiento y operación de procesos de aprendizaje y autoorganización.

fenómeno frecuente”. Una vez “captadas” las conexiones de sentido, es posible *explicar* el “desarrollo real de las acciones” (Weber, 2004: 8, 9).

García adopta una mirada intermedia que asume al sistema como referencia, “la llave para llegar a comprender los fenómenos que se producen en el sistema es la relación entre función y estructura, equivalente a la relación entre proceso y estado” (2000: 78); y la explicación se refuerza con el uso de los conceptos de diacronía (para las transformaciones estructurales entre estados) que conduce a una epistemología de la lógica, y sincronía (como subjunción y conjunción de estructuras fuera del tiempo) que conduce a un estudio estrictamente lógico (2000: 127-128).

⁴ Aludimos a los observables cuando nos referimos a aquel fragmento de la realidad —como dato sensorial— que necesita de un recorte y de una interpretación efectuada por un observador que los usa como “datos” para su análisis. El observable recortado y preinterpretado adquiere entonces la categoría de dato. Desde esta perspectiva la LB es precisamente una forma de “recortar e interpretar/valorar” un observable.

⁵ Esta expresión refiere a la nueva observación y consiguientes delimitaciones y recortes de observables de primer orden. Alude a las nuevas perspectivas de inferencia sobre resultados que han sido generados por el mismo constructor.

Pero quizá la mayor fortuna que se ha fraguado en los últimos 10 años es la conjunción de ambas técnicas (la LB y las RNA). La conjunción de estas teorías se ha hecho presente en el terreno de los artefactos, agentes y sistemas inteligentes⁶ de la tecnología industrial,⁷ en las que en términos generales se llevan a cabo los siguientes procesos de carácter general:

I. A través de la LB, los dispositivos, artefactos o agentes inteligentes son capaces de introducir a su dominio de operación, una gran variedad de “observables/datos” de muy diversas naturalezas (como frecuencias de luz, de sonido, como temperaturas y presiones). Este proceso implica una transformación de los observables que pertenecen a un dominio

determinado en términos de espectros, enunciados y/o mediciones, a los observables como datos numéricos dentro de variables en un dominio digital. Este proceso propio de la LB se reconoce como “fuzzification”⁸ y nos referiremos a él como “borrosificación”⁹

II. Al interior de los artefactos inteligentes los observables se encuentran ya como *datos* en un dominio numérico y se transmiten como información para ser procesada en las RNA. En ellas y entre ellas, la información se sujeta a operaciones elementales de diferenciación, integración, comparación, ponderación y repetición, y de las redes tejidas entre las neuronas se derivan procesos de aprendizaje y una nueva forma de memoria¹⁰ de la que es posible hacer

⁶ Por sistema inteligente refiero a un sistema con grados de autodeterminación y autoorganización manifestados de diferente manera: por su capacidad para construir y actualizar una memoria, por su capacidad para modificar la generación de resultados y por su capacidad para actualizar sus procedimientos.

⁷ Las aplicaciones de las RNA son infinitas; cabe mencionar entre las más significativas al reconocimiento de caracteres —tecnologías OCR— extendido a patrones de objetos diversos y rostros, así como al reconocimiento de sonidos asociados con aplicaciones de traducción entre lenguajes.

⁸ El proceso de “*fuzzification*” es equivalente a la conversión “analógico/digital”, que consiste en una transformación de la señal analógica en términos de frecuencias y amplitudes a una señal digital en términos de un par de potenciales como función cuadrada, cuyos valores son equivalentes a un bit encendido y otro apagado. De la misma manera se tienen los procesos de “*defuzzification*” correspondientes a conversiones “digital/analgica”. Estas conversiones/transformaciones son también una forma de aplicación de la LB entre dos dominios físicos: la señal digital y la señal analógica.

⁹ Quizá no sea la mejor traducción del término “*fuzzificación*”, pero cobra más sentido cuando asociamos a este concepto la operación relativa al “paso de lo discreto a lo continuo” con base en su equivalencia con el paso de un conjunto “abrupto” —de elementos discretos— a un conjunto “borroso” de elementos continuos, de aquí la operación de “borrosidad”. Cabe mencionar que toda explicación relativa al paso de lo discreto a lo continuo y viceversa debe tomar en cuenta la distancia del observador al objeto de estudio.

¹⁰ El calificativo de “nueva” a la memoria que implican las RNA cobra sentido cuando comparamos las formas tradicionales de la memoria en los sistemas de cómputo (largas listas y tablas de datos ordenadas e interrelacionadas), con la memoria que encierran los coeficientes del sistema de ecuaciones que representa una RNA. La matriz de coeficientes —o matriz de transferencia en un sistema de ecuaciones— contiene el “aprendizaje” de la RNA.

inferencias, y desde donde se generan los resultados —numéricos— de la RNA. También son posibles sofisticadas inferencias —propias de un sistema experto— basadas en la LB, derivadas de aplicar el álgebra booleana a las funciones de pertenencia.

- III. Los resultados de las RNA son nuevamente transformados —con base en la LB en un proceso de defuzzification/reconversión— como salidas del artefacto, en los términos propios del lenguaje del entorno. A este proceso nos referiremos como “desborrosificación”

Esta conjunción de técnicas —que inicialmente referí como la construcción de puentes (I), de su cuerpo (II) y de su terminación (III)—, ha generado uno de los componentes centrales para el desarrollo de *sistemas neuroborrosos* (Brío y Sanz, 2002: 284) orientados a la construcción de aparatos inteligentes de la tecnología actual dada su amplia aplicación en muchas áreas de de-

sarrollo e investigación industrial. Es el resultado de una convergencia y conjunción de disciplinas como las matemáticas, la física, la biología, la computación, la psicología, y las ciencias cognitivas, principalmente. Cabe mencionar que estas técnicas han sido enriquecidas por nuevos instrumentos y teorías como la programación evolutiva y los *algoritmos genéticos*¹¹ entre otras técnicas: ¿pero, qué tienen que ver estos desarrollos de las ingenierías con el desarrollo de las Ciencias Sociales? ¿Han sido invitadas a esta interdisciplinariedad la Filosofía, la Poesía y la Sociología?

Presencia de las matemáticas y los sistemas en la Sociología

Desde luego que ha habido varios acercamientos de la mirada matemática y sistémica a la Sociología,¹² pero creemos que hay muchas áreas de aplicación por explorar y vincular entre ambos dominios, como ins-

¹¹ Los algoritmos genéticos son una estrategia muy poderosa para resolver los problemas de convergencia de las RNA. Si bien tienen un componente algorítmico muy bien establecido, integran en ellos elementos propios de estrategias heurísticas que conducen a nuevas estrategias de convergencia (Brío y Sanz, 2002).

¹² Si bien la introducción de la perspectiva física y matemática en la Sociología fue establecida desde Comte en 1844 (2000), no fue sino hasta el periodo neopositivista norteamericano, donde sobresalen autores como Stuart Dodd, George Lundberg y George Zipf, que se formulan modelos sociológicos con base en principios tanto matemáticos como físicos (Timasheff, 2002: 241-254). Pero es hasta Parsons (1968) que se puede hablar de un primer modelo matemático para circunscribir y delimitar la unidad básica de análisis social, el “acto unidad” de la acción social. Posteriormente han surgido varios modelos y teorías que toman en cuenta elementos formales de varias disciplinas para posibilitar una instrumentación metodológica. Tal es el caso de Niklaus Luhmann, quien abreva de las matemáticas de Spencer Brown, la biología de Humberto Maturana y Varela y la cibernética de Heinz von Foerster, entre otros (Luhmann, 1996), y de varios autores todavía más actuales como Michael Jackson (Jackson, 2000), Ulrich y Flood citados en Baush, 2001, entre otros.

trumentos de trabajo sustantivo¹³ —salvo el uso de la estadística— para la solución de problemas reales. De la misma manera, son pocas las propuestas epistemológicas y metodológicas que asumen el uso de modelos matemáticos, o de otras disciplinas complementarias a la sociología, para mejor comprender/explicar la acción, la interacción o la actividad social, así como la conformación, organización y transformación del grupo social, desde la familia hasta el sistema societal.

Más desconocimiento se ha dado en la incorporación automatizada de las nuevas perspectivas disciplinarias de los últimos 15 años. Tal es el caso del uso de teorías/técnicas como la LB y las RNA dentro del dominio propio de las Ciencias Sociales, y específicamente en la Sociología. Muchas pueden ser las razones de forma, pero quizá la principal razón sea de fondo. Efectivamente, se trata del eterno problema de las “dos culturas” acuñado por C.P. Snow en 1959 como bien lo plantea Richard Lee en (Lee, 1998) y teniendo como antecedente la disputa entre las Ciencias del Espíritu y las Ciencias Físicas y Naturales —sostenidas entre Windelband, Rickert, Dilthey y Weber—. Pero de manera más general, el reto se manifies-

ta en la disociación generalizada que muchos investigadores viven entre el mundo del cuerpo y las realidades físicas, y el mundo de la mente de realidades metafísicas.

Este reto interdisciplinario por naturaleza, se deriva del surgimiento y formación de rupturas en las visiones y descripciones del mundo: desde las perspectivas apriorísticas kantianas a los empirismos materialistas o positivismos lógicos como bien lo describe García (2000), pasando por las diferencias entre los procesos de comprensión propios del espíritu y los procesos de explicación propios de la mente, así como entre los *contextos de descubrimiento* por un lado y los *contextos de justificación* por el otro (Popper, 1967). Distanciamientos que crecen por las diferencias axiológicas que construyen polaridades entre una visión filosófica y una visión científica del mundo, entre el “mundo del espíritu y el mundo del cerebro” (Morin, 1994).

Estas diferencias hartamente consideradas desde todas las perspectivas, no sólo se presentan en las construcciones que van de lo macro a lo micro, también surgen de las construcciones de “abajo hacia arriba”: desde la concepción de los observables de primer orden a través de nuestros dispositivos sen-

¹³ Más escasas son las incursiones de la mirada sistémica que integra modelos de otras disciplinas, para la formulación de una epistemología y metodologías orientadas hacia una conceptualización y teorización no sólo del nivel social de nuestra concepción de la realidad, sino de la mirada de observación e interacción que tiene el sociólogo como constructor, para comprender, interpretar y explicar problemas sociales (Leydesdorff, 2001). Únicamente aludo a tres propuestas que han sido objeto de mi inmersión en el mundo de la sociología: La Teoría de Sistemas Sociales de N. Luhmann (1998), la propuesta de Rolando García en *El Conocimiento en construcción* (García, 2000), basada en la Epistemología Genética de Jean Piaget, y *El Método* (El conocimiento del conocimiento) de Edgar Morin (1994).

soriales e instrumentos de medición —que su sola presencia ya altera la medición—, hasta su transformación a través de diferentes dominios inconmensurables, para terminar en la construcción de observables de segundo orden y sus diversas formas de representación. Los retos se presentan en todo momento, desde los puntos de partida, en las formas de transformación de materia y energía presentes en el paso de uno a otro dominio, y hasta en los criterios de diferenciación e integración en procesos en el nivel físico y mental de unidades y totalidades.

Mi propósito¹⁴ es precisamente participar no sólo en el establecimiento de vínculos entre dominios distantes, sino en proponer formas para la construcción de puentes de inconmensurabilidad aparente, vínculos basados en los principios y aplicación de la LB y las RNA, pero sobre todo de su conjunción, que mejor la definiré como una “complementariedad entre formas de acoplamiento” (CFA) y “formas de organización de operaciones en aprendizaje constante” (FOOAC), asimilando con ello la aplicación de una teoría que puede ser aplicada.

Estas construcciones las oriento desde una *perspectiva sistémica* dadas las ventajas que tiene esta forma de construir objetos de estudio como “complejos cognoscitivos” (García, 2000, 39-40) en las que el constructor participa como observador de segundo orden y que necesariamente interviene el proceso de construcción, que lo transforma e integra a su objeto de estudio.

Delimitando el área de interés

Como ya lo señalamos en la sección anterior, la aplicación de la LB/RNA puede ser efectuada en prácticamente todos los niveles que un observador atento distinga. En nuestro caso señalaremos tres niveles —complementarios a los ya señalados—, y que en todos los casos estarán referidos al concepto de *sistema complejo*.¹⁵ Sólo enunciaremos algunas áreas de aplicación de tipo general:

- A nivel bajo —“micro” en algunos casos—, la aplicación sustantiva radica en el uso de la LB para la construcción de

¹⁴ Si bien estas ideas se han gestado desde que tuvimos la oportunidad de conformar el Laboratorio de Desarrollo e Investigación en Comunicación Compleja (labCOMplex) conjuntamente con los doctores Jorge A. González y Margarita Maass, tomaron su mayor impulso al desarrollar algunas aproximaciones a la cibernética de segundo orden (Amozurrutia, 2002, 2003, 2004a), bajo la perspectiva del Grupo de investigación —RC51 sobre Sociocibernética— la ISA. Debo mencionar que dentro de mi trayectoria como ingeniero químico descubriría simultáneamente las posibilidades de la LB y las RNA en esas áreas del conocimiento aplicado a la ingeniería de procesos.

¹⁵ Un sistema es complejo no sólo por la heterogeneidad de las partes constituyentes con naturaleza y dominios diferentes de ciencia y tecnología, sino por la interdefinibilidad y mutua dependencia de las funciones que ellos satisfacen dentro de una totalidad (García, 1993).

los datos empíricos a partir de los observables¹⁶ en el entorno de los sistemas. Esta construcción se consolida —como más adelante se define en el apartado de la LB—, en la creación de “*funciones de pertenencia o de membresía*”. Estas funciones no sólo establecen correspondencias entre dos dominios diferentes, sino que permiten definir relaciones formales que simultáneamente establecen *códigos de referencia* en constante transformación, para la conversión o traducción entre lenguajes básicos (numéricos y no numéricos).

- En el nivel medio o “meso”, la aplicación sustantiva proviene de las RNA que permiten crear *macrofunciones* (concebidas como una función de funciones) de aprendizaje constante y con propósitos definidos. Esta construcción determina estructuras y procesos, o más bien “estructuras/procesos” como formas de organización y procesamiento de observables. Estas macrofunciones conducen a la construcción de procesos y subsistemas que operan en régimen estable o inestable.
- En el nivel alto —“macro” en algunos casos—, la aplicación sustantiva se presenta en la conjunción LB/RNA. La LB

permite construir, además de las funciones de pertenencia entre los observables del entorno con el sistema (borrosificación/traducción), funciones de pertenencia entre los lenguajes y códigos entre los propios subsistemas y entre el lenguaje del sistema y el o los del entorno (desborrosificación/retraducción).

Desde nuestra perspectiva,¹⁷ partimos de una continuidad posible y construible entre los niveles biológico y mental y especialmente, entre el nivel mental y social. Pero es necesario delimitar y replantear el reto de la vinculación y articulación de los “elementos/relaciones” y entre las “estructuras/procesos” entre dos dominios con lenguajes diferentes, pero con la delimitación de isomorfismos y procesos de transformación comunes.

Compartimos la perspectiva piagetiana sobre la continuidad entre los procesos biológicos y los procesos lógicos del nivel mental (Piaget y García, 1987: 117-118), y el planteamiento extensivo que hace García sobre la inclusión del nivel social a los niveles biológico y mental (psicológico), considerados como “recortes” de subtotalidades (García, 2000: 42).

¹⁶ Que en el caso de los dominios de las ciencias sociales se trata de “totalidades sumamente heterogéneas” (García, 2000: 42).

¹⁷ Aludimos a un modelo en construcción que parte de una conceptualización centrada en el *Pensamiento sistémico/organización matricial* y de la integración de la LB/RNA, que a su vez incorporan a los *sistemas expertos*, dentro de una construcción sistémica basada en las ideas fundamentales de Luhmann, Maturana y von Foerster. Entre ellas, la de observador/constructor de segundo orden, acoplamiento estructural, clausura operativa y autoorganización en sistemas complejos adaptativos. Una primera aproximación a este modelo se podrá consultar en Amozurrutia, 2004b.

También compartimos la perspectiva de Morin, al concebir un *desarrollo continuo* que abarca tres niveles, el biológico —en términos de computación cerebral basada en procesos fisicoquímicos—, la cogitación (como desarrollo del pensamiento), y ambos integrados a la cultura-sociedad. (Morin, 1994: 63-64 y 86-94).

Mención especial es la de Luhmann, cuya teoría no integra explícitamente a los niveles biológicos ni mentales al nivel social (Luhmann, 1998: 27), sin embargo aunque difiero sustantivamente respecto a la desconectividad que establece entre el subsistema societal y el síquico o personal, considero que por otro lado, tiene elementos implícitos para establecerla.¹⁸ Esta vinculación es uno de los retos que afrontamos y asumimos porque nos impone una búsqueda de formas de construcción de “puentes/acoplamientos” (LB) y de construcciones lógicas e isomórficas —vía LB/RNA— para anticipar y constatar mejores asimilaciones y acomodamientos en torno a la continuidad entre los dominios biológicos, mentales y sociales que deseamos construir.

Pero ya es necesario que veamos de cerca cómo opera la LB y las RNA, de qué manera se plantean la articulación entre dominios, veremos cómo hacer un transplante en torno a los retos en la mirada del

sociólogo que desea/necesita dar solución de continuidad a sus concepciones y teorizaciones de la realidad social y la construcción de sus observables que estarán sujetos a dichas conceptualizaciones, no sólo para lograr una mayor consistencia entre la teoría y la práctica, tan fuertemente señalada por observadores ajenos a las Ciencias Sociales, sino para que realmente nos permita explicar a nuestros interlocutores, la pertinencia y certeza de nuestras propuestas de solución a un problema social.

¿Qué es la Lógica Borrosa?

En 1965 Lofti A. Zadeh formuló el concepto de borrosidad (*fuzzy*) como “grados de significación” o una “medida de la incertidumbre”¹⁹ de los diferentes valores o significados que puede adoptar una *variable lingüística*, originalmente asociada a instrucciones de control de procesos. Para cada valor de esta variable estableció una correspondencia con valores numéricos normalizados entre cero y uno. Con estas duplas construyó una función que denominó “*función de pertenencia*” de la variable lingüística. Una vez construidos los grados de significación de la variable lingüística, asoció la función con un conjunto al que denominó

¹⁸ Con base en Maturana y Varela, Luhmann (1998) admite “un gatillo” como perturbación/irritación del entorno del sistema síquico, interacción ortogonal entre los acoplamientos de dos dominios distintos.

¹⁹ La estadística abordó la incertidumbre varios años atrás mediante el concepto de probabilidad y mediante el uso de funciones de probabilidad y el concepto de esperanza matemática; sin embargo estos conceptos siempre remitirán a posibilidades de frecuencias sujetas a una contingencia y a la factibilidad de que ciertos eventos sucedan en el tiempo.

“conjunto borroso” con valores entre cero y uno.

De esta manera sometió al conjunto de etiquetas y números —vía la función—, a las posibilidades de un álgebra con operaciones booleanas y a una lógica de “conjuntos borrosos” que finalmente denominó “lógica borrosa” (*Fuzzy Logic*). Esta conjunción entre grados de significación, etiquetas lingüísticas, funciones de pertenencia, conjuntos borroso y lógica difusa constituyen una “*Teoría de conjuntos borrosos*” (*Fuzzy Set Theory*).

Pero veamos esta secuencia de asociaciones matemáticas con un ejemplo sencillo en términos de una “variable/concepto” asociado al análisis de actores sociales:

- 1) Sea por ejemplo la variable “Juventud”, que alude a un grupo de edades posibles y que nos remite a un grado de incertidumbre o indefinición si no precisamos la edad, respecto a un conjunto de referentes en nuestro sistema en construcción.²⁰
- 2) A esta variable le definimos varios grados de significación: “no llega a ser jo-

ven”, “muy joven”, “no tan joven”, “plena juventud”, “ya no tan joven” y “ya no es joven”. Cada matiz se considera una etiqueta lingüística.

- 3) Ahora establecemos una correspondencia para cada etiqueta o grado de juventud, con un valor numérico entre cero y uno: por ejemplo a la etiqueta “no llega a ser joven” le asignamos el valor de cero y a la etiqueta “plena juventud”, el valor de uno. Estos valores son nuestros límites o umbrales de la nascente función de pertenencia.
- 4) A los demás valores les asignamos —por el momento— valores intermedios, de manera proporcional, por medio de una interpolación lineal o de manera no lineal, de acuerdo a nuestra propia experiencia, a *nuestra valoración y criterios de sentido que consideramos para cada etiqueta lingüística*: 0.3 para “muy joven”, 0.6 para “no tan joven” y 0.4 para “ya no tan joven”.²¹
- 5) Nuestra función de pertenencia ya puede ser referida en un contexto matemático en el que podemos usarla como un conjunto borroso sujeto a operadores

²⁰ Este ejemplo considera una variable que bien puede ser considerada ordinal o de intervalo bajo una perspectiva clásica en la medición sociológica. A través de la LB se desagregan los posibles significados de las variables como “formas de relación, de compromiso, de destreza...”, en la que cada etiqueta tiene que ver con expresiones asociadas a un matiz distinto.

²¹ Hasta este momento podemos pensar que el procedimiento seguido ahora es más parecido a la perspectiva de la medición basada en *variables de proporción*: “valores relativos ordenados de mayor a menor con intervalos de medida —casi proporcionales, matizaríamos—, y con un [verdadero] punto de cero como origen” (Havens, Everett y Lipman, 1965). Sin embargo el tratamiento posterior y el carácter recursivo a que estarán sujetos los valores de estas variables/funciones, ya no quedará dentro de la perspectiva del análisis estadístico clásico.

booleanos y a expresiones de inferencia lógica,²² por ejemplo:

SI <el valor de la función JUVENTUD —que en un momento dado de un proceso vale 0.5>

ES MAYOR QUE 0.4 (valor que tiene un significado dado por otra función de pertenencia)

ENTONCES <otra función de pertenencia del sistema, como TRABAJO, toma el valor de> 0.8

De esta manera, la incertidumbre que hubiéramos tenido al considerar la variable JUVENTUD dentro de nuestro sistema, antes de haberla transplantado a un dominio numérico como “conjunto borroso”, la hemos transformado en un concepto con menor incertidumbre —o de mayor certidumbre para nuestro sistema en construcción— y en consecuencia con un mayor grado de posibilidades de discernimiento, con mayores significados— mediante una función de pertenencia creciente²³ —e incluso de establecer mejores matices en procesos de inferencia.

En la figura 1 se muestra la representación no-borrosa de la variable juventud, como función discreta. En esa función se es joven solamente de 18 a 30 años, fuera de

ella no está registrado el concepto de juventud. En cambio en la gráfica de la derecha, se muestra una función triangular que si bien también es discreta, matiza grados de juventud y se puede volver casi continua. En la gráfica inferior de dicha figura se muestra en líneas punteadas continuas la función que representa el conjunto borroso complementario.

En la figura 2 indico una manera diferente de representar la función de pertenencia. La gráfica que se encuentra en la parte superior derecha de dicha figura representa dos formas de diferenciar posibles valoraciones sobre los matices relacionados a la juventud, una es lineal y la otra es una de las múltiples formas de representación “no lineal”, esto es, de acuerdo a la forma particular del constructor de la función. En la parte inferior se establece la correspondencia entre la tabla a partir de la cual se construye dicha función y su representación gráfica.

De acuerdo a Zadeh, esta teoría provee un cuerpo robusto de elementos matemáticos para llevar a cabo “razonamientos aproximados” de procesos cuya información disponible es incierta, incompleta, imprecisa y vaga.

Además, el álgebra de funciones de pertenencia permite tener un conocimiento más racional y ofrece mayores elementos de

²² Lo que sutilmente hemos hecho es conmutar/transmitir las propiedades de la función de pertenencia a las propiedades de un conjunto consistente que adopta un valor posible propio de su dominio, de su pertenencia.

²³ La función de pertenencia que se ha construido en el ejemplo de la JUVENTUD es una función monótonicamente creciente si ubicamos en el eje de las abscisas las etiquetas propuestas de menor a mayor edad. Si hubiésemos dispuesto las mismas etiquetas desde la edad cero a un límite de 100 años, la forma de la función hubiera sido de campana y el dominio de la función estaría acotado por un rango de valores.

FIGURA 1. LB/RNA aplicadas a las CS: Conjunto no-borroso y borroso (representación gráfica)

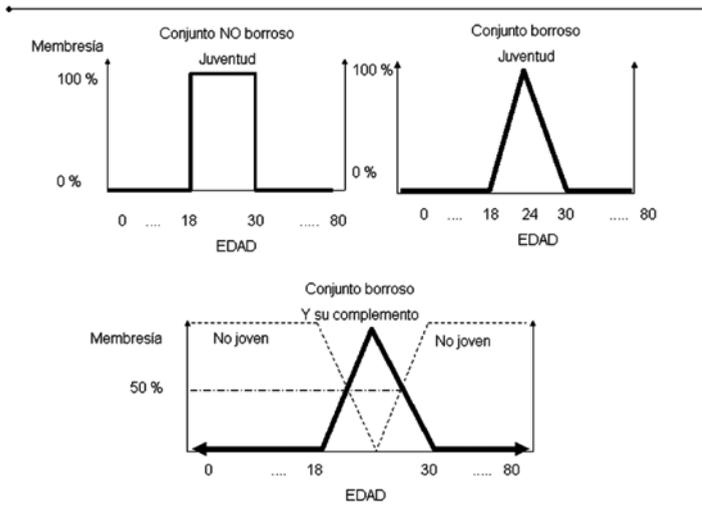
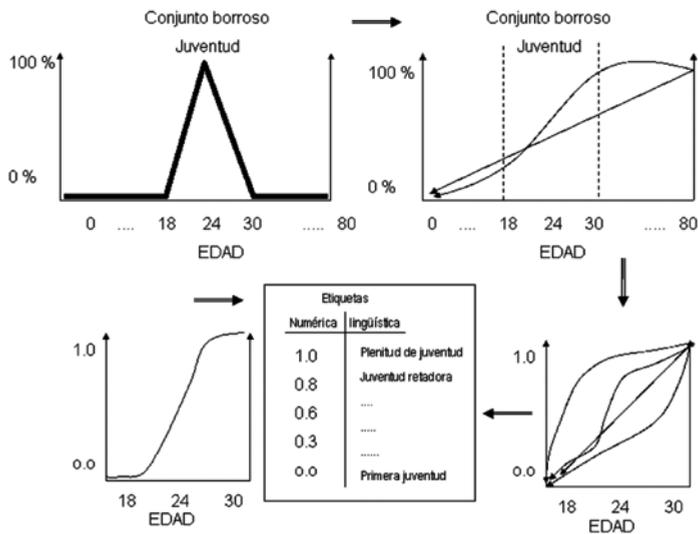


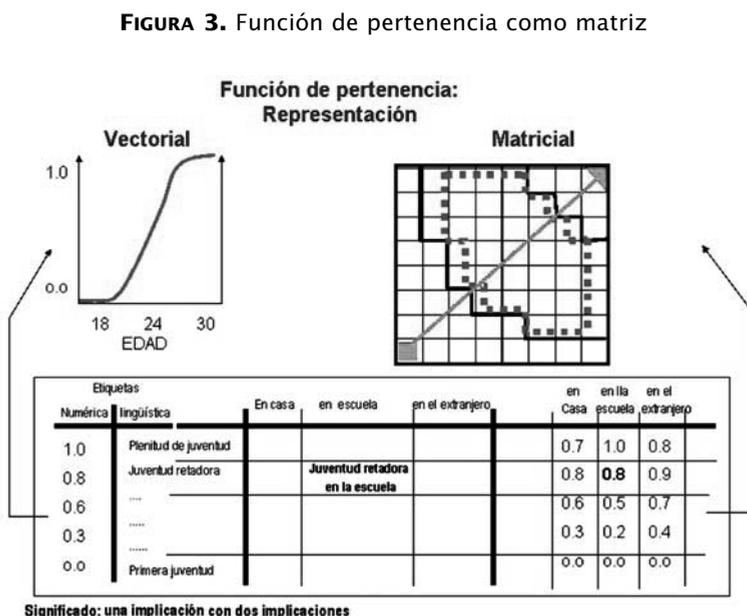
FIGURA 2. Conjunto borroso (otras representaciones)



formalización en la aproximación que todo investigador —en nuestro caso con la mira en las ciencias sociales—, desea tener ante los observables de su objeto de estudio, observables que generalmente están preñados de propiedades difusas y heterogéneas —piense en cualquier nivel de desglose para categorías como democracia, solidaridad, familia, actividad y salud—, así como un objeto de estudio que se construye a partir de estructuraciones y operaciones bajo los lineamientos de un sistema complejo y en donde es posible que la toma de decisiones esté basada sustantivamente en criterios no numéricos y de naturaleza lingüística. De acuerdo a Brío y Sanz, esta teoría se puede ver como una “computación de palabras” (Brío y Sanz 2002: 247).

La función de pertenencia a que se ha hecho mención está construida bajo una correspondencia de un dominio y un codominio, que en ambos casos tienen asociada una dimensión. Esto permite ser visualizada en un sistema de coordenadas cartesianas de dos dimensiones dominio y codominio de la función. Sin embargo es posible asociar a cada valor numérico normalizado dos o más propiedades o características de la variable lingüística, enriqueciendo de esta manera la riqueza y posibilidades de la función de pertenencia.

En la figura 3 se muestra la matriz que permite construir una función de pertenencia para un conjunto de etiquetas lingüísticas bajo dos perspectivas, dimensiones, o bajo dos niveles de implicación. Por un lado



los significados establecidos ya en el primer ejemplo y por otro lado, una nueva dimensión que arroja nuevos matices/implicaciones a dicho concepto, bajo la dimensión espacial (juventud en la casa, en la escuela y en el extranjero). En la matriz de posibilidades se tiene ahora una zona de valores numéricos que son factibles de usar dentro de la función de pertenencia y en consecuencia sujetas al álgebra de inferencias correspondiente.

Es posible modelar la función de pertenencia bajo un sistema de tres o más dimensiones asociando, además de la dimensión espacial y la temporal, dimensiones del dominio emocional.

Si bien las representaciones de este ejemplo permiten visualizar las potencialidades de las matemáticas para construir la función de pertenencia, es posible imaginar que dichas posibilidades siempre tendrán tanto que ofrecer como las posibilidades reales de un sujeto real respecto a sus significados. Quiero decir que los límites de construcción matemática no están en función de las limitaciones matemáticas sino de las capacidades de construcción del constructor.

¿Qué son las Redes Neuronales Artificiales?

Las RNA tienen dos formas de visualizarse y comprenderse: como un *modelo matemático* que permite modelar procesos operativos con base en el modelo biológico de las interacciones entre las neuronas del cerebro, y

como un *modelo físico* formado por un conjunto de circuitos electrónicos interconectados.

El común denominador en ambos casos es una *estructura de tipo red* donde se procesa un conjunto de datos y se deriva un resultado. Para comprender el proceso operativo y el modelo lógico de una RNA es necesario recordar los principales componentes de una red neuronal, sus principales funciones y formas de conectividad (figura 4): una neurona está compuesta por su *núcleo* donde lleva a cabo operaciones de integración (ponderación) y diferenciación, por componentes de vinculación entre el núcleo y la *membrana* y por extensiones de la membrana como conductos de vinculación/acoplamiento con el medio o entorno de la célula y con otras neuronas.

La conexión entre neuronas se establece por medio de un conducto denominado *axón*. Este conducto transmite información en términos de *sinapsis* (pulsaciones debidas a descargas electroquímicas) de una neurona a otra. De la neurona también salen otros conductos/terminaciones —*dendritas*— que operan como *sensores* de las condiciones del medio o como *efectores* a las condiciones del medio en que se encuentran.

Las neuronas están organizadas por *capas* o niveles en diferentes tipos de arreglos o estructuras. Cada neurona está conectada a muchas neuronas dentro de una *capa oculta* que a su vez está conectada a una de una *capa de entrada* y una *capa de salida* (véase figura 7). La red opera en un medio específico del que toma información —me-

FIGURA 4. Modelo físico y matemático de una neurona

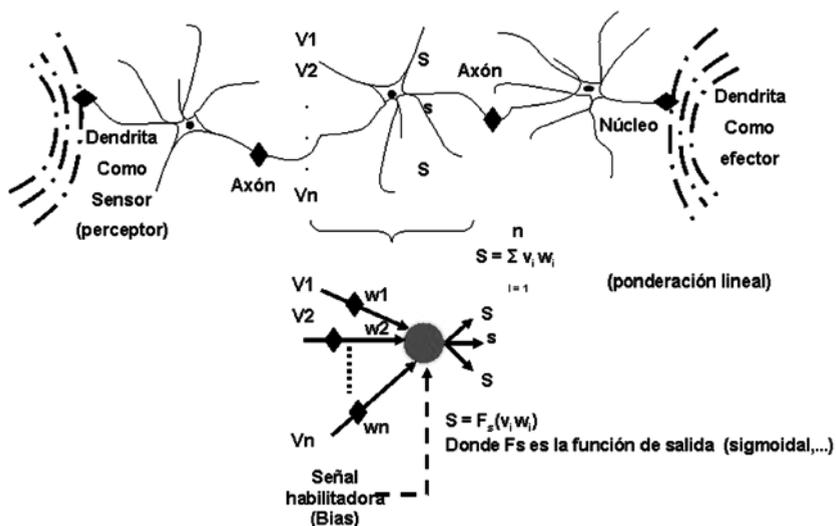
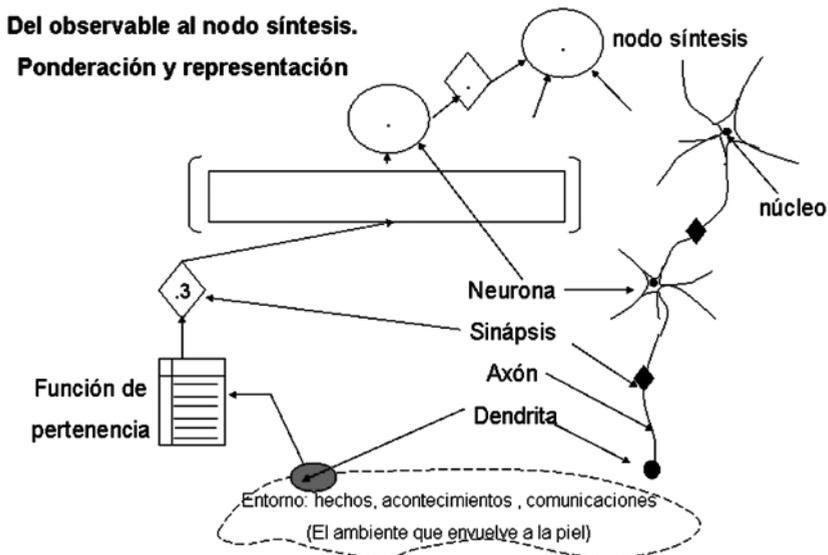


FIGURA 5. Analogía de la conectividad neuronal



diante dendritas/sensores— y al que suministra información —dendritas-efectores.

Las dendritas, como sensores *monitorean* y *transmiten información*²⁴ del medio (entorno) hacia un primer conjunto de neuronas organizadas en una capa de entrada (véase figura 5); en la figura 5 las establece un paralelismo con la operacionalidad que tendrá en un sistema de cómputo.

- En los núcleos de las neuronas se llevan a cabo operaciones básicas de diferenciación e integración (véase figura 6); específicamente hay una *ponderación de valores* en las neuronas de la capa de entrada y una distribución o generación de información que es transmitida al siguiente nivel de neuronas (capas ocultas).
- Esta transmisión por los axons está regulada por el grado de apertura (más adelante identificados como “pesos” (*weights*) de las sinapsis. Es en este grado de apertura donde se determina “una forma de significado y relevancia de la información transmitida” correspondiente a los contenidos de entrada que procesan las capas ocultas de la red neuronal. Las sinapsis tienen valores numéricos entre cero y uno. En la figura 8 se indica una correspondencia

entre el modelo biológico y la representación matemática en términos de una función de pertenencia (dendrita/sensor), un axón que solo deja pasar el 30 % de la información y una neurona que integra información de tres neuronas (ponderación de valores) y los compara con el propósito de transmitirlos tanto a la siguiente neurona como a otra que se encuentra en una capa anterior (retroalimentación).

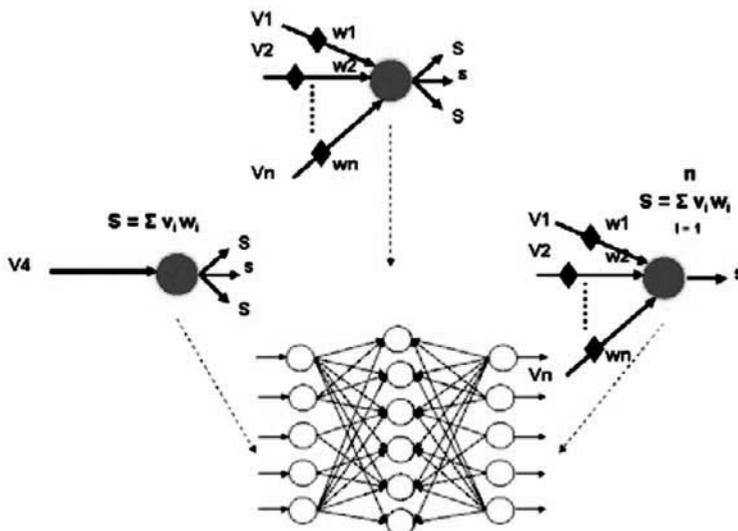
- La información de las capas ocultas es transmitida a la capa de salida y en ella se transforma la información a un nuevo lenguaje para que esta sea transferida a las dendritas de salida que operan como estimuladores o efectores del agente/sistema.

Si se construye un modelo matemático de las operaciones descritas con base en las expresiones de la figura 4, resulta una ecuación por cada neurona con tantas variables como conexiones tenga. De esta manera se conforma un *sistema de ecuaciones*²⁵ constituido por un conjunto de variables independientes (información de entrada a la red), variables dependientes (como información de salida, que debe estimar la red como resultados esperados), y coeficientes de cada variable (que son identificados

²⁴ En esta alusión a “información” nos referimos a formas de “materia/energía” en forma de onda —o patrones de onda— de diferentes tipos: como energía lumínica y sonora, que son “detectadas/percibidas” por los sentidos de la vista y el oído y “materia/energía” en forma de “partículas/moléculas con una temperatura, presión y masa determinada”, que son “detectadas/percibidas” por el sentido del tacto y del olfato. En ambos casos, la “materia/energía” está organizada en patrones y secuencias que son procesados por las redes neuronales.

²⁵ En este sistema no se incluye una función de salida que transforma los valores a un dominio no lineal.

FIGURA 6. Modelo matemático de neuronas en diferente capa



en el modelo como los *pesos* entre las neuronas).

En estos tipos de RNA se presentan dos grandes fases de operación: la *fase de aprendizaje* y la *fase de reproducción de resultados u operación* deseada. Las características principales de estas fases son las siguientes:

- La *fase de aprendizaje*, y se caracteriza por estar probando el mejor arreglo de neuronas, el número de conexiones entre ellas y los valores óptimos de transmitividad en las sinapsis —los pesos— para un conjunto de valores de entrada a la red. Esta fase de aprendizaje termina cuando se obtienen los valores de salida esperados, de acuerdo a un criterio de terminación.

Existen varios criterios de terminación de esta fase y que determinan a su vez el tipo de red neuronal:

- El criterio de *aprendizaje autorizado* en el cual se requiere de un grupo de juegos de información de entrada a la red y un grupo correspondiente de juegos de información de salida, o resultados derivados de los de entrada para generar con ellos el patrón más adecuado como respuesta. Esta información —datos y respuesta— funge como autoridad para que durante el proceso de aprendizaje, basado en un algoritmo de solución, obtenga el valor de los coeficientes de las ecuaciones —correspondientes a los valores de las sinapsis

entre las neuronas—, que satisfacen dichos juegos de datos.

- El criterio de *aprendizaje no autorizado o auto-organizado*, en el que la red encuentra los valores óptimos de arreglo y grados de apretura (pesos) correspondientes a los coeficientes de las ecuaciones (sinapsis) para un grupo de juegos de datos de entrada. En este caso cuando la red converge, identifica un patrón de juegos de datos.

Existe la posibilidad de un criterio de *aprendizaje híbrido* en el que coexisten los dos tipos de aprendizaje anteriores. En todos los casos los parámetros en estos criterios de terminación son establecidos por el constructor y organizador de la RNA.

- La *fase de reproducción de resultados u operación* de una red, parte de que ya se dispone de una estructura, conectividad y grados de apertura en los axons (sinapsis), satisfactoria u óptima, y que han sido determinados a partir de los grupos de juegos de datos de prueba. En estas condiciones el procesamiento de un juego de datos nuevo es instantáneo, ya como datos de salida, ya como identificación de un patrón de entrada. La red responde inmediatamente a cualquier caso que haya sido probado durante la fase de aprendizaje o semejantes.

Las RNA de *aprendizaje autorizado* son equivalentes a una macrofunción que pue-

FIGURA 7. Arquitectura en capas de una red neuronal artificial

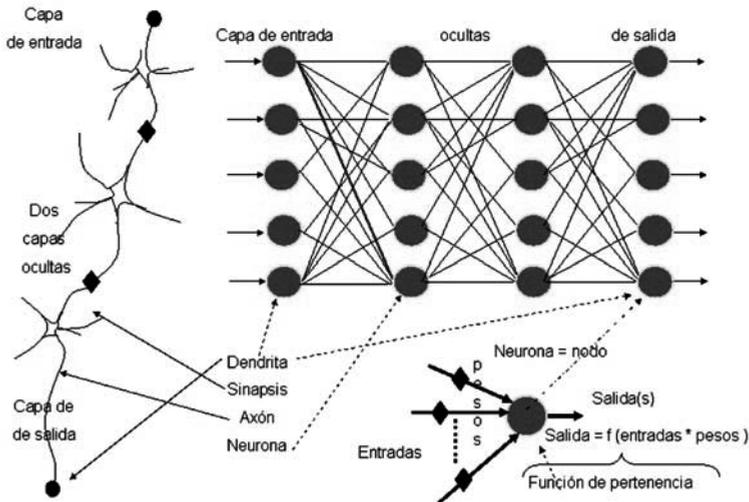
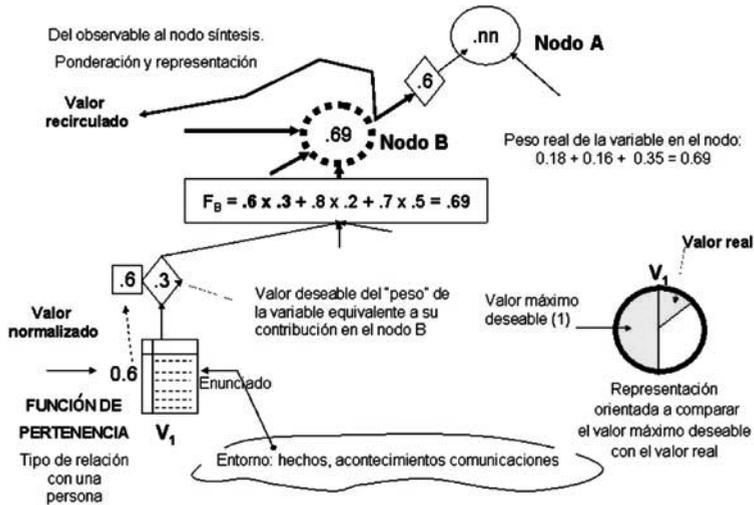


FIGURA 8. Operaciones básicas de una RNA aplicadas a un agente

de estar en constante modo de aprendizaje/operación. A lo largo de los años se han desarrollado varios modelos como el Percepción, la RNA Adelina, y el modelo BackPropagation que es el más poderoso y usado en las aplicaciones industriales multidisciplinares. Entre los modelos de las *redes autoorganizadas* están el modelo ART, el Hopfield y los Mapas de Kohonen entre otros (Brío y Sanz, 2002: 31).

Reflexividad en las redes neuronales artificiales

Considero que el componente más significativo dentro del modelo de RNA es el significado que tienen los "pesos" (sinapsis en

los axons). Desde la perspectiva del modelo matemático que representa a una red, dichos pesos corresponden a los coeficientes de las ecuaciones que generalmente son constantes, pero que en este caso no lo son, e invierten la lógica de solución de un sistema que representa a una RNA. En estos sistemas, los pesos son ahora las incógnitas que es necesario encontrar para satisfacer valores de entrada o salida del sistema de ecuaciones, valores que son sustituidos por las variables dependientes, y calculados y verificados por las variables independientes. De esta manera, estas variables se convierten en juegos de datos constantes y los coeficientes toman el papel de variables independientes sujetas al proceso de convergencia que exige el sistema de ecuaciones de la RNA.

Los pesos se encuentran entonces, sujetos al proceso de convergencia, representan una medida del “aprendizaje” del sistema de ecuaciones, de la RNA respecto a los juegos de datos de entrada y/o salida que es necesario satisfacer. Una vez que el sistema converge, esto es, que se encuentran los pesos que satisfacen los juegos de datos usados para el aprendizaje, en ellos radica el “conocimiento” de la RNA. Este conocimiento no sólo permite hacer las inferencias de la red sino que al mismo tiempo contiene “la memoria” de la red. Se dice que la RNA aprendió a resolver muchos casos y para ello sólo requiere de los coeficientes y de la estructura del sistema de ecuaciones. La memoria requerida radica entonces en la matriz de coeficientes del sistema: matriz de pulsaciones, de pesos, de grados de transición, de potenciales electroquímicos. En matemáticas aplicadas es la capacidad de transformación del sistema. Finalmente, memoria e inferencia son la misma cosa. Esta conjunción es significativa para el establecimiento de operaciones epistémicas.

Pero hay un elemento que todavía nos interesa resaltar de las RNA: *la reflexividad implícita en el proceso de convergencia del sistema de ecuaciones*, o lo que es lo mismo, la operación de *retroalimentación del sistema para “aprender”* y encontrar los pesos/coeficientes que satisfacen a todos los juegos de datos/observables de entrada o salida. Este proceso de convergencia, no es más que una “estrategia” para *aproximar sucesivamente* — “en cada iteración, en cada etapa/fase/periodo de aprendizaje” —, los *valores calculados* por la RNA respecto a los *valores deseados* en

el aprendizaje. Cuando la *estrategia* logra encontrar el juego óptimo de “pesos/coeficientes”, permite entonces confirmar que el sistema de ecuaciones, efectivamente transforma a los juegos de datos/observables de entrada a los resultados deseados, podemos decir con ello que la RNA *ya aprendió* y puede pasar a una fase de operación.

El centro de nuestra atención debe regresar ahora al proceso mismo de la aproximación sucesiva de la estrategia para encontrar los juegos de pesos/coeficientes que satisfacen el sistema de ecuaciones. El momento clave de una iteración *radica en la comparación entre el valor calculado por la RNA y el valor deseado*, ya que si son iguales termina la fase de aprendizaje, pero si no lo son, es necesario establecer un criterio de aproximación a su convergencia.

Pero antes de establecer dicho criterio, detengámonos en la comparación entre el valor calculado y el valor deseado: ¿que significa esto? Si la RNA, como sistema, se encuentra aprendiendo, esta comparación nos lleva a explicitar la necesaria, distinción y distancia entre lo que la RNA “hace/calcula en ese momento” y lo que la RNA “debe hacer/calcular”. Una mayor amplificación y extrapolación de esta comparación corresponde a una *distinción/diferencia* sujeta a una *comparación que propicia reflexividad*: si la diferencia entre lo que el sistema hace es muy diferente a lo que debe de hacer/calcular, entonces el criterio de transformación de sus coeficientes, o quizá de su estructura, debe ser más grande que en el caso de una diferencia entre lo que calcula y lo que debe calcular, es pequeña.

Esta comparación se lleva a cabo al término de cada iteración y la duración de cada iteración puede ser de milésimas de segundo hasta varios años: en el primer caso, se trataría de una RNA que modela un proceso dentro de una computadora, el segundo caso se trata de una RNA que modela el proceso de una institución, de un grupo social, de una nación. Si bien los criterios de convergencia matemáticos —que son parte de la estrategia de solución de la RNA— pueden ser “explicados” en términos de gradientes, tolerancias y factores de relajación, en el caso de una institución o grupo social se trata de diferenciaciones sociales, conflictos, acuerdos y acciones políticas.

La estrategia toma en cuenta entonces, una parte del ciclo anterior —su historia— como base para transformar el sistema y ver su comportamiento en el siguiente ciclo o iteración. Esto dentro de una fase de aprendizaje constante donde el “algoritmo de convergencia/estrategia de aproximación” decide si los pasos de acercamiento son más largos que en otra fase menos crítica, o más pequeños con una equivalencia a tomar decisiones menos drásticas. Y todo ello dependerá de las pendientes y de las discontinuidades del terreno, del campo de acción de la RNA para decidir el rumbo más adecuado.

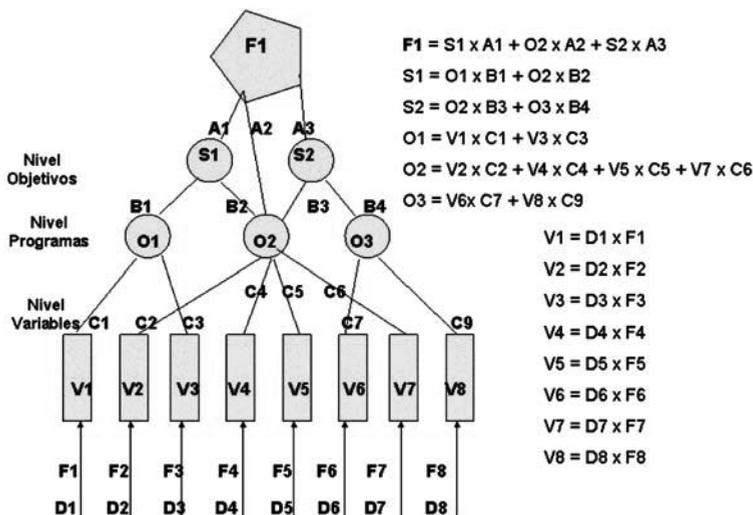
Hemos explicitado con frecuencia dos o más formas de aludir conceptos y operaciones con el propósito de mostrar la correspondencia entre las operaciones matemáticas y las epistémicas, entre los procesos matemáticos y los procesos sociales. Si bien no son del mismo dominio, son construidos en un

caso bajo formas lógicas de materia/energía al interior de las redes neuronales, en otro caso bajo formas sociales de materia/energía de las mismas redes neuronales.

El punto común y central en ambos ejemplos aludidos (el matemático y el social) es la comparación entre lo deseado y lo posible, lo esperado y lo hecho, lo confirmado y la posibilidad de cumplirlo, diferentes caras de la reflexividad que necesariamente impulsa al constructor de la RNA, al conductor de la institución, al observador de segundo orden del sistema a desarrollar diferentes estrategias para “aproximarse” a una mejor comprensión de la complejidad del problema y atender esta necesidad de lograr una mayor coherencia, entre las potencialidades internas del sistema y las realidades externas del entorno, entre un conocimiento en construcción basado en un aprendizaje en constante reflexividad con el entorno.

A manera de síntesis operativa: en la parte central de la figura 9 se muestra el “valor deseable” manifiesto en el peso de ese axón, que el constructor del nodo B ha asignado para el su comportamiento. En ese momento de la operación de un sistema que se muestra en dicha figura, una dendrita ha monitoreado un observable en el entorno que lo ha “borrosificado” a un valor de 0.6, valor que corresponde a un “enunciado” tan sencillo o sofisticado como el constructor lo haya decidido. En el axón que vincula esta dendrita con la célula/nodo B deja pasar solamente el 30 % del 60% que representa dicho observable, o sea que el significado de este observable dentro del proceso de inferencia del nodo B, equivale a un 30%

FIGURA 9. Modelo de RNA orientado a una estructura jerárquica



de participación en la decisión final del nodo. La contribución final del observable es entonces del 18%, y es necesario pensar este 0.18 dentro de un código/escala & función de pertenencia que desde el punto de vista del Nodo B significa “una mala relación [...] con la persona x”. El resto está distribuido en otras dos dendritas que participan en un 20 y un 50 por ciento, del total en el Nodo B.

Una medida de la representación de los valores en dendritas y en nodos se muestra en el diagrama de la parte derecha de dicha figura. En el se indica el valor deseable máximo posible y el valor real con el que se encuentra operando, aprendiendo el nodo, la RNA.

Al interior de la neurona, los tres valores provenientes de cada axón, se suman. Dado que ambos se han normalizado, el

valor más alto que puede tomar esta suma es de uno. Generalmente este valor es menor a uno y vuelve a ser una medida o grado de significación de lo que representa dicha neurona. Si el valor ponderado es igual a uno, esto puede interpretarse como el máximo logro deseable en relación con la conjunción de los tres significados representados por las tres entradas a la neurona. Este valor puede ser el umbral superior de una nueva función de pertenencia de segundo orden. De la misma manera el valor de cero en esta ponderación determina el umbral inferior. Los valores intermedios —infinitos— deben ser agrupados y asociados a nuevas etiquetas que tiene que construir el sistema o el constructor del sistema.

El valor ponderado puede tener tres posibilidades: a) transmitirlo a la siguiente neu-

rona de un nivel superior o a uno anterior (retroalimentación); b) transformarlo (por operaciones de diferenciación o integración) mediante una función que lo lleva a otro dominio numérico; o c) no transmitirlo, considerando que no cumple con un valor mínimo —umbral de accionamiento— para ser transmitido (considerando que la neurona que procesó la información no está habilitada o estimulada).

Conclusiones

Necesariamente nuestras conclusiones son parciales y dentro de una aproximación que será sucesiva respecto a la forma de integrar a la LB y a las RNA en los procesos de construcción e inferencia de la actividad sociológica. En este trabajo he querido mostrar los principios básicos de la LB y las RNA que a la luz de su articulación con el ámbito de lo social, nos permiten construir puentes que conlleven a una continuidad en los procesos de comprensión y explicación de problemas apremiantes.

La comprensión de la LB y las RNA bajo la perspectiva de la matemática y articulados a una epistemología orientada a la construcción de sistemas complejos, contribuye en el establecimiento de un lenguaje común orientado a la mejor comprensión/explicación de problemas sociales.

Concretamente de la LB podemos inferir que: se trata de una estrategia que da solución a un reto que tiene enfrente la necesidad de dar un paso aproximativo, que tiene que cruzar un abismo virtual, la solu-

ción viene por la voluntad de construcción personal/colectiva de una función de pertenencia. La construcción de una FP es un reto porque exige explicitar la voluntad de construir y el valor de jerarquizar para decidir ante lo desconocido, para trascender los umbrales establecidos en las funciones de pertenencia ya construidas. La construcción de una FP es un paso que cruza un espacio “articulando el brinco” y que se debe llenar con más articulaciones.

De las RNA podemos inferir que: a partir de la interacción de nodos/neuronas es posible construir procesos como macrofunciones, que permiten explicar el desarrollo de la transformación de conglomerados de materia/energía. La construcción de una RNA conlleva a la conjunción de memoria/reflexividad/inferencia, operaciones simultáneas que pueden transformar nuestras concepciones epistémicas. La organización de las interacciones como redes puede estar orientada a las acciones/perturbaciones que enfrenta el sistema/sujeto derivando en una autoorganización, o pueden estar derivadas de una organización reflexiva orientada a fines específicos, fines del propio sistema/sujeto.

Al interior de los conceptos de LB y RNA se encuentran varios implícitos que al hacerlos explícitos permiten establecer correspondencias con procesos epistémicos considerados por varias teorías. De esta manera, los conceptos subyacentes a la LB y a las RNA permiten construir formas de operación, organización y transformación de los procesos básicos de una epistemología orientada a un conocimiento en construcción.

El reto del sociólogo ante una interdisciplinariedad que invita a conocer las posibilidades de una LB/RNA es doble, no sólo porque exige de un conocimiento de temas de otras disciplinas no triviales para él, sino porque su uso como articulaciones entre dominios alejados impone nuevas formas de vinculación, articulaciones que exigen un cambio de punto de vista sobre los retos fundamentales no sólo de las ciencias sociales ni de la naturales, sino de ambas, *porque dicho ángulo de observación —que es el que hemos querido adoptar— impone una mirada constructora que ve en ambas ciencias los mismos retos: su misma presencia que participa en la definición de su objeto de estudio, la solución a paradojas —como recursividades en espiral— para iniciar su intervención, intervención que no puede ser sola sino en colaboración, y colaboración que debe tener un lenguaje común.*

Referencias

- Aguado, J. M. 2003. *Comunicación y cognición. Bases epistemológicas de la complejidad*. Sevilla: Comunicación Social.
- Amozurrutia, J. A. 2002. *Cibernética en hoja electrónica: para una cibernética de segundo orden*. Trabajo presentado en el XV Congreso Internacional de Sociología, capítulo de Sociocibernética, Brisbane, Australia (en <http://www.labcomplex.net>).
- . 2003. *A computer model for Luhmann's key concepts*. Trabajo presentado en la Cuarta Conferencia Internacional de Sociocibernética, Corfu, Grecia (en www.labcomplex.net).
- . 2004a. *Cibercultura y Procesos Interculturales: un modelo sistémico para pulsos migratorios*. Trabajo presentado en la Quinta Conferencia Internacional de Sociocibernética, Lisboa, Portugal (en www.labcomplex.net).
- . 2004b. *Pensamiento sistémico y organización matricial, orientados a la construcción de sistemas sociales: retos y herramientas ante la complejidad* (por publicarse) (en www.labcomplex.net).
- . 2005. "Método para el análisis de un prototexto sobre grupos de discusión usando la hoja de cálculo como herramienta de trabajo". En *Jornadas Anuales de Investigación 2004*. México: CEIICH, UNAM.
- Bausch Kenneth. 2001. *The emerging consensus in Social System Theory*. Kluwer Nueva York: Academic/Plenum Publishers.
- Brío B. y Sanz A. 2002. *Redes neuronales y sistemas difusos*. México: Alfaomega Grupo Editor.
- Buckley, W. 1993. *La sociología y la teoría moderna de los sistemas*. Argentina: Amorrortu Editores.
- Comte, A. 2000. *Discurso sobre el espíritu positivo*. España: Alianza Editorial.
- García, R. 1993. *From planning to evaluation. A system approach to agricultural development projects*. IFAD Report, No. 0341.
- . 2000. *El conocimiento en construcción. De las formulaciones de Jean Piaget a la teoría de sistemas complejos*. España: Gedisa.
- Gentile, M., Rogers W. y S. Mannan. 2003. "Development of an Inherent Safety Index Based on Fuzzy Logic". *AICHE Journal*, vol. 49, núm. 4.
- Geyer, F. 2000. *Sociocybernetics: Complexity, Dynamics, and Emergence in Social Science*. Bradford, UK: MCB University Press. 1997.

- . 2006. *What is sociocybernetics?*, <http://www.unizar.es/sociocybernetics/quees/que.html> (consultado 15, 1, 06).
- Goldspink Ch. 2000. "Modelling social systems as complex: Towards a social simulation meta-model". *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 3, núm. 2.
- Havens E., Everett R. y Lipman A. 1965. *Medición en sociología: conceptos y métodos*. Bogotá, Col. Monografías Sociológicas, UNC.
- Hornung, B. R. 2003. "Sociocybernetic Problem-Functionalist Analysis of Kerkyra". Trabajo presentado en la Cuarta Conferencia Internacional de Sociocibernética, Corfu, Grecia, julio.
- . 2003. "Constructing Sociology from first order Social Sciences —Basic Concepts for a Sociocybernetic Analysis of Information Society". 4th International Conference of Sociocybernetics, Corfu, Grece, julio.
- Jackson, Michael. 2000. *System Approaches to Management*. Nueva York: Klumer Academic Plenum Publishers.
- Kuhn. T. S. 1989. "Commensurabilidad, comparabilidad y comunicabilidad." En *¿Qué son las revoluciones científicas? Y otros ensayos*. Barcelona: Editorial Paidós.
- Lee, R. 1998. *Estudios de la complejidad y las ciencias humanas: presiones, iniciativas y consecuencias del predominio de las dos culturas*. México: CEIICH/UNAM.
- Leydesdorff, L. 2001. "Luhmann's sociological theory: Its Operationalization and future perspectives". *Social Science Information*, 35, 283-306.
- Luhmann N. 1996. *Introducción a la teoría de sistemas*. México: Anthropos, U. Iberoamericana e ITESO.
- . 1998. *Sistemas sociales (lineamientos para una teoría general)*, 1a. ed. en español. México: Anthropos, Universidad Iberoamericana e ITESO.
- Maturana, H. y F. Varela. 1999. *El árbol del conocimiento*. México: Editorial Debate.
- Morin E. 1994. *El Método (El conocimiento del conocimiento)*. Madrid, España: Ediciones Cátedra.
- Piaget, J. y R. García. 1987. *Hacia una lógica de significaciones*. España: Gedisa.
- Popper, K. R. 1967. *La lógica de la Investigación Científica*. Madrid: Tecnos.
- Radcliff-Brown. 1998. "Estructura y función en la sociedad Primitiva". En Resendiz, G. R. (coord.), *El pensamiento sociológico clásico. Antología*. México: UNAM, ENEP Acatlán [Artículo compilado por Payá Porres, Víctor A.].
- Scott, B. 2003. "Second order cybernetics: A historical introduction". Trabajo presentado en la Cuarta Conferencia Internacional de Sociocibernética, Corfu, Grecia, julio.
- Timasheff, Nicolas. 2002. *La teoría sociológica. Su naturaleza y desarrollo*. México: FCE.
- Von Foerster, H. 1999. "Cibernética de la Cibernética" (1979). Packman, Marcelo (comp.), En *Las semillas de la cibernética*. España: Gedisa.
- Weber, M. 2004. *Economía y sociedad*. México: FCE.
- Zadeh, L. A. 1988. *Fuzzy logic*. USA: IEEE Computer Magazine.