

## Metodología, métodos, técnicas

# LÓGICA BORROSA Y REDES NEURONALES ARTIFICIALES

## aplicadas a las Ciencias Sociales

José A. Amozurrutia

### Resumen

Se presenta una introducción a la Lógica Borrosa y a las Redes Neuronales Artificiales como dos teorías que enriquecen la perspectiva analítica de la sociología. Su aplicación abarca desde el modelado de sistemas de interacción y sistemas de organizaciones, hasta la simulación de agentes y fenómenos sociales. Se parte de una postura crítica hacia la mirada clásica del sociólogo que descansa en las teorías de la probabilidad y la estadística para formalizar sus razonamientos. Se toma en cuenta la complejidad de objetos de estudio derivados de una observación de segundo orden, es decir a partir de una reflexión del investigador que se observa investigar, y sostengo que, mediante la lógica borrosa y varios componentes derivados de la teoría y de los modelos de redes neuronales artificiales, es posible establecer nuevas formas de «comprensión/explicación» de fenómenos sociales.

Palabras clave: Lógica Borrosa, Redes Neuronales, Metodología Social

### Abstract

#### Fuzzy Logic and Artificial Neural Networks Applied to the Social Sciences

This is an introduction to the theme of Fuzzy Logic and Artificial Neural Networks as two theories that enrich the analytic perspective of sociology. Its application ranges from the modeling of interactive and organizational systems to the simulation of actors and social phenomena. It begins with a critical view of the classic perspective of the sociologist who relies to a great extent in theories of probability and statistics in order to formalize its reasoning. It takes into account the complex nature of objects of study derived from a second-order observation, on the basis of the reflection of investigators that observe themselves investigating, and, by means of fuzzy logic and various components derived from the theory and models of artificial neural networks, it is possible to establish new forms of «understanding/explaining» social phenomena.

Keywords: Fuzzy Logic, Artificial Neural Networks, Social Methodology

**José A. Amozurrutia.** Mexicano. Investigador del Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Comunicación Compleja, labCOMplex del Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades, UNAM; amoz@labcomplex.net

**Metodología, métodos, técnicas**

# **LÓGICA BORROSA Y REDES NEURONALES ARTIFICIALES**

## **aplicadas a las Ciencias Sociales**

**José A. Amozurrutia**

---

**Observando un presente que se observa**

*Mismas preguntas, ángulos diferentes*

El presente social es un crisol permanente de encuentros y desencuentros: se recalienta, se enfría, se reacomoda y reencuentra constantemente nuevas formas de interacción, más cómodas o menos incómodas, ante el riesgo constante de la contingencia. La atención generalmente se concentra en conservar un equilibrio, propiciar un re-equilibrio y evitar el conflicto. Entre los observadores de lo social, concebido como un presente de acciones, comunicaciones, hechos, actividades y acontecimientos, los sociólogos debiéramos asumir el compromiso de renovar nuestra mirada y atención antes, durante y después de los conflictos. Debemos imponernos una reflexión que implique condensar una mejor y más clara *comprensión* de los problemas, para que pueda ser reflejada en una *explicación* que efectivamente dé respuesta a las preguntas que nos hacemos.

Abrevo de varias fuentes para formularme el par “comprensión/explicación”: de acuerdo con Weber, considero a la comprensión como una construcción que interiormente hacemos cuando establecemos “conexiones de sentido” respecto a los motivos de una acción; conexión que suscita un enjambre al que sólo podemos aludir en términos de un “promedio de lo mentado” y “de modo aproximativo” asociado al contexto de la acción y para la construcción de un “tipo ideal” que permite explicar (Weber, 2004, 8, 9). Morin las concibe de manera integral:

la comprensión conteniendo a la explicación y la explicación conteniendo a la comprensión (Morin, 1994, 157),

y Rolando García, importante colaborador en el último período de Jean Piaget, 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 (García, 2000, 78).

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 subsunción y conjunción de estructuras fuera del tiempo) que conduce a un estudio estrictamente lógico (2000, 127-128).

Según he dicho, mi reflexión inicia con el análisis de la mirada clásica del sociólogo que ha descansado en gran medida en las teorías de la probabilidad y la estadística para formalizar sus razonamientos. Este ángulo de observación de lo social ofrece respuestas que nos aproximan a una comprensión global y consensual de un problema, al análisis de los comportamientos en condiciones “normales” y a la probabilidad de que sucedan otros acontecimientos en torno a un acontecimiento central o de interés. Pero no en pocos casos y bajo una mirada más atenta a la naturaleza heterogénea de ellos, a su entramado axiológico y a las anomalías e irregularidades que nunca dejan de aparecer, no ofrece respuestas que conduzcan a una racionalidad más comprometida y a formas de explicación de dinámicas que no pueden ser consideradas como estáticas, pues la simulación de eventos sociales es casi inexistente. Dicha mirada clásica difícilmente satisface a un observador de la complejidad.

La complejidad a la que aludimos está en la forma de la mirada y no en la naturaleza del objeto de estudio. Dicha mirada surge de un ejercicio de reflexión que comprende la imposibilidad de satisfacer las posibilidades infinitas de correspondencia e interdependencia entre los “elementos/relaciones” del sistema con los “elementos/relaciones” del entorno, siempre infinitamente mayores (Luhmann, 1996), pero también una complejidad derivada de la necesidad de integrar naturalezas heterogéneas y distantes. Adopto la siguiente definición:

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).

### **Otra mirada...**

#### *nuevos retos*

Necesitamos de otra mirada, una mirada convencida de la importancia de nuevos puntos de observación de lo social y de la existencia de nuevas relaciones entre teorías, tecnologías, métodos y técnicas originadas desde otras disciplinas, que puedan ser transplantadas al análisis de la sociedad. Una mirada convencida de que existen nuevas formas de *integración analítica de la sociología* y que resuelva los retos clásicos del instrumental científico.

Como algunos sociólogos de la actualidad, me cuestiono sobre los criterios de “normalidad” y de *función de probabilidad* que nos ofrecen las teorías de la probabilidad y de la estadística para mejor comprender y explicar los comportamientos extraños –cada vez más fractálicos– de los observables que observo, para explicar el crisol de las causas y los efectos –cada vez más paradójicos– en los que vivo. Reflexiono con mis compañeros de trabajo sobre el significado que hacemos del *número* en las conjeturas estadísticas, en la necesidad de hacer más explícita nuestra intervención como investigadores y en la construcción de argumentos, para que propicien una continuidad racional en el discurso de nuestras inferencias. Al mismo tiempo, construimos una mirada compartida, que ofrezca una mejor aproximación a la complejidad que enfrentamos al tratar de analizar el impacto de un conflicto o acontecimiento social, su estela previa y las resonancias de sus futuros posibles. Dicha construcción requiere de un gran esfuerzo no sólo para ensanchar la mirada de cada uno de nosotros, sino para aprender a compartir responsabilidades y encuentros consensados, para tejer interdisciplinaria y realmente ofrecer nuevas alternativas.

Es importante reconocer que existen fenómenos comunes entre dominios distantes –al menos entre los niveles físico-natural, biológico, mental y social–, que comparten “estructuras/procesos”, “equilibrios/desequilibrios”.<sup>1</sup> Dominios que están sujetos a campos y fuerzas diferentes, pero con problemas y retos comunes desde puntos de observación de segundo orden, donde se reconocen analogías, isomorfismos e isocronías.

Considero que la mirada sociológica tiene que incrementar su acercamiento hacia perspectivas que basan su observación distanciada de apriorismos y de puntos de partida meramente perceptivos y sensoriales, como es el caso de las corrientes idealistas y de las meramente empiristas. Estoy convencido de que la sociología tiene que reorientar su camino en torno a estrategias constructivistas (Glaserfeld, 1990, 20-38), (von Foerster, 1990, 38-56), (García, 2000), que partan de una epistemología desde la cual

puedan construirse nuevas formas de “comprensión / explicación” de complejidades sociales, para responder preguntas surgidas sobre problemas prácticos.

Mi propuesta es que, bajo una *comprensión sistémica de segundo orden*,<sup>2</sup> construida con base en las *funciones de pertenencia* –consideradas como construcciones de creciente certeza– como las que ofrece la lógica borrosa y bajo una explicación operacionalizada, a la manera de una *red neuronal* que pondera heterogeneidades y racionaliza procesos de reflexión y creación de memoria, es posible tener una mejor aproximación a dinámicas heterogéneas: a la complejidad en la mirada sociológica.

Pero ya es momento de tener una primera aproximación a la lógica borrosa –una lógica de multivalores–, así como a las redes neuronales –una red de retroalimentaciones con sentido. Y posteriormente describiré la forma del trasplante de estas teorías desde sus dominios hasta el dominio de lo social.

### **Lógica Borrosa y** *Redes Neuronales Artificiales*

La Lógica Borrosa<sup>3</sup> (LB) y las Redes Neuronales Artificiales (RNA) son dos temas propios de las matemáticas y de la inteligencia artificial respectivamente, que han surgido a partir de necesidades y deseos al interior de una actividad interdisciplinaria practicada en los últimos treinta años.

La lógica borrosa se establece a partir del encuentro entre las matemáticas y el área de control de procesos industriales en el campo de las ingenierías. Su punto de partida es la búsqueda que se ha hecho para encontrar estrategias que eviten el estallamiento de “estructuras/procesos”.

Por otro lado, las redes neuronales artificiales emergen del deseo de encontrar analogías e isomorfismos entre la biología, las matemáticas y la física, concretamente en el modelado electrónico y en la solución matemática de algunos comportamientos de la operación neuronal del cerebro.

En el caso de la lógica borrosa 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 la máquina y/o de los procesos industriales. Ahí surge la necesidad de mejorar la relación entre los instrumentos automatizados de medición y el accionamiento de las máquinas. Los ingenieros de procesos, como observadores de segundo orden, han deseado tender puentes entre dos lógicas: Una lógica propia del lenguaje de los trabajadores que operan los procesos –custodiada y encerrada en su propia experiencia– y una lógica instaurada en la opera-

ción de las máquinas, como una forma tecnológica que asegura el control de su operación, y que es más inflexible en sus posibilidades de decisión.

Por su lado, las redes neuronales artificiales forman parte de la historia que se ha gestado desde el surgimiento de las computadoras en los años treinta del siglo pasado, con la máquina de Turing. Están asociadas al posterior desarrollo de la cibernética y de la inteligencia artificial, cuyo afán ha sido conocer mejor los procesos cognoscitivos de animales y de hombres para transplantarlos a las máquinas, las computadoras y los robots. Hoy en día se piensa sobre todo en términos del desarrollo de sistemas inteligentes con mayores grados de autoorganización y la orientación va en gran medida hacia su adaptación como sistemas vivos en el medio, en su contexto o en el entorno en el que cohabitan.

En ambos casos, el impulso para su desarrollo ha sido vencer el reto de la *incommensurabilidad* (Kuhn, 1989), entre dominios aparentemente distantes, de trabajar en la búsqueda y encuentro de “conectividades formalizables” que permitan resolver problemas bajo nuevos planteamientos. Pero quizá la fortuna más luminosa que se ha fraguado en la última década es la conjunción de ambas teorías: la lógica borrosa y las redes neuronales artificiales. La conjunción de estas teorías instrumentadas como técnicas, se ha hecho presente en la construcción de los artefactos, agentes y *sistemas inteligentes*<sup>4</sup> de la tecnología industrial.<sup>5</sup> En ellas se llevan a cabo los siguientes procesos de carácter general:

**I. Proceso de incorporación de información del medio al sistema:** a través de la lógica borrosa, 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. Este proceso implica una transformación de los observables que pertenecen a un dominio determinado en términos de enunciados y/o mediciones, a los observables como datos numéricos dentro de variables en un dominio digital. Este proceso propio de la lógica borrosa se reconoce como “*fuzzification*” y nos referiremos a él como “borrosificación”.<sup>6</sup>

**II. Procesos de operaciones recursivas con un propósito establecido:** 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 redes neuronales artificiales. En ellas y entre ellas, la información se sujeta a operaciones elementales de diferenciación, integración, comparación, ponderación y repetición; de las redes tejidas entre las neuronas se deriva una *nueva* forma de memoria<sup>7</sup> desde la cual es posible hacer inferencias y desde donde se generan los resultados –numéricos– de las redes neuronales artificiales.

**III. Proceso de respuesta o salida de información procesada, al medio:** los resultados de las redes neuronales artificiales son nuevamente transformados –con base en la lógica borrosa 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”.

La conjunción de estas técnicas ha generado el desarrollo de *sistemas neuroborrosos* (Brío y Sanz, 2002,284) orientados a la construcción y operación de aparatos inteligentes con un amplio campo de aplicación. Dichos sistemas son el resultado de la convergencia y de la conjunción de disciplinas como las matemáticas, la física, la biología, la computación, la psicología y las ciencias cognitivas, principalmente. Cabe mencionar que estos sistemas han sido enriquecidos por nuevos instrumentos y teorías como la programación evolutiva y los algoritmos genéticos.

Mi propósito aquí<sup>8</sup> es precisamente participar no sólo en el establecimiento de vínculos entre dominios distantes como lo aludí inicialmente, sino en proponer formas para la construcción de puentes de inconmensurabilidad aparente, vínculos basados en los principios y en la aplicación de la lógica borrosa y las redes neuronales artificiales; pero sobre todo de su conjunción, que la definiré mejor como una “*complementariedad entre formas de acoplamiento*” y “*formas de organización de operaciones de diferenciación e integración en constante aprendizaje*”.

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

### **Re-observando lo social**

Para delimitar el ángulo de observación del análisis que propongo, tomo en cuenta tres niveles o distancias de análisis: una primera distancia a nivel “*trans-relacional*” entre los elementos de la sociedad en su conjunto y el objeto de estudio como sistema complejo; una segunda distancia de observación respecto a la mirada al interior del objeto de estudio, a nivel “*intra-relacional*”; y una tercera distancia “*inter-relacional*” (García, 2000) que toma en cuenta una mirada intermedia e intersistémica que se enfoca sobre la zona de los límites, en el “*encuentro/gradiente de complejidades*” (Luhmann, 1996) entre el objeto de estudio como sistema y su entorno,

constituido por los sistemas sociales. En los tres “niveles/distancias” siempre surge el reto de considerar lo *visible-explicito* y lo *invisible-implicito*.

La *integración de la LB / RNA como un modelo de sistema neuroborroso* se circunscribe como un componente central para una *teoría de alcance intermedio*, esto es, una teoría que establece un grupo de proposiciones lógicamente interconectadas de las que pueden derivarse uniformidades empíricas y que se encuentra entre un conjunto de hipótesis de investigación válidas para un grupo o sector social y un conjunto de hipótesis que tienen la pretensión de ser totalizantes y unificadas (Merton, 2002). Enfatizamos que dicha teoría se centra en el uso de técnicas de investigación de segundo orden,<sup>9</sup> y se alimenta de manera permanente de los observables del entorno. El sistema neuroborroso participa en los tres niveles o distancias de análisis y delimita al fenómeno social como construcción sistémica, de acuerdo al ángulo de observación del investigador que los construye.<sup>10</sup>

Mi atención se centra en el nivel de análisis inter-relacional, en la zona de la definición de los límites del sistema y el entorno. Es ahí donde enmarco y delimito una *zona crítica de análisis de lo social* y donde se presentan tres retos que pueden ser resueltos mediante un proceso de reflexión íntimamente asociado a la operación misma de un sistema neuroborroso.

### Aproximaciones a la zona crítica de análisis social

La *zona crítica de análisis de lo social* es el espacio donde emergen paradojas para observadores de primer orden, paradojas que transforman formas complejas de “elementos/relaciones” y “estructuras/procesos” ante la observación de segundo orden, esto es, ante la reflexividad que las resuelve. Para ello es necesario enfrentar varios retos.<sup>11</sup> Enuncio tres de ellos:

**1. “El reto del significado del número como cualidad”.** Este reto enfrenta la transformación de la connotación del número como cantidad a su connotación como cualidad. La mirada a dicha transformación implica una transitividad<sup>12</sup> de significado entre el carácter numérico, como cantidad que mide y su carácter semántico, como cualidad que distingue. Por ejemplo, el valor 8.5 como promedio de estaturas o edades puede ser comprendido como una medida que representa el valor más frecuente de estaturas o edades, incluyendo la posibilidad de que incluso no exista ningún caso con esa estatura. Pero el valor de 8.5 como promedio del “comportamiento de un grupo de niños” –variable cualitativa– sea un valor representativo de su conducta, su aprovechamiento o su atención y que depende del cómo se estime para darle su connotación cua-

litativa, ya no es tan fácil de aceptar como operación numérica con la misma validez que la de la estatura. Si conocemos el criterio para obtener el promedio del comportamiento del grupo –y de fondo se trata de una axiología–, aceptamos como aproximación el valor de dicho promedio, pero todavía sería más difícil aceptar un comportamiento de 6.7 para un niño, incluso si se matizara como “un comportamiento con baja atención, regular aprovechamiento y buena conducta”, pues el comportamiento *real* del niño, según los padres, o según el sociólogo clásico, no puede corresponder a un valor numérico que aluda a la cualidad de su comportamiento. El número difícilmente se puede considerar como representativo de una propiedad cualitativa de un sujeto o incluso de un objeto rico en propiedades potenciales.

En la lógica borrosa, el número adquiere un carácter dual: como valor dentro de una función matemática y *como significado* dentro de una escala axiológica. La correspondencia entre ambos implica tender un puente *temporal y en permanente construcción*, entre la cantidad y la cualidad, entre un enunciado realidad externa como “Antonio tiene un comportamiento peculiar, un extraño aprovechamiento de su atención y una conducta que no incomoda” y un signo de la realidad interna “equivalencia de 8.95” en la función de pertenencia de la variable comportamiento y que corresponde a “un comportamiento peculiar con extraño aprovechamiento de su atención y conducta que no incomoda”. El número como puente entre ambos lados, como bisagra que transmite un enunciado, al valor de una función que lo representa, como acoplamiento de estructuras entre la cualidad y la cantidad.

2. **“El reto de las certezas comprometidas”**. Este reto tiene que ver con hacer explícitas las diferencias entre *probabilidad* y *certeza*, entre una contingencia azarosa y una contingencia comprometida. La diferencia radica en la forma de almacenar y de reutilizar la información que posibilita una probabilidad o una certeza. Por ejemplo: se acepta que la probabilidad que tiene un evento para que acontezca de manera positiva en un período dado sea del 70 por ciento, esto es, que de cien eventos, setenta pueden ser positivos. Pero se deslinda del *grado de conocimiento* que se tiene para establecer que el evento sea positivo: simplemente se puede hablar de que es más o menos factible que suceda el evento.

El reto consiste en asumir a la probabilidad como un *grado de certeza* – como un número asociado al conocimiento que se tiene de que suceda un acontecimiento. Esta certeza se registra y se asume como construcción aproximativa con su propia historia y de la que se desprende un

juicio y no una probabilidad. Así, en ambos casos se usan números, pero mientras en la probabilidad se asume una objetividad avalada por un comportamiento “normal” –que no siempre existe–, en el grado de certeza se asume una subjetividad comprometida cuya ventaja es hacer explícito y exponer el conocimiento aproximativo del constructor de argumentos.

3. **“El reto del presente eterno”**. Este reto se afina en el constante cambio de la realidad y en la dificultad de considerar momentos de equilibrio, de estabilidad o de permanencia. Este reto implica conciliar conceptos que “detienen el flujo de la realidad”, como los códigos y las estructuras, con los conceptos que “hacen fluir la realidad”, como las funciones y los procesos. Es necesario saber circunscribir y delimitar el ámbito del presente preñado de un fuerte pasado y de un potencial futuro. Se impone una mirada de segundo orden que haga uso del juego entre “estructuras/procesos” para enfrentar el momento preciso, en el espacio adecuado. Entraremos con un poco de más detalle en cada reto en los siguientes apartados.

### **Del significado en el número...**

A partir del reconocimiento científico de la teoría de la probabilidad y de la estadística, el investigador tradicional en la sociología y en otras disciplinas afines ha aceptado implícitamente –como bosquejé líneas arriba–, la transitividad del concepto lingüístico preñado de un significado y expresado como cualidad, al número, en su connotación cuantitativa. De alguna manera acepta la continuidad de significados entre los observables –por ejemplo, las actitudes y modos de ser de ciertos actores sociales–, con el concepto que los define –como comportamiento social–, con la variable que los representa –por ejemplo, el tipo de juventud– y con el valor numérico de la codificación que los incorpora al dominio de la estadística –por ejemplo, 3 como valor de un código que alude a edades entre 18 y 21 años.

Al interior del dominio numérico, el investigador confía en las operaciones numéricas de la estadística con los “observables/datos”. Estas operaciones numéricas son reconocidas y avaladas por una lógica de operadores (suma, resta, división, funciones) y operaciones matemáticas básicas (promedios, funciones de distribución, suma de diferencias al cuadrado). El investigador acepta sin problemas que “la suma de edades dividida entre el número de entidades nos refiere a un valor numérico que representa el valor promedio, de la edad representativa de la población”, o que “no

se tiene un valor aceptable del coeficiente de correlación entre dos variable”, frases frecuentes en informes técnicos.

Posteriormente a los cálculos numéricos, se lleva a cabo la conversión de las inferencias numéricas estadísticas al dominio lingüístico, en términos de interpretaciones y de traducciones construidas bajo el dominio lingüístico del investigador. Siguiendo con el ejemplo anterior, se llegaría a una conclusión como la siguiente: “dado que la edad del sujeto está por debajo de la media muestral, no es posible considerar que tal caso sea joven”.

Recordemos que la tendencia clásica del sociólogo ha descansado en gran medida en el comportamiento “normal” de los observables asumido por las teorías de la probabilidad y la estadística para formalizar sus razonamientos. Ambas teorías parten de un distanciamiento entre el objeto de estudio y el sujeto que construye los “observables/datos” –aludiendo a una objetividad de investigación–, y opera con ellos estimando promedios, desviaciones, modas y coeficientes de correlación, para formular argumentos que ratifiquen una hipótesis estadística o la refuten.

Sin embargo, posteriormente y con frecuencia, incómodo con los resultados de la estadística, el investigador genera y añade –desde otra mirada y distancia de análisis– nuevas interpretaciones sobre la objetividad de los valores numéricos anteriormente estimados. Tal es el caso cuando hay uno o más datos que no caen dentro de los límites o rangos de una función o parámetro estadístico, porque se “disparan”. Se trata de situaciones presentes no solamente en técnicas descriptivas de superficie, de primer orden, sino con más frecuencia en los observables implícitos en las técnicas de segundo orden, cuando las consideraciones de la “normalidad” de los observables y las posibilidades en las combinaciones y en las permutaciones en ellos, empañan la claridad estadística.

Ante esta situación me pregunto:

- ¿Qué hay con la estabilidad semántica de conceptos como *promedio*, *desviación estándar*, *correlación*, *sesgo*, implícitos en la determinación de los observables, en su recorte en datos y su relación con la dinámica de las variables que los atrapan? ¿A qué juego responde dicha estabilidad?
- ¿De qué manera es conservado y considerado el universo de informaciones a lo largo del tiempo?
- ¿Cómo son tratadas la frecuencia de las irregularidades, los valores “disparados” y las anomalías de los observables dentro de los criterios de selección de muestras y dentro de las operaciones matemáticas?

·¿Qué pasa con las posibilidades de traducción de los significados numéricos de la estadística, con relación a los significados lingüísticos que representan fuera de su dominio y que forman parte de la explicación comprometida del investigador?

La probabilidad y la estadística se hacen ajenas a ello asumiendo una objetividad claramente establecida por parte del investigador, a quien le corresponde resolver las ambigüedades, las falacias y las paradojas que surgen de este entramado de traducciones, transformaciones e intervenciones. Es él quien se las ingenia para hacer nuevos recortes, no sólo en los observables de primer orden, sino en los que logra derivar de ellos como observables de segundo orden. El investigador requiere de su ingenio para hacer a un lado datos faltantes o desviados que sesgan la muestra y tiene que recurrir a la fuerza de las imágenes literarias y de las metáforas para resolver contradicciones numéricas y de sentido derivadas de la traducción estadística. Así, el analista trata de evitar la aventura de enfrentar implícitos que invitan a una menor racionalidad en su explicación y lo orillan a crear su propia hermenéutica.

La creatividad para resolver las dificultades de interpretación y traducción bajo una hermenéutica propia son válidas y apreciables; la crítica que hago radica en que dichas explicaciones, orales o escritas, no hacen explícita la forma de resolver los retos anteriores que enfrenta el investigador al aplicar la teoría estadística y no están presentes en las bitácoras de campo ni en los protocolos de investigación. Por ello surgen incomprendiones válidas o razones desconocidas para el interlocutor que trata de comprender la explicación o la lectura de la hermenéutica de interpretación de resultados avalados por una estadística. De aquí –creo yo– se genera en parte la falta de contundencia del quehacer sociológico.

Este reto se transforma desde la lógica borrosa, donde es posible vincular la “selección de observables” con la “selección/medición/evaluación de observables” dentro de un proceso de retroalimentación constante dentro del cual la función de pertenencia –que es como una tabla de correspondencias aceptadas– se aproxima necesariamente a la forma de construir del constructor, de acuerdo a su aprendizaje. La transformación del observable concebido en un dominio lingüístico al observable en un dominio numérico se hace explícita y se formaliza. Las operaciones al interior del dominio numérico pueden establecer una correspondencia formal con las operaciones de inferencia y reflexión también construidas por el investigador. El regreso de estas inferencias al dominio lingüístico se logra por medio de un proceso inverso, también de construcción sujeta a estrategias de “prueba y error”. Y de esta forma, necesariamente asumimos una estrategia heurística de manera permanente; toda la construcción del sistema es

heurística. Pero antes de acercarnos a estas posibilidades, veamos otros retos que se vinculan con el significado en el número, desde otro ángulo de observación.

### **Probabilidad**

*y certeza...*

El reto “de las certezas comprometidas” marca diferencias importantes entre probabilidad y certeza. Desde la teoría de la probabilidad se construyen *funciones de probabilidad* como una medida de que algo suceda o no. Dichas funciones se comportan finalmente de forma binaria: “ocurre o no ocurre”. El grado de improbabilidad –que efectivamente es construido por una experimentación– no explicita un grado de conocimiento en la respuesta, sólo se presenta como una objetividad que asegura la ocurrencia de un suceso. Desde la lógica borrosa se construyen *funciones de pertenencia* en donde se considera a la incertidumbre –en lugar de la probabilidad–, como *grado de desconocimiento o grado de certeza*. Los grados de desconocimiento de certezas se registran como enunciados en correspondencia con valores numéricos que aluden a una medición, a una valoración. Se trata de una construcción de correspondencias que pueden estar rectificándose de manera permanente porque están sujetas a la heurística de su constructor. Así, aseguran y comprometen ya una parte del conocimiento construido por el investigador y constituyen la piedra de toque para la construcción del andamiaje, los procedimientos y las inferencias de una investigación.

Ahora bien, las correspondencias asocian *grados de significado* que deben estar considerados bajo un dominio axiológico que depende del compromiso del constructor o en el mejor de los casos, del consenso de los constructores que participan de forma multidisciplinaria en la observación de la zona crítica de análisis. Mediante la función de pertenencia se construye efectivamente el entramado del conocimiento que se tiene del sistema en construcción.

### De lo normal a lo normalizado

La estadística parte de un análisis que considera un comportamiento “normal” de los observables sociales y permite su estratificación en rangos fijos para poder estimar sus frecuencias e interrelaciones. Con el propósito de alcanzar una mayor objetividad, se aparta de la posibilidad de ponderar los estratos,<sup>13</sup> y de asociarlos explícitamente a una valoración o a un código axiológico. Pero la estratificación puede resultar positiva si se considera que responde a la necesidad de diferenciar las características o cualidades de los observables y puede permitir hacer comparaciones y correlaciones que finalmente serán parámetros estadísticos a considerar en inferencias posteriores.

La estratificación no responde generalmente a una necesidad de valorar intrínsecamente las diferencias en los estratos. Responde más bien a la necesidad de posibilitar las inferencias estadísticas que llevan a estimar grados de confiabilidad y márgenes de error presentes en el *comportamiento normal de las variables*, y en consecuencia, de los observables. Sólo posteriormente fuera de la estadística y en el marco de una interpretación, sujeta a otras perspectivas, se pueden hacer valoraciones. Y aquí surge una posible discontinuidad que puede ser fuente de inconsistencias si los criterios metodológicos no explicitan el cambio de mirada.

La construcción de la *función de pertenencia* en la lógica borrosa equivale al proceso de estratificación de una variable. La diferencia radica en que además se asocia a cada estrato una identificación numérica —un valor entre cero y uno que alude a un valor máximo posible y a un valor nulo o mínimo posible de la variable en cuestión. Este valor puede estar vinculado a una “medición/valoración” numérica, superado el reto del significado numérico —por ejemplo a una ganancia—, o a un adjetivo, como por decir algo, la amistad. Como veremos más adelante, en la lógica borrosa todas las variables se normalizan y se asocian a las *funciones de pertenencia*. De esta forma, es posible operar con ellas bajo un álgebra a partir de la cual se pueden establecer inferencias a la medida de su constructor.

El reto central para incorporar la función de pertenencia a la lógica del investigador en las ciencias sociales radica en una doble aceptación: por un lado, comprender las implicaciones de una transitividad y conmutación del *significado en un concepto lingüístico a un valor numérico preñado con el mismo significado* y por el otro lado, el reconocimiento de un isomorfismo entre la forma de las operaciones lingüísticas —en términos de distinciones, comparaciones, diferenciaciones, selecciones, ordenamientos e integraciones en operación recursiva—, y la forma de las operaciones

numéricas –en términos de esas mismas operaciones realizadas con operadores matemáticos. Una aproximación a los isomorfismos entre ambos dominios está implícita en la teoría de las RNA (Amozurrutia, 2005).

### **El presente eterno:**

*estructuras / procesos con reflexividad y aprendizaje*

Las estructuras y los procesos construidos durante el análisis de una investigación, se pueden pensar como una síntesis del conocimiento sincrónico (estructuras) y diacrónico (procesos) que tiene un observador/investigador del fenómeno social.

Por un lado, una mirada distante disocia estructuras y procesos y los define de manera casi independiente: *las estructuras* representan una medida de la organización de las “valoraciones/jerarquías” de un conjunto de elementos y relaciones de una población o conglomerado de conceptos y objetos sociales. La estructura como una forma de organización atemporal, que evidentemente sufre transformaciones a medida que se actualizan las jerarquías en ella. Por otro lado, *los procesos* representan una medida de las operaciones, del flujo y transformación de los observables dentro de las estructuras. El proceso representa la organización de los observables en el tiempo.

También existe una mirada más cercana a este par de conceptos, una mirada que circunscribe una *zona de análisis crítico de lo social* y los considera necesariamente como complementarios, siempre asociados: las estructuras como procesos detenidos y los procesos como estructuras en movimiento; las estructuras como momentos de los procesos y momentos de los procesos como estructuras. Incluso uno derivado del otro: estructuras estructurantes y estructuración de estructuras. Procesos estructurantes y estructuración de procesos (Giddens, 1997,193). Miradas dialécticas o complementarias que se alejan de la disociación de los conceptos, se acercan a su conjunción, muy próxima en ocasiones a la zona de las paradojas.

Pero la observación de segundo orden no sólo parte de una mirada de complementariedad, sino que necesita asociar procesos de reflexión, memoria y aprendizaje de los procesos de estructuración y a la estructuración de procesos, porque no hay complementariedad y transformación de “estructuras/procesos” sin reflexión y no hay reflexión sin el aprendizaje y no hay aprendizaje sin memoria de las transformaciones propias de esta complementariedad. Lograr esta vinculación y circularidad de operaciones tiene que ver con el reto del “presente eterno”. La operacionalidad recursiva<sup>14</sup> y auto-organizante de estos conceptos está implícita en la teoría de las RNA.

Los nuevos puntos de observación posible en la mirada de segundo orden derivan de la posibilidad de comprender la transformación de estructuras/procesos bajo la interacción de operaciones cognoscitivas conjugadas, como es el caso de la “reflexión/memoria/aprendizaje”, procesos que enriquecen la presencia comprometida del investigador en los procesos de inferencia, haciendo explícitos los elementos—generalmente implícitos—y las relaciones que determinan la continuidad de una racionalidad en construcción.

Aquí entran los modelos de las RNA. Las RNA como estructuras/procesos que operan con reflexividad y dentro de fases de aprendizaje y operación con resultados.

Pero ¿cuáles son los principios básicos la lógica borrosa y de las redes neuronales artificiales? ¿De qué manera se establecen como teorías?

### **Principios básicos de la Lógica Borrosa** *y de las Redes Neuronales Artificiales*

En 1965 Lofti A. Zadeh formuló el concepto de borrosidad (*fuzzy*) como “grados de significación” o una “medida de la incertidumbre” de los diferentes valores o significados que puede adoptar una *variable lingüística*, originalmente asociada a instrucciones para el control de la operación de fábricas y procesos industriales.

Para cada valor de esta variable (expresiones lingüísticas que aluden a movimientos precisos de instrumentos de control), Zadeh estableció una correspondencia con valores numéricos normalizados entre cero y uno.<sup>15</sup> Con los pares formados por las expresiones lingüísticas y los valores numéricos, estableció correspondencias que le permitieron construir una función matemática que denominó “*función de pertenencia*” o función de membresía de una variable lingüística. Una vez construidos los grados de significación de la variable lingüística con base en una función matemática, fue posible asociarla con un *conjunto*, al que denominó “*conjunto borroso*” con valores posibles entre cero y uno. Con ello 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*).

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 la variable “Juventud”, que alude a un grupo de edades posibles y que nos remite a un grado de incertidumbre o indefinición si no precisa-

mos la edad, respecto a un conjunto de referentes en nuestro sistema en construcción.<sup>16</sup>

- 2) A esta variable le definimos varios grados de significación: “no llega a ser joven”, “muy joven”, “no tan joven”, “joven a secas”, “ya no tan joven” y “ya no es joven”. Cada valor se considera como 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 “ya no es joven” el valor de uno. Estos valores son nuestros límites o umbrales de la naciente función de pertenencia.
- 4) A los demás valores les asignamos –por el momento– valores intermedios, ya 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”, 0.5 para “no tan joven”, 0.7 para “joven a secas” y 0.9 para “ya no tan joven”.<sup>17</sup>
- 5) Podemos incluso matizar con más detalle el significado –antes un tanto incierto–, añadiendo valores numéricos de edades, por ejemplo para “muy joven” ampliamos la etiqueta (ya no tan lingüística) con el componente “(de 14 a 17 años)” y para la etiqueta “ya no es joven”, quedaría finalmente como “ya no es joven (mayor de 30 años)”.
- 6) Nuestra función de pertenencia ya puede ser referida en un contexto matemático en el que podemos usarla como un conjunto borroso sujeto a operadores booleanos y a expresiones de inferencia lógica, 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 a un concepto con menor incertidumbre –o con más certidumbre para nuestro sistema en construcción– y en consecuencia con un mayor grado de posibilidades de discernimiento, con nuevos significados

—mediante una función de pertenencia creciente— e incluso de establecer mejores matices en procesos de inferencia.

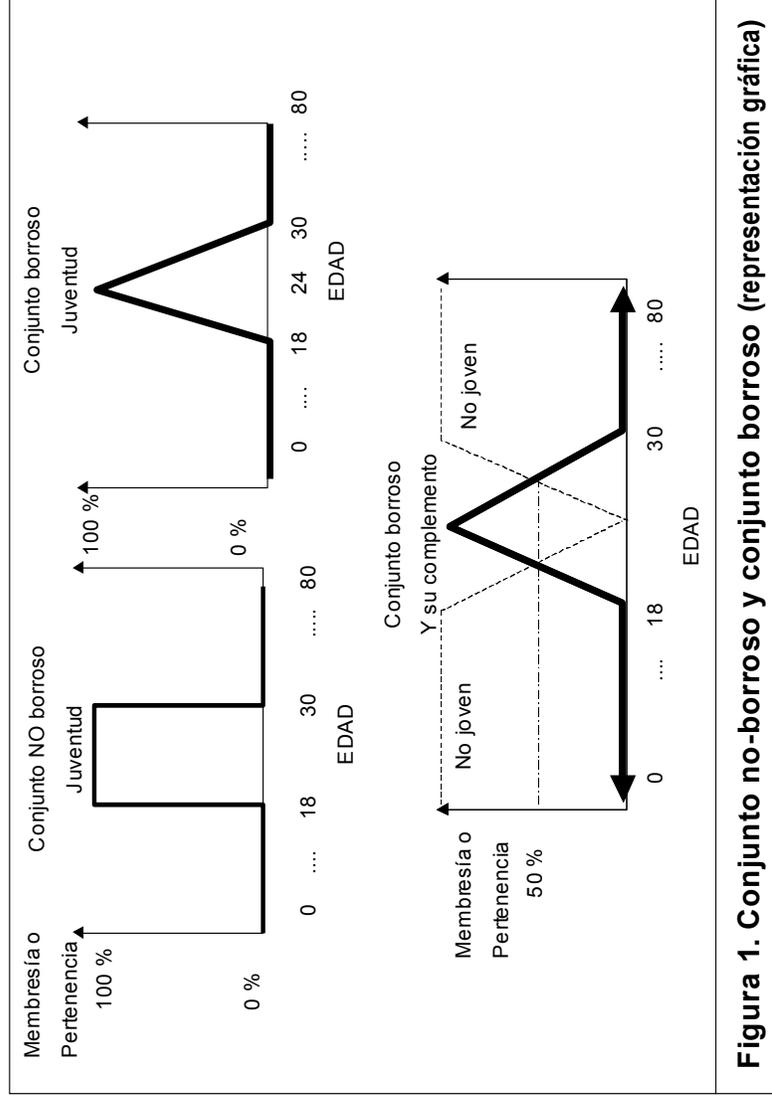
En la Figura 1 se muestra la representación no-borrosa de la variable juventud, como función discreta. En esa función se es joven solamente de 18 a 30 años; fuera de ella no está registrado el concepto de juventud. En cambio en la gráfica de la derecha, se muestra una función triangular que si bien también 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.

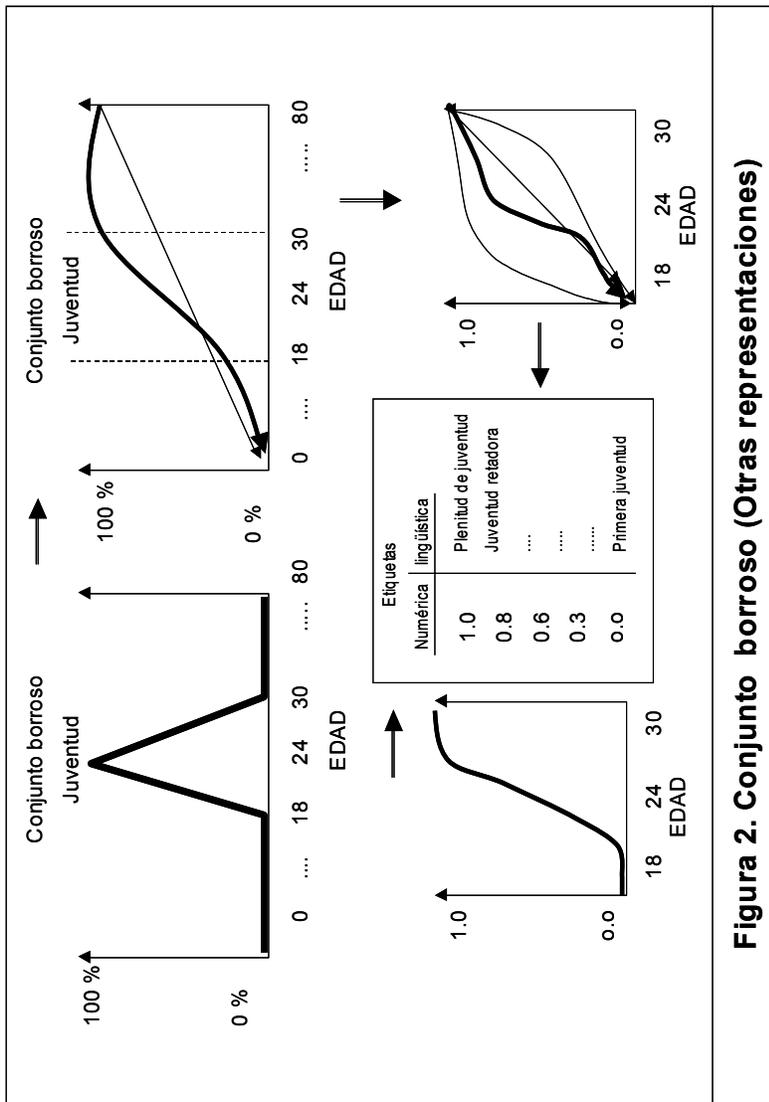
De acuerdo a Zadeh, esta teoría provee un cuerpo robusto de elementos matemáticos para llevar a cabo “razonamientos aproximados” de procesos cuya información disponible es incierta, incompleta, imprecisa y vaga. Esto queda ampliamente confirmado en (Gentile, Rogers y Mannan, 2003) en donde se describen las ventajas de la lógica borrosa respecto a las técnicas basadas en una lógica formal para la toma de decisiones en estrategias de control de procesos ante causas de riesgo contra incendios.

Además, un álgebra de funciones de pertenencia permite tener un conocimiento más racional y ofrece mayores elementos de 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 —pensemos en cualquier nivel de desglose para categorías como democracia, solidaridad, familia, actividad y saludo—, 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 la 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 que sea visualizada en



**Figura 1. Conjunto no-borroso y conjunto borroso (representación gráfica)**



**Figura 2. Conjunto borroso (Otras representaciones)**

un sistema de coordenadas cartesianas de dos dimensiones. Sin embargo, es posible asociar a cada valor numérico normalizado dos o más propiedades o características de la variable lingüística, enriqueciendo de esta manera las posibilidades de la función de pertenencia. Para ello se hace uso de matrices o funciones matemáticas de múltiple variable.

De esta manera, la lógica borrosa permite establecer un puente entre dos dominios con lenguajes diferentes: entre un lenguaje lingüístico y uno numérico, entre dos sistemas numéricos diferentes y/o entre dos “sistemas/lenguajes” lingüísticos. El puente construido implica el establecimiento de significados y valoraciones rectificables y operables dentro de un contexto de lógica booleana.

Ahora vamos a sintetizar los principios básicos de las redes neuronales artificiales, teoría que nos permite incorporar atributos de una mirada de segundo orden en la construcción de las estructuras/procesos entre dos puentes que vinculan dos dominios cercanos o distantes, como es el caso de las inconmensurabilidades entre paradigmas o la conectividad entre los observables y el sistema neuronal de la mente.

### **Principios básicos de las**

#### *Redes neuronales artificiales*

El desarrollo de las redes neuronales artificiales está basado en el trabajo de varios autores y desde varias disciplinas: desde las observaciones y representaciones neuronales del biólogo Ramón y Cajal, hasta los modelos matemáticos de J.J Hopfield y T. Kohonen en los años setenta.<sup>18</sup>

Las redes neuronales artificiales tienen dos formas de visualizarse y comprenderse:

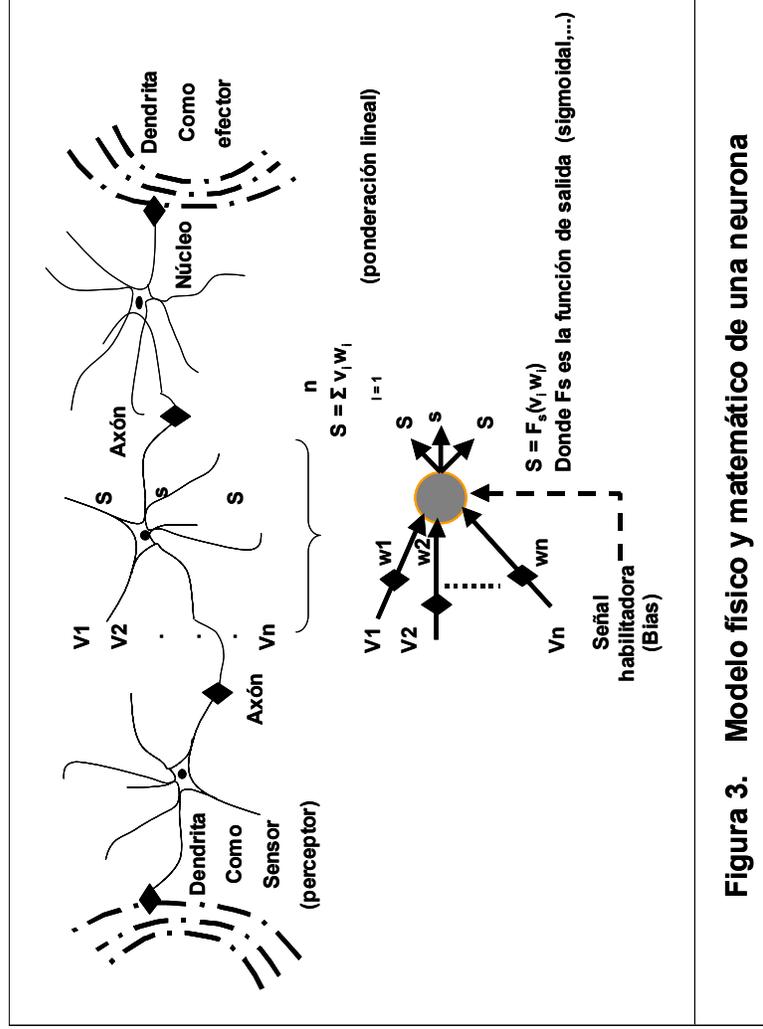
- Como un *modelo matemático* que permite modelar procesos operativos con base en el modelo biológico de las interacciones entre las neuronas del cerebro; y
- Como un *modelo físico* formado por un conjunto de circuitos electrónicos interconectados

El común denominador en ambos casos es una *estructura de tipo red* donde se procesa un conjunto de datos y se infiere un resultado. Para comprender el proceso operativo y el modelo lógico de las redes neuronales artificiales, es necesario recordar los principales componentes de una red neuronal biológica, sus principales funciones y formas de conectividad (véase la Figura 3).

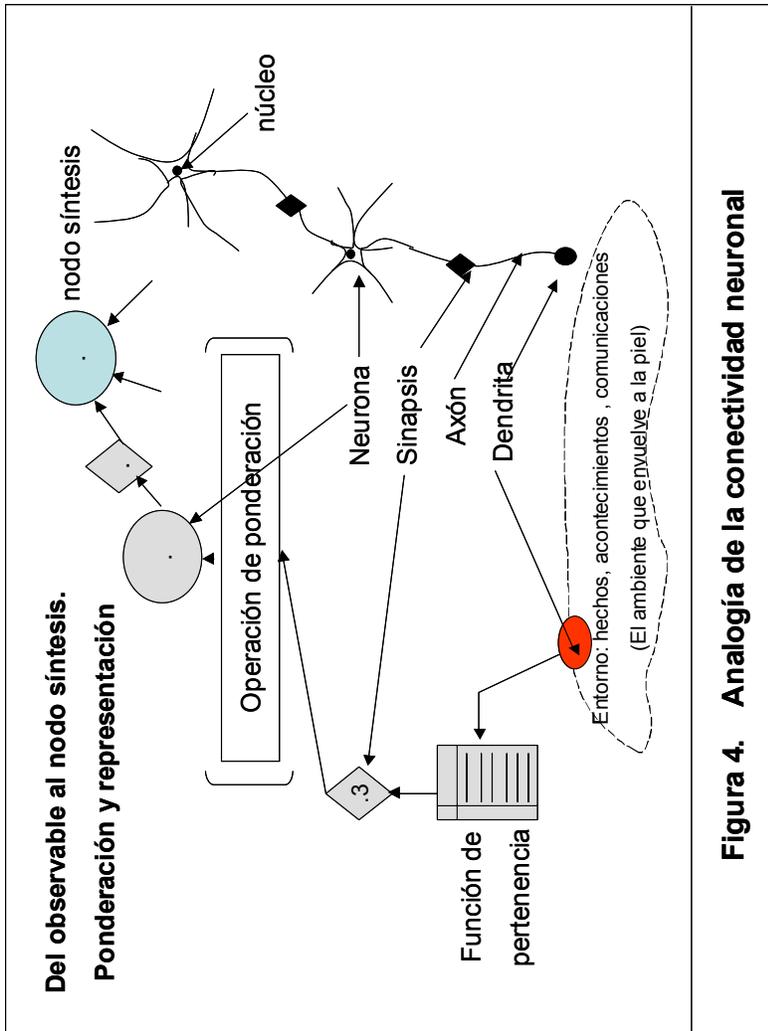
- a) Una neurona está compuesta por:
- Su *núcleo*, donde lleva a cabo operaciones de integración y diferenciación;
  - Componentes de vinculación entre el núcleo y la *membrana*;
  - La *membrana*, que delimita a la célula de su entorno; y
  - Extensiones de la membrana como conductos de “vinculación / acoplamiento” con el medio o entorno de la célula y con otras neuronas
- b) La conexión entre neuronas se establece por medio de un conducto denominado *axón*.
- c) Este conducto transmite información en forma de *sinapsis* (pulsaciones debidas a descargas electroquímicas) de una neurona a otra.
- d) De la neurona también salen otros “conductos/terminaciones” – *dendritas*– que operan como *sensores* de las condiciones del medio o como estimuladores o *efectores* a las condiciones del medio en que se encuentran.
- e) Las neuronas están organizadas por *capas* o niveles en diferentes tipos de arreglos o estructuras.
- f) Cada neurona está conectada a muchas neuronas dentro de una o más *capas ocultas* y además puede estar conectada a una *capa de entrada* y/o a una *capa de salida* (véase la Figura 5).
- g) La red opera en un medio específico del que toma información –mediante “dendritas/sensores”– y al que suministra información –“dendritas/efectores”.

El modelo en su conjunto opera de la siguiente manera:

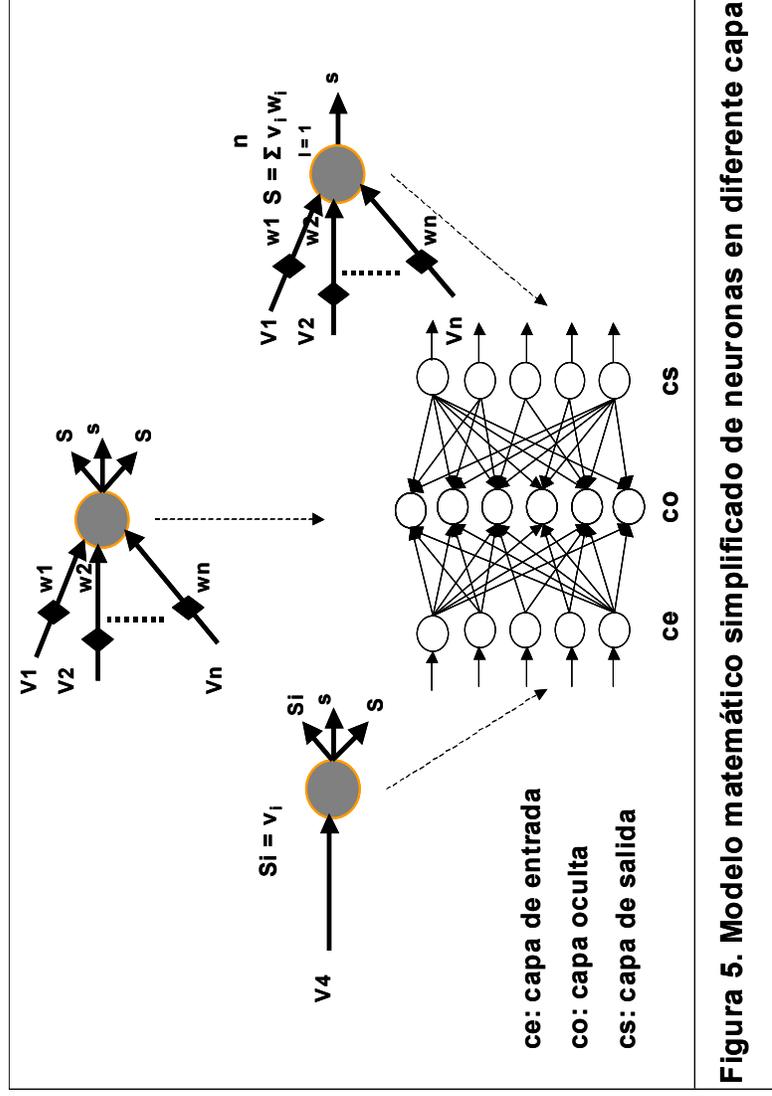
- 1) Las dendritas, como sensores *monitorean* y *transmiten información* del medio (entorno) hacia un primer conjunto de neuronas organizadas en una capa de entrada (véase la Figura 4). En esta figura se establece un paralelismo con la operacionalidad que tendrá en un sistema de cómputo.
- 2) En los núcleos de las neuronas se llevan a cabo operaciones básicas de diferenciación e integración (véase la Figura 5), específicamente, hay una *ponderación de valores* en las neuronas de la capa de entrada y una distribución y/o generación de información que es transmitida al siguiente nivel de neuronas (capas ocultas).



**Figura 3. Modelo físico y matemático de una neurona**



**Figura 4. Analogía de la conectividad neuronal**

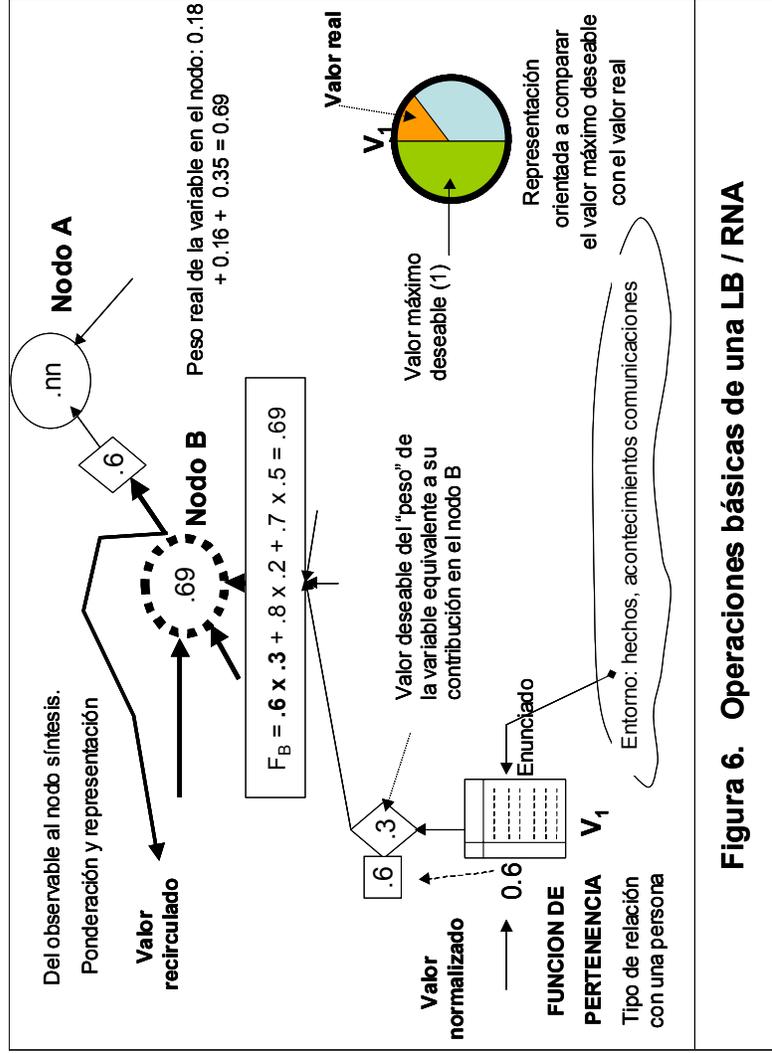


**Figura 5. Modelo matemático simplificado de neuronas en diferente capa**

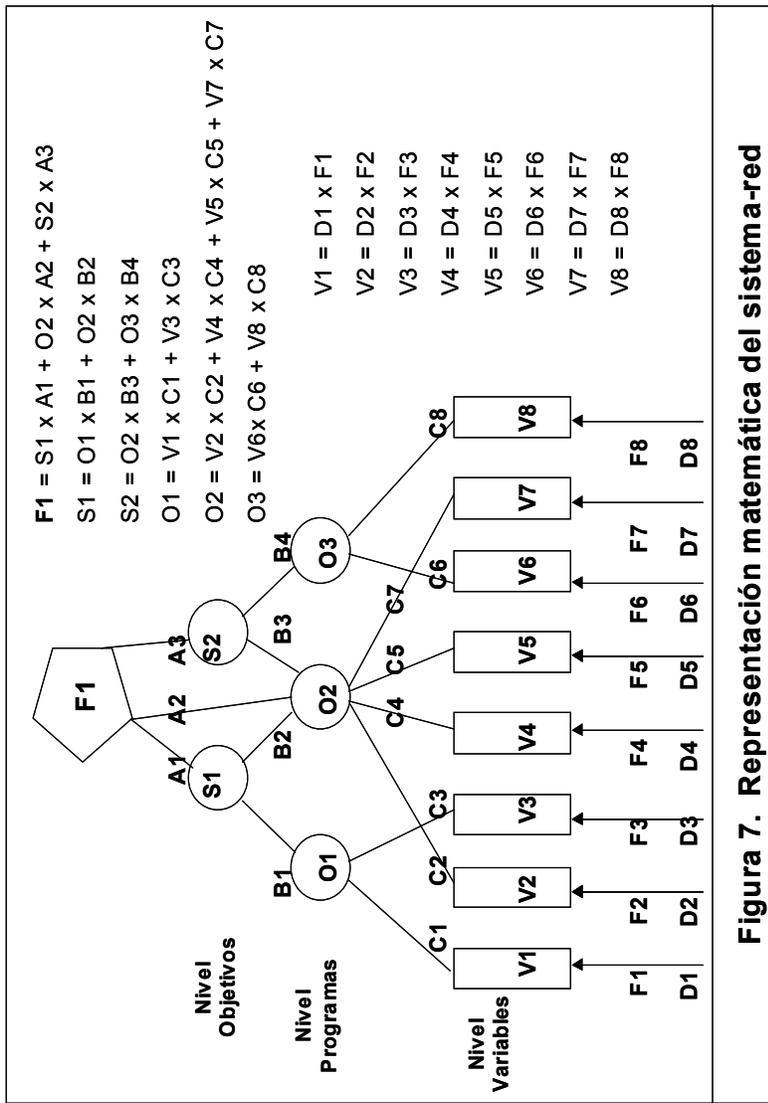
- 3) La transmisión de información por los axones está regulada por el grado de apertura (más adelante identificados como “pesos”) de las sinapsis. Es en este grado de apertura donde se determina “una forma de significado y relevancia de la información transmitida” correspondiente a los contenidos de entrada a la red –al sistema— que procesan las capas precedentes de la red neuronal. Las sinapsis tienen valores numéricos entre cero y uno. En la Figura 6 se indica una correspondencia entre el modelo biológico y la representación matemática en términos de una función de pertenencia (dendrita/sensor). También podemos ver un axón que sólo deja pasar, en ese caso, el 30% de la información y una neurona que integra información de tres neuronas (ponderación de valores) y la diferencia para transmitirla a la siguiente neurona y a otra que se encuentra en una capa anterior (retroalimentación).
- 4) La información de las capas ocultas es transmitida a la capa de salida y en ella se transforma a un nuevo lenguaje, para después ser retransmitida a las dendritas de salida que operan como estimuladores o efectores de la red neuronal.

De manera un poco más detallada, en este modelo de redes neuronales artificiales (véase la parte inferior de la Figura 5) se muestran las tres capas representativas de una red y las múltiples relaciones entre las neuronas. En dicha figura se muestra la integración de la LD como “capa de entrada” a la RNA. Esta capa está constituida por varias dendritas con funciones de pertenencia que equivaldrían a las variables de entrada al sistema. En ellas se lleva a cabo el proceso de transformación de etiquetas lingüísticas – identificación de observables– al dominio numérico del sistema, como factores de evaluación de la variable. En la parte central de la RNA se tiene la “capa oculta” que nuevamente es un conjunto de neuronas que como nodos de cálculo en el sistema llevan a cabo operaciones de integración/ponderación/diferenciación. La salida del sistema está representado por la “capa de salida”, constituida por dendritas que, como efectores del sistema, transforman la información numérica derivada de las inferencias del sistema, por medio de códigos implícitos en las funciones que operan como “desborrosificadores” o traductores de información del sistema al entorno.

Si se construye un modelo matemático de las operaciones descritas con base en las expresiones de la Figura 7, resulta una ecuación por cada neurona con tantas variables como conexiones tenga. De esta manera, se conforma un *sistema de ecuaciones*<sup>19</sup> 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 resulta-



**Figura 6. Operaciones básicas de una LB / RNA**



**Figura 7. Representación matemática del sistema-red**

dos esperados), y coeficientes de cada variable (que son identificados en el modelo como los *pesos* entre las neuronas).

En estos tipos de redes neuronales artificiales se presentan dos grandes fases de operación: la *fase de aprendizaje* y la *fase de reproducción de resultados u operación deseada*. En la fase de aprendizaje, la red neuronal, como modelo matemático cifrado en un conjunto de ecuaciones, resuelve paquetes de datos y resultados, y asimismo busca y encuentra (aprende), por un procedimiento de prueba y error, los coeficientes de las ecuaciones que satisfacen los paquetes de datos y resultados, correspondientes a los valores de las variables independientes (datos) a las variables dependientes (resultados). Una vez que encuentra a los coeficientes –que ahora son como su memoria– el sistema, la red neuronal, puede operar dentro de una fase de reproducción de resultados en la que, dado un nuevo juego de datos de entrada, puede obtener de manera inmediata el resultado que infiere de su memoria, a partir de los coeficientes que estimó en la fase de aprendizaje.<sup>20</sup>

Si bien no nos hemos detenido en analizar los isomorfismos entre las operaciones de inferencia de los sujetos que construyen los sistemas borrosos y las operaciones que encierra el modelo basado en la interacción de la LB y las RNA, podemos imaginar correspondencias entre tipos de estructuras y tipos de operaciones comunes en ambos dominios.<sup>21</sup>

### **Ejemplos y aplicaciones**

#### *Frecuencias y valoraciones...*

Para ilustrar las posibilidades de la lógica borrosa aplicada al ámbito de la Sociología, tomaré un ejemplo muy sencillo y circunscrito a una sola variable, que puede ser parte de los elementos que integran un esquema categórico, de una estructura jerárquica de categorías y subcategorías. Sea entonces una variable *acontecimiento tipo A*, definida como “*reuniones de preparación de grupos de trabajo*”, que forma parte de un proyecto de investigación sobre algún acontecimiento social de interés.

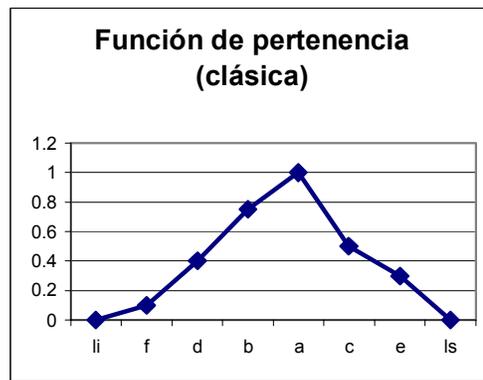
Esta variable, como muchas otras, podría formar parte de las necesidades relacionadas en torno a la distinción entre tipos de reunión en un proyecto que investiga las razones de un conflicto. Bajo una mirada clásica podría quedar el análisis de esta variable en términos simplemente de si hubo o no reuniones o en términos de dos o tres estratos o tipos de reunión. Bajo la perspectiva de la lógica borrosa, es posible establecer tantos casos como el investigador y los instrumentos de trabajo lo permitan. Desglosaremos esta variable en algunos casos que nos permitan ver algunas implicaciones para su análisis y consideraciones posteriores en el

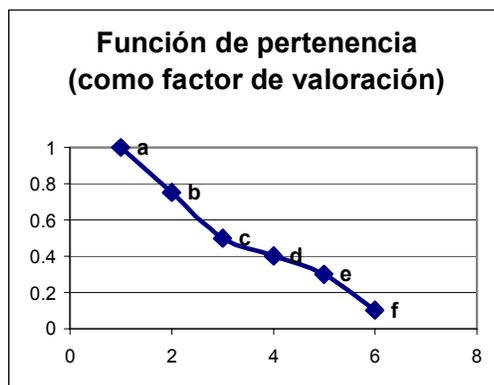
proceso de inferencia. En la siguiente tabla diferenciamos, como primer acercamiento siete casos y los valoramos por medio del factor en la segunda columna. Las descripciones que damos para cada caso son breves pero podrían ser mucho más precisas. El reto consiste en establecer una lista progresiva y en correspondencia con la valoración que establecemos al asociar grados o niveles de acontecimientos.

**Tabla I**  
**Variable: acontecimientos tipo A (reuniones de preparación) A T1**

Casos	Factor	Descripción
a	1	Congreso internacional con fuerte proyección en medios y memorias
b	0.7	Congreso nivel nacional con memorias
c	0.6	Coloquio regional con especialistas y memorias
d	0.5	Coloquio regional sin memorias
e	0.4	Reunión local con memorias
f	0.3	Reunión local sin memorias
g	0.2	Reunión sin información

Si graficamos estos valores obtenemos la forma clásica de la *función de pertenencia* y la forma como *factor de valoración* de la variable en cuestión:



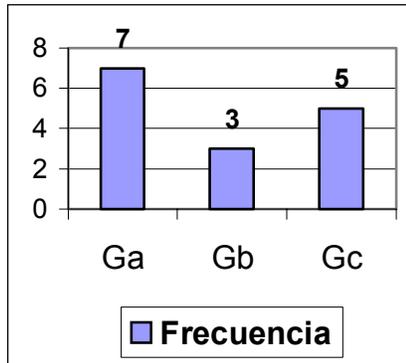


En la siguiente tabla se aprecia que esta variable se aplica a tres grupos de interés (Ga, Gb y Gc) y de cada uno se registran varios acontecimientos: 7.3 y 5 respectivamente para cada grupo. En la última columna se indican las fechas en términos de la semana.

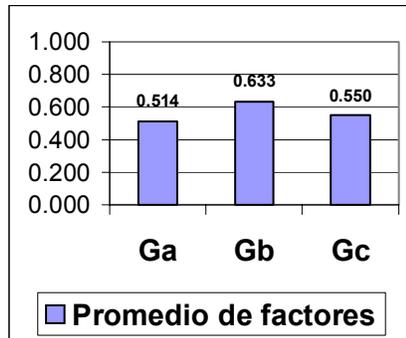
Tabla II

# Acontecimiento tipo A	Grupo	Caso	Factor	Fecha semana
1	G1	g	0.2	1
2	G1	f	0.3	2
3	G1	g	0.2	3
4	G1	e	0.4	7
5	G1	b	0.7	8
6	G1	a	1	12
7	G1	b	0.7	14
8	G2	e	0.4	2
9	G2	d	0.5	9
10	G2	a	1	13
11	G3	d	0.5	1
12	G3	b	0.7	10
13	G3	f	0.3	12
14	G3	e	0.4	13
15	G3	a	1	15

Si analizamos solamente las frecuencias de estos acontecimientos tendríamos la siguiente gráfica:



De la cual se desprende la mayor relevancia del grupo Ga. Si afectamos a cada acontecimiento por el *factor de valoración*, que desde luego asigna el investigador de acuerdo a su punto de vista y que justifica explícitamente, la gráfica muestra el siguiente perfil:



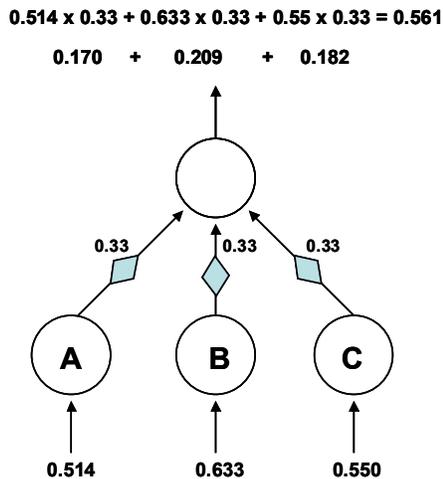
La relevancia del grupo Gb se manifiesta ya que aunque tiene menos acontecimientos registrados, los que ha realizado son más significativos que los del grupo Ga. Aquí vemos ya una posible contradicción entre resultados derivados de la frecuencia estadística y la función de pertenencia de la lógica borrosa. Las frecuencias son significativas cuando se consideran comportamientos normales de los observables; el reto para el investigador radica en aceptar este principio para la gran mayoría de los observables que delimita y, si bien se está volviendo a estimar un promedio en las frecuencias ponderadas, esto es, se están considerando bajo un “compor-

tamiento normal”, la diferencia con el promedio general radica en que ahora se trata de otra distancia de observación que permite diferenciar “grados de normalidad”. Esta aproximación transforma el “comportamiento lineal” de la primera normalidad general a un “comportamiento no lineal” de la normalidad de grupos de observables.<sup>22</sup>

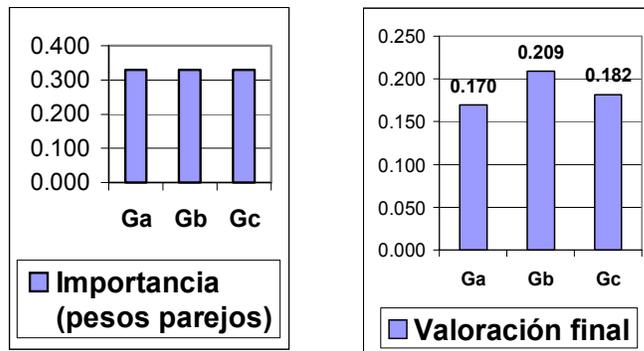
En este ejemplo, los casos cubiertos en un momento inicial del análisis son siete (véase la Tabla I), y a cada uno se le asignó un valor que determina un grado de “importancia/evaluación”. Dado que este modelo de variable es fácilmente automatizable (programado en una hoja electrónica), será posible y necesario que el número de casos aumente y/o se rectifique constantemente en otros momentos o etapas de la investigación, hasta llegar a una gama de comportamientos en donde se cubran prácticamente todos los casos de reuniones observados por el investigador, por su equipo de investigación y más adelante seguramente por el usuario del sistema. La función de pertenencia que se construye está sujeta a una actualización y revisión –aprendizaje constante– y al operar dentro de un modelo automatizado, se convierte en un instrumento para efectuar un análisis de tipos de acontecimientos.

**Pesos y ponderación...**

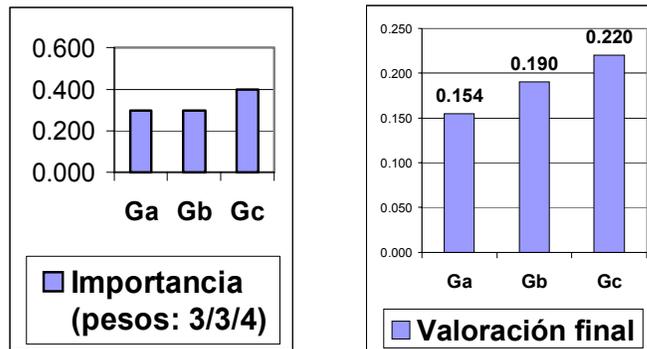
Ahora consideremos que desde la perspectiva del usuario, él desea integrar las actividades de los grupos en una categoría. Esta integración responde a la necesidad de ver cómo contribuye cada grupo en un nivel mayor de agrupación, de jerarquía dentro un ángulo de observación que analiza a los tres grupos. Lo que haremos es construir una pequeña red neuronal de cuatro nodos. Para ello veremos la diferencia en asignar pesos iguales o parejos a cada grupo (perspectiva del investigador) y pesos diferentes (perspectiva del usuario).



Primero veremos el caso de los pesos iguales, caso que corresponde al establecimiento de tres axones con mismo peso o grado de apertura. La valoración final –ponderación efectuada en el cuarto nodo– es el resultado de sumar tres productos, el factor del grupo A (0.514) por el peso o porcentaje de valoración (0.33), resulta 0.169 (se indica como 0.170); de igual manera para el grupo B ( $0.633 \times 0.33 = 0.209$ ) y para el grupo C ( $0.55 \times 0.33 = 0.182$ ). Evidentemente la valoración final es equivalente a la suma de los factores por los promedios 0.561.



En las siguientes gráficas realizamos la misma operación pero ahora con pesos diferentes, establecidos por el usuario o de manera consensuada por un grupo de investigadores o especialistas. Las proporciones de valoración de cada grupo son: 0.3, 0.3 y 0.4 equivalentes a 30%, 30% y 40% para los grupos Ga, Gb y Gc respectivamente. El valor de la ponderación es 0.564 y proviene de tres contribuciones: 0.154 del grupo A, 0.190 del grupo B y 0.220 del grupo C de cada grupo.



Aquí apreciamos que el mayor peso (que corresponde a una mayor importancia o valoración para el usuario), es el Grupo C, siendo que no es el que tiene más frecuencia de reuniones (véase la tabla 2) ni el valor mayor de frecuencias ponderadas. Este grupo resulta ser para el usuario el más importante.<sup>23</sup> Sin embargo, el valor de los pesos asignados puede no ser el más correcto. En el siguiente apartado veremos de qué manera nuestro usuario aprende mediante la reflexión, el juego de pesos más consistente, de acuerdo no sólo a su propia percepción, sino a la realidad de los valores que cada grupo tiene respecto a los factores reales a lo largo del tiempo.

### **Pesos y reflexión...**

El componente de los “pesos” o grados de importancia que asigna el “observador/constructor” o el “constructor/usuario”, es ya una aplicación de las redes neuronales artificiales en torno a la construcción estructuras/procesos entre las variables de una investigación. Hay dos aspectos en la concepción de la forma de operar de las redes neuronales, que requieren nuestra atención:

- La ponderación que se lleva a cabo en los “núcleos/nodos” con base en los pesos y en los valores derivados de las funciones de pertenencia; y
- El proceso de retroalimentación entre las capas, como reflexividad y autoaprendizaje para aproximarse a un resultado deseado.

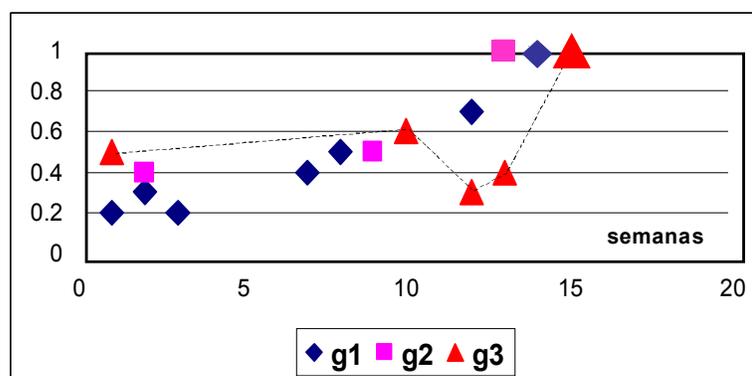
En la Figura 8 se muestran tres niveles de una red jerárquica: el nivel de las categorías y subcategorías de análisis, el nivel de las macro-variables y variables y el nivel de los observables. En el primer nivel, de abajo para arriba, se encuentra la capa de entrada de las redes neuronales artificiales que construimos en nuestra investigación. Este nivel corresponde al conjunto de funciones de pertenencia de las variables que operan como las “dendritas” de las redes neuronales artificiales.

El nivel de las macro-variables responde a la necesidad de integrar dos o más variables dentro de un nuevo concepto y nos permite obtener nueva visión de conjunto del grupo de variables que integra. Esta integración se lleva a cabo mediante la ponderación de los valores de cada variable afectados por un *peso o porcentaje de importancia*, establecido desde una perspectiva de “integración/ponderación”. Estos porcentajes necesariamente tienen inicialmente un origen que responde a la intuición y experiencia del investigador o del usuario del sistema. Son porcentajes que se



### Representaciones...

Retomando el ejemplo de los grupos de trabajo de una organización, ahora mostraremos, mediante un diagrama de trayectorias, una representación que arroja nueva información que generalmente no es fácil conocer. Es necesario tomar en cuenta que el ejemplo ilustrativo es de sólo tres variables y quince juegos de datos. Para un caso real de “N” variables, con varios juegos de datos y sus consecuentes grupos de factores y pesos, se impone una mayor atención y se requiere desde luego del uso de la computadora para poder enfrentar los retos de una zona crítica de análisis social. A partir de la información de la última columna de la Tabla II se construyó la siguiente gráfica:



**Figura 9. Trayectoria de eventos**

En esta gráfica podemos observar no sólo la distribución en el tiempo de las reuniones, sino el grado de importancia que tiene cada una, esto es, el valor del factor asignado (el eje vertical alude al “factor/evaluación” de cada reunión). Además podemos ver trayectorias de cada grupo como se muestra con la línea punteada para el Gc. También podemos apreciar conglomerados o densidades de información. En la gráfica se aprecian diferentes grupos de conglomerados: por ejemplo hay más reuniones del Ga al inicio del período considerado.<sup>24</sup>

En la Figura 10 se indica una forma clásica para representar en una gráfica de barras cada macro-variable.

En la Figura 11 se muestra una representación de la estructura jerárquica de análisis en forma radial. En ella no sólo se representan la perspectiva sincrónica con base en grados de significación representados por colores y diagramas de “*pie*”, sino que también se indica la perspectiva diacrónica, en términos de la trayectoria que fue adoptando el balance de los pesos conforme se fue levantando la encuesta. En ambos casos se pueden consultar las “etiquetas y/o enunciados lingüísticos” producto de una desborrocificación de la capa de salida del sistema que las construye.

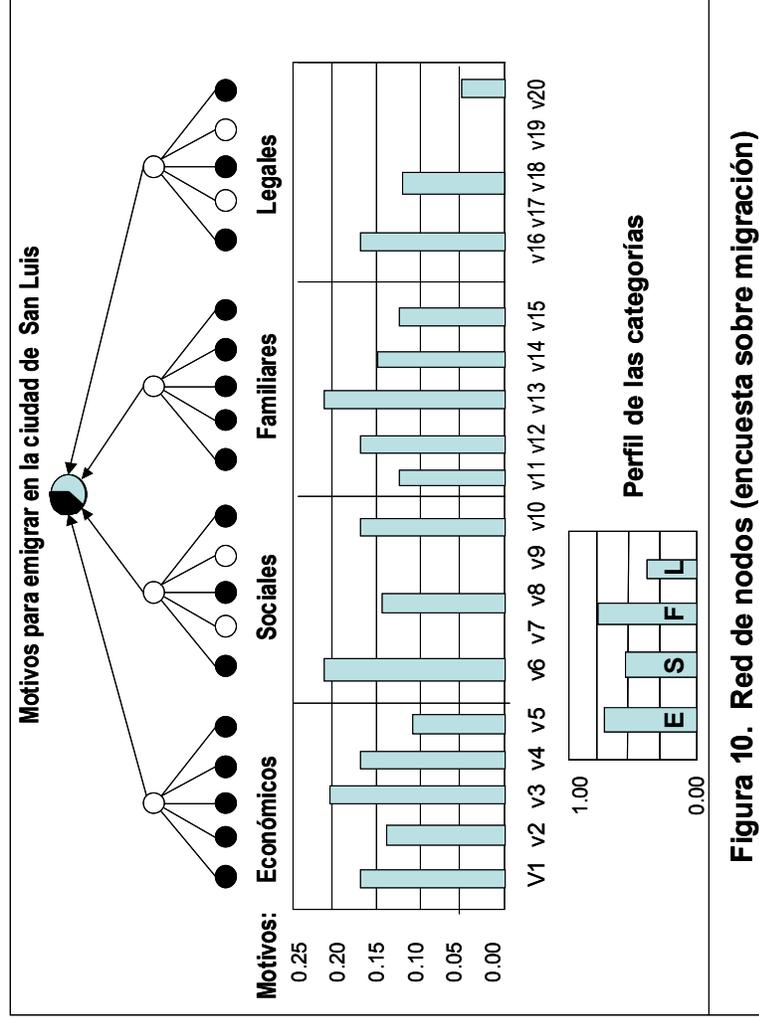
Por último, en la Figura 12 presento un diagrama en el que se muestra una zona común de diálogo, como espacio de solución entre varios actores sociales. En dicho espacio se construye una red de categorías compartidas con base en variables conformadas a partir de funciones de pertenencia. El modelo implica la construcción de redes categóricas que representen a dos grupos antagonicos, a un grupo reflexivo y a un grupo que representa a los afectados (el público).

El modelo pretende retejer el espacio social entre dos actores (vecinos, enemigos históricos) mediante la construcción de un espacio de solución: nuevamente como una conjunción de lógica borrosa/redes neuronales artificiales en constante aprendizaje y reconstrucción.

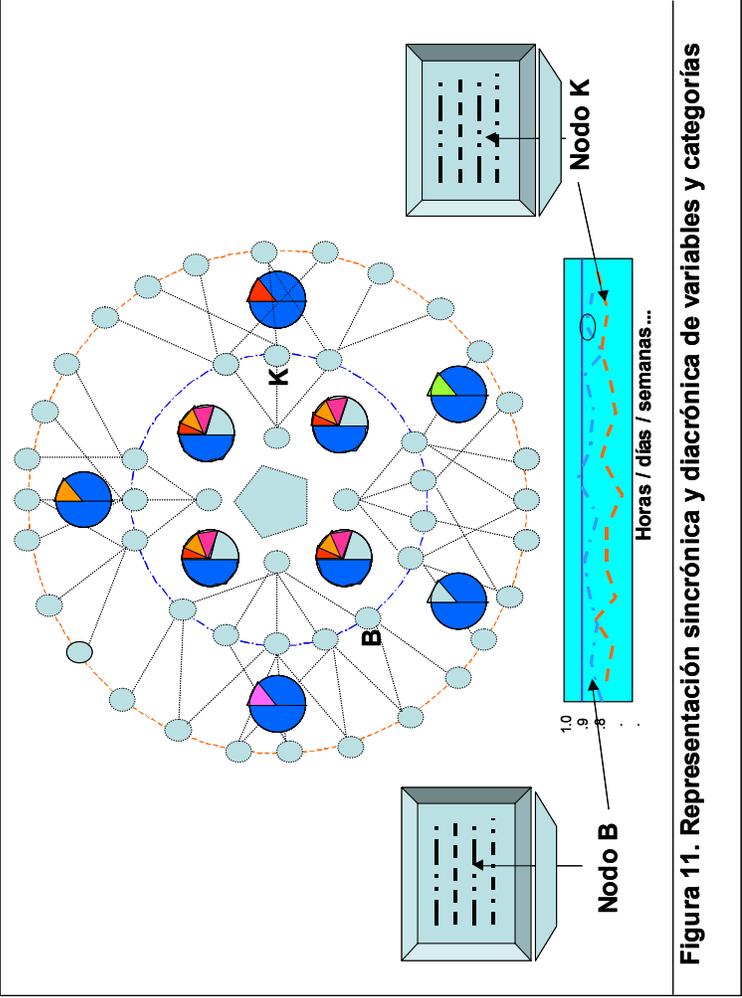
### **Algunas conclusiones**

Necesariamente las conclusiones son parciales y enmarcan, dentro de una aproximación que será sucesiva respecto a la forma de integrar a la lógica borrosa y a las redes neuronales artificiales en los procesos de construcción e inferencia del análisis sociológico. En este trabajo he querido mostrar los principios básicos de la lógica borrosa y las redes neuronales artificiales que a la luz de su aplicación en el ámbito de lo social, nos permiten resolver los retos de una *zona de análisis crítico social*.

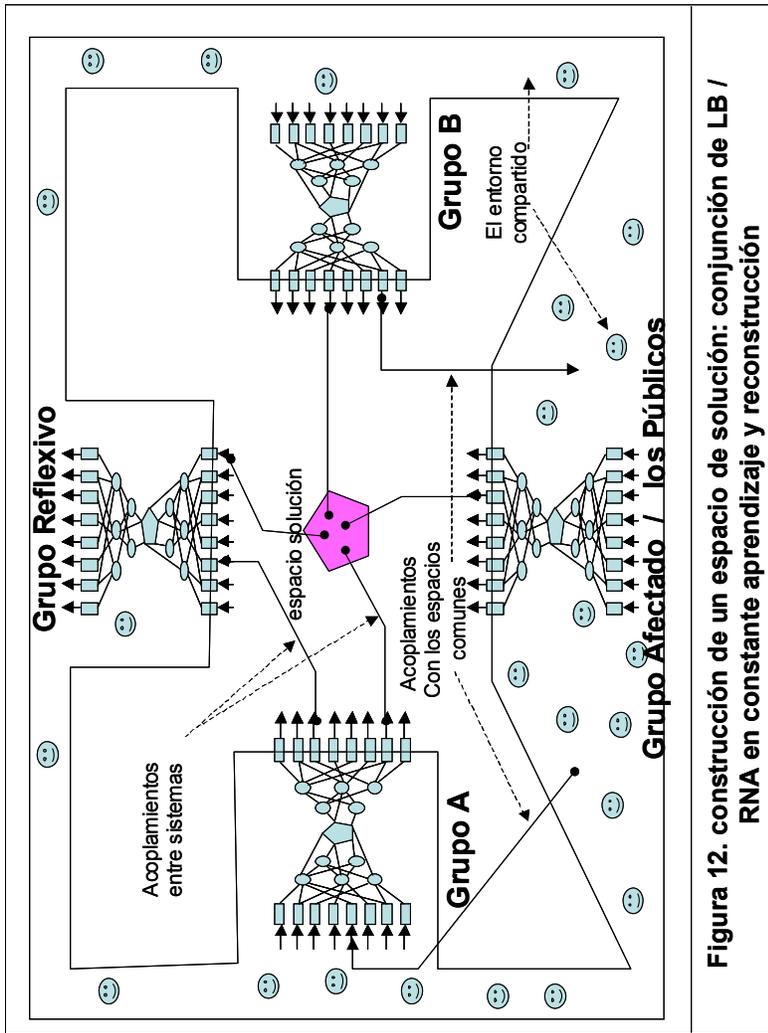
He querido explicar que la formulación y construcción de los modelos derivados de la integración de la lógica borrosa y las redes neuronales artificiales, incorporan y subsumen una parte de los modelos de la probabilidad y estadística, ensanchando así las posibilidades de la sociología analítica ante la complejidad social.<sup>25</sup> El concepto clásico de probabilidad es el caso de la función de pertenencia sin valoración. Esto sucede cuando los valores de la función de pertenencia *se definen* como probabilidades y no como enunciados con grados de certeza. La “normalidad” de los observables que es reflejada en “el promedio”, es el caso de un factor de evalua-



**Figura 10. Red de nodos (encuesta sobre migración)**



**Figura 11. Representación sincrónica y diacrónica de variables y categorías**



**Figura 12. construcción de un espacio de solución: conjunción de LB / RNA en constante aprendizaje y reconstrucción**

ción en la función de pertenencia con valor fijo de uno y simplifica la complejidad del observable en un comportamiento “objetivamente” constante. De esta forma, también vemos cómo la comprensión de la lógica borrosa y las redes neuronales artificiales, bajo la perspectiva de la biología articulada a las matemáticas e integradas a la sociología en su aplicación en técnicas de investigación, contribuye al establecimiento de un lenguaje común –esencial en la actividad interdisciplinaria– que está orientado a una mejor “comprensión/explicación” de problemas sociales. Reitero la función de la última diagonal, cómo un hacer explícita la construcción entre una organización interna y una externa con base en una función de pertenencia explícita.

Respecto a las preguntas planteadas al principio, podemos responder lo siguiente:

- ¿Qué hay con la estabilidad lingüística de conceptos como *promedio*, *desviación estándar*, *correlación*, *sesgo*, implícitos en la determinación de los observables, en su recorte en datos y su relación con la dinámica de las variables que los atrapan?

La definición de los observables queda construida y explicitada en las funciones de pertenencia de la lógica borrosa. A partir de la dinámica de construcción de dichas funciones, siempre estarán actualizadas las definiciones de las variables y de las categorías usadas.

- ¿De qué manera son conservados y considerados (los conceptos) a lo largo del tiempo?

La construcción de una memoria reflexiva dinámica –síntesis de LB/RNA– siempre es actual y permite recuperar momentos de un pasado en caso necesario en la misma medida del consenso cristalizado de su(s) constructor(es).

- ¿Cómo se tratan la frecuencia de las irregularidades, los valores “disparados” y las anomalías de los observables dentro de los criterios de selección de muestras y dentro de las operaciones matemáticas?

Las trayectorias propias de los observables a lo largo del tiempo siempre son respetadas, incluidas y analizadas como tales. Si se desea emitir un juicio a partir de una muestra para externar un grado de confiabilidad y un margen de error, se puede seleccionar cualquier fragmento de la memoria de los observables como referencia para evaluar parámetros estadísticos, ponderados o no. Si el juicio toma en cuenta un fragmento de la memoria con anomalías en los observables, sus inferencias –más complejas por la naturaleza misma de las irregularidades– derivan necesariamente de la presencia de las anomalías en la memoria.

- ¿Qué pasa con las posibilidades de traducción de los significados numéricos de la estadística con relación a los significados lingüísticos que representan fuera de su dominio, que forman parte de la explicación comprometida del investigador?

Las posibilidades de traducción entre las realidades lingüísticas y su significado numérico –así como del proceso inverso–,<sup>26</sup> dependen de la capacidad constructiva del constructor o del consenso de los constructores. A partir de dichas construcciones y de sus inferencias, la racionalidad del sistema –de la respuesta de investigación al entorno donde cohabita–, tiene implícito un compromiso que sólo permite conservar la consistencia de la organización misma de los constructores.

Con esto es posible aproximarnos un poco más al desciframiento de la paradoja a la que aludimos inicialmente, considerando que, efectivamente, mediante las funciones de pertenencia de la lógica borrosa y mediante las estructuras/procesos reflexivos, propios de las redes neuronales artificiales, es posible construir sistemas neuroborrosos a la medida de la organización del equipo de investigación que aborda un problema práctico bajo la mirada de la complejidad. Es posible instrumentar un sistema basado en modelos matemáticos que nos permita construir “tipos ideales” y nos aproximen al “promedio mentado” de un observador de segundo orden. Podemos explicar mejor las “conexiones de sentido” en un problema social, haciendo explícita una racionalidad instrumental –a la que sólo aludimos como un reto dentro de la zona de análisis crítico de lo social–, construida por el investigador, que se observa investigando como sociólogo interdisciplinario.

Finalmente, considero que el reto del sociólogo ante una interdisciplinariedad que invita a conocer las posibilidades de la conjugación de una “lógica borrosa/redes neuronales artificiales” en su quehacer como sociólogo, es doble. Por un lado exige de un conocimiento de temas de otras disciplinas no triviales para él; por otro, su uso como articulación entre dominios distantes que necesitan nuevas formas de vinculación. Estas articulaciones exigen una nueva mirada sobre los retos fundamentales, tanto de las ciencias naturales como de las sociales, *porque dicha mirada –que es la que hemos querido adoptar ante la zona de análisis crítico de lo social– impone una observación constructora que aprecia una continuidad epistémica entre ambos dominios y por tanto, enfrentan los mismos retos*. Exige la solución de paradojas –como recursividades en espiral– para transformar nuestra concepción de sociedad y en consecuencia a la sociedad misma.

## Notas y referencias bibliográficas

1. Utilizo la diagonal entre dos palabras para aludir a la necesaria “complementariedad” que debe existir entre los conceptos aludidos. En el caso de la complementariedad entre “elementos/relaciones” significa que no pueden existir elementos sin relaciones ni relaciones sin elementos y que existe una gama de posibilidades para comprender la vinculación entre elementos y relaciones.
2. Generalmente se atribuye a Heinz von Foerster (1999) la observación de segundo orden, al hacerla explícita en términos de “los sistemas que observan”, que implica un “observar a un observador” y de aquí también el surgimiento de la cibernética de segundo orden, como una “cibernética de la cibernética”. Sin embargo, esta forma de observación también ha estado y se está haciendo cada vez más presente en otras perspectivas disciplinarias que han enriquecido la reflexión sobre observar al que observa, una observación de segundo orden enriquecida que sigue aportando nuevos enfoques sobre la construcción de la realidad. “Observo cómo observo” implica un nivel de reflexividad que exige un ejercicio de distanciamiento al interior del sujeto que (se) transforma por segundos su interior de un sujeto que se objetiviza a un objeto (el) que se subjetiviza y desplaza el punto de observación del sujeto que todavía, y necesariamente, se reconoce. Desde la física newtoniana, esta operación equivale a la comprensión del “movimiento del movimiento”, que corresponde a la velocidad, y de igual manera, a “la velocidad de la velocidad”, que no es más que la aceleración. De aquí que la observación de segundo orden, se dé en términos de nano-segundos y/o de segundos entre las conexiones del cerebro y pueda verse como una operación de “aceleración/desaceleración” de la relación “sujeto/objeto” en el observador.
3. También referida como Lógica Difusa o Lógica de conjuntos Borrosos y en inglés *Fuzzy Logic*. Sugerimos a los lectores que no hayan tenido oportunidad de asociar la palabra “borrosa” o “difusa” a la lógica, que piense en ellas como formas 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.
4. Por sistema inteligente me refiero a un sistema con grados de auto-determinación y auto-organización 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. Los artefactos también pueden tener grados de inteligencia así como los “agentes” que son referidos más frecuentemente en sistemas sociales, como por ejemplo, los sistemas de control industrial, de control doméstico en casas, televisores y teléfonos.

5. Las aplicaciones de las RNA son infinitas; cabe mencionar entre las más significativas al “reconocimiento de caracteres –tecnologías OCR– extendida a patrones de objetos diversos y de rostros, así como al reconocimiento de sonidos asociados con aplicaciones de traducción entre lenguajes. En el campo industrial las aplicaciones generalmente están orientadas a la construcción de instrumentos de medición, equipos y al control de procesos concebidos ya como sistemas que operan con base en LB/RNA.
6. 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/analógica”. Estas conversiones/transformaciones son también una forma de aplicación de la LB entre dos dominios físicos: la señal digital y la señal analógica.
7. 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.
8. 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 de la Sociedad Internacional de Sociología (ISA). Debo mencionar que dentro de mi trayectoria como ingeniero químico descubría simultáneamente las posibilidades de la LB y las RNA en esas áreas del conocimiento aplicado a la ingeniería de procesos.
9. En las técnicas de primer orden, el observador está dentro de un juego de elementos y relaciones lineales o *cuasi-lineales* y asume una perspectiva de análisis *distributivo*: describe las diferencias con una mirada *tecnológica* (*uso de instrumentos de registro de información explícita*). Dado el comportamiento regular de los elementos/partículas, puede usar estrategias estadísticas. Es el caso de las encuestas y etnografías. En las técnicas de segundo orden, la observación requiere una *perspectiva estructural* que pregunta *el porqué* de las diferencias en los esquemas –que no representan todas las relaciones visibles entre los elementos. Así, la observación tiende a adoptar una mirada más *metodológica* –una estrategia de prueba y error– al establecer vínculos entre un modelo conceptual y una parte no explícita –las estructuras posibles de los observables– pero asumiendo un comportamiento temporalmente estable de las estructuras de análisis. Es el caso del análisis de significados en textos y de los discursos derivados en discusiones y narraciones (Ibáñez, 1991).

10. Esta integración de teorías, vinculada a una sociología analítica, se enmarca dentro de la Sociocibernética –título del grupo de investigación (RC51) de la Sociedad Internacional de Sociología–; adopta una mirada sistémica y de conducción de lo social como sistemas autodeterminantes.
11. Por razones de espacio, no incluyo dos retos que pueden ser considerados dentro de la perspectiva que adopto en este artículo: “el reto del observador involucrado” que tiene que ver con el reconocimiento y con hacer explícita la inevitable intervención del “observador/investigador” en lo que observa/investiga, y “el reto de la racionalidad instrumental” que atiende la necesidad de hacer explícitos los grados de transformación de los criterios, categorías y de los instrumentos usados para explicar las comprensiones de lo social.
12. La transitividad es un postulado de la lógica formal que alude a la operación de transferir la información contenida en un principio de un enunciado o variable a otro más distante, con base en operaciones de transferencia entre enunciados menos distantes (SI  $A \rightarrow B$  y  $B \rightarrow C$  entonces  $A \rightarrow C$ ) (Ferrater y Leblanc, 1987:140).
13. Existe un conjunto de técnicas de análisis de cuestionario en las que se dan valores numéricos a las respuestas de una pregunta de acuerdo a una escala. De aquí la posibilidad de sumar puntos más que sumar frecuencia de estratos de respuesta (Hernández, 1991). Ejemplo de estas técnicas estadísticas, son las escalas de medición de actitudes de Lickert, Thurstone y Guttman (Padua, 1982) así como a otros métodos semejantes. Si bien ofrece una de las mayores aproximaciones a la perspectiva de la lógica borrosa, no toma en cuenta la posibilidad de operar con esos valores dentro de un modelo operacional que permita establecer inferencias interdependientes con las suposiciones asociadas a los rangos, y tampoco considera el carácter necesariamente recursivo de estos modelos.
14. La recursividad deriva de aplicar la operación de una función, en sí misma, a la misma función. Si la operación es diferenciar, la recursividad de esta función es diferenciar lo diferenciado y continuar tantas veces como acción de la función. Si la operación es duplicar y añadir la unidad, la aplicación de la recursividad se lleva a cabo al resultado de una función que duplicó un número y le añadió uno.
15. El valor asignado entre cero y uno se establece como una medida de certidumbre. No por ello permanecerá fijo, sino que estará sujeto a una constante rectificación que mejor aproxime esta certidumbre con la etiqueta lingüística asociada.
16. Este ejemplo analiza una variable que puede ser considerada como ordinal o de intervalo, bajo una perspectiva clásica en la medición sociológica. Las aplicaciones significativas de la LB desglosarían los valores de variables como “formas de relación, de compromiso, de destreza”, en la que cada etiqueta tiene que ver con expresiones asociadas a un significado distinto.
17. 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.
18. La síntesis que presento aquí, tiene el propósito de introducir al lector en el tema que necesariamente habrá que enriquecer con más lecturas si su inquietud expansiva lo impulsa al conocimiento de estos temas vitales para la interdisciplinariedad. Un texto en español muy útil es la segunda edición de “Redes neuronales y sistemas difusos” de Bonifacio Martín Brío y Alfredo Sanz Molina, señalado en la bibliografía.
  19. En este sistema no se incluye una función de salida que transforma los valores a un dominio no lineal.
  20. Se considera que en las redes neuronales reales, estas fases se llevan a cabo paralelamente, no así en las RNA que están sujetas a procedimientos más rudimentarios y torpes, respecto a los procedimientos reales en el cerebro. En las RNA las fases se llevan a cabo de manera alternativa: durante una época la red se encuentra en fase de aprendizaje, que corresponde al período en que un sistema computacional resuelve el sistema de ecuaciones que representa la red para todos los paquetes de información de entrada y salida de los cuales la red aprende. La segunda fase corresponde propiamente al desempeño de la red para procesar juegos diferentes de información de entrada, mismos que la red procesa para proporcionar de manera casi instantánea los resultados correspondientes. Más adelante, cuando se considera que hay nuevos juegos de datos no procesados correctamente, su vuelve a la fase de aprendizaje de la red.
  21. El lector puede tener una mayor aproximación a este tema en (Amozurrutia, 2006). Ahí sintetizamos las principales operaciones que se presentan en la construcción de una función de pertenencia y en la transformación de una estructura de red. Describimos los procesos de diferenciación e integración cualitativa a través de una epistemología constructivista basada en los trabajos de Piaget y de García (García, 2000).
  22. La operación de aplicar un criterio lineal a un nivel de observación más específico, es semejante a la operación de las matemáticas aplicadas en la que se usan los métodos numéricos para resolver problemas analíticos de difícil o imposible solución.
  23. El lector puede apreciar que si bien en este ejemplo se aprecian cálculos y diferencias de apreciación sutil y sencilla, podrá imaginar que las complicaciones aumentan si llevamos a la práctica estos conceptos y cálculos, transformando sensiblemente la comprensión del problema y los resultados derivados.
  24. Una descripción más detallada de una técnica de segundo orden como el análisis de grupos de discusión se presenta en (Amozurrutia, 2005). En el método propuesto se hace evidente la naturaleza heurística no sólo de la técnica, sino de la aplicación de un conjunto de técnicas en una investigación que necesariamente impone una metodología de aproximación.
  25. Una mirada más aguda al concepto de *lo analítico en lo social*—como sociología analítica—, debe tomar en cuenta que en realidad se trata de una *sociología numérica*, de la misma manera que el uso de las matemáticas para la solución de

prácticamente todos los problemas tecnológicos, son resueltos de manera no analítica sino con *soluciones numéricas* que toman en cuenta las aproximaciones basadas en el uso de los *métodos numéricos*.

26. El proceso inverso es el que transforma realidades numéricas –derivadas de procesos en las RNA–, toma en cuenta operaciones de inferencia que si son sistematizadas dentro de un sistema, pueden ser resueltas mediante las técnicas de los *sistemas expertos*.

### Bibliografía

- 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 línea 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: <http://www.labcomplex.net>.
- (2004<sup>a</sup>). *Cibercultura y Procesos Interculturales: un modelo sistémico para pulsos migratorios*. Trabajo presentado en la Quinta Conferencia Internacional de Sociocibernética, Lisboa, Portugal, en: <http://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: <http://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*, CEIICH, UNAM, México.
- (2005). “Lógica Borrosa y Redes Neuronales Artificiales aplicadas a las Ciencias Sociales: un reto a la práctica interdisciplinaria”, en: *Jornadas Anuales de Investigación 2005*, CEIICH, UNAM, México.
- Ferrater M. J. y Leblanc H. (1987). *Lógica Matemática*, FCE, México.
- García R. (2000). *El conocimiento en construcción. De las formulaciones de Jean Piaget a la teoría de sistemas complejos*. Gedisa, España.
- (1993). *From Planning to Evaluation. A System Approach to Agricultural Development Projects*. IFAD Report, núm. 0341.
- Gentile M., Rogers J.W., Mannan M.S., (1991). *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.
- *What is Sociocybernetics?*, <http://www.unizar.es/Sociocybernetics/whatis.html>
- Giddens, A. (1997). *Las nuevas reglas del método sociológico*. Amorrortu, Buenos Aires.
- Glaserfeld, E. (1990). “Introducción al constructivismo radical”, en: *La realidad inventada*, compilación de Paul Watzlawick, Gedisa, España.

- Havens E., Everett R. y Lipman A. (1965) *Medición en Sociología: conceptos y métodos*. Monografías Sociológicas, UNC, Bogotá.
- Hornung, B.R. (2003). *Sociocybernetic Problem-Functionalist Analysis of Kerkyra*. Trabajo presentado en la Cuarta Conferencia Internacional de Sociocibernética, Corfu, Grecia.
- (2003). *Constructing Sociology from first order Social Sciences, –Basic Concepts for a Sociocybernetic Analysis of Information Society*. Trabajo presentado en la Cuarta Conferencia Internacional de Sociocibernética, Corfu, Grecia.
- Ibáñez, J. (1991). *El regreso del sujeto. La investigación social de segundo orden*. Siglo XXI, España.
- (1992). *Del Algoritmo al Sujeto*. México, Siglo XXI.
- (1994). *Más allá de la sociología, el grupo de discusión: técnica y crítica*. España, Siglo XXI.
- Kuhn. T.S. (1989). “Commensurabilidad, comparabilidad y comunicabilidad”, en: *¿Qué son las revoluciones científicas? Y otros ensayos*, Paidós, Barcelona.
- Luhmann N. (1996). *Introducción a la teoría de sistemas*, Anthropos-UIA-ITESO, México.
- (1998). *Sistemas Sociales (lineamientos par una teoría general)*, Anthropos-UIA-ITESO, México.
- Martín del Brío B. y Sanz Molina A., (2002), *Redes Neuronales y sistemas difusos*, Alfaomega Grupo Editor, México.
- Merton, K. R. (2002). *Teoría y estructuras sociales*, FCE, México (primera edición, 1949).
- Morin E. (1994). *El método (el conocimiento del conocimiento)*, Cátedra, Madrid.
- Padua, J. (1982). *Técnicas de investigación aplicadas a las Ciencias Sociales*. FCE, México.
- Parsons, T. (1968). *La estructura de la acción social*, Guadarrama, Madrid.
- Von Foerster, H. (1990). “Construyendo una realidad”, en: *La realidad inventada*, compilación de Paul Watzlawick, Gedisa, España.
- (1999). “Cibernética de la Cibernética” (1979). Compilado por Marcelo Packman en *Las Semillas de la Cibernética*, Gedisa, España.
- Weber M. (2004). *Economía y sociedad*, FCE, México.
- Zadeh, L.A. (1988). “Fuzzy Logic”, en: *IEEE Computer Magazine*, USA.