

Nota sobre la vaguedad

1. LA PERCEPCIÓN DE LO BORROSO

«Vaguedad», «borrosidad», «ambigüedad», «incertidumbre», «imprecisión» y muchos otros términos similares forman parte de una familia de conceptos que, como no podía ser menos, son difíciles, si no imposibles, de definir. Todos ellos los solemos utilizar para dar cuenta de un fenómeno tan evidente como incómodo: la carencia de precisión absoluta en el lenguaje y en el entendimiento humanos. Como suele ocurrir, Aristóteles ya percibió este hecho y así, en la *Ética Nicomaquea*, afirma:

«Nuestra exposición será suficientemente satisfactoria, si es presentada tan claramente como lo permite la materia; porque no se ha de buscar el mismo rigor en todos los razonamientos, como tampoco en todos los trabajos manuales. Las cosas nobles y justas que son objeto de la política presentan tantas diferencias y desviaciones, que parecen existir sólo por convención y no por naturaleza. Una inestabilidad así la tienen también los bienes a causa de los perjuicios que causan a muchos; pues algunos han perecido por causa de su riqueza, y otros por su coraje. Hablando, pues, de tales cosas y partiendo de tales premisas, hemos de contentarnos con mostrar la ver-

dad de un modo tosco y esquemático. Y cuando tratamos de cosas que ocurren generalmente y se parte de tales premisas, es bastante con llegar a conclusiones semejantes. Del mismo modo se ha de aceptar cada uno de nuestros razonamientos; porque es propio del hombre instruido buscar la exactitud en cada materia en la medida en que admite la naturaleza del asunto; evidentemente, tan absurdo sería aceptar que un matemático empleara la persuasión como exigir de un retórico demostraciones»¹.

Aristóteles se refería a la imposibilidad de considerar a la ciencia política como una ciencia exacta, pero su idea es extensible al conjunto del conocimiento humano, tal y como sugiere Karl Popper:

«(...) precisión y certeza son, ambas, falsos ideales. Son imposibles de alcanzar y, por tanto, peligrosamente equívocas si se las acepta como guías de una manera *acrítica*. *La búsqueda de precisión es análoga a la búsqueda de la certeza*, y tanto una como otra deberían ser abandonadas. No estoy sugiriendo, por supuesto, que un incremento en la precisión de, digamos, una predicción, o incluso de una formulación, no puede ser a veces altamente deseable. Lo que sugiero es que *siempre es indeseable hacer un esfuerzo para aumentar la precisión por ella misma —especialmente la precisión lingüística—, puesto que ello conduce usualmente a una pérdida de claridad, y a un derroche de tiempo y esfuerzo en preliminares con frecuencia inútiles, ya que son superados por el avance real en la materia: nunca se debería ser más preciso de lo que demanda la situación problema*»².

Aristóteles y Popper mantienen la idea de que el entendimiento humano no puede buscar precisión allí donde no la hay. A pesar de

1 Aristóteles, *Ética Nicomaquea* (1094b), Ed. Gredos, Madrid 1988.

2 Karl Popper, *Búsqueda sin término*, Ed. Tecnos, Madrid 1977, p. 33.

ello, vaguedad e imprecisión no han sido platos de gusto ni para filósofos ni para científicos. En el artículo «Borroso» de su clásico *Diccionario de Filosofía*, José Ferrater Mora así lo sostiene:

«Se ha considerado que debe evitarse (en filosofía) la vaguedad. Si es así, deben evitarse asimismo los conceptos borrosos o las proposiciones con significación borrosa. Sin embargo, se ha ido reconociendo crecientemente que lo vago o borroso puede ser inevitable y hasta deseable. Ello puede suceder de dos modos: o bien sosteniendo que un concepto es constitutivamente vago o borroso y que hay que aceptar este hecho supuestamente deplorable, o bien poniendo de relieve que el carácter vago o borroso del concepto es preferible a su carácter claro, ya que aquello que el concepto denota es tan vago y borroso como el concepto. En el último sentido reconocía Wittgenstein que algunos conceptos no tienen "aristas claras" o "bien definidas" o "cortantes"»³.

Esta cita nos da pie para considerar brevemente los dos sentidos básicos, aderezados con múltiples versiones y matizaciones, en que es analizado el fenómeno de la vaguedad a lo largo de la literatura sobre el problema⁴: 1) En un sentido, la vaguedad es interpretada como una carencia o un defecto de nuestro conocimiento sobre el mundo, es tratada, pues, como «incertidumbre» y se considera objeto de estudio por parte de la teoría de la probabilidad; el problema de la vaguedad es entendido fenomenológicamente. 2) En el segundo sentido, la vaguedad se considera como una característica intrínseca del lenguaje natural y del entendimiento humano y, por tanto, también del mundo; la vaguedad, en este sentido, tendría un signifi-

3 José Ferrater Mora, *Diccionario de Filosofía*, (artículo 'Borroso'), Ed. Círculo de Lectores, Barcelona 1991.

4 Puede encontrarse una buena introducción al problema de la vaguedad en el artículo de Julián Velarde, 'Análisis Gnoseológico de la Teoría de los Sistemas Difusos (I)', *El Basilisco*, 2.^a época, n. 10 (1991).

cado lingüístico y ontológico. Dentro de esta última corriente, tal y como señala Ferrater Mora, habría una subdivisión espiritual, particularmente en el campo de la lógica y la epistemología, entre «optimistas» (los que ven en la vaguedad una de las características que hacen del entendimiento humano un instrumento útil y potente para conocer el mundo) y «pesimistas» (aquellos que consideran a la vaguedad como una verdadera desgracia, a eliminar en la medida en que sea posible).

Entendida en su sentido fenomenológico, como «incertidumbre», la vaguedad juega un papel esencial en la ciencia. Como vimos en las citas de Aristóteles y Popper, la propia configuración de los problemas establece una situación en la cual es ilusorio plantear descripciones exactas, mediciones precisas y predicciones completamente fiables; la incertidumbre es, pues, un fenómeno insoslayable en el campo de las ciencias naturales (piénsese, sin ir más lejos, en la mecánica cuántica) y es el núcleo esencial de las ciencias humanas (si es que se considera que puedan existir «ciencias humanas» que no sean otra cosa que incertidumbre). Pero la vaguedad, como dijimos antes, se sitúa en una dimensión fenomenológica, tal es la posición de Bertrand Russell en uno de los estudios pioneros sobre el tema:

«Vaguedad o precisión son características que pertenecen a una representación... tienen que ver con la relación entre una representación y lo que representa»⁵.

La vaguedad no es una propiedad del mundo sino un atributo esencial de las teorías científicas que debe ser asumido, aunque con las recomendaciones que sugiere Settimo Termini⁶:

⁵ Bertrand Russell, 'Vagueness', *Australian Journal of Philosophy* 1 (1923), p. 85. Tomamos la cita de Settimo Termini, 'Aspects of Vagueness and Some Epistemological Problems Related to their Formalization', en Skala, H.; Termini, S., y Trillas, E., *Aspects of Vagueness*, Ed. Reidel, Dordrecht, 1984, pp. 205-230.

⁶ Settimo Termini, op. cit., p. 208.

«(...) la noción general de vaguedad puede y debe jugar un papel central en las teorías científicas sólo bajo las dos siguientes condiciones: *a*) Debe haber un concepto unificado con respecto a todos los varios aspectos que la «carencia de precisión» presenta en las teorías científicas; *b*) debe ser compatible con las presuposiciones generales usuales en la ciencia. Finalmente, debería ser tan innovadora como fuera posible con respecto a las teorías específicas, aproximaciones y fundamentos tradicionales (como consecuencia de interpretar el punto *a*) seriamente)».

El segundo sentido en que es interpretada la vaguedad centra su punto de mira en el lenguaje. Tradicionalmente, el «síntoma» a través del cual se ha manifestado dicha vaguedad son una serie de paradojas conocidas desde la antigüedad clásica, como la de Eubúlides (también llamada *falakros* o «el calvo»), cuya formulación se podría ejemplificar del siguiente modo⁷:

- (1) p = Un hombre sin pelo en la cabeza es calvo.
- (2) q = Un hombre con un pelo más que un hombre calvo es también calvo,
o, formulado de otro modo,
si un hombre con n pelos en la cabeza es calvo,
entonces un hombre con $n + 1$ pelos en la cabeza es calvo.
- (3) r = Un hombre con un millón de pelos en la cabeza es calvo.

La conclusión (3) se obtiene a partir de las premisas mediante la aplicación, un millón de veces, del *modus ponens* y la *instanciación universal*. Es una conclusión falsa que se obtiene a partir de premisas verdaderas si estas son interpretadas como verdaderas en sentido

7 Tomamos la enunciación de la paradoja según J. Velarde, op. cit., p. 37.

absoluto. Del mismo paño están cortadas paradojas como la del *sorites* («el montón», donde los pelos que forman la cabellera son sustituidos por los granos de arena que forman un «montón»⁸), o la que Michael Dummett llama la «paradoja de Wang» (en homenaje al gran lógico chino Hao Wang⁹):

- (p) 0 es pequeño.
- (q) Si n es pequeño, $n + 1$ es pequeño.
- (r) Por consiguiente, todo número es pequeño.

Todas son, en realidad, la misma paradoja, la que surge cuando pretendemos interpretar como exactos conceptos que son esencialmente *vagos*, es decir, predicados que carecen de un criterio estricto y certero de aplicabilidad y que son, con diferencia, la mayoría de predicados de los lenguajes naturales¹⁰. Salta a la vista que asumir plenamente la falta de claridad y de límites precisos como una característica esencial del lenguaje (tal y como hace el segundo Wittgenstein) nos conduce a una crisis en la concepción tradicional de la lógica, en particular significa no admitir axiomáticamente el principio de tercio excluso, ya que no se podría decir de ninguna proposición que contenga predicados vagos «o es verdadera o no lo es»; ello nos llevaría a una nueva concepción de la verdad¹¹. Este hecho ha provocado una considerable polémica en el campo de la lógica entre los que al principio denominábamos «optimistas» (para los cuales la

8 Estudios exhaustivos sobre estas paradojas son: Bertil Rof, 'Sorites', *Synthese* 58 (1984), pp. 219-250, y Stephen E. Weiss, 'The sorites fallacy: What difference does a peanut make?', *Synthese* 33 (1976), pp. 253-272.

9 Michael Dummett, 'Wang's Paradox', *Synthese* 30 (1975), pp. 301-324.

10 Amplias introducciones al concepto de «predicado vago» son: Kenton F. Machina, 'Vague predicates', *American Philosophical Quarterly*, vol. 9, n. 3 (1972), pp. 225-233, y Crispin Wright, 'On the coherence of vague predicates', *Synthese* 30 (1975), pp. 325-365.

11 Véase R. R. Verma, 'Vagueness and the principle of excluded middle', *Mind* 79 (1970), pp. 66-77; David H. Sanford, 'Competing semantics of vagueness: many values versus super-truth', *Synthese* 33 (1976), pp. 195-210, y Kit Fine, 'Vagueness, truth and logic', *Synthese* 30 (1975), pp. 265-300.

lógica debe acoger a la vaguedad en su seno, aceptando, si es preciso, una ruptura con la lógica clásica como la que podría suponer una lógica polivalente que aceptara un tercer valor de verdad para enunciados «ni verdaderos ni falsos») y los «pesimistas» (quienes consideran que las sentencias vagas son un defecto del lenguaje natural y están fuera del alcance de la lógica, que debe ser «depurada» de ellas)¹².

En estas dos posturas, que hemos expuesto superficialmente, estaba centrado el estudio de la vaguedad antes de la aparición de la obra de Lotfi A. Zadeh.

2. LA APORTACIÓN DE LOTFI A. ZADEH

En 1965 Lotfi A. Zadeh, un ingeniero norteamericano de origen iraní¹³, inicia una nueva era en el estudio de la vaguedad con la

12 Una excelente exposición de la polémica se encuentra en el libro de Susan Haack, *Lógica divergente*, Ed. Paraninfo, Madrid 1979, pp. 116-130. La propia tesis de la autora es bastante ecléctica, aunque en principio hostil a la vaguedad. Su conclusión es ésta: «1) Las sentencias vagas no pueden ser bivalentes, 2) Están, además, dentro del alcance de la lógica, 3) Sin embargo, una división de las sentencias vagas en tres clases: verdaderas, falsas y ni verdaderas ni falsas es propensa a dar resultados tan antiintuitivos como los que se seguirían en el uso de una lógica bivalente, 4) Y el programa propuesto por Carnap de argumentos que precisan el lenguaje ordinario es factible. Pues, a pesar de reemplazar las expresiones vagas por precisas, puede llevar a la incertidumbre debida a técnicas de medida inadecuadas, incertidumbre que no amenaza a la bivalencia, 5) Así parece que es más económico no modificar la lógica para hacer frente a la vaguedad sino más bien mirar la lógica clásica como una idealización de los argumentos que en el discurso ordinario se quedan cortos pero a los que puede aproximarse» (p. 130).

13 Nacido en 1921 en Bakú (capital de Azerbaiyán, en la antigua URSS), de padres iraníes, estudió en la Universidad de Teherán, Irán, trasladándose en 1944 a Estados Unidos, donde estudia en el M.I.T. y se doctora en ingeniería eléctrica en la Columbia University de Nueva York en 1949. Desde 1959 es catedrático en el Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de California, Berkeley, departamento que dirigió entre 1963 y 1968. Es miembro de la Academia Nacional de Ingeniería, del Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (IEEE) y de la Academia

publicación de un artículo ya clásico: «Fuzzy Sets»¹⁴ («Conjuntos Borrosos»). Zadeh era un especialista reconocido en automática y sistemas de control, es decir, en la construcción de modelos matemáticos que rigen el comportamiento de sistemas para que estos lleguen al estado deseado (por ejemplo, el pilotaje de un avión). Distinguiendo entre *sistemas mecánicos*, regidos por las leyes de la física, y *sistemas humanísticos*, es decir, aquellos cuya conducta depende del juicio humano, percepciones y emociones (el comportamiento de un individuo solitario, pero también de un sistema económico, social, político, etc.), Zadeh centra su interés en estos últimos y se pregunta cómo es la representación del conocimiento en el control sobre esos sistemas.

A la cuestión que se plantea Zadeh se le puede acusar de todo menos de falta de pretensiones ambiciosas: ¿Cuáles son los elementos clave que rigen el conocimiento y el comportamiento de los sistemas humanísticos, es decir, de los seres humanos? ¿De qué manera selecciona el cerebro de entre la infinidad de datos que recibe continuamente aquellos que son relevantes para la ejecución de una tarea determinada como, por ejemplo, aparcar un coche? Para Zadeh, los elementos clave en el pensamiento humano no son números, sino etiquetas de conjuntos borrosos, es decir, clases de objetos en los cuales la transición de la pertenencia a la no pertenencia es gradual más bien que abrupta. En «Fuzzy Sets» plantea un concepto de conjunto distinto al concepto tradicional, en el cual un elemento o bien pertenece o bien no pertenece al conjunto, y sugiere que la pertenencia a un conjunto es una cuestión de grado en el intervalo $[0, 1]$ (de la no pertenencia a la pertenencia total). Partiendo de esta idea llega a la conclusión de que la inmensa mayoría de las categorías que utilizamos son categorías borrosas y que esta «borrosidad» es la característica fundamental del entendimiento humano y lo que le diferencia

Americana de Artes y Ciencias (AAAS). Su obra goza de reconocimiento mundial. En 1989 recibió, en Japón, el premio Honda.

14 Lotfi A. Zadeh, 'Fuzzy Sets', *Information and Control* 8 (1965), pp. 338-353.

del tipo de «inteligencia» mecánica incorporada en los computadores digitales:

«La habilidad del cerebro humano, que pesa sólo alrededor de 1.500 gramos, para manipular complicados conceptos borrosos y actuar sobre inputs sensoriales borrosos multidimensionales le dota de una capacidad para resolver más bien fácilmente una amplia variedad de problemas los cuales, si fueran formulados en términos cuantitativos precisos, excederían el poder de computación del más poderoso y sofisticado computador digital existente. La explicación para esta aparente paradoja es que, en muchos casos, la solución a un problema no necesita ser exacta, así que una considerable medida de borrosidad en su formulación y resultados puede ser tolerable. El cerebro humano está diseñado para extraer ventaja de esta tolerancia para la imprecisión mientras que un computador digital, que necesita de instrucciones y datos precisos, no. Es primariamente por esta razón que un problema que sería contemplado como simple por un adulto retrasado mental, podría ser computacionalmente infactible para una máquina equipada con una muy amplia memoria y operando a alta velocidad. Un ejemplo común de tal problema es aparcar un coche. Los humanos pueden aparcar un coche fácilmente y sin hacer uso de medidas cuantitativas mientras que la posición terminal del coche esté especificada borrosamente más que precisamente. De otro lado, programar a un computador para aparcar un coche en un lugar específico sería un problema muy dificultoso que incluiría datos cuantitativos precisos sobre la posición del coche, sus dimensiones, dinámicas y espacio de aparcamiento»¹⁵.

15 Lotfi A. Zadeh, 'Fuzzy Languages and their Relation to Human and Machine Intelligence', *Proceedings of the International Conference on Man and Computer* (Bordeaux 1970), S. Karger, Basel 1972, pp. 130-165, cita en pp. 131-132.

Volvamos a la cuestión de los sistemas. Si los elementos principales del entendimiento y la conducta humanas son etiquetas de conjuntos borrosos, el estudio de los sistemas humanísticos (no sólo individuos aislados, sino sistemas sociales, políticos, económicos etc.) no puede estar basado en análisis cuantitativos precisos: «Desafortunadamente, hay una incompatibilidad entre precisión y complejidad»¹⁶. Ello lleva a Zadeh a la formulación de un principio básico en su pensamiento: *el principio de incompatibilidad*. Tal y como lo enuncia en uno de sus primeros trabajos «fuzzy», dicho principio reza así:

«Hablando informalmente, la esencia de este principio es que a medida que se incrementa la complejidad de un sistema, nuestra habilidad para proferir enunciados precisos y aun significativos sobre su conducta disminuye hasta alcanzar un umbral más allá del cual precisión y significatividad (o relevancia) llegan a ser características mutuamente excluyentes»¹⁷.

El principio de incompatibilidad es el pilar filosófico del pensamiento de Lotfi A. Zadeh mientras que la teoría de conjuntos borrosos es la herramienta matemática básica. La tercera columna vertebral de sus trabajos es lo que podríamos denominar, tomando el término prestado de otro contexto, el «giro lingüístico». Para Zadeh, la habilidad humana para sumarizar información encuentra su más pronunciada manifestación en el uso de los lenguajes naturales que, como dijimos en la sección anterior, son la manifestación por excelencia de la vaguedad. Por ello los sistemas humanísticos no utilizan variables numéricas sino las variables que mejor expresan la vague-

16 'Coping with the Imprecision of the Real World: An Interview with Lotfi A. Zadeh', *Communications of the A.C.M.* 27 (abril 1984), pp. 304-311, reimpresso en Yager, R. R.; Ovchinnikov, S.; Tong, R. M.; Nguyen, H. T. (eds.), *Fuzzy Sets and Applications. Selected Papers by L.A. Zadeh*, Ed. John Wiley & Sons, New York 1987, cita en p. 23.

17 Lotfi A. Zadeh, 'Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes', *IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics*, SMC-3 (1973), pp. 28-44, reimpresso en Yager et al., cita en pp. 106-107.

dad e imprecisión: *variables lingüísticas* cuyos valores, generados sintácticamente por una gramática que inducirá a su vez una operación sobre conjuntos borrosos, serán entendidos como «etiquetas» de conjuntos borrosos (así, por ejemplo, los valores de la variable lingüística *Edad* serán los conjuntos borrosos denotados por *joven, viejo, bastante joven, muy viejo*, etc.¹⁸). La imprecisión, en Zadeh, es eminentemente lingüística, en un doble sentido: por un lado el lenguaje será utilizado como un instrumento fundamental en el diseño formal de los sistemas humanísticos, por otro lado, la teoría de conjuntos borrosos (y derivaciones de ella, como la *teoría de la posibilidad*) será utilizada en la construcción de una metateoría para representar el significado de los lenguajes naturales. Dicho de otro modo, en Zadeh el lenguaje, como máxima expresión de la vaguedad, es una herramienta fundamental de la teoría de sistemas humanísticos (borrosos) y, a la vez, es uno de los más importantes objetos de estudio de dicha teoría.

Así pues, la obra de Zadeh ha de ser incluida plenamente en la corriente que contempla la vaguedad en su aspecto lingüístico y, por tanto, ontológico. La vaguedad es el rasgo fundamental del entendimiento humano y del mundo real.

Tras la publicación de «Fuzzy Sets» la comunidad intelectual ha utilizado profusamente las ideas de Zadeh a la hora de enfrentarse al fenómeno de la vaguedad. En primer lugar, para resolver (o más bien «disolver») las molestas paradojas del calvo y el montón, pues en cuanto que se le añade un pelo al calvo se reduce gradualmente su pertenencia al conjunto de los calvos¹⁹. Seguidamente, a medida

18 Una introducción completa al concepto de variable lingüística se encuentra en Lotfi A. Zadeh, 'The Concept of Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning', Parts I y II, *Information Sciences* 8 (1975), pp. 199-249, 301-357, y Part III, *Information Sciences* 9 (1976), pp. 43-80, todos también en Yager et al., pp. 219-366.

19 A la resolución de las paradojas se dedican las primeras secciones de dos de los trabajos más importantes y pioneros del pensamiento borroso, siguiendo la estela de Zadeh: J. A. Goguen, 'The logic of inexact concepts', *Synthese* 19 (1968-69), pp. 325-373, y B. R. Gaines, 'Foundations of Fuzzy Reasoning', *International Journal*

que Zadeh iba publicando sus trabajos cada vez era mayor el número de investigadores de todos los campos (matemáticos, informáticos, filósofos, lingüistas, sociólogos, economistas, psicólogos, etc.) que hacían uso de sus ideas o las desarrollaban. Veamos brevemente esta evolución.

En los primeros años setenta, Zadeh empieza a utilizar la teoría de conjuntos borrosos en el estudio de los lenguajes naturales. El objetivo que se marcó a partir de entonces fue el diseño de sistemas formales computacionales que sirvieran como modelos para lo que él entiende como fundamental en el entendimiento humano: el razonamiento aproximado y de sentido común. Ello le llevó a distanciarse del instrumento habitual que se utilizaba en la representación del conocimiento (especialmente en la inteligencia artificial): la lógica bivalente, y su manifestación más excelsa: el cálculo de predicados de primer orden. Como dice en uno de sus trabajos más recientes:

«Los métodos convencionales para la representación del conocimiento carecen de medios para la representación del significado de los conceptos borrosos. A consecuencia de ello, las aproximaciones basadas en la lógica de primer orden y teoría clásica de la probabilidad no proporcionan un marco conceptual adecuado para entenderse con la representación del conocimiento de sentido común, ya que dicho conocimiento es, por naturaleza, léxicamente impreciso y no categórico»²⁰.

La lógica que utilizará el razonamiento aproximado no será, por tanto, la lógica clásica bivalente, sino una «lógica borrosa» (*fuzzy logic*), que será entendida como una extensión de la lógica infinita-

of Man-Machine Studies 8 (1976). Véase también, a este respecto, J. F. Baldwin y N. C. F. Guild, 'The resolution of two paradoxes by approximate reasoning using a fuzzy logic', *Synthese* 44 (1980), pp. 397-420.

²⁰ Lotfi A. Zadeh, 'La representación del conocimiento en lógica borrosa', en Trillas, E., y Gutiérrez Ríos, J., *Aplicaciones de la lógica borrosa*, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid 1992, pp. 51-73, cita en p. 52

mente polivalente de Lukasiewicz (con infinitos grados de verdad en el continuo $[0, 1]$), pero que irá mucho más allá al considerar la *Verdad* como una variable lingüística cuyos valores serán conjuntos borrosos formados sobre el intervalo $[0, 1]$ y denotados por etiquetas como *verdadero*, *algo verdadero*, *más o menos verdadero*, *bastante falso*, etc. Por tanto, Zadeh va más allá de Lukasiewicz: no es sólo que haya infinitos valores de verdad sino que el propio concepto de verdad es borroso²¹. La posición de Zadeh es la radicalización absoluta de lo que antes denominábamos «optimismo». Si se nos permite un símil, diríamos que la vaguedad no es sólo una convidada en el banquete de la lógica, sino que es la anfitriona: la lógica clásica y el razonamiento exacto son casos límite del razonamiento aproximado²².

Estas teorías encontraron desde el principio un buen número de seguidores, a los que no les faltó entusiasmo (y también críticos no menos entusiastas). Cada nuevo artículo de Zadeh (especialmente «Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes», donde enuncia por primera vez el concepto de *variable lingüística*) provocaba un aluvión de «conversos» y el número de publicaciones crecía más que exponencialmente, especialmente dentro del campo de la inteligencia artificial y el análisis de sistemas²³.

21 La exposición del concepto de verdad borrosa se encuentra en Lotfi A. Zadeh, 'Fuzzy Logic and Approximate Reasoning', *Synthese* 30 (1975), pp. 407-428.

22 Lo cual le ha valido, entre otras críticas, la de Susan Haack. Vimos en la nota 12 que su postura era hostil a la vaguedad, aunque algo conciliadora. La aparición posterior de la propuesta de Zadeh le merece una crítica más severa: «La precisión es ciertamente un *desideratum* demasiado central e importante de la formalización para abandonarlo fácilmente», *Filosofía de las lógicas*, Ed. Cátedra, Madrid 1982, p. 191.

23 Actualmente las publicaciones sobre «lo borroso» superan las 5.000. Existen tres publicaciones periódicas específicas: *Matemática borrosa* (publicada en China), *Busefal* (Francia) y, la más importante, *Fuzzy Sets and Systems*, publicación oficial de la I.F.S.A. (International Fuzzy Systems Association). El campo de aplicación de las teorías borrosas es amplísimo aunque sus desarrollos más importantes cuantitativa y cualitativamente se han dado en el campo de la matemática (que ha seguido una línea independiente que arranca directamente de la teoría de conjuntos borrosos), en las ciencias humanas y en la ingeniería del conocimiento. Curiosamente, las ideas de

El siguiente hito en la obra de Zadeh fue la utilización de los conjuntos borrosos para formular una *teoría de la posibilidad* como complementaria a la teoría de la probabilidad²⁴. Haciendo hincapié en los aspectos lingüísticos frente a los fenomenológicos, Zadeh plantea una teoría sobre el *significado* de las proposiciones más que sobre la *medida* de la verdad de dichas proposiciones, sobre la *imprecisión* más que sobre la *incertidumbre*. Ha sido una de sus ideas más polémicas, pero también más fructíferas. El concepto básico de la teoría, la *distribución de posibilidad*, se añade a todas las ideas previas enriqueciendo considerablemente el estudio del razonamiento aproximado. Es un concepto fundamental para la representación del conocimiento.

Desde 1978, año de la aparición de la teoría de la posibilidad, Zadeh utiliza todas sus ideas en la construcción de un marco formal para la representación del significado en los lenguajes naturales. Para ello crea un metalenguaje, el lenguaje PRUF (acrónimo de «Possibilistic Relational Universal Fuzzy»²⁵) y un método de análisis semántico: el *test-score*²⁶. De modo complementario se dedica a desarrollar nuevos conceptos y teorías para el estudio de los diversos modos de razonamiento aproximado, especialmente una teoría sobre el sentido común²⁷. Todos estos desarrollos, como ya hemos apuntado, tienen

Zadeh han fructificado especialmente en Oriente: sólo en China hay entre 2.000 y 3.000 investigadores dedicados a la lógica borrosa y 1000 en Japón. Este último país ha convertido a la lógica borrosa en una de las líneas prioritarias de investigación en inteligencia artificial. Hay que decir también que España es uno de los países punteros en este campo, sobre todo gracias al impulso de Enric Trillas, el introductor de los conjuntos borrosos en nuestro país, véase su libro *Conjuntos borrosos*, Ed. Vicens Vives, Barcelona 1980, y el ya citado *Aplicaciones de la lógica borrosa*, que reúne una serie de trabajos recientes de los más importantes investigadores españoles en este campo.

24 Lotfi A. Zadeh, 'Fuzzy Sets as a Basis for a Theory of Possibility', *Fuzzy Sets and Systems* 1 (1978), pp. 3-28.

25 Lotfi A. Zadeh, 'PRUF - A Meaning Representation Language for Natural Languages', *International Journal of Man-Machine Studies* 10 (1978), pp. 395-460.

26 Lotfi A. Zadeh, 'Test-Score Semantics as a Basis for a Computational Approach to the Representation of Meaning', *Literary and Linguistic Computing* 1 (1986), pp. 24-35.

27 Lotfi A. Zadeh, 'A Theory of Commonsense Knowledge', en Skala, H. J.; Termini, S., y Trillas, E., *Aspects of Vagueness*, Ed. Reidel, Dordrecht 1984, pp. 257-296.

dos características esenciales: son teorías eminentemente lingüísticas y están orientadas computacionalmente, es decir, destinadas fundamentalmente a ser implementadas en sistemas computacionales (sobre todo en los denominados *sistemas expertos* ²⁸).

Al igual que sucedió en su día con la cibernética, las teorías de Zadeh tienen su origen en problemas prácticos y su desarrollo ha sido eminentemente técnico, pero constituyen ideas tremendamente sugerentes desde un punto de vista filosófico. La teoría de sistemas borrosos es casi un paradigma antropológico aunque hasta ahora el núcleo principal de sus aplicaciones esté en la técnica y en la industria. A su desarrollo contribuyen hoy en día un gran número de investigadores y empresas de todo el mundo.

JOSÉ ANTONIO DE LA RUBIA GUIJARRO

28 Lotfi A. Zadeh, 'The Role of Fuzzy Logic in the Management of Uncertainty in Expert Systems', *Fuzzy Sets and Systems* 11 (1983), pp. 199-277.