

Lógica fuzzy y automatización: ¿Perversión lógica o revolución informática?

(A través de McNeil-Freiberger, Kahlert-Frank, Haack y Sangalli)

CARLOS ORTIZ DE LANDAZURI

Universidad de Navarra.

Palabras clave: indeterminado, borroso, nomonotónico, probable.

Presentación:

En 1965 Lotfi Zadeh propuso un procedimiento para evitar los *círculos viciosos* en sí mismos paradójicos, que habían provocado la *crisis de fundamentos de la teoría de conjuntos*. Dada la imposibilidad de aportar un procedimiento axiomático capaz de evitarlos, se optó por intentar neutralizar esta situación por un recurso de tipo práctico, como fue la formalización de los conjuntos *borrosos* o *imprecisos*, a los que se atribuía el ser los causantes de esta crisis¹. Sin embargo fueron numerosas las críticas que desde un principio acompañaron la génesis y el posterior desarrollo de este tipo de lógica: se definió como una *lógica imprecisa, borrosa*, o simplemente *mal fundada*, dando un claro sentido despectivo a estos términos. Sin embargo el paso de tiempo demostró que las propuestas de Zadeh presentaban virtualidades muy novedosas, especialmente en el campo de la informática y de la automatización². Pero tampoco le han faltado críticas por su pretensión de proponerse como una 'lógica alternativa' capaz de lograr de este modo una posible *fundamentación de la teoría de conjuntos*, como al menos ha sugerido Susan Haack³.

1.- Zadeh, 1965-1995: La vuelta a una lógica fuzzy 30 años después.

Susan Haack en 1976 y 1996 ha revisado los planteamientos de Lotfi Zadeh en 1965, cuando propuso una ampliación de la noción de conjunto o clase, a partir de la elaboración de una nueva *lógica fuzzy*, con unas pretensiones desproporcionadas⁴. Según Susan Haack, Zadeh, propuso una reformulación de la teoría de conjuntos, a partir de una nueva redefinición de sus *elementos originarios* sin excluir ninguna noción básica, como son las propias nociones de conjunto, o de verdad, o de validez. De

¹ Cf. Blum, W.; *Die Grammatik der Logik. Einführung in die Mathematik*, Deutscher Taschenbuch, München, 1999.

² Cf. Wilson, M. D.; *Ideas and Mechanism. Essays on Early Modern Philosophy*, Princeton, New Jersey, 1999.

³ Cf. Haack, S.; *Deviant Logic, Fuzzy Logic. Beyond the Formalism*, The University of Chicago Press, Chicago, 1974, 1996.

⁴ Cf. Zimmermann, H-J.; *Fuzzy set theory and its applications*, Kluwer, Boston, 1991.

este modo llevó a cabo un análisis de determinados presupuestos teóricos que, sin duda alguna, han afectado a la fundamentación de la teoría de conjuntos, a pesar de la separación que hoy por hoy existe entre ambas disciplinas⁵.

2.- El programa inicial de Zadeh en 1965.

En estos casos la *lógica fuzzy* tomó como punto de partida conjuntos imprecisos o difusos, como el ser más alto, o de mayor edad, en sí mismos relativos. Estos conjuntos no cumplen con algunas de las condiciones exigidas por el proyecto "*New Foundations*" para los *conjuntos bien fundados*, al menos según algunos seguidores de Quine⁶, o más bien Peirce, como ahora sugiere Haack, revisando en parte sus anteriores propuestas. A este respecto la *lógica fuzzy* aplica a este tipo de conjuntos una *lógica no-bivalente* cuyos elementos originarios pueden adolecer de una validez veritativa en sí misma indeterminada, sin ver en ello un defecto formal insubsanable. Por ello estos elementos originarios tampoco se tipifican como conjuntos *no bien fundados*, o simplemente *antifundados*, al modo como sucedía anteriormente en el proyecto del '*New Foundation*'⁷. Más bien se toman como el punto de partida originario de la filosofía del conjuntos sin introducir condiciones complementarias que, en su opinión, vienen impuestas por un formalismo externo al uso habitual de los conceptos o clases⁸.

A este respecto la *lógica fuzzy* no justifica su validez en virtud de una *lógica de primer orden* de tipo *monotónica*, donde el valor de verdad de una proposición permanece fijo para una serie infinita de elementos, como en cambio sucede en la teoría de conjuntos tradicional. En su lugar los conectivos lógicos, incluido el condicional, también admiten el posible cambio del grado de verdad de una proposición, sin darle la interpretación unívoca de tipo monotonico, como ha sido habitual⁹. En este sentido los conjuntos borrosos son conjuntos *finitos*, que desde un punto de vista formal no están bien ordenados, ni definen con precisión el lugar que cada uno de los elementos ocupan respecto de todo el conjunto, o al menos admiten la posibilidad de no estarlo¹⁰. Por todo ello la *lógica fuzzy* adopta una actitud inicialmente abierta ante las distintas formas de predicación, ya sean de tipo nomonotónico, o simplemente analógica, siempre que se refieran a series finitas previamente delimitadas de un modo protocolario, aunque evidentemente este tipo de propuestas también han levantado polémica. A este respecto he tomado cuatro ejemplos de como hoy día se abordan estos problemas de fundamentación última por

⁵ Cf. Gupta, M. M.; Yamakawa, T. (ed); *Fuzzy computing: theory, hardware and applications*, North Holland, Amsterdam, 1988.

⁶ Cf. Hahn, L.; Schilpp, P. A. (ed); *The Philosophy of W. V. Quine*, Open Court, London, 1997.

⁷ Cf. Barwise, J.; Moss, L.; *Vicious Circles. On the Mathematics of Non-Wellfounded Phenomena*, CSLI, Stanford University, Stanford, 1996.

⁸ Cf. Kosko, B.; *Fuzzy Thinking: The New Science of Fuzzy Logic*, Hyperion, New York, 1993.

⁹ Cf. Ruppen, P.; *Einstieg in die formale Logik*, Peter Lang, Bern, 1997.

¹⁰ Cf. AA. VV.; *Fuzzy Sets and Systems. International Journal of Soft Computing and Intelligence. Vol 94, N°1, 1998*, North-Holland, Amsterdam.

parte de la *lógica fuzzy*, sin ánimo de ser exhaustivo: Dos a favor, uno en contra y, finalmente, otro que intenta mediar entre ambos¹¹.

3.- Daniel McNeil y Paul Freiberger (1993): Las virtualidades metodológicas e informáticas de la *lógica fuzzy*.

Daniel McNeil y Paul Freiberger¹² han aplicado la *lógica fuzzy* al análisis de algunas nociones metodológicas básicas de la *filosofía de la ciencia y de la técnica*, con un estilo divulgador fácilmente comprensible. En su opinión, la *lógica fuzzy* permite proseguir la fundamentación de la teoría de la ciencia hasta niveles anteriormente inaccesibles¹³. En este sentido el recurso a conceptos imprecisos requiere el uso compartido de un instrumental analítico paradójicamente muy preciso, que a su vez permite articular nociones sutiles de difícil manejo. Por ejemplo, los múltiples sentidos que la noción de *probabilidad* ha adquirido en los últimos años a través del propio desarrollo científico y técnico, produciendo un vuelco en el modo de abordar unos problemas que hace poco eran irresolubles¹⁴.

En su opinión, la *lógica fuzzy* no es una lógica imprecisa, ni tampoco de éxito seguro. Simplemente ofrece un poderoso instrumental lógico con virtualidades múltiples que hay que saber extraer en cada caso; especialmente interesante es su propuesta de lograr una posible integración entre los distintos usos de la probabilidad, sin que hasta ahora se haya podido establecer un puente de unión entre ella. Por un lado la probabilidad subjetiva o inversa, siguiendo el método de Bayes; y, por otro lado, la probabilidad objetiva o frecuencial, de uso más habitual. Con este fin se aplica a la noción de probabilidad los grados de verdad característicos de la *lógica fuzzy*, según un criterio de máximos y mínimos. Se pone de manifiesto así como las dos nociones citadas de probabilidad sólo expresan dos situaciones límites de mínima y máxima información, según se conciba la probabilidad desde un punto de vista finitista o, por el contrario, desde un punto de vista infinitista, o estrictamente frecuencial. Posteriormente se aplica este mismo análisis propio de los *sistemas expertos* a otras muchas nociones básicas de la lógica de la ciencia y de la teoría de conjuntos, como ya demostró Reichenbach respecto de la física en general¹⁵.

4.- Kahlert y Frank (1994): Hacia una fundamentación de la teoría de conjuntos a partir de una *logica fuzzy*.

Jörg Kahlert y Hubert Frank¹⁶ en 1994 han dado un paso más aplicando la *lógica fuzzy* al análisis de algunas nociones básicas de *los sistemas expertos*. En su opinión, los sistemas de control propuestos por la *lógica fuzzy* permiten proseguir el análisis de algunos conceptos o nociones originarias, como son las propias nociones de *entroncamiento* (“*entailment*”) o de *concatenación* lógica necesaria (“*Verknüpfungen*”), más allá de donde estas nociones podían ser analizadas por la teoría de conjuntos, o incluso por la propia lógica modal clásica. Con este fin se propone un nuevo modo de conceptualizar los grados de verdad como si se tratara de un sistema no bivalente, con máximos y mínimos, al modo de la lógica inductiva de Peirce¹⁷.

La *lógica fuzzy* retrotrae así el proceso de fundamentación de la teoría de conjuntos a un momento previo, en donde también se tienen en cuenta los conjuntos *no-bien-fundados*, o simplemente *antifundados*, al igual que ocurre en el proyecto “*New Foundation*”, y en general en la lógica booleana de segundo orden¹⁸. Sin embargo Lotfi Zadeh no pretendió tanto, y nunca justificó esta posible relación de subordinación interna entre los conjuntos que están bien fundados y los que no¹⁹. En cambio para Kahlert y Frank, la *lógica fuzzy* localiza una fase previa de fundamentación, que hasta hace muy poco no había sido tenido en cuenta por la teoría clásica de conjuntos, aunque de hecho sólo se fija casi exclusivamente en sus posteriores aplicaciones prácticas²⁰. Aporta un nuevo modo de conceptualizar las *reglas lógicas* básicas de la inclusión, la conjunción y del condicional. Amplía los modos posibles de formalizar el uso de los *primeros principios* de la lógica, con esquemas propios de inferencia. Articula las diversas formas de *probabilidad*, y aporta un fundamento algorítmico para los *sistemas expertos*²¹.

5.- Susan Haack, 1974-1996: El fundamento perverso de la *lógica fuzzy*.

Susan Haack en 1996, en la reedición de *Logica perversa, Logica Fuzzy. Más allá del formalismo*²², reconoce los enormes progresos que la *lógica fuzzy* ha experimentado hoy día, con aplicaciones espectaculares especialmente en el ámbito tecnológico, pero reafirma en sus anteriores valoraciones respecto a los planteamientos iniciales de Lotfi Zadeh. Se congratula de este éxito inesperado, aunque sigue sin compartir las motivaciones más profundas que llevaron a Zadeh y después a Bart

¹¹ Cf. Kaufmann, A.; Gupta, M. M. (ed); *Fuzzy mathematical models in engineering and management science*, North Holland, Amsterdam, 1991.

¹² Cf. McNeil, D.; Freiberger, P.; *Fuzzy Logic*, Simon & Schuster, New York, 1993; *Fuzzy Logic. Die ‘unscharfe’ Logik erobert die Technik*, Droemer Knaur, München, 1994.

¹³ Cf. Hopkins, R.; *Picture, Image and Experience. A Philosophical Inquiry*, Cambridge University, Cambridge, 1998.

¹⁴ Cf. Cohen, L. J.; *Introduzione alla filosofia dell’induzione e della probabilità*, Giuffrè, Milano, 1999.

¹⁵ Cf. Poser, H.; Dirks, U (Hrsg); *Hans Reichenbach. Philosophie im Umkreis der Physics*, Akademie, Berlin, 1999.

¹⁶ Cf. Kahlert, J.; Frank, H.; *Fuzzy-Logik und Fuzzy-control. Eine anwendungsorientierte Einführung mit Begleitsoftware*, Vieweg & Sohn, Braunschweig/Wiesbaden, 1994.

¹⁷ Cf. Kuhn, F.; *Ein anderes Bild des Pragmatismus*, Klostermann, Frankfurt, 1996.

¹⁸ Cf. Hughes, G. E.; Cresswell, M. J.; *A New Introduction to Modal Logic*, Routledge, 1968.

¹⁹ Cf. Kaufmann, A.; *Introduction to fuzzy theory and applications*. Van Nostrand Reinhold, New York, 1985.

²⁰ Cf. Howson, C.; *Logic with Trees. An Introduction to Symbolic Logic*, Routledge, London, 1997.

²¹ Cf. Adams, E. W.; *A primer of Probability Logic*, CSLI, Stanford University, California, 1998.

²² Haack, S.; *Ibidem*. Cf. Kahle, W.; Collani, E. von; Franz, J.; Jensen, U.; *Advances in Stochastic Models for Reliability, Quality and Safety*, Birkhauser, Basel, 1998.

Kosko²³ a hacer este tipo de propuestas, con pretensiones en su opinión desproporcionadas. En su opinión, Zadeh concibió la *lógica fuzzy* como una teoría rival que se presenta como una alternativa efectiva a la teoría de conjuntos clásica. La *lógica fuzzy* no sólo pretende una ampliación de la lógica a un campo nuevo, como son los conjuntos o clases borrosas de definición imprecisa, sino que su propuesta va más allá: reivindica un nuevo modo de conceptualizar y formalizar los conceptos básicos de la lógica, como son la noción de verdad, de probabilidad²⁴, o de validez. Pero según Haack, esta lógica siempre mantiene una dependencia respecto del modo clásico como Boole, Peirce o Frege abordaron estos problemas de fundamentación última, sin poderse presentar como una 'lógica alternativa' verdaderamente solvente²⁵.

Según Susan Haack, cuando la *lógica fuzzy* se independiza de la lógica clásica, entonces relativiza los elementos originarios claves de la teoría de conjuntos, sin poder garantizar su propia validez²⁶. Por ejemplo cuando Zadeh afirma que 'la verdad es un predicado fuzzy', o que la 'lógica se remite a valores y grados de verdad igualmente fuzzys'²⁷. En estos casos la noción básica de *verdad y falsedad*; se conceptualiza como un conjunto de elementos no correctamente ordenados, o no bien fundados, a pesar de afirmarse como un presupuesto implícito de la propia formalización de la teoría de conjuntos. Susan Haack no rechaza las posibles aportaciones que pueden hacer las así llamadas lógicas "alternativas" respecto de una posible renovación de los planteamientos clásicos. Ella misma hace notar las expectativas que generó Peirce al proponer una *lógica de la imprecisión o vaguedad* ("Vagueness")²⁸ o una lógica no-bivalente, que admite grados intermedios entre la verdad y la falsedad, a través por ejemplo de su propia noción de probabilidad subjetiva, o inductiva, sin que en ningún momento este tipo de propuestas haya supuesto una seria amenaza para los planteamientos clásicos. Sin embargo rechaza que la *lógica fuzzy*, al igual que otras así llamadas "lógicas alternativas" puedan aportar algo a la resolución de las paradojas que aún hoy día genera la teoría de conjuntos, u otras nociones metodológicas básicas, como la propia noción de probabilidad. En todo caso antes debería definir con mas claridad su postura respecto a otras nociones aún más elementales, como las ahora señaladas²⁹.

En su opinión, la *lógica fuzzy* en esos casos pierde la sensibilidad filosófica necesaria para plantearse este tipo de problemas con una mínima "bona fides" filosófica. Por

ejemplo, se admite la existencia de posibles grados de verdad con un creciente relativismo, sin poder garantizar tampoco la posible validez de sus propias reglas de argumentación³⁰. Todo ello le impide ser una *lógica estricta*, cosa que al parecer tampoco les preocupa. En este sentido Susan Haack califica a la *lógica fuzzy* de *lógica pervertida*, al menos cuando se la concibe como una disciplina rival a la teoría clásica de conjuntos de Boole, Frege o Peirce, como propuso Zadeh. Sin embargo no es el único caso. Según Haack, algo similar sucede con la *lógica objetos inexistentes* de Meinong, o con la así llamada *lógica paraconsistente de algunos dialécticos*, o con la *lógica intuicionista* de Dummett, o con las lógicas recíprocamente *incommensurables* de Quine³¹.

6.- Sangalli, 1998: Las virtualidades teóricas y prácticas de la lógica fuzzy.

Arturo Sangalli ha defendido en "*La importancia de ser fuzzy*"³², los planteamientos de Lotfi Zadeh en 1965. En su opinión, los 43 años transcurridos no han hecho sino confirmar las múltiples virtualidades teóricas y prácticas de sus propuestas. A su modo de ver la *lógica fuzzy* adolece de un conjunto de problemas debido al mal uso que se hicieron de las propuestas de Lotfi Zadeh, buscando aplicaciones en el cálculo de probabilidades³³, o en el ámbito estrictamente metodológico, o en la fundamentación de las matemáticas, cuando sus propuestas se referían a un ámbito muy concreto y delimitado³⁴: lograr una formalización de los *conjuntos imprecisos o borrosos*, mediante una ampliación de la lógica booleana de la teoría de conjuntos bien formados, y la aplicación de otras técnicas complementarias; por ejemplo, en 1965 Zadeh usó ciertos gráficos para representar el tipo de imprecisión de un conjunto borroso respecto de un modelo o arquetipo previamente fijado; o en 1990 Bart Kosko utilizó los ejes de coordenadas cartesianas para representar los '*grados de pertenencia*' de un determinado elemento a su correspondiente conjunto, desde un máximo hasta un mínimo, según cual fuera el grado de imprecisión o borrosidad; o en 1991 Hitachi ideó un dispositivo para identificar la autoría de una firma, en razón de los distintos grados de fiabilidad de la gráfica, como son los trazos, o la velocidad de escritura; en estos casos, a medida que *crece la complejidad* de un análisis se incrementa a su vez el *grado de incertidumbre* de sus conclusiones, aunque no por ello se renuncia a la posibilidad de enjuiciar el *grado de pertenencia* que en cada caso le corresponde respecto de un modelo previamente fijado como término de referencia³⁵.

²³ Cf. Haack, S. p. 230. Kosko, B.; *Fuzzy Thinking: The New Science of Fuzzy Logic*, Hyperion, New York, 1993.

²⁴ Cf. Logue, J.: *Projective Probability*, Clarendon, Oxford, 1995.

²⁵ Cf. Dorn, G. J. W.; *Deductive, Probabilistic and Inductive Dependence. An Axiomatic Study in Probability Semantics*, Peter Lang, Frankfurt, 1997.

²⁶ Cf. Gasarch, W. I.; Martin, G. A.; *Bounded Queries in Recursion Theory*, Birkhäuser, Boston, 1999.

²⁷ Cf. Zadeh, L.; 'Fuzzy Sets'. *Information and Control* 8: 338-53, 1965; 'Fuzzy Logic and Approximate Reasoning', *Synthese* 30: 407-25, 1975.

²⁸ Cf. Keefe, R.; Smith, P. (ed); *Vagueness. A Reader*, MIT, Cambridge (MA), 1996. Smith, B. (ed); *Vagueness, The Monist*, April 1998, 81, 2, The Hegeler Institut, La Salle, Illinois.

²⁹ Cf. Suppes, P. Zanotti, M.: *Foundations of probability with applications*, Cambridge University Press, Cambridge, 1996.

³⁰ Cf. Arnauld, A./Nicole, P.: *Logic or the Art of Thinking*, Cambridge University Press, Cambridge, 1996.

³¹ Cf. Read, S.: *Thinking about logic: an introduction to the philosophy of logic*, Oxford University Press, Oxford, 1994.

³² Cf. Sangalli, A.; *The Importance of Being Fuzzy, And other Insights from the border between Math and Computers*, Princeton University, New Jersey, 1998, 208 págs.

³³ Cf. Dembski, W. A.; *The Design Inference. Eliminating Chance Through Small Probabilities*, Cambridge University, Cambridge, 1998.

³⁴ Cf. Schinazi, R. B.; *Classical and Spatial Stochastic Processes*, Birkhäuser, Boston, 1999.

³⁵ Cf. Resnick, S.; *A Probability Path*, Birkhäuser, Boston, 1999.

Evidentemente estas propuestas siempre presuponen la formulación del teorema de Parikh acerca de la definición de vaguedad esencial o inerradicable para los espacios α -conexos, así como la validez de las medidas de Sugeno respecto a los conjuntos fuzzy, sin confundir incerteza e imprecisión. De igual modo que se aceptó la formalización de la así llamada *fisura* de Herbrand, según se separen precisamente las relaciones de tipo monotónico y nomonotómico, que generan los conjuntos borrosos, respecto al conjunto que genera la suma indistinta de ambos³⁶. Pero, según Sangalli, no ocurre lo mismo con el cálculo de probabilidades, ya que se trata de fenómenos totalmente aleatorios donde no se puede prefiar de antemano su modo de comportamiento, ni el grado de azar, o de verdad, siendo fenómenos aleatorios totalmente incompatibles con este tipo de mediciones fuzzy. Simultáneamente este mismo tipo de lógica ha tenido múltiples aplicaciones en el ámbito de las redes neuronales³⁷, o en la programación de las computadoras, o en el desarrollo de la automatización y los sistemas expertos. El argumento decisivo a su favor ha sido la viabilidad práctica de sus distintas propuestas. Pero, según Sangalli, la lógica fuzzy nunca debe presentarse como una solución alternativa al problema de la fundamentación última de las matemáticas, sino que debe reconocer su dependencia interna respecto del cálculo booleano³⁸.

Según Arturo Sangalli, el cálculo booleano también se aplica a la lógica fuzzy. En su opinión, los conjuntos imprecisos o borrosos se pueden considerar clases bien formadas desde un punto de vista conceptual, aunque para nosotros aparentemente no lo sean debido a la complejidad de los factores analizados, o a la ausencia de una técnica adecuada para medir su peculiar tipo de precisión conceptual³⁹. En este sentido la lógica fuzzy aporta técnicas muy precisas para abordar un tipo peculiar de objetos, al modo como también en la geometría clásica ocurrió con el método de las *exhauciones*, o de las aproximaciones al límite mediante sucesivas exclusiones; entonces también se reconoció la existencia de objetos que eran *incommensurables* desde el punto de vista de su medición, pero a la vez conceptualmente muy precisos, como de hecho ocurrió con el valor de ' π '. Con este fin se idearon diversos sistemas alternativos de medición con la máxima precisión posible, aunque ahora presentarían una dificultad añadida: la *lógica fuzzy* también se refiere a conjuntos de múltiples variables, todas ellas igualmente imprecisas o borrosas desde el punto de vista de la medición, dando lugar a *hiperconjuntos* o *hipercubos* de infinitas dimensiones, sin que ello merme su capacidad de definición conceptual. En este sentido la lógica fuzzy exige pruebas, o *hiperpruebas metamatemáticas*, que garanticen la validez de sus

proyectos, al modo como se ha hecho habitual en las distintas ramas de las matemáticas desde los tiempos de Hilbert en 1928, incluyendo incluso la posibilidad de una *automatización* de este tipo de cálculo, como ya propuso Turing en los años 30, sin ser tampoco en esto una excepción⁴⁰.

7.- Hacia una ampliación revolucionaria de la automatización informática.

Para justificar estas conclusiones la monografía se divide en tres partes, con seis capítulos en conjunto. En '*Visiones borrosas*' se analiza las dos características aparentemente opuestas de la lógica fuzzy: la incertidumbre de sus límites taxonómicos, y la precisión y efectividad de sus técnicas de control estratégico⁴¹. En '*Límites*' se describen las virtualidades teóricas y prácticas de la *lógica fuzzy*: por un lado, la ampliación de cálculo automático hasta ámbitos reacios a cualquier tipo de formalización; por ejemplo, los sistemas complejos mecánicamente indecibles, pero capaces de valorar el grado de imprecisión o incertidumbre que en cada caso les corresponde⁴²; por otro lado, la posible axiomatización y automatización de la *lógica fuzzy*, a fin de dar una respuesta a problemas hasta ahora considerados insolubles; por ejemplo, el así llamado mapa de los cuatro colores, resuelto definitivamente por Appel y Haken en 1976 con ayuda de una computadora, mediante un método de exclusiones o exhauciones de los distintos gráficos mutuamente incompatibles, que dan lugar a un cálculo matemático excesivamente complejo para la mente humana, pero automatizable. Finalmente, en '*Soluciones naturales*' se analizan dos ámbitos de aplicación de la lógica fuzzy: por un lado, el ámbito técnico-práctico de sus posibles aplicaciones a los modelos de redes neuronales, a la ingeniería genética, a los sistemas de seguridad informática, a la inteligencia artificial, o a la explotación agrícola⁴³; por otro lado, el ámbito teórico-especulativo respecto de sus posibles aportaciones a la solución del problema de la selección natural, de los modelos evolutivos genéticos, del crecimiento de población o de los índices de supervivencia. Todo ello, finalmente, conduce a un replanteamiento del *dilema del prisionero*, en su nueva versión del *dilema del representante comercial*, donde toda opción resulta igualmente contraproducente, salvo que se recurra a unos 'criterios de pertenencia' o 'preferencia', como los ahora expuestos. A partir de aquí se propone una nueva valoración de la naturaleza del aprendizaje instrumental, o del coeficiente intelectual, o del propio sentido evolutivo de la historia natural⁴⁴.

³⁶ Cf. Brewka, G.; Dix, J.; Konolige, K.; *Nonmonotonic Reasoning. An Overview*, CSLI, Stanford University, Stanford, 1997.

³⁷ Cf. Nauck, D.; Klawon, F.; Kruser, R. (ed); *Neuronale Netze und Fuzzy Systeme: Grundlagen des Konnektionismus, Neuronaler Fuzzy Systeme und koplung mitwissensbasierte Methoden*, Vieweg, Braunschweig, 1994.

³⁸ Cf. Watton, D.; *Argument Structures. A Pragmatic Theory*, University Press, Toronto, 1996.

³⁹ Cf. Schum, D. A.; *Evidential Foundations of Probabilistic Reasoning*, John Wiley & Sons, New York, 1994.

⁴⁰ Cf. Höhle, U.; *Mathematics of Fuzzy Sets*, Kluwer, Dordrecht, 1999.

⁴¹ Cf. McEneaney, W. M.; Yin, G. G.; Zhang, Q. (eds); *Stochastic Analysis, Control, Optimization and Applications. A Volume in Honor of W. H. Fleming*, Birkhäuser, Boston, 1999.

⁴² Cf. Weirich, P.; *Equilibrium and Rationality: Game Theory revisited by Decision Rules*, Cambridge University, Cambridge, 1998.

⁴³ Cf. Wirth, W.; Schweiger, W. (Hrsg.); *Selektion im Internet. Empirische Analysen zu einen Schlüsselkonzept*, Westdeutscher, Wiesbaden, 1999.

⁴⁴ Cf. Smithson, M.; *Fuzzy set analysis for behavioral and social sciences*, Springer, New York, 1987.

Evidentemente Arturo Sangalli ha elaborado una tesis muy sugerente y ambiciosa que, sin duda alguna, dará lugar a posteriores desarrollos mas pormenorizados. A este respecto resulta de gran interés su afán por encontrar un punto de vista unificador, donde la lógica vuelve a desempeñar un papel regulador básico, al modo como también ocurre en las propuestas de Popper, o de Bertrand Russell⁴⁵. Pero precisamente aquí reside la objeción más seria que se puede formular a su propuesta: ¿Realmente este programa de ampliación de la lógica fuzzy hasta los extremos que ahora se nos detalla es coherente con las propuestas de Lotfi Zadeh? ¿Realmente se puede considerar la lógica fuzzy como un mero complemento de la lógica booleana, manteniendo en todo momento una dependencia casi total respecto de sus propuestas teóricas, incluida ahora también la posible aplicación de esta lógica a la totalidad de la historia natural del universo, cuando Lotfi Zadeh, en opinión de Susan Haack, pretendió desarrollar una lógica alternativa totalmente abierta, sin prejuzgar por ello el orden existente en el universo físico, como en cambio ocurre en Boole⁴⁶.

8.- Conclusión: ¿Perversión lógica o condición humana?

Evidentemente hoy nadie discute las virtualidades tecnológicas de la *lógica fuzzy*, mientras que la teoría de conjuntos se reserva los problemas nunca suficientemente resueltos de la axiomatización y de la fundamentación última⁴⁷, sin que al parecer a la lógica fuzzy le preocupe excesivamente este reparto de papeles, ni la posible perversión de la lógica⁴⁸. Sin embargo esta situación es al menos anómala y ambas disciplinas están llamadas a entenderse. A este respecto la *lógica fuzzy* antes o después tendrá que afrontar con sus propias técnicas de análisis estos problemas de fundamentación última que, al parecer, de momento ha ido soslayando; especialmente cuando se le acusa de parasitismo o dependencia de la lógica booleana, cuando a la vez ella misma reivindica una autonomía o carácter *alternativo* que, al menos para Susan Haack, sería sinónimo de una *perversión lógica*. Sin embargo la lógica fuzzy presenta a este respecto una novedad, que habitualmente no se tiene en cuenta: la *lógica fuzzy* hizo de la debilidad virtud y de la imprecisión su mejor defensa, poniendo de manifiesto como el rigor del análisis matemático es compatible con el reconocimiento de sus propias *condiciones de finitud*⁴⁹.

Carlos Ortiz de Landázuri

⁴⁵ Cf. Garcíadiego Dantan, A. R.; *Bertrand Russell and the Origins of the Set-theoretic 'paradoxes'*, Birkhauser, Basel, 1992.

⁴⁶ Cf. Nencka, H.; Bourguignon, J-P. (eds); *Geometry and Nature*, American Mathematical Society, Providence, 1997.

⁴⁷ Cf. Balakrishnan, N. (ed); *Advances in Combinatorial Methods and Applications to Probability and Statistics*, Birkhäuser, Boston, 1997, 562 págs.

⁴⁸ Cf. Kaplan, M.; *Decision Theory as Philosophy*, Cambridge University, Cambridge, 1996.

⁴⁹ Cf. Spangler, M.M. / Conway, P. (y otros): *Logic: an Aristotelian approach*, University Press of America, Lanham, 1993.