



TESIS DE DOCTORADO

**ELABORACIÓN DE UN MODELO DE ARGUMENTACIÓN AUTOMÁTICA
BASADO EN RELACIONES LINGÜÍSTICAS IMPRECISAS. UNA CONTRIBUCIÓN
A LA CWW.**

Gael Velasco Benito

ESCUELA DE DOCTORADO INTERNACIONAL EN ARTES Y HUMANIDADES, CIENCIAS SOCIALES Y
JURÍDICAS DE LA UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

PROGRAMA DE DOCTORADO EN LÓGICA Y FILOSOFÍA DE LA CIENCIA

SANTIAGO DE COMPOSTELA

2020





DECLARACIÓN DEL AUTOR DE LA TESIS

ELABORACIÓN DE UN MODELO DE ARGUMENTACIÓN AUTOMÁTICA
BASADO EN RELACIONES LINGÜÍSTICAS IMPRECISAS. UNA
CONTRIBUCIÓN A LA CWW.

D. Gael Velasco Benito

Presento mi tesis, siguiendo el procedimiento adecuado al Reglamento, y declaro que:

- 1) La tesis abarca los resultados de la elaboración de mi trabajo.*
- 2) En su caso, en la tesis se hace referencia a las colaboraciones que tuvo este trabajo.*
- 3) La tesis es la versión definitiva presentada para su defensa y coincide con la versión enviada en formato electrónico.*
- 4) Confirmando que la tesis no incurre en ningún tipo de plagio de otros autores ni de trabajos presentados por mí para la obtención de otros títulos.*

En Madrid, 2 de diciembre de 2019

Fdo. Gael Velasco Benito



AUTORIZACIÓN DE LOS DIRECTORES Y EL TUTOR DE LA TESIS

ELABORACIÓN DE UN MODELO DE ARGUMENTACIÓN AUTOMÁTICA BASADO EN RELACIONES LINGÜÍSTICAS IMPRECISAS. UNA CONTRIBUCIÓN A LA CWW.

D. Alejandro Sobrino Cerdeiriña (director y tutor de la tesis)

D. Alberto José Bugarín Diz (director de la tesis)

INFORMAN:

Que la presente tesis corresponde con el trabajo realizado por D. Gael Velasco Benito bajo nuestra dirección y tutorización, y autorizamos su presentación, considerando que reúne los requisitos exigidos en el Reglamento de Estudios de Doctorado de la USC, y que como directores de ésta no incurre en las causas de abstención establecidas en Ley 40/2015.

En Madrid, 2 de diciembre de 2019



The genesis of language does not proceed logically in any case, and all the material within and with which the man of truth, the scientist, and the philosopher later work and build, if not derived from never-never land, is at least not derived from the essence of things.

*On Truth and Lies in a Nonmoral Sense,
Friedrich Nietzsche*

[Some argue that] you will never be able to make [a machine] to [...] be kind, resourceful, beautiful, friendly, have initiative, have a sense of humour, tell right from wrong, make mistakes, fall in love, enjoy strawberries and cream, make some one fall in love with it, learn from experience, use words properly, be the subject of its own thought, have as much diversity of behaviour as a man, do something really new.

No support is usually offered for these statements.

*Computing Machinery and Intelligence,
Alan M. Turing*



Índice general

Lista de figuras	5
Lista de tablas	7
1. Introducción	9
1.1. Hipótesis	11
1.2. Objetivos	11
1.3. Metodología	12
1.4. Esquema de la memoria	13
1.5. Relevancia	15
2. Análisis semántico-formal del problema de la vaguedad	17
2.1. Diferencias entre vaguedad, ambigüedad e imprecisión	18
2.2. Vaguedad epistémica y vaguedad óptica	19
2.3. Vaguedad de orden superior: el problema de la paradoja sorites	26
2.4. Principales formalizaciones de la vaguedad: la aproximación de grado	29
2.5. Otras aproximaciones	38
2.5.1. La aproximación de Klein	38
2.5.2. La aproximación de la Lógica Difusa	43
3. Precisificación	47
3.1. El tratamiento de la vaguedad en la obra de Russell y Frege	47
3.2. El concepto de precisificación	51
3.3. La precisificación bivalente	54
3.4. La precisificación multivalorada	60
3.5. La no precisificación	62
4. La computación con palabras (CWW) en el tratamiento de la vaguedad	71
4.1. Variable lingüística	72
4.2. Fundamentos basados en PRUF	74
4.3. Granularidad	77
4.4. Forma canónica y estructura de la computación con palabras	78
4.5. El problema de la computación con palabras en el tratamiento de los razonamientos puramente vagos	80

5. El uso de las relaciones semánticas en el tratamiento de las inferencias naturales vagas	85
5.1. Sobre las relaciones de significado	86
5.2. Sinonimia	89
5.3. Hiponimia e hiperonimia	97
5.4. Compatibilidad e incompatibilidad	99
5.5. Meronimia y holonimia	100
5.6. Oposición de significado	101
6. Diseño de un proceso de resolución lingüístico para lenguajes de programación lógica tipo Prolog	107
6.1. Fundamentos básicos de Prolog	107
6.2. Diseño de un emparejamiento semántico	110
6.3. Representación lingüística y manipulación de los valores de salida	117
7. Aproximación empírica	129
7.1. Valoración natural empírica de la separación semántica entre términos	129
7.1.1. Metodología	131
7.1.2. Materiales y procedimientos	131
7.1.3. Predicciones y resultados	132
7.2. Clasificación y ordenamiento de los términos graduables	135
7.3. Juicios valorativos y conjuntos de intensidad: simplificación estructural	141
7.3.1. Metodología	142
7.3.2. Materiales y procedimientos	142
7.3.3. Predicciones y resultados	144
8. Conclusión	151
8.1. Futuras líneas de investigación	157
Apéndice A. Algoritmo de resolución	159
Referencias	169
Índice alfabético	181

Lista de figuras

2.1.	Proceso de reaplicación	40
2.2.	Ejemplos comunes de números borrosos utilizados en Lógica Difusa	44
4.1.	Representación posible de la función de compatibilidad de “muy alto”.	73
4.2.	Posible función de pertenencia μ_{templado}	75
4.3.	Valores posibles de X de acuerdo con la representación formal ofrecida por PRUF en el caso de “Carla es alta”. En este caso, X solo puede adoptar los valores pertenecientes al conjunto difuso ALTA	76
5.1.	Orden propuesto por Cruse basado en círculos concéntricos y su equivalente en listas tipo Prolog con respecto a un determinado término W	95
6.1.	Algoritmo de resolución general	115
6.2.	<i>Output</i> lingüístico parcial a la consulta $?-menu(X)$ del ejemplo anterior	124
6.3.	<i>Output</i> lingüístico a la consulta $?-miedo(catacumbas_paris)$ del ejemplo anterior, donde intervienen dos sinónimos como términos de unión entre premisas	125
6.4.	<i>Output</i> lingüístico a la consulta $?-miedo(X)$ del ejemplo anterior, donde se observa el tratamiento de una respuesta coherente pero no válida	125
6.5.	<i>Output</i> lingüístico a la consulta $?-imaginario(\text{polifemo})$, en la que interviene una premisa de tipo universal positiva y otra de tipo universal negativa	126
7.1.	Distribución de las respuestas para el caso de los sinónimos “anciano” y “senil” en una escala Likert de siete puntos	133
7.2.	Representación de los datos del estudio y su ajuste por mínimos cuadrados	134
7.3.	Distribución de las respuestas para el caso de un emparejamiento entre dos términos pertenecientes al mismo conjunto de intensidad	145
7.4.	Distribución de las respuestas para el caso de un emparejamiento entre dos términos, uno de ellos extremo y otro medio	145
7.5.	Distribución de las valoraciones a la cuestión 8B del experimento referente al emparejamiento de <i>carismático</i> con <i>cautivador</i> (izquierda) y a la cuestión 3C, referente al emparejamiento de <i>caliente</i> con <i>ardiente</i> (derecha)	146
7.6.	Distribución de las respuestas para el caso de un emparejamiento entre dos términos, uno de ellos medio y el otro suave	146
7.7.	Distribución de las respuestas para el caso de un emparejamiento entre dos términos, uno de ellos extremo y el otro suave	147

7.8. Representación de las medias de los datos recogidos en el estudio y su ajuste por mínimos cuadrados	149
1. Algoritmo de resolución basado en las relaciones semánticas existentes entre términos	160
2. <i>Output</i> lingüístico a la consulta <i>?-tedioso</i> (novela)	166



Lista de tablas

7.1. Clasificación semántica de los doce sinónimos utilizados, uno por cada uno de los 12 textos presentados	132
7.2. Grupos de adjetivos utilizados en la tercera parte del cuestionario	132
7.3. Valores representados en la Figura 7.2	135
7.4. Adjetivos valorativos de carácter vago presentes en el estudio	143





1. Introducción

En [147], uno de los artículos más conocidos e influyentes de Alan M. Turing, se propuso como alternativa a la pregunta "¿Pueden las máquinas pensar?" una prueba que permitiera responder a tal cuestión sin hacer frente a un concepto tan complejo como es el asociado al verbo "pensar". Esta idea dio lugar al denominado "test de Turing", según el cual una máquina puede considerarse pensante siempre que muestre una capacidad de diálogo irrestricta, indistinguible de como se comunicaría un ser humano real. La máquina en cuestión sería una máquina de Turing [146], una máquina que puede ser descrita por completo mediante una configuración inicial y un programa. La posibilidad de un mecanismo pensante de estas características ha sido igualmente defendida y criticada en las décadas posteriores (véase como ejemplo [107] y las respuestas de sus detractores como [97], [18], [96], [98] y [33], entre otros), destacando especialmente el artículo de Searle [128] donde se establece una distinción fundamental entre la inteligencia humana y la inteligencia simulada; sin embargo, como sucede con el concepto de "pensar", el razonamiento humano (fundamentado a su vez en el lenguaje) es un elemento de estudio complejo, difícil de abarcar formalmente y todavía más de imitar (si es que esto es posible), y por ese motivo la Inteligencia Artificial, y más concretamente el denominado Procesamiento del Lenguaje Natural o PLN, se ha limitado a la simulación del uso que hace el ser humano del lenguaje.

En ese contexto, la diferencia entre imitación y simulación no es relevante siempre y cuando la interacción hombre-máquina se pueda realizar mediante lenguaje natural de manera eficiente y acorde al tipo de tarea requerida en cada momento. Sin embargo, el principal problema radica en que el lenguaje humano es esencialmente vago y, por ende, da lugar a un razonamiento impreciso. Para automatizar o simular un razonamiento de este tipo se requiere la caracterización formal de la vaguedad, un objetivo que, aunque alcanzado de manera parcial, sigue encontrándose con grandes dificultades a la hora de describir un modelo computable válido de la vaguedad y la imprecisión.

Es el caso de, entre otros, el supervaluacionismo [139], el contextualismo [66] o la Lógica Multivalorada [46]. Uno de los mayores avances de este último ha consistido en el uso de la teoría de conjuntos difusos y la Lógica Difusa [167], consiguiendo por medio de la aritmética borrosa precisar los términos imprecisos. Sin embargo, esta delimitación artificial del contenido semántico lleva a una pérdida del significado subjetivo propio de las palabras de significado vago, contextuales y de textura abierta. La computación con palabras (*Computation with Words* o CWW en inglés) [173, 174] pretende ofrecer una nueva perspectiva al problema mediante la utilización de los términos lingüísticos presentes en el lenguaje natural como unidad básica de la computación, reduciendo cada proposición a una variable X y una restricción R (y distinguiendo a su vez qué tipo de restricción realiza R sobre X), pero para conseguirlo debe evolucionar hacia el empleo de

relaciones lingüísticas en lugar de relaciones numéricas, adecuándose en lo posible a la manera humana de razonar y proponiendo modelos de razonamiento impreciso orientados a los humanos y ejecutables por la máquina. Existen varios estudios que desarrollan argumentos tanto teóricos como experimentales que defienden la traducción o conversión numérica de los términos lingüísticos, a pesar de que se produzcan pérdidas de consistencia reseñables [9]. En este sentido cabe destacar [143], en el cual se argumenta que el éxito de la aproximación numérica solo puede ser parcial a causa de las diferencias inherentes entre números y palabras.

A su vez, en el Procesamiento del Lenguaje Natural, el lenguaje de programación lógica Prolog, basado en la lógica clausal desarrollada en [117] y [76], tiene un protagonismo relevante al permitir la representación del conocimiento en forma de hechos y reglas próximos al lenguaje natural gracias a las gramáticas de cláusula definida [108], aunque para ello requiere la precisificación de los términos implicados.

Se han propuesto alternativas para aumentar la capacidad expresiva de Prolog y superar así dicha restricción mediante la Lógica Difusa (véase [81], [62], [83] o [1], entre otros), un esfuerzo que permitiría nuevas implementaciones y una simulación del razonamiento más próximo al de los seres humanos. A pesar de las ventajas de estas aproximaciones, todas ellas proponen una correspondencia entre términos vagos y valores numéricos para solventar la dificultad de implementar un razonamiento natural en un sistema computacional. En otras palabras, precisifican las palabras asignándoles un número con el cual el sistema pueda operar, un paso que, según consideramos, conlleva la pérdida de parte de la información contenida, eliminando la vaguedad y la subjetividad de las conclusiones y asignando a los términos lingüísticos límites arbitrarios y poco intuitivos.

Existen trabajos centrados en ofrecer una alternativa lingüística a la obtención de un modelo de resolución semántico con Prolog, destacando especialmente la formalización propuesta en [135], donde se defiende el uso de relaciones lingüísticas ya existentes (como la sinonimia y la antonimia) para conservar el contenido semántico de una premisa expresada mediante términos vagos. Además, esta aproximación permitiría simular el razonamiento humano de una manera más extensa al permitir la elaboración y análisis de razonamientos coherentes y no necesariamente válidos. En este sentido también hay que destacar la propuesta sobre el tratamiento de la sinonimia en silogismos de [109] o una posible formalización de la antonimia haciendo uso de la teoría de conjuntos difusa en [144].

Las bases de datos léxicas como WordNet [34] han ejercido un papel fundamental en este trabajo (al igual que en muchos otros de carácter lingüístico), pues permiten organizar y buscar una serie de términos por las relaciones semánticas que los unen. Tiene una limitación, sin embargo, puesto que no recoge la información correspondiente al orden o intensidad de los términos graduables; es decir, establecen la relación entre dos términos sin concretar el grado de intensidad o fortaleza de dicha relación, una falta de información que se ha intentado resolver en los últimos años mediante técnicas como los AdjScales [132]. También han habido otros intentos prácticos de resolver esta cuestión diseñando un diccionario especializado en la interpretación de la sinonimia y la antonimia [134], una herramienta de gran utilidad que, a pesar de utilizar coeficientes precisos (como es el coeficiente de Jaccard [63]) permite la selección de sinónimos y antónimos de acuerdo con sus acepciones, lo que resulta de gran importancia en la resolución de cuestiones relacionadas con el problema de la desambiguación.

1.1. Hipótesis

De acuerdo con los antecedentes resumidos en el anterior punto, la presente memoria se fundamenta en dos puntos, siendo el primero de ellos la convicción de que **para expresar computacionalmente el significado completo de la vaguedad y la imprecisión presentes en los razonamientos naturales se requiere el uso de relaciones lingüísticas que no conlleven una correspondencia directa entre palabras y valores numéricos**. Además, consideramos que, **en las aproximaciones y avances desarrollados en el campo de la argumentación automática y el Procesamiento del Lenguaje Natural, aún no se ha explorado (ni explotado) todas las ventajas, tanto a nivel técnico como filosófico y práctico, propias de la implementación de un sistema de resolución e interpretación lingüístico en dichos campos**.

1.2. Objetivos

El principal objetivo de esta memoria es establecer un análisis crítico de las aproximaciones y herramientas utilizadas hasta el momento en el tratamiento automatizado de la vaguedad con el fin de diseñar una alternativa no precisificada basada en los conceptos propios de la computación con palabras y la aproximación semántica de grados, aplicando para ello las relaciones semánticas de sinonimia y antonimia como principal herramienta en la unificación entre términos. A su vez, el algoritmo resultante se implementará en la creación de un asistente-evaluador automático que sirva como ejemplo práctico de los pasos requeridos para el análisis de razonamientos aproximados en lenguaje natural.

Estos objetivos pueden a su vez subdividirse en los siguientes puntos:

- Analizar las principales aproximaciones en el campo de la semántica en lo referente a la caracterización formal de la vaguedad, centrándose en las carencias y faltas inherentes a cada una de ellas (tales como restricciones poco intuitivas, pérdida de información, objetivación de significados esencialmente subjetivos, etc.).
- Establecer las bases de un modelo teórico fundamentado en los principios de la computación con palabras y en la idea de que la información no precisa contenida en el razonamiento humano, al ser esencialmente lingüística, requiere de un sistema flexible (que no tiene por que ser siempre consistente) basado en relaciones semánticas que nos permitirían trabajar con conceptos vagos de manera automática sin por ello aceptar como válidos los problemas señalados en el anterior punto.
- Aplicar dicho modelo al diseño de un razonador automático en Prolog que permita la manipulación de hechos y reglas mediante un tratamiento vago, lingüístico, siempre atendiendo tanto al nivel de coherencia de la conclusión como de la traza generada durante el razonamiento y expresada por entero en lenguaje natural de acuerdo a las características propias de la CWW.

- Justificar las etiquetas lingüísticas presentadas al usuario tras el razonamiento mediante evidencias empíricas, buscando patrones generales de comportamiento frente a un mismo tipo de emparejamiento que simplifiquen y mejoren la demostración o justificación de los pasos realizados en la obtención de un razonamiento válido.

1.3. Metodología

Desde una perspectiva puramente matemática, las aproximaciones al tratamiento formal de la vaguedad pueden subdividirse en dos categorías claras: aquellas que abogan por una correlación palabra-número que simplifique su implementación en sistemas no supervisados, y aquellas que optan por un acercamiento lingüístico al problema, o al menos que no se sustentan en la eliminación de los casos de frontera. El primer grupo es más completo desde el punto de vista computacional, y en general no son problemáticos a la hora de ser aplicados, pero dada la perspectiva no precisa de nuestra propuesta, el modelo teórico y el algoritmo desarrollados en el presente estudio se han construido de acuerdo con las premisas propias de la segunda categoría, si bien también se han adoptado (y modificado cuando las circunstancias así lo requerían) ciertos supuestos teóricos y recursos computacionales del primer grupo tales como el uso de grados y escalas o los fundamentos teóricos de la computación con palabras.

Con el fin de estudiar la viabilidad de nuestra propuesta se ha diseñado un algoritmo para el lenguaje de programación Prolog. La elección de este lenguaje se debe a dos factores: su relevancia dentro del Procesamiento del Lenguaje Natural y el desarrollo de razonadores automáticos, y el hecho de que a través de las gramáticas de cláusula definida permita construir cualquier información mediante hechos, reglas y argumentos, lo que le convierte en una herramienta particularmente apropiada para el análisis semántico de premisas generales y particulares. Aun así, el módulo de Prolog resultante es lo suficientemente general como para que su implementación a otros lenguajes de programación lógica sea posible sin grandes dificultades. Su principal función es la de interrumpir el proceso de resolución antes de que Prolog clasifique un emparejamiento como “no válido” y forzarle a realizar una serie de comprobaciones adicionales con el fin de establecer si entre los dos términos que se intenta emparejar existe algún tipo de relación lingüística que justifique una valoración positiva de este paso. El módulo implementado también ofrece al usuario aquellas respuestas coherentes pero no válidas y señala en cada caso el punto o los puntos problemáticos que le han llevado a esa conclusión. Por último, y una vez finalizado el proceso de resolución, ofrece una traza expresada completamente en lenguaje natural que facilita la comprensión por parte del usuario de los pasos realizados.

Asimismo, el algoritmo de resolución depende de una base de conocimientos de escalas lingüísticas que establecen un orden entre conjuntos de grados y que, de acuerdo con el formalismo de la aproximación de grado establecido en [71] y [70], permiten hallar la similitud entre los contenidos semánticos de dos términos de acuerdo con la proximidad de los grados a los que hacen referencia. Estas escalas tienen como objetivo recoger el conocimiento (dejando de lado consideraciones pragmáticas) que tiene el hablante sobre las relaciones de similitud u oposición de significado existentes dentro de un conjunto de términos que hacen referencia a una misma dimensión o propiedad. De lograrlo, la distancia entre grados permitiría afrontar la tarea de construir un *output* lingüístico sin necesidad de hacer uso de ningún paso intermedio numérico más allá de la aplicación de

uno u otro operador de agregación en los casos donde intervienen más de un emparejamiento semántico. Se han diseñado una serie de pruebas, algunas de ellas distribuidas y programadas por medio de la plataforma de *crowdsourcing Amazon Mechanical Turk*¹ con el fin de comprobar la validez de estas escalas y su adecuación para la simulación de respuestas naturales desde una perspectiva empírica.

1.4. Esquema de la memoria

Con el fin de organizar los pasos realizados en el análisis de los aspectos teóricos asociados a nuestra hipótesis y su posterior desarrollo práctico, esta obra se organiza de la siguiente manera:

- El segundo capítulo tiene como objetivo introducir el concepto de vaguedad, diferenciándolo de otros dos fenómenos como son la indeterminación y la ambigüedad que, aunque inherentemente diferentes, suelen confundirse. En un segundo paso se analizan las diferencias entre vaguedad óptica y vaguedad epistémica, dos teorías que influyen en gran medida en el formalismo que debe emplearse en la descripción semántica de términos vagos y que sugieren soluciones diferentes a uno de los aspectos más característicos de la vaguedad: la paradoja sorites. Por último se presentan los tres principales formalismos que pretenden realizar una descripción detallada de la vaguedad: los procesos de reaplicación de Klein, la aproximación propia de la Lógica Difusa y la aproximación de grado, realizando a continuación un análisis que señala de manera clara hacia este último como el menos problemático y el más adecuado de los tres para su uso en sistemas formales que pretendan lidiar con este fenómeno.
- El tercer capítulo profundiza en el concepto de precisificación (centrado en la estipulación de valores límite que permitan reducir la vaguedad a unos parámetros fácilmente computables) y se analiza sus características principales así como su origen en la obra de Russell y Frege. A continuación realizamos una revisión de las propuestas desarrolladas hasta la fecha en torno a esta idea y que pueden subdividirse en tres categorías: teorías que defienden la precisificación bivalente, aquellas que abogan por una precisificación multivalorada y, en último lugar, las teorías que critican el propio concepto de precisificación y sugieren posibles alternativas. Acto seguido, y a raíz de los argumentos esgrimidos en favor de una u otra postura, realizamos una defensa en favor de la aplicación de ciertos factores propios de algunas posturas no precisificadas, los cuales servirán como punto de partida para el diseño de nuestro modelo teórico.
- El cuarto capítulo presenta en detalle la metodología denominada computación con palabras o *Computation with Words* [173, 174], la cual, a pesar de utilizar de manera intensiva la Lógica Difusa (algo que, como se argumenta en los capítulos segundo y tercero, resulta problemático para el caso de los términos vagos), desarrolla una serie de conceptos e ideas (tales como el de variable lingüística o el requisito imprescindible según el cual tanto el *input* como el *output* de todo el proceso deben

¹<https://www.mturk.com>

estar expresados en lenguaje natural) que sugieren una posible aplicación restringida y/o modificada (no precisificada) de la misma para el caso de los razonamientos puramente vagos.

- El quinto capítulo desarrolla la idea de que, en ausencia de un sistema numérico que caracterice la unificación entre dos términos, es necesario utilizar relaciones semánticas naturales ya presentes en un lenguaje natural como son la sinonimia, la antonimia o la hiponimia/hiperonimia. Se profundiza en la clasificación y tratamiento que ha recibido cada una de estas categorías y se estudia la aplicación de la sinonimia y la antonimia en un algoritmo de inferencias vago dentro de un lenguaje de programación lógica como Prolog, lo que permitiría sustituir o modificar las relaciones matemáticas ya implementadas de igualdad y negación.
- El sexto capítulo presenta la aplicación de nuestro modelo teórico en Prolog con el fin de enriquecer sus procesos de unificación sintáctica y resolución con un algoritmo basado en el uso de grados lingüísticos y las relaciones semánticas existentes entre términos. Para facilitar su comprensión se realiza una introducción a los conceptos básicos de Prolog y se analizan otras propuestas realizadas hasta la fecha con el objetivo de construir un emparejamiento semántico, las cuales se encuadran de una manera más o menos evidente dentro del conjunto de aproximaciones precisificadas al fenómeno de la vaguedad. Como alternativa presentamos las bases de nuestro algoritmo, y finalmente desarrollamos los métodos de representación lingüística utilizados y su aplicación a un determinado operador de agregación.
- El séptimo capítulo aborda una cuestión fundamental de nuestra aproximación, a saber: la formación de las escalas (sobre las que se sustenta cualquier *output* lingüístico arrojado por el algoritmo) y su adecuación a la simulación de unas respuestas que sean, ante todo, coherentes, intuitivas y fáciles de entender para el usuario. La solución propuesta es una solución empírica, construida a partir de ciertos valores estadísticos, para lo cual se han realizado dos experimentos lingüísticos, el primero de los cuales muestra de manera concluyente la relación prácticamente lineal existente entre la distancia media entre dos términos en una escala empírica y la valoración del emparejamiento de estos por medio de una escala Likert. Sin embargo, en un segundo punto se explicitan los principales problemas y dificultades de los métodos actuales de ordenamiento de términos en una escala, y por ello se sugiere en un segundo experimento una aproximación similar, aunque simplificada, que permite la construcción rápida y sencilla de escalas sin perder por ello contenido semántico en el proceso e incluso facilitando la construcción de un texto explicativo en la traza de las conclusiones vagas obtenidas.
- El octavo capítulo recoge de manera crítica las conclusiones y evidencias prácticas logradas durante el estudio, realizando un análisis global del mismo y destacando a su vez tanto sus puntos más delicados como los futuros trabajos necesarios para avanzar hacia un modelo de razonamiento supervisado que simule el utilizado por los seres humanos.
- Para finalizar, se ofrece un apéndice cuyo objetivo es el de presentar una explicación pormenorizada del algoritmo desarrollado en el capítulo sexto. El programa de

resolución vago que utilizara este algoritmo estaría implementando un proceso de resolución no sintáctico, basado en las relaciones semánticas de antonimia y sinonimia. Además, generaría un *output* puramente lingüístico a partir de la traza recogida durante la obtención de la conclusión, permitiendo una relación hombre-máquina más natural.

1.5. Relevancia

En gran parte de la bibliografía referente a la formalización matemática de la vaguedad se establece que la eliminación de los casos de frontera, a pesar de las críticas establecidas en trabajos como [12], [49] o [36], es un requisito imprescindible si se quiere obtener un tratamiento no supervisado de dicho fenómeno. Esto, junto al hecho de que en los contextos no humanistas este sacrificio del contenido semántico resulta irrelevante y en muchas ocasiones beneficioso para el proceso de computación asociado, hace que en la mayoría de casos sea innecesario plantearse otras alternativas menos eficientes. A pesar de ello, los problemas de incoherencia que surgen en entornos puramente vagos, sobre todo en lo que respecta a los razonamientos naturales, son demasiado claros y evidentes como para permitir una buena simulación del uso que los seres humanos dan al lenguaje en estos casos. Este trabajo pretende, por encima de todo y de acuerdo con los objetivos e hipótesis aquí expuestos, presentar un argumento que no se limite a criticar la postura precisificada sino que sirva como prueba de que una aproximación no matemática basada en finitos grados lingüísticos de verdad es una opción factible que merece ser explorada.

Un algoritmo de resolución y unificación semántica como el propuesto aquí podría aplicarse en diferentes ámbitos donde se requiera un análisis natural, más intuitivo, que exija una justificación detallada y coherente de todos los pasos realizados para el juicio de una conclusión (hay que destacar que, a día de hoy, muchos de los asistentes razonadores diseñados y/o desarrollados en el ámbito de la inteligencia artificial se centran en la implementación de las funciones de pertenencia y, por tanto, hacen uso de métodos resolutivos precisificados). Por ejemplo, la creación de un Prolog vago que ofrezca una traza expresada por entero en lenguaje natural puede convertirse en una herramienta de gran utilidad en entornos docentes o académicos, pues permite al usuario realizar consultas con respecto a un determinado razonamiento o silogismo, y recibir una explicación coherente de la congruencia o incongruencia de cada una de las posibles conclusiones. Esto le permitiría mejorar sus capacidades razonadoras, facilitándole interactuar con un programa que le posibilite entrenar y comprobar sus habilidades argumentativas y cognitivas. A su vez, el algoritmo podría utilizarse para el análisis no supervisado de textos, especialmente en aquellos que hagan uso intensivo de razonamientos deductivos y sinónimos como es el caso de gran parte de los documentos periodísticos, políticos o legales (véase por ejemplo [32] y [133] para entender las dificultades existentes a la hora de analizar en el campo jurídico textos naturales ricos en relaciones semánticas y argumentos).



2. Análisis semántico-formal del problema de la vaguedad

La vaguedad es, por definición, una propiedad característica de aquellos términos poseedores de casos de frontera [139]. De esta manera, “joven” es un término vago porque existen casos en los cuales no podemos decidir si alguien es jóvenes o no (como puede ser el caso de un hombre de 35 años, donde no está claro si cae bajo la extensión de ese adjetivo o no), y por tanto un problema característico de esta vaguedad “de primer orden” sería determinar cuáles son los casos indecibles o *borderline*. Existen otras formas alternativas de designar la vaguedad, como es el caso de [164], donde los términos vagos se definen como aquellos que, aunque se modifique hasta cierto punto la característica ϕ a la que están asociados, su rango de aplicabilidad seguirá siendo el mismo (lo que se conoce como “tolerancia”).

Sin embargo, la cuestión se complica cuando, en una vaguedad de orden superior, el mismo concepto de “caso de frontera” es un concepto vago al no permitir una diferenciación abrupta entre aquellos elementos que no son jóvenes y aquellos que son casos de frontera, y entre estos últimos y aquellos que sí son jóvenes. En otras palabras, si tenemos dos términos, J y $No-J$, los cuales corresponden a los términos “joven” y “no joven” respectivamente, e introducimos un tercer término F correspondiente a los casos de frontera existentes entre J y $No-J$, esto no solo no eliminaría el problema de la frontera entre términos, sino que nos situaría en un escenario con dos fronteras en lugar de una sola (entre J y F y entre F y $No-J$). Este problema es recursivo en el sentido en que, por más términos que introduzcamos para hacer referencia a los casos de frontera, estos siempre generarán a su vez dos nuevas fronteras. Es decir, los casos de frontera tendrán siempre casos de frontera.

Esta vaguedad de orden superior tiene sus detractores, con críticas como la que puede encontrarse en [113], donde literalmente se afirma que la idea de “un caso de frontera de un caso de frontera” es una noción que no se fundamenta en el sentido común. Esta postura se apoya en la idea de que nadie hace uso de este concepto (es decir, que en un contexto no especializado nunca se hace referencia a un elemento como perteneciente a un caso de frontera de un caso de frontera), y de que en consecuencia la vaguedad de la vaguedad no tendría sentido para un hablante normal. Otra crítica similar puede encontrarse en [165], donde se argumenta que la vaguedad de orden superior no es otra cosa que una ilusión, poco más que una confusión nacida de nuestra manera errónea de entender la naturaleza misma de la vaguedad de primer orden (recibiendo el nombre de “vaguedad normal”).

Por otro lado, quienes defienden la existencia de una vaguedad de orden superior rechazan estas críticas al considerar que la iteración de casos de frontera, aunque confusa para el hablante, es perfectamente válida, reduciendo los argumentos en favor de una

vaguedad de primer orden a una cuestión meramente pragmática, y no semántica [139]. Una prueba de la existencia de esta vaguedad de orden superior es la “paradoja sorites”, la cual solo se puede explicar haciendo uso del concepto de “vaguedad de la vaguedad”¹.

El presente capítulo tiene como objetivo analizar los conceptos y características asociados a la vaguedad que se van a manejar a lo largo de la tesis, haciendo especial hincapié en aquellas teorías que analizan la vaguedad de forma completa y desarrollan un sistema capaz de formalizarlo, dejando para otras cuestiones posteriores aquellas que aportan una explicación más general o superficial del problema.

2.1. Diferencias entre vaguedad, ambigüedad e imprecisión

La “vaguedad” es un concepto que suele confundirse con la “ambigüedad” y la “imprecisión”, y por ende es recomendable aclarar cuáles son las diferencias entre estos fenómenos a fin de facilitar la comprensión de esta tesis.

En el caso de la ambigüedad, una expresión lingüística será considerada “ambigua” si se puede interpretar de varias formas y dichas interpretaciones son discretas (pudiendo, por tanto, enumerarse). A diferencia de la vaguedad, la ambigüedad no da lugar a casos de frontera (casos en los que es imposible decidir si un determinado elemento se ajusta o no a la palabra utilizada), sino a expresiones que requieren de más información contextual para establecer cuál es la interpretación que se está utilizando. En total hay dos tipos de ambigüedad: la ambigüedad léxica y la ambigüedad estructural. La ambigüedad léxica está relacionada con las palabras homógrafas (de equivalencia no solo fonológica, sino también sintáctica), de manera que su aparición en una oración puede llevar a distintas condiciones de verdad en función de la palabra que se esté utilizando. Un ejemplo es “gato” en “Ayer me compré un gato”, oración que posee dos significados muy distintos según interpretemos “gato” como un animal felino o como una herramienta hidráulica. La ambigüedad estructural, por el contrario, surge en estructuras sintácticas que dan lugar a múltiples representaciones semánticas. Por ejemplo, “Ayer Isaac habló con el oficial al mando y no llevaba puesto su uniforme” puede interpretarse de dos maneras diferentes en función de cuál sea el sujeto del sintagma predicativo que “no llevaba puesto el uniforme” (puede que fuera Isaac el que no llevaba puesto el uniforme, o puede que fuera el oficial).

Existen varias pruebas basadas en la intuición con las cuales se puede establecer si un elemento es ambiguo o no [101]. En este sentido, la más directa es buscar un escenario en el que una de las interpretaciones de la palabra o la estructura sintáctica sea válida, y la otra no (si, en el ejemplo anterior, presuponemos que Isaac no es militar, este no tiene por costumbre llevar uniforme y, por tanto, la única interpretación válida es que sea el oficial al mando quien iba sin uniforme). Otra técnica es la del uso del zeugma, una figura retórica que consiste en utilizar una sola vez una palabra común para varias unidades análogas de la oración. Y es que si utilizamos los dos significados de una palabra a la vez en una misma oración, esta oración se percibirá con cierto grado de anomalía. Supongamos que el objetivo es determinar si una palabra como “vago” es ambigua o no con respecto a los significados “holgazán, perezoso, poco trabajador” y “poco preciso”. Entonces, si no

¹Téngase en cuenta que los términos “primer orden” y “orden superior” aquí utilizados también reciben en ciertos contextos el nombre de vaguedad débil y vaguedad fregeana, respectivamente [12].

existiera ambigüedad, una oración como “Tanto David como su razonamiento durante la conferencia fueron muy vagos” debería verse sin ningún tipo de rareza. Sin embargo, esto no es así en el caso de una palabra no ambigua, donde estos ejemplos se verán con normalidad, como es el caso de “pantalla” y “La pantalla del ordenador y del televisor parpadearon al unísono a causa de las interferencias”.

El caso de la imprecisión se diferencia de la vaguedad en que esta no permite construir una secuencia sorites. Pensemos en la oración “David pesa setenta y ocho kilos”. Aquí no existe ningún caso de frontera, pues las condiciones de verdad de la oración son evidentes (solo haría falta pesar a David, y en función de si pesa o no setenta y ocho kilos podríamos determinar la veracidad de dicha afirmación). Sin embargo, el problema se complica cuando ponemos en duda el hecho de que David pese exactamente setenta y ocho kilos, ya que con la suficiente precisión en la medida lo más probable es que exista una cierta desviación en el valor obtenido. Por ejemplo, si utilizamos una pesa más precisa podemos averiguar que su peso es en realidad 78,3 kilos, o 77,9. El problema, no obstante, no se resuelve nunca ya que existe un límite en la precisión de las medidas que podemos tomar, de manera que incluso la existencia de uno o dos átomos más en el cuerpo de David podría, en teoría, cambiar su peso final y, por tanto, la veracidad de la proposición. En resumen, una proposición potencialmente imprecisa podrá ser siempre rebatida en función del nivel de precisión utilizado.

Este fenómeno, a diferencia de la vaguedad o de la ambigüedad, puede tratarse desde una perspectiva de uso, mediante la denominada “holgura pragmática” [79] según la cual se establece un margen en el juicio del hablante que permita tomar como verdaderas una serie de afirmaciones aunque estas sean técnicamente falsas.

2.2. Vaguedad epistémica y vaguedad óptica

Cuando se intenta establecer un análisis formal de la vaguedad de primer orden, una cuestión fundamental es determinar cuál es el origen de la vaguedad o, dicho de otro modo, qué es realmente aquello de lo que hablamos cuando utilizamos el término “vago”.

Una opción es considerar la vaguedad como algo real, un fenómeno no erradicable nacido a raíz del hecho de que existen objetos vagos en el universo (es decir, objetos que exhiben un comportamiento vago gracias a su propia naturaleza y no a cuestiones puramente lingüísticas). La segunda opción pasa por afirmar que la vaguedad es simplemente una propiedad de nuestro lenguaje gracias a la cual podemos hacer referencia a todos aquellos objetos sobre los que tenemos un conocimiento incompleto o deficiente, y por tanto sí podría eliminarse. En el primer caso estaríamos hablando de una vaguedad óptica (o *de re*), y en el segundo caso de una vaguedad epistémica (o *de dicto*).

Los defensores de la vaguedad epistémica afirman que, dado un término vago S , existe un único punto de división entre S y aS (siendo aS el antónimo de S). De esta manera existe un peso concreto a partir del cual un hombre deja de ser delgado y pasa a ser gordo, una edad a partir de la cual alguien joven se convierte en viejo, o una cantidad de pelos por debajo de la cual alguien es calvo y por encima de ella no lo es, por poner solo algunos ejemplos.

El teórico más destacado de esta postura es Williamson, quien reúne todo su trabajo al respecto en un único libro [163]. Según él, el hecho de que exista la vaguedad en el lenguaje se debe a nuestro desconocimiento sobre el lugar exacto en el que se sitúa esta

frontera entre S y su negación sin por ello negar la existencia de los casos de frontera. Simplemente, determina que si 183 cm es un caso de frontera de “alto”, y Gabriel mide 183 cm de altura, solo hay dos opciones: o Gabriel es alto, o no lo es, aunque nosotros, por nuestra ignorancia, no podemos saber cuál de las dos es la correcta. Y es que, aun poseyendo toda la información relacionada con el tema, encontrar ese punto de separación entre “alto” y “bajo” no sería posible.

La principal ventaja de esta postura reside en su uso de la Lógica Clásica, de manera que no tiene que servirse de alguna de las alternativas no clásicas a la hora de hacer frente al problema de la paradoja sorites en la caracterización de una vaguedad de orden superior (aunque como se señala en el punto siguiente, el inconveniente de esta teoría reside en lo extraña o poco intuitiva que resulta la idea de la existencia de un punto concreto a partir del cual alguien, de manera brusca, deja de ser alto, deja de estar gordo, etc.).

Dicho lo anterior, la cuestión más importante que hay que resolver es por qué existe esta ignorancia o desconocimiento, y dejando a un lado las respuestas más directas y menos interesantes (como que la ignorancia es nuestro estado natural y que, por tanto, la falta de conocimiento no requiere mayores explicaciones [67]), es Williamson el que da una explicación justificada y fundamentada en dos principios: el principio del conocimiento inexacto y el principio del margen de error.

En este contexto, el conocimiento inexacto es aquel que oscila en el margen existente entre dos valores aproximados, pero que no nos permite saber cuál es el número o término verdadero. Por ejemplo, si vemos a un hombre por la calle, de acuerdo con lo que percibimos a través de nuestro sentido de la vista podemos asegurar que tiene más de 30 años pero menos de 60, y es ese conocimiento el que se denomina “inexacto”. Por otro lado, si a raíz de este conocimiento inexacto alguien cree que el hombre tiene 44 años, para que esta creencia sea considerada conocimiento debe ser verdad en otros casos similares (en otras palabras, X es verdad en todos los casos similares a aquellos para los cuales “se tiene conocimiento de que X ” es verdadero [163]). En este ejemplo, si de verdad dicho individuo tiene 44 años, esta creencia es verdadera, pero se puede haber llegado a la misma conclusión (que tiene 44 años) si este hubiese tenido 45, o 43, lo que hace que, al no haber el suficiente “margen de error” (es decir, al no haber suficientes diferencias entre el valor n y $n + 1$ o $n - 1$ para ser distinguidos), esta creencia no puede ser considerada conocimiento. Evidentemente, el margen de error puede ser más o menos amplio según el caso y la medida realizada, ya que la creencia de que, por ejemplo, alguien mide 183 centímetros, es más o menos exacta de acuerdo a si se ha llegado a esa creencia utilizando una cinta métrica o simplemente mirando al individuo.

La complicación se encuentra en los términos vagos en lugar de en los ejemplos antes indicados, a saber: cuando en lugar de preguntarse “¿mide Arturo 183 cm?” se quiere responder a la pregunta “¿Es Arturo alto?”. En el primer caso, la respuesta puede variar entre un intervalo o un solo valor dentro de ese intervalo haciendo uso del “conocimiento inexacto”. Sin embargo, en el segundo caso, y dentro de esta teoría epistémica de la vaguedad, si la altura de Arturo es un caso de frontera, la respuesta puede ser solo “sí” o “no” sin saber cuál de las dos es la correcta. Por lo tanto, no es que tengamos un conocimiento inexacto del problema, sino que simplemente ignoramos la respuesta.

La explicación de por qué una creencia relacionada con un caso de frontera no puede considerarse conocimiento radica en que a) se desconoce cuál es la frontera entre, por ejemplo, “alto” y “bajo”, y b) la altura de Arturo podría estar muy próxima a dicha fron-

tera. Entonces, a causa de la existencia de un margen de error, siempre cabe la posibilidad de que un cambio ínfimo en la altura de Arturo lleve a que “Arturo es alto” no fuese ya verdadero, o viceversa. Esto hace que solo podamos tener creencias referentes a una determinada proposición vaga en la que intervienen casos de frontera, pero nunca conocimiento de ella (podemos creer que “Arturo es alto”, pero no podemos tener conocimiento de que lo sea si la altura de Arturo resulta ser un caso de frontera). En conclusión: si nuestras creencias no son conocimiento, y el conocimiento no puede darse sin creencias, entonces no podemos saber, y de ahí surge nuestra ignorancia.

Además de este intento por explicar la ignorancia que parece acompañar a cualquier término vago, también existe una discusión formal sobre la existencia o no existencia de objetos vagos, la cual gira en torno a un artículo concreto, “Can There be Vague Objects?” [31], gracias en gran parte a su contenido críptico, breve y abierto a interpretaciones (para este punto, y utilizando la clasificación dada por Richard G Heck [55], los defensores de la existencia de objetos vagos les denominaremos “indefinidos” y, a los contrarios, “definidos”). En él se expone una prueba formal basada en tecnicismos, aparentemente sencilla, pero que lleva a una conclusión que es directamente falsa. Esta es, que no existen las oraciones de identidad vagas (*vague identity statements* en inglés, proposiciones vagas de la forma “ $a = b$ ”).

Al no explicar esta conclusión ni aclarar su sentido, lo primero que puede deducirse de su artículo es que Evans acepta la conclusión sin tener en cuenta lo absurdo que resulta. Sin embargo, tal y como indica Lewis en [82], esta interpretación no tendría sentido ya que el primer párrafo del artículo (así como el título del mismo) indican que su objetivo es aclarar si la vaguedad se debe a la existencia de objetos vagos o a la falta de información. Por tanto, la correcta interpretación sería suponer que Evans da por evidente la existencia de oraciones de identidad vagas y que la demostración de lo contrario no puede ser correcta.

Según Lewis, el argumento de Evans lleva a semejante contradicción dado que este contiene una falacia. Y es que, en dos puntos de la demostración, realiza una igualdad de la forma

$$\dots \sim \nabla(a = a) \text{ y, por lo tanto, } \sim \lambda x[\nabla(x = a)]a \dots$$

lo cual solo es verdadero si a y b son términos rígidos. Sin embargo, si a y b denotan términos vagos, estos no pueden ser términos rígidos (es decir, lo que denotan varía según la precisificación realizada), y por tanto dicha equivalencia no es válida. Sin embargo, si partimos de la postura de los “indefinidos”, esto es, que existen los objetos vagos, no poseemos las herramientas necesarias para determinar que la demostración es falaz ya que los términos a y b serían términos rígidos que denotan un determinado objeto vago.

La validez de la interpretación de Lewis sobre las intenciones del autor se apoya en el hecho de que, antes de publicar sus resultados, el propio Evans escribió a Lewis confirmando que eso era lo que había pretendido desde el principio con su publicación [82].

Una vez aclarado este punto, el argumento de Evans parte de dos elementos singulares, a y b , tales que una proposición de la forma “ $a = b$ ” tenga un valor de verdad indeterminado. Este hecho (el que el valor de la proposición es “indeterminado”) se indica con el operador ∇ .

Entonces, la suposición inicial se puede expresar como

$$(1) \nabla(a = b)$$

o, lo que es lo mismo, que

$$(2) \lambda x[\nabla(x = a)]b$$

(lo cual puede leerse como “aquel x tal que es indeterminado que $x = a$ es b ”).

Sin embargo, sabemos que “ $a = a$ ” es verdadero, es decir, que su valor de verdad está determinado y, por tanto,

$$(3) \sim \nabla(a = a)$$

o, lo que es lo mismo, que

$$(4) \sim \lambda x[\nabla(x = a)]a$$

Entonces, aplicando la Ley de Leibniz, si tenemos que (2) $\lambda x[\nabla(x = a)]b$ y (4) $\sim \lambda x[\nabla(x = a)]a$, llegamos a la conclusión de que

$$(5) \sim (a = a)$$

Pero esto significaría que el valor de verdad de “ $a = b$ ” está determinado, lo cual contradice el supuesto inicial.

De entre las objeciones puestas al argumento de Evans, una de las más comunes es aquella que defiende que la demostración de Evans no lleva a ninguna contradicción, y que por tanto no hay nada falaz en su argumento [106]. Es decir, que si tenemos que $\nabla(a = b)$ también podemos tener que $\sim (a = b)$, lo cual lleva a que

$$\nabla(a = b) \rightarrow a \neq b$$

Sin embargo, la contraposición de esta proposición nos daría que

$$a = b \rightarrow \sim \sigma(a = b)$$

y, por tanto, que

$$a = b \rightarrow \Delta(a \neq b)$$

de lo que se infiere que

$$a = b \rightarrow a \neq b$$

lo cual es absurdo.

Por otro lado, tal y como se indica en [106], el argumento de Evans tiene dos posibles interpretaciones según el tipo de operadores que sean ∇ , Δ .

Si suponemos que son operadores modales, entonces una proposición de la forma $\nabla\phi$ se interpretaría como que, por hipótesis, ϕ es verdadero o falso pero no sabemos cuál de los dos valores de verdad es el correcto. En este sentido, la vaguedad no sería real (el mundo no sería vago), ya que el valor semántico de ϕ estaría oculto para nosotros bien a causa de nuestra falta de información, bien debido a que no entendemos lo que ϕ quiere decir realmente.

Sin embargo, si tomamos a ∇ y Δ como operadores indicadores del valor de verdad de la proposición, $\nabla\phi$ indicaría que ϕ no es ni verdadero ni falso y que el mundo es, por tanto, vago.

Relacionado con esto, una objeción muy extendida es que si se tratan los operadores ∇ y Δ como operadores modales, no se puede hacer uso de la Ley de Leibniz en la

demostración (concretamente, para pasar al punto (5) a partir de (2) y (4) en el argumento de Evans) ya que, incluso en el caso de que $a = b$, no se puede esperar que todas las propiedades modales de a también las tenga b (dado que a y b no son designadores rígidos, pues si lo fueran no habría vaguedad en la expresión “ $a = b$ ”). Y es que la Ley de Leibniz indica, precisamente, que si b posee una propiedad ϕ y a una propiedad $\sim \phi$, entonces $a \neq b$ bajo la condición de que tanto a como b sean designadores rígidos.

Una objeción similar a esta consiste en defender que las expresiones lambda no designan propiedades “reales”, y que por tanto la Ley de Leibniz no puede aplicarse en estos casos.

Estas dos últimas objeciones, aunque válidas, se apoyan en la interpretación modal de la demostración. Sin embargo, si la demostración de Evans busca ser una crítica a la postura “indefinida”, los operadores ∇ y Δ deberían ser tomados como operadores que indican valores de verdad, y por tanto se debería hacer uso de la Lógica Multivalorada en lugar de la lógica modal.

Pelletier, para evitar la interpretación modal y hacer explícita la postura multivalorada de la demostración de Evans, propone el uso de los operadores J en lugar de los operadores ∇ y Δ . Este operador se aplica de manera que si una proposición ϕ toma el valor i , $J_i\phi$ tiene como valor 1 (o, lo que es lo mismo, “completamente verdadero”). En caso contrario tomará el valor 0 (“completamente falso”). Así pues, si tenemos por ejemplo un sistema trivalente 1, $1/2$ y 0 [90], $J_{1/2}\phi$ significaría que ϕ es indeterminado, $J_1\phi$ que ϕ es completamente verdadero y $J_0\phi$ que ϕ es completamente falso.

Así, el argumento de Evans se escribiría de la siguiente manera:

Partimos del supuesto de que

$$J_{1/2}(a = b)$$

o, lo que es lo mismo, que

$$\lambda x[J_{1/2}(a = x)]b$$

Sin embargo,

$$\sim \lambda x[J_{1/2}(a = x)]a$$

por lo que se concluye que

$$a \neq b$$

De esta manera, la crítica dirigida a los operadores lambda dejan de tener sentido ya que la Lógica Multivalorada es una lógica extensional y cada fórmula solo se interpreta con respecto al mundo actual. Esto lleva a que si tenemos un lenguaje con dos términos a y b , y “ $a = b$ ” es verdadero, entonces cualquier predicado que se pueda aplicar a a también podrá ser aplicado a b .

Pelletier va un paso más allá, defendiendo que las lógicas multivaloradas son las únicas lógicas que pueden utilizar los defensores de la existencia real de la vaguedad, ya que

- a) Poseen la capacidad para hablar sobre la vaguedad mediante el uso de operadores J (o de operadores a partir de los cuales es posible definir dichos operadores J).
- b) La Lógica Multivalorada se comporta de igual manera que la Lógica Clásica cuando solo hace uso de valores clásicos.

- c) Dentro de dicha lógica se cumplen ciertos principios que prácticamente todos los defensores de la vaguedad real deberían dar como válidos (Ley de Leibniz, reflexividad de la identidad y la Unicidad de los Valores Semánticos (USV en inglés)).

Por lo tanto, si la única lógica válida para los teóricos de la vaguedad real (los “indefinidos”) fuera la Lógica Multivalorada, y por otro lado las críticas dirigidas al argumento de Evans dejaran de tener valor bajo dicha lógica, el argumento de Evans podría tomarse como una demostración de que los objetos vagos no existen, y que la vaguedad es fruto de nuestro desconocimiento y falta de información de las proposiciones que manejamos.

El problema, sin embargo, se complica si tenemos en cuenta los postulados propios de la Mecánica Cuántica, algunos de los cuales parecen contradecir el argumento de Evans [87]. En concreto, Lowe utiliza como contraejemplo el proceso de absorción-emisión de electrones en un átomo, donde si el átomo absorbe un electrón a , este debe emitir a su vez un electrón b . En este caso concreto, y dado que los electrones en un átomo se encuentran entrelazados, desde una perspectiva óptica sería imposible determinar si el electrón b es el electrón a que fue absorbido en un primer momento, lo cual contradeciría la afirmación de Evans de que “ $a = b$ ” no puede ser nunca indeterminado.

A partir de aquí, Lowe propone que si el argumento de Evans es erróneo, su fallo se encuentra en el hecho de asignar a b la propiedad $\lambda x[\nabla(x = a)]$, pues entonces, por simetría, el electrón a debería poseer también la propiedad $\lambda x[\nabla(x = b)]$. Pero como no pueden existir datos objetivos que permitan distinguir el electrón a del electrón b , ambas propiedades deben ser la misma y no pueden utilizarse para diferenciar b de a . El paso de (3) a (4) quedaría entonces invalidado, ya que no se puede negar que a posea $\lambda x[\nabla(x = a)]$ tras afirmar que tiene la propiedad idéntica $\lambda x[\nabla(x = b)]$.

El ejemplo de Lowe da lugar a una extensa discusión sobre el concepto de identidad [43], parte de la cual se apoya a su vez en el Postulado de Indistinguibilidad y la conclusión derivada del mismo de que los objetos cuánticos no pueden ser tratados como individuos [110].

En [102] se propone un argumento paralelo al de Evans en función de las propiedades de los individuos que no están relacionadas con el concepto de identidad. En su artículo, Noonan presenta dos casos ejemplificadores de esta nueva aproximación, siendo uno de ellos el del “trasplante de cerebros”. Supongamos que tenemos dos individuos, a y b , uno gordo y otro delgado, respectivamente, y que se realiza un trasplante de cerebros de forma que el cerebro de a se inserta en el cuerpo de b (obteniendo el individuo ab). Partiendo del presupuesto de que es indeterminado que $a = ab$, el resultado final sería que, aunque el individuo ab es delgado, es indeterminado si a es delgado después de realizarle el trasplante. Por lo tanto, si se aplica la Ley de Leibniz, la única conclusión posible es que $a \neq ab$, contradiciendo el presupuesto inicial. El punto positivo de este caso es que la propiedad que se maneja aquí (la propiedad de “ser indeterminado si la persona es delgada después del trasplante de cerebro”) no hace uso del concepto de identidad y no puede rebatirse mediante el argumento esgrimido por Lowe.

Un argumento parecido aparece en [54], basado a su vez en un ejemplo de [152]. En él, tenemos un “aparato filosófico infernal” llamado el Gabinete donde introducimos a un individuo a , de forma que cuando volvemos a abrir la puerta, quien sale de ahí es un individuo al que llamaremos b . La pregunta en este caso sería, ¿El individuo b que sale del Gabinete es el mismo individuo a que entró antes? Siguiendo un razonamiento similar al de Evans, de a sabemos que es indeterminado si sale del Gabinete (es decir, que a posee

la propiedad según la cual es indeterminado que a haya salido del Gabinete), mientras que de b sabemos con certeza que sí es el individuo que ha salido del Gabinete. Por ende, $a \neq b$.

Estos dos casos concretos son criticados en [88] primero, y en [43] después, afirmando que, aunque efectivamente son argumentos que rechazan la crítica expuesta en [87], “*it is easy to see that [...] these cases that Noonan presents are disanalogous with the situation in quantum mechanics which forms the basis of Lowe’s claim*” [43, p. 102]. O, lo que es lo mismo, que esas críticas no son válidas pues nada tienen que ver con los preceptos de la Mecánica Cuántica que el propio Lowe está esgrimiendo.

Si de algo sirve este argumento, es precisamente para darnos cuenta de que el problema de la identidad en la vaguedad, y con él la cuestión de si existen o no objetos vagos en la realidad, no es una cuestión que pueda resolverse de una manera tan sencilla como pretende Evans. Sin embargo, hay que tener cuidado con las conclusiones que pueden sacarse a raíz de esto. Porque si la Mecánica Cuántica nos muestra que, en un principio, hay casos concretos en que existe una indeterminación tal que nos permite hablar de objetos vagos, ¿es correcto tratar la vaguedad como parte intrínseca de la realidad y no como una propiedad de nuestro lenguaje? Lowe afirma que “*The philosophers typically discuss putative examples involving macroscopic objects*” pero que “*what is crucial to the issue is not the familiarity or otherwise of the kind of example under discussion but whether it really does constitute an intelligible example of indeterminate identity residing in the world rather than in our linguistic representations*” [87, p. 114]. Desde el punto de vista del problema ontológico de la vaguedad no hay nada que criticar a este razonamiento, pero esto no es así en los campos donde se pretende obtener un conocimiento empírico del lenguaje mediante el estudio de la vaguedad en entornos “familiares” y, principalmente, “macroscópicos”. El motivo de esto se encuentra en que, en un entorno macroscópico, no se puede hacer uso de la Mecánica Cuántica sin tener en cuenta el fenómeno de la decoherencia cuántica.

Para explicarlo, hay que aclarar que en un entorno cuántico, el estado de una partícula es una combinación de los posibles estados que pueden obtenerse al realizar una medición sobre dicha partícula, cada uno de ellos acompañado de un determinado autovalor². En la notación de Dirac, donde cada *ket* representa un estado cuántico, el estado cuántico de dicha partícula se puede expresar como

$$|\Psi\rangle = \sum_n C_n |\phi_n\rangle$$

La partícula, por tanto, se encuentra en un estado de incertidumbre cuántica al no poder predecir exactamente qué estado se va a obtener cuando se realice la medición.

Por otro lado, si dos partículas interactúan entre sí y se entrelazan, el estado cuántico resultante será de la forma

$$|\Psi\rangle = \sum_{m,n} C_{m,n} |\Psi_{1m}\rangle |\Psi_{2n}\rangle$$

²Debe tenerse en cuenta que el problema de la decoherencia es un tema eminentemente técnico que requiere de un conocimiento avanzado de la Física Cuántica por parte del lector para tratarlo en profundidad, algo que no se pretende hacer aquí. Así pues, lo expuesto a continuación debe tomarse como una mera simplificación.

Si el ket $|\Psi_{1m}\rangle$ hace referencia a los estados indistinguibles de una partícula cuántica (como es el electrón del ejemplo de Lowe) y el ket $|\Psi_{2n}\rangle$ hace referencia a una partícula distinguible del medio en el que se encuentra el electrón, el estado resultante ya no sería un estado cuántico sino un estado cuasi-clásico, comportándose de la misma manera que si se encontrase en un entorno puramente clásico. En un entorno macroscópico el número de partículas en el entorno del electrón se multiplica de manera compleja y, como resultado, el modelo que describa el comportamiento del sistema ya no será un modelo cuántico, sino uno clásico. Esto se conoce como el “problema de la medida”, donde aunque la función de onda evolucione de acuerdo con la ecuación de Schrödinger como una superposición lineal de estados, la sola medida de esa función lleva a que la función colapse, obteniéndose solo un estado definido (esa es, precisamente, la razón por la que un estado cuántico deba expresarse como una distribución de probabilidad). El por qué sucede esto no tiene una respuesta clara, y son muchas las interpretaciones realizadas al respecto. El problema, además, se vuelve más complejo cuando se tiene en cuenta que “*the dividing line between macroscopic and microscopic bodies is unsharp, whereas the separation between quantum and classical theories, with the infinitely greater variety of possible states in quantum theory, is sharp*” [160, p. 434]. De todas formas, aunque no exista un consenso con respecto a la afirmación (propuesta en [89]) de que la Física Cuántica es una teoría válida solo para la descripción de sistemas microscópicos, el hecho de que el mundo macroscópico exhiba un comportamiento clásico es suficiente para asegurar que, cuando se realiza un estudio empírico sobre el uso de la vaguedad en un entorno no especializado, es útil realizarlo desde el punto de vista de la postura definida, lo cual nos permitiría tratar la vaguedad en función de las palabras y percepciones del hablante y no de los objetos o entidades a los que este hace referencia ³.

2.3. Vaguedad de orden superior: el problema de la paradoja sorites

En la vaguedad de orden superior, a diferencia de la vaguedad de primer orden, el problema más extendido es aquel introducido por la denominada paradoja sorites, paradoja que nace de la indeterminación de la extensión de aplicación de un término vago (como puede ser “montón” o “*heap*” en inglés)⁴.

Para ilustrarlo, supongamos que tenemos un grano de arena. Evidentemente, este grano de arena por sí solo no puede considerarse un “montón de arena”, lo cual nos hace pensar que aunque pongamos otro grano al lado de este, estos dos granos de arena

³Es cierto que existen ciertos fenómenos cuánticos macroscópicos como son la superconductividad y la superfluidez, pero estos son casos aislados que no afectan a la conclusión más general que se pretende alcanzar.

⁴El término “extensión” hace referencia a un subconjunto de elementos asociados a un predicado, de manera que estos pueden aplicarse al predicado (extensión positiva) o no aplicarse al predicado (extensión negativa). Formalmente esto se puede expresar como:

$$Ext(A) := \{x \in U | A(x)\}$$

$$Ext(\neg A) := \{x \in U | \neg A(x)\}$$

seguirán sin formar un “montón”. Esta idea, aunque simple y coherente, lleva a un punto de contradicción al continuar con el razonamiento, paso tras paso (tres granos tampoco son un montón, ni cuatro, ni cinco, etc.), hasta llegar a la idea absurda de que, por ejemplo, un millón de granos de arena con la distribución adecuada no forman un montón de arena. Y ahí está la paradoja: que partiendo de unas premisas válidas, y haciendo uso de una regla de inferencia igualmente válidas como es el *Modus Ponendo Ponens*, se llega a través de este razonamiento en cadena a una conclusión falsa⁵.

Una forma de presentar este razonamiento es el del “Sorites Condicional”, la cual se compone de una serie de condicionales:

$$\begin{array}{l}
 M\phi_1 \\
 \text{Si } M\phi_1, \text{ entonces } M\phi_2 \\
 \dots \\
 \text{Si } M\phi_{i-1}, \text{ entonces } M\phi_i \\
 \text{Y, por lo tanto, } M\phi_i
 \end{array}$$

donde ϕ_n es una expresión de la forma “ n granos de arena” y M es el predicado “no son un montón de arena”, de manera que, por ejemplo, $M\phi_3$ se leería como “Tres granos de arena no son un montón de arena”. Por lo tanto, un predicado como M , para aparecer en una paradoja sorites, debe cumplir que: a) sea verdadero para el primer caso $n = 1$, b) sea falso para el último caso de la cadena, $n = i$, y c) Si el elemento ϕ_n hace verdadero M , entonces también lo tiene que hacer verdadero ϕ_{n+1} [60].

Otra manera de expresar la paradoja sorites es como una Inducción Matemática, la cual parte del mismo punto ($M\phi_1$, “Un grano de arena no es un montón de arena”) y llega a que, sea cual sea el valor de n , se cumple que $M\phi_n$ al cumplirse la regla de que $\forall n(M\phi_n \rightarrow M\phi_{n+1})$ (lo que significa que, para todo valor de n , si n granos de arena no forman un montón de arena, tampoco lo va a hacer $n + 1$ granos de arena).

El hecho de que existan varias formas de presentar la paradoja sorites hace más complicado el intento de resolverla, ya que es necesario encontrar cuál es la dificultad existente y común a todas ellas.

Por ejemplo, Frege y Russell defienden que en el lenguaje natural la vaguedad, más que una propiedad de algunos términos, es un defecto que debe (y puede) ser eliminado. Por lo tanto, si la vaguedad se reduce hasta su desaparición, la paradoja sorites deja de tener sentido. En [112] se vuelve a exponer este argumento, afirmando que directamente se puede prescindir de los términos vagos, y que las complicaciones que esto pudiera causar en nuestra forma de hablar se verían compensadas por las ventajas que acompañan a la simplificación del lenguaje. Sin embargo, estas doctrinas de los lenguajes ideales han perdido fuerza en los últimos años (como veremos en el capítulo siguiente, existen interpretaciones según las cuales el propio Frege solo defendería esta postura en campos específicos del conocimiento), y cada vez es más común tratar la vaguedad como un elemento característico de los lenguajes naturales.

⁵Esta paradoja se le atribuye a Eubulides de Mileto (siglo IV a.C.), quien la enunció haciendo uso del término “calvo”: “Si un hombre con un solo pelo en la cabeza es considerado calvo, y uno con diez mil pelos no lo es, ¿a partir de qué cantidad de pelos podríamos considerar que un hombre deja de ser calvo?”. Sin embargo, no sería hasta finales del siglo XIX y principios del XX que la paradoja sorites no despertó el interés de los filósofos Marxistas neo-Hegelianos por un lado (como argumento en contra de la lógica establecida y como prueba del triunfo de la dialéctica [60]), y en el resto del mundo por el otro a raíz del creciente interés por el estudio de los lenguajes naturales.

Otra solución se apoya en una perspectiva epistémica del problema, de manera que el ser humano considera todas las premisas de la paradoja sorites como válidas a causa de su desconocimiento e ignorancia, lo que entraría dentro de los argumentos que niegan alguna de las premisas [163, 137, 138]. Este desconocimiento haría referencia a nuestra incapacidad para conocer cuál es el valor n (utilizando la notación anterior) a partir del cual $M\phi_m$ (siendo $m > n$) ya no es verdadero, aunque en el mundo real sí que existiría dicho punto o frontera. Quien se enfrenta a la paradoja, aun cuando alcanza dicho punto n entre los grupos de granos de arena que no forman un montón de arena y los que sí lo hacen, no lo reconoce como tal dado que la diferencia entre n granos de arena y $n - 1$ granos de arena es imperceptible, y por tanto no parece razonable pensar que el caso de n granos de arena posea una propiedad (en este ejemplo, M , “ser un montón”) que $n - 1$ no posee. La crítica a esta perspectiva parece evidente: es un argumento poco intuitivo, pues el solo ejercicio de imaginar una frontera posible para todos los montones de arena ($n = 10452$ granos, por ejemplo), hace que dicha frontera se vea siempre como algo arbitrario y, por tanto, sea poco intuitiva.

Una tercera posibilidad es la que ofrece la perspectiva supervaluacionista. En este caso, se supone que entre los casos que claramente no son montones de arena y los que sí lo son hay una serie de elementos de los cuales no se puede decir que sean montones de arena, pero tampoco lo contrario (es decir, existe un *gap* o hueco en los valores de verdad), algo que permite situar una línea divisoria entre los que son montones y los que no en cualquier conjunto de granos de arena perteneciente a esta región intermedia. De esta manera, se puede decir que una proposición es verdadera si y solo si es verdadera para todas las líneas divisorias posibles, que es falsa si lo es para todas las líneas divisorias posibles, y que una proposición estará indefinida si es verdadera para algunas líneas divisorias, pero falsa para otras.

Una premisa de la paradoja sorites como es “si n granos de arena no son un montón de arena, $n + 1$ granos de arena tampoco lo serán” será indefinida al poder tomarse como verdadera o como falsa según el punto en el que tracemos la línea de separación. Y así no sería contradictorio que el razonamiento que compone la paradoja fuera válido a pesar de que la conclusión no lo fuera.

El problema de esta solución está en que, de nuevo, se aleja de la interpretación intuitiva de la realidad al defender que el acto de trazar líneas divisorias precisas tanto dentro de la región intermedia como en sus límites es un acto coherente (haciendo que, por ejemplo, si existe un cierto número n de granos de arena para los cuales esos granos son considerados un montón de arena, si retiramos un solo grano de arena y no desestabiliza a los existentes, los $n - 1$ granos de arena restantes dejarán ya de ser un montón de arena).

También existen otro tipo de respuestas que niegan la validez del argumento (el que se llegue a la conclusión indicada partiendo de esas premisas), siendo la más destacable la que ofrece la Lógica Multivalorada. Esta solución solo es posible mediante la idea de que existen distintos “grados de verdad”, de manera que no hay una bivalencia a la hora de catalogar una proposición: no es simplemente “verdadera”, o simplemente “falsa”, sino que existen varios (o infinitos) grados intermedios. Por ejemplo, una proposición como “un hombre con un millón de pelos en la cabeza no es calvo” tendría un alto grado de verdad, y “un hombre con diez mil pelos en la cabeza no es calvo” tendría un grado de verdad inferior a la primera.

Ahora, recordemos que la paradoja sorites se compone de la iteración de la misma

inferencia: 1) “tenemos a ”, 2) “si a , entonces b ” y, 3) “por lo tanto, b ”. Si a es “Mil granos de arena hacen un montón de arena”, y b es “novecientos noventa y nueve granos de arena hacen un montón de arena”, el grado de verdad de a será ligeramente superior al grado de verdad de b . De esta manera, con cada iteración, el grado de verdad de la proposición resultante irá siendo cada vez menor (c tendrá un grado de verdad menor que b , d un grado de verdad menor que c , etc.). Y finalmente, al llegar a la proposición final: “un grano de arena hace un montón de arena”, esta tendrá grado de verdad cero de acuerdo con nuestra propia intuición, y la paradoja quedaría así resuelta [47].

Por último, la solución más extrema (y sencilla) es aquella que defiende que la paradoja es un argumento válido. Este es un caso particular de las soluciones que niegan alguna de las premisas, en el cual lo que se niega es la primera premisa [150, 60]. Esta postura nihilista de la realidad afirma que, por ejemplo, un millón de granos de arena no forman un montón de arena (o que un hombre sin pelo no es calvo, o que un hombre de cien años no es viejo), pero dado que el número de la premisa inicial es arbitrario, la conclusión inmediata a la que se llega es que no existe nada ni nadie que pueda considerarse calvo, o alto, o viejo, o que no existen los montones de arena⁶.

Después de exponer en los puntos antecedentes las características fundamentales sobre la vaguedad, a raíz de las cuales se establecen suficientes argumentos a favor de la existencia de la vaguedad de orden superior (una vaguedad que se encuentra ligada al lenguaje y nuestras percepciones del mundo), el siguiente paso es examinar las principales teorías formales que analizan la vaguedad desde una perspectiva no general [101, p. 11].

2.4. Principales formalizaciones de la vaguedad: la aproximación de grado

Para que una aproximación formal describa adecuadamente la implementación de la vaguedad en el lenguaje, esta debe explicar de manera satisfactoria por qué la vaguedad aparece en unos casos y en otros no, además de tener la capacidad necesaria para formalizar correctamente las tres propiedades características de las oraciones vagas, a saber: la dependencia del contexto, la existencia de casos de frontera y la aparición de la paradoja sorites.

Es otras palabras, debe hacer referencia a las condiciones de verdad de una proposición teniendo en cuenta el tiempo y lugar en que es utilizada, haciendo que, por ejemplo, “La casa es antigua” sea una proposición verdadera dependiendo de los años que tenga la casa y del momento a partir del cual se considera a una casa “antigua” en el contexto de preferencia de la proposición. Además, deberá ofrecer una respuesta satisfactoria a la cuestión de por qué no siempre se puede determinar con claridad la verdad o falsedad de determinadas oraciones vagas (en el caso anterior, se puede decir sin duda que una casa de mil años es antigua, y que una de un año no lo es, pero esto no es así (o al menos no con tanta claridad) si hablamos de una casa de, por ejemplo, diez años). Estos casos de

⁶Téngase en cuenta que tanto en esta como en las propuestas anteriores se busca resolver una paradoja en la cual el concepto de “montón de arena”, o de “calvo”, solo depende del número de elementos existentes (granos de arena y pelos, respectivamente), y no de su forma, volumen o posición. Esta simplificación aleja el concepto tratado de nuestra intuición, y por ello en [145] se propone una interpretación alternativa del problema, más compleja pero a la vez más realista y acorde a nuestro sentido común.

frontera y su dependencia contextual son los que hacen que las pequeñas e irrelevantes variaciones en el contexto puedan desencadenar una serie de inferencias válidas que, sin embargo, terminan generando conclusiones que son claramente falsas y que dan lugar a la paradoja sorites antes mencionada.

Han sido varias las aproximaciones que han intentado explicar formalmente estas tres propiedades, aunque todas ellas comparten la idea de que son los adjetivos, por encima de las demás categorías gramaticales, las que introducen con más frecuencia la vaguedad en nuestro lenguaje. Sin embargo, de las opciones disponibles, la que quizá ofrezca la solución más plausible al problema de la vaguedad es la aproximación de grado, la cual aparece por primera vez en [22].

En este artículo se introduce el concepto de grado para formalizar la unión de un sustantivo y un adjetivo como la relación existente entre el elemento x al que hace referencia el sustantivo (sea o no sea este real) y una entidad asociada a x , el grado d , que representa el valor o cantidad de la propiedad dada por el adjetivo. Según esta perspectiva, “perro grande” debe tratarse como la relación entre el perro representado por el sustantivo “perro” y el grado de tamaño que posee este animal. Cresswell utiliza el operador (silente) *pos* para formalizar esta idea:

$$\llbracket \text{perro grande} \rrbracket = \text{pos}(\text{grande})(\text{perro})$$

donde *pos(grande)* es un modificador de nombre aplicado a “perro”. Entonces “perro grande” será verdad si y solo si a) “perro” hace referencia a una entidad x que verdaderamente es un perro, b) d es el grado de tamaño de x , y c) d pertenece al conjunto ordenado de los grados para los cuales los perros pueden considerarse “grandes”. Así pues, esta aproximación se fundamenta en que el conjunto de grados se ordena totalmente en función de un elemento o dimensión concreto (ya sea este tamaño, altura, temperatura, etc.), en que dichos grados son representaciones no numéricas de medida y en que, además, los adjetivos de grado sirven para relacionar un argumento (“perro” en el ejemplo anterior) con un grado ⁷.

La aproximación de Cresswell, a pesar de sus ventajas, posee una serie de problemas insalvables en su forma original. El primero de ellos es que no respeta el principio de composicionalidad (tal y como se indica en [74]), pues aunque el morfema silente *pos* aparezca en las oraciones afirmativas, no lo hace en las comparativas, haciendo que el significado de, por ejemplo, “el perro es más grande que el ratón”, no dependa del significado de “el perro es grande”. El segundo problema tiene relación con la naturaleza ontológica del

⁷Es importante aclarar que el hecho de añadir un nuevo elemento como es el grado (representado por la letra d) supone a su vez una variación dentro de la Gramática de Montague. Se han propuesto varios tipos semánticos para los adjetivos, de los cuales los dos más utilizados son los tipos $\langle e, d \rangle$ [70] y $\langle d, \langle e, t \rangle \rangle$ [71, 101]. $\langle e, d \rangle$ es una relación tal que, cuando se le satura con un elemento e , esta da un determinado grado d , mientras que la relación $\langle d, \langle e, t \rangle \rangle$ da un valor semántico de verdad t solo tras asignarle primero un grado d y después un elemento e . En la práctica ambas opciones son igualmente válidas y utilizar una u otra no cambia ninguna de las explicaciones siguientes (más allá de los cambios formales pertinentes), de manera que en este caso se tomará el tipo semántico $\langle d, \langle e, t \rangle \rangle$. En consecuencia, el significado formal de un adjetivo G se expresará como:

$$\llbracket G \rrbracket = \lambda d \lambda x. G(d)(x)$$

o, lo que es lo mismo, “aquel grado d y aquel elemento x tal que x posee el grado d de la escala asociada al adjetivo G ”.

grado, pues según el formalismo de Cresswell los grados son relaciones de equivalencia \approx definidos de manera que:

$$\begin{aligned} a \approx_X B & \text{ si y solo si para todo } c, \\ a \text{ "es más } X \text{ que" } c & \text{ si y solo si } b \text{ "es más } X \text{ que" } c, \\ \text{y } c \text{ "es más } X \text{ que" } a & \text{ si y solo si } c \text{ "es más } X \text{ que" } b \end{aligned}$$

Es decir, esta definición de grado se fundamenta en los comparativos, tomándolos como unidad primitiva: dos elementos a y b serán equivalentes con respecto a una propiedad X solo si se cumple que a , cuando sea más X que c , eso signifique que b también sea más X que c , y viceversa. Sin embargo, una oración comparativa de la forma “ a es más X que b ” solo puede ser verdad si el grado de a asociado a X es mayor que el de b , por lo que el comparativo se define en función de los grados. Esto lleva a que la definición de grado, al menos en la forma en que es enunciada por Cresswell, es una definición circular y, por tanto, no es válida. Pero el problema es aún mayor ya que, incluso aunque aceptásemos su validez, obtener el valor de verdad de una oración se volvería una tarea compleja en exceso: en el caso de “el perro es más grande que el ratón”, primero habría que obtener el conjunto de elementos que no son ni más ni menos grandes que el perro y después el conjunto de elementos que no son ni más ni menos grandes que el ratón, y para ello sería necesario comparar entre sí todos y cada uno de los elementos del universo del discurso.

La solución parte de adoptar una concepción abstracta del grado y utilizar una mejor definición del morfema silente *pos*. Un primer intento puede encontrarse en [69] y [71]:

$$\llbracket pos \rrbracket^c = \lambda G \lambda x. \exists d [d \geq \text{estándar}(G)(C) \wedge G(d)(x)]$$

Ahora *pos* es una función que relaciona el grado d de un adjetivo con un “estándar de comparación” C (que, por definición, es un grado de la misma escala a la que pertenece d que se corresponde con el grado más bajo de la escala de G que satisface el predicado) [155]. Por otro lado, C es una propiedad dependiente del contexto, de manera que $\text{estándar}(G)(C)$ dará como resultado el estándar de comparación de un adjetivo G para una clase de comparación C . En consecuencia, $d \geq \text{estándar}(G)(D)$ será verdad solo si d es mayor que dicho estándar de comparación y $G(d)(x)$ será verdad solo si ese d es el grado de la escala relacionada con el adjetivo G que posee la entidad x .

Por ejemplo, si cogemos el adjetivo “grande” del ejemplo “el perro es grande” y saturamos a este morfema *pos*, tenemos que:

$$\llbracket pos \rrbracket^c(\llbracket grande \rrbracket^c) = \lambda G \lambda x. \exists d [d \geq \text{estándar}(\llbracket grande \rrbracket)(C) \wedge \text{grande}(d)(x)]$$

y, en consecuencia, el significado de “el perro es grande” será:

$$\llbracket \text{El perro es POS grande} \rrbracket^c = \exists d [d \geq \text{estándar}(\llbracket grande \rrbracket)(C) \wedge \text{grande}(d)(\llbracket perro \rrbracket)]$$

Si C es la propiedad de, por ejemplo, “ser un perro de raza caniche” (es decir, es la condición de pertenencia al conjunto de perros de raza caniche) y el tamaño del perro es superior al que suele alcanzar dicha raza, entonces la proposición es verdadera aunque el perro en cuestión no sea “grande” en relación con el conjunto de todos los perros existentes.

Esta definición de *pos* todavía tiene algunos problemas, ya que no explica por qué existen los casos de frontera (solo es necesario saber cuál es el grado d de x , cuál es el

estándar de comparación y comprobar si d es mayor o menor que dicho estándar para saber si la proposición es verdadera o falsa). Además, esto invalidaría la segunda premisa de la paradoja, lo cual no puede ser correcto ya que el ser humano no la reconoce como falsa. La solución podría ser que tanto la paradoja sorites como los casos de frontera no tienen una explicación semántica, sino epistemológica. El estándar de comparación existiría, pero o no podríamos encontrarlo o aun encontrándolo no podríamos aceptarlo como el estándar con el que comparar los grados. Su valor tendría una región de incertidumbre que explicaría los casos de frontera, y por ende la paradoja sorites.

Partiendo de esta solución, el estándar de comparación debe depender del contexto y no puede, por ejemplo, ser simplemente la media de valores del conjunto. Una de las propuestas que tienen en cuenta este hecho está en [48], cuyo autor afirma que la vaguedad solo puede ser formalizada si tratamos el interés de los interlocutores como un nuevo parámetro. De esta forma, la paradoja sorites existiría porque el paso enunciado por la segunda premisa es demasiado pequeño como para resultar significativo. Con respecto al morfema *pos*, ya no basta con que d sea superior al estándar de comparación, sino que tiene que serlo de manera suficiente para que dicha diferencia destaque para el interlocutor:

$$\llbracket pos \rrbracket^c = \lambda G \lambda x. \exists d [d !\succ \text{norm}(G)(C) \wedge G(d)(x)]$$

Esta vez, $!\succ$ es una relación según la cual $x !\succ y$ significa que x es mayor que y de una manera relevante para el agente.

El único inconveniente de este morfema *pos* es que, aunque es dependiente de dicho agente, no tiene en cuenta el hecho de que a veces se puede afirmar o negar algo de manera independiente a él (podemos afirmar que “el perro es grande” sin el conocimiento de un agente que vea como relevante el tamaño del perro al que estamos haciendo referencia).

A raíz de esto, otra propuesta alternativa se puede encontrar en [70]⁸:

$$\llbracket pos \rrbracket^c = \lambda G \lambda d \lambda x. \exists d [s(G) \leq d \wedge G(d)(x)]$$

donde $s(G)$, una vez introducido como argumento un adjetivo G concreto, da como resultado un estándar de comparación de forma que cualquier elemento x que posea un grado d superior a este estándar destacará en relación a la propiedad asignada por G en ese contexto. Esta definición invalida la segunda premisa de la paradoja sorites y además explicaría por qué aún seguimos viéndola como verdadera (ya que, aunque existe un estándar de comparación, nosotros no podemos saber cuál es).

Por último, es importante destacar que los dos formalismos anteriores, tanto el de Graff como el de Kennedy, comparten una misma característica: no permiten distinguir entre un elemento y otro si sus grados están muy cerca el uno del otro en la misma escala (los llamados “crisp judgments”). La única excepción sería cuando en el universo del discurso solo hubiera dos elementos, x e y . En ese caso, aunque por ejemplo x midiese 2,13 metros e y 2,12, sí sería verdad que “ x es alto en comparación con y ”, ya que un estándar de comparación debe siempre dividir el universo del discurso en una extensión positiva y otra negativa, ninguna de las cuales puede estar vacía [70, 74].

Este morfema *pos* es importante dado que tiene como función formalizar la estructura semántica de las oraciones positivas, pero todavía dejan una serie de puntos sin explicar,

⁸En este artículo se utiliza el tipo gramatical $\langle e, d \rangle$, por lo que aquí el formalismo se ha modificado para que se ajuste al tipo $\langle d. \langle e, t \rangle \rangle$ utilizado en la presente obra.

empezando por el hecho de que no todos los modificadores proposicionales se pueden aplicar a todos los adjetivos. “El perro es muy grande” es una proposición aceptable que no genera extrañeza, pero no así “El perro es medio grande”, e igual sucede con “el espejo está bastante sucio” pero no con “el espejo está casi sucio”.

Sin embargo, y a diferencia de otros formalismos, dentro de la aproximación de grado sí se ha propuesto una solución. Más concretamente, en [71] y [119] se sugiere que las culpables de este comportamiento son las escalas, las cuales por primera vez se tratan como elementos lingüísticamente relevantes. Estas escalas pueden definirse por medio de tres parámetros: un conjunto de grados, una relación de orden que ordena dicho conjunto, y una “dimensión” (también llamada “medida”) que establece cuál es la propiedad real representada por la escala (peso, tamaño, edad, etc.). Así pues, todos los elementos de la escala están relacionados, de forma que dos elementos cualesquiera que pertenezcan a ella podrán compararse entre sí (siendo uno mayor que el otro).

La manera utilizada para representar estas escalas es mediante intervalos. En total existen cuatro tipos distintos según contengan o no sus límites: los intervalos cerrados $[0, 1]$ (que poseen ambos límites), los abiertos $(0, \infty)$ (que no tienen ninguno) y los semi-abiertos, que poseen o bien el límite superior $((0, 1])$ o el inferior $([0, \infty))$ ⁹. La categoría gramatical de los adjetivos también puede clasificarse en estas cuatro categorías, pues según la aproximación de grado cada adjetivo está asociado a un intervalo concreto.

Un primer intento de clasificar el conjunto de los adjetivos ya se puede encontrar en [166], donde se les cataloga en función de su comportamiento en las oraciones conocidas como “oraciones burro”. Estas se caracterizan por poseer en su estructura un pronombre que no está relacionado sintácticamente con su referente, sino solo por su estructura semántica. Es decir, el referente es evidente para quien lee o escucha la oración, pero no así para quien busca una explicación del mismo fundamentada en su gramática. Un ejemplo sería “El transportista que traía la compra la mojó al colocarla junto a la pila”, una oración cuyas condiciones de verdad exigen que al menos una de las bolsas de la compra se haya mojado. Por el contrario, una oración como “El transportista que traía la compra la mantuvo seca al no colocarla junto a la pila” solo puede ser verdadera si todas y cada una de las bolsas de la compra se mantuvieron secas. Esta prueba es suficiente para indicar que tanto “mojado” como los adjetivos que se comportan de esta manera (por ejemplo, “peligroso”, “sucio” y “enfermizo”) son de una misma categoría, y que los adjetivos como “seco” (por ejemplo, “seguro”, “limpio” y “saludable”) son de otra. Los primeros reciben el nombre de adjetivos parciales, y los segundos el de adjetivos totales. La principal característica de estos dos tipos de adjetivos es que cada adjetivo total está emparejado con un adjetivo parcial, de manera que uno es el antónimo del otro (“seguro-peligroso”, “limpio-sucio”, “saludable-enfermizo”).

Lo más relevante de esto es que, gracias a [119], se establece una relación entre los adjetivos parciales y las escalas sin límite superior (en las cuales existe un grado mínimo a para el cual, si un elemento x posee dicho grado y A es la propiedad asignada por el adjetivo, no habrá ningún otro elemento que sea “menos A que x ”), y los adjetivos totales y las escalas sin límite inferior (en las cuales existe un grado máximo a para el cual, si un

⁹Esta notación no es literal. Los grados no tienen una correspondencia numérica, por lo que 0 significa que no hay grados negativos (es decir, que denoten una falta de la cualidad representada por la dimensión de la escala a la que pertenecen) y 1 que existe un grado máximo a para el cual cualquier otro grado b de la escala cumplirá que $a > b$.

elemento x posee dicho grado, no habrá ningún otro elemento que sea “más A que x ”).

Estos adjetivos no pueden considerarse vagos pues, para empezar, en estas escalas el estándar de comparación no depende del contexto sino que siempre se sitúa en estos límites inferiores y superiores [70]. Además, tampoco existen los casos de frontera, pues el grado asociado a un elemento x solo tiene dos opciones: o se sitúa en el estándar de comparación, en el límite de su escala (y, en consecuencia, “ x está limpio” es una proposición verdadera) o no lo está (en cuyo caso será verdadero que “ x está sucio”). Igualmente, esto significa que la segunda premisa de la paradoja sorites ya no es válida y además resulta contraintuitiva debido a que está perfectamente claro cuál es el punto a partir del cual un elemento se encuentra en el límite de la escala o no (si se quitan motas de polvo del suelo de una habitación, es evidente que llegará un punto en el que, cuando ya no quede polvo, el suelo estará limpio).

Una vez llegada a esta conclusión, cabe preguntarse qué tipo de adjetivos son aquellos que se asocian a los otros dos tipos de escalas. En el caso de las escalas abiertas, al no existir ni límite inferior ni límite superior, el estándar de comparación dependerá del contexto, y esto llevará a su vez a que sí existan casos de frontera y a que la paradoja sorites aparezca. Por ese motivo los adjetivos como “caliente” y “frío” son adjetivos vagos y, al aparecer en una proposición, su estructura semántica solo puede ser explicada mediante el morfema silente *pos*.

En este contexto, los adjetivos vagos, asociados a una escala abierta, reciben el nombre de adjetivos relativos, y aquellos asociados a una escala parcialmente cerrada se les denominan adjetivos absolutos.

El cuarto y último tipo de escalas son las escalas cerradas, donde en lugar de haber un solo extremo hay dos límites, uno superior y otro inferior, entre los que se sitúan todos los grados existentes. Algunos ejemplos son “lleno” y “vacío”, o “abierto” y “cerrado”, pues una puerta, por ejemplo, no puede estar menos que cerrada ni más que abierta. Una particularidad de estos adjetivos es que la escala asociada a un adjetivo es la misma que la de su antónimo, solo que invertida, y por consiguiente una puerta con un grado mínimo en la escala de “abierto” tendrá un grado máximo en la escala de “cerrado”.

El hecho de que estas escalas posean dos extremos hace que sea más complicado identificar cuál es el punto en el que se sitúa el estándar de comparación. Solo hay dos opciones: o la posición del estándar viene determinado por el contexto, o este se sitúa en un punto concreto de la escala para cada adjetivo. Es en [70] donde se establece que los adjetivos de las escalas cerradas tienen estándares de comparación independientes del contexto y, por tanto, al igual que los adjetivos asociados a escalas parcialmente cerradas, pertenecen al conjunto de los adjetivos absolutos.

En total, existen cuatro pruebas a partir de las cuales se puede saber si un adjetivo es relativo o absoluto:

La primera consiste en que afirmar o negar la posesión de una cualidad descrita por un adjetivo absoluto implica algo distinto que afirmar o negar la posesión de una cualidad descrita por un adjetivo relativo. En el caso de los adjetivos absolutos, si se dice que “ x no es a ” (donde a es el grado mínimo de la escala de A), eso implica que x no posee ningún grado perteneciente a la escala asociada a A , mientras que con los adjetivos relativos, “ x no es a ” puede ser verdadero junto con “ x es b ”, donde b sería otro grado de la misma escala. Por ejemplo, “la copa no está vacía” implica que “la copa está llena”, mientras que “el hombre no es pequeño” puede ser verdad junto con “el hombre es mediano” ya que

2. Análisis semántico-formal del problema de la vaguedad

eso no implica que el hombre sea necesariamente “grande”. Esta prueba también puede realizarse con “ x es a ” donde a sería, en este caso, el grado máximo de la escala de A . Si A fuera un adjetivo absoluto, “ x es a ” implicaría que x no puede tener un grado b tal que $b > a$, pero no así en el caso de los adjetivos relativos (por ejemplo, no puede ser verdadera la oración “El rey está muerto, pero podría estar más muerto”, pero sí la oración “El árbol era alto, pero podría haber sido aún más alto”).

Una segunda prueba hace referencia a las “frases de medida” (“doce grados centígrados”, “setenta y siete centímetros”, etc.) y a la necesidad que tienen de ellas los adjetivos relativos para establecer un contexto mediante el cual poder realizar una “precisificación natural”, es decir: distinguir entre dos objetos teniendo en cuenta únicamente las pequeñas diferencias entre sus propiedades. Volviendo al ejemplo anterior, si necesitamos talar un árbol que sea “alto” y tenemos dos árboles entre los que elegir, y uno de ellos solo mide un centímetro más que el otro, sería absurdo decir que uno es alto mientras que el otro no lo es. Para hacerlo, se necesitaría una frase de medida como “buscamos un árbol de al menos dos metros” para dar el contexto necesario para saber cuál escoger si tenemos dos árboles, uno de dos metros y otro de 1,99 metros de altura. Los adjetivos absolutos se comportan de manera diametralmente opuesta: “El avión debe estar lleno antes de despegar” sirve para saber que, si tenemos dos aviones, uno de ellos con todos sus asientos ocupados y otro con un asiento libre, el primero puede despegar mientras que el segundo no, y ello sin necesidad de utilizar frases de medida.

En tercer lugar, la diferencia más evidente entre los adjetivos relativos y los absolutos es que, al ser los primeros vagos y los segundos no, unos harán que aparezca la paradoja sorites mientras que los otros invalidarán su segunda premisa. Por ejemplo, supongamos que tenemos el caso de una puerta cerrada. La supuesta paradoja sería de la forma:

Una puerta encajada en su marco está cerrada.

Si la hoja de la puerta se separa un centímetro del marco, la puerta seguirá cerrada.

Conclusión: Una puerta totalmente separada de su marco seguirá estando cerrada.

Sin embargo, la segunda premisa es totalmente falsa, ya que la condición para que una puerta esté cerrada es que dicha puerta esté encajada por completo en el marco.

Por último, la cuarta prueba se basa en el hecho de que el estándar de comparación de los adjetivos relativos, al depender del contexto, puede cambiar para que sea posible elegir entre dos elementos, A y B , en función de cuál de ellos posee la propiedad asociada a un adjetivo concreto y cuál no (lo que se conoce como “estándar de diferenciación”). Un ejemplo sería el de dos hombres en una sala, y un tercero que les observa y al que se le pide que señale al hombre alto de esa sala. Si existe una diferencia de altura apreciable entre ambos (es decir, si no es un *crisp judgment*), el observador podrá comparar la altura de uno con la del otro y elegir en consecuencia. Sin embargo, si en la sala tenemos dos copas y pedimos al observador que señale la que está llena, el problema se complica. Si una tiene agua y la otra no, la solución es evidente, pero si ambas tienen agua lo más probable es que el observador no pueda tomar una decisión. Se podría argumentar que si la diferencia entre ambos elementos es muy grande (si una copa está mucho más llena que la otra), la decisión sí puede tomarse. Aunque esto es cierto, tal comportamiento se debe a una cuestión pragmática, y no semántica, ya que se apoya en las máximas de Grice de claridad e información. Bajo esta perspectiva, cuando le ordenamos al observador que señale la

copa que está llena, este presupone que buscamos darle una orden clara, sin ambigüedades. Entonces elegirá la copa que tiene más agua, pues en el contexto de preferencia de la orden la otra copa se puede tomar como vacía y gracias a esto el observador no necesita de nuevas órdenes o aclaraciones para tomar su decisión.

Una vez aclarados estos cuatro parámetros, necesarios para decidir si un adjetivo es absoluto o relativo, aún queda por explicar el por qué el estándar de comparación de las escalas cerradas y semicerradas debe situarse siempre en uno de sus límites. La explicación se sustenta en el llamado “Principio de Economía Interpretativa”, el cual asegura que la intención de un individuo cuando habla es la de “maximizar la contribución del significado convencional de los elementos de una oración para el cálculo de sus condiciones de verdad” [71, 70]. En otras palabras, los hablantes intentarán en la medida de sus posibilidades utilizar siempre estándares de comparación independientes del contexto, pues cada persona ve el mundo que le rodea de una forma distinta y, por ende, el contexto es subjetivo y sujetos a cambios individuales. El estándar de comparación debe ser el mismo para ambos interlocutores, y eso solo es posible si el estándar se sitúa en un extremo de la escala.

Por ejemplo, el estándar de comparación para el adjetivo “limpio” será siempre un grado, un punto de la escala en función del cual se puede saber si un elemento está limpio o no lo está (para saberlo, solo habría que decidir si el grado asociado a dicho elemento supera de manera relevante al estándar de comparación). Si este estándar se encontrara en el extremo de la escala asociada a “limpio”, el significado del adjetivo solo dependería de las propiedades estructurales de su escala, mientras que si el estándar se situara en cualquier otro punto (es decir, si fuera dependiente del contexto), el significado dependería de otros objetos relevantes en el contexto de preferencia. Sin embargo, y aunque en un principio existan estas dos opciones, al aplicar el Principio de Economía Interpretativa esta última posibilidad queda descartada.

En el caso de los adjetivos asociados a escalas cerradas, el Principio de Economía Interpretativa no esclarece en cuál de los dos extremos se debe situar el estándar. Entonces la solución será distinta para cada adjetivo, e incluso habrá casos en los que el estándar podrá estar tanto en un extremo como en otro. “opaco” y “transparente” es uno de los ejemplos más evidentes: un líquido muy oscuro puede ser “casi opaco” siendo todavía transparente (por lo que el estándar de comparación se sitúa en el extremo superior de la escala), mientras que otro líquido ligeramente turbio puede considerarse “casi transparente” sin llegar a serlo (situando el estándar de comparación en el extremo inferior de la escala).

A raíz de todas estas cuestiones, se ha propuesto formalizar el significado de los modificadores proposicionales basándose en la intuición de los hablantes [71, 101], haciendo que, por ejemplo, la estructura semántica de “casi” y “medio” sea la siguiente:

$$\llbracket \text{casi} \rrbracket = \lambda G \lambda x. \exists d [G(d)(x) \wedge \max(\text{escala}(G)) - d \succ d - \min(\text{escala}(G))]$$

$$\llbracket \text{medio} \rrbracket = \lambda G \lambda x. \exists d [G(d)(x) \wedge \max(\text{escala}(G)) - d = d - \min(\text{escala}(G))]$$

Dicho de otra manera, un elemento x estará “medio lleno” si, dado un grado d asociado a x y perteneciente a la escala asociada al adjetivo G , la longitud del intervalo existente entre el máximo de la escala y d es igual a la longitud del intervalo existente entre d y el mínimo de la escala. De igual forma, un elemento x estará “casi lleno” si la longitud del intervalo que separa el máximo de la escala y d es superior de manera relevante con respecto a la longitud del intervalo que separa a d del mínimo de la escala. A su vez,

estos modificadores no podrán saturarse con adjetivos cuyas escalas no posean máximo o mínimo, por lo que eso explicaría que “medio lleno” lo tomemos como válido pero no así “medio sucio” o “medio grande”.

La aproximación de grado, y más concretamente esta división de la categoría gramatical de los adjetivos en adjetivos absolutos y adjetivos relativos, también sufren de algunos problemas o inconvenientes.

Un argumento que se puede esgrimir en contra se fundamenta en que, a veces, las oraciones que contienen un adjetivo absoluto se comportan de una manera imprecisa, muy similar a cómo lo harían las oraciones en las que hay un adjetivo relativo. Un ejemplo sería el hecho de que “la ventana está abierta” puede tomarse como verdadera junto a “la ventana podría estar más abierta”, o que consideremos cierta la afirmación “la calle está vacía a estas horas” aunque en realidad veamos a una o dos personas caminando por ella. El problema se puede resolver mediante la teoría de los “halos pragmáticos” [79] si se le considera un problema pragmático y no uno semántico. Lasersohns afirma que las condiciones de verdad de una proposición no son rígidas, y que en el contexto de preferencia c de una proposición p existen otras proposiciones distintas a p pero que comparten su valor de verdad (y que forman el conjunto Q). El motivo sería que las diferencias existentes entre las proposiciones de Q y p no son muy grandes y que, pragmáticamente hablando, pueden ser descartadas a la hora de analizar su valor semántico (Q sería el “halo pragmático” de p).

Otro inconveniente de la aproximación de grado viene dado por las dificultades existentes a la hora de utilizar la estructura semántica del morfema silente pos descrito anteriormente para los adjetivos cuyo estándar de comparación no depende de una clase de comparación y que, por tanto, se sitúa en uno de los extremos de la escala. Como ya se ha indicado, una forma positiva es verdadera si el grado d del elemento x es superior al estándar de comparación, pero si el estándar está en el extremo superior de la escala ninguna forma positiva sería verdadera ya que, por definición, es imposible que haya un grado más allá de ese extremo. Alguno resolvería esta cuestión sustituyendo la relación irreflexiva \succ por \succneq , pero en ese caso el problema lo tendríamos en los casos en que el estándar se encuentra en el extremo inferior, pues entonces todos los grados cumplirían la condición de verdad del morfema y todas las formas positivas serían, en consecuencia, verdaderas). La única forma de subsanar este error es formalizar pos de manera que se aplique una relación u otra en función del tipo de adjetivo de la forma positiva [71]:

$$\llbracket pos \rrbracket = \lambda G \lambda d \lambda x. \exists d [\text{estándar}(G)(d) \wedge G(d)(x)]$$

De nuevo $G(d)(x)$ será verdad si d es el grado de x asociado a la propiedad representada por el adjetivo G , pero ahora $\text{estándar}(G)(d)$ será verdad si d es estrictamente mayor al estándar o igual a él en función de si el estándar se encuentra en el extremo inferior de la escala o en el superior, respectivamente.

Si aceptamos como válidas las dos propuestas aquí mencionadas (el uso de los “halos pragmáticos” y la modificación de las condiciones de verdad del estándar en el morfema pos), no existen otros contraargumentos relevantes que limiten la aproximación de grado (algo que, como se verá a continuación, no sucede con otras aproximaciones semánticas existentes) y, por tanto, la convierten en una teoría de la vaguedad conveniente desde la que partir a la búsqueda de soluciones prácticas para el diseño de sistemas vagos de resolución.

2.5. Otras aproximaciones

Además de la aproximación de grado, existen otras dos aproximaciones alternativas que, a su vez, intentan desarrollar un formalismo con el cual ser capaces de analizar de manera concreta la aparición de la vaguedad y los casos de frontera en el lenguaje natural.

2.5.1. La aproximación de Klein

A diferencia de la aproximación de grado, en [74] se propone un modelo según el cual todos los adjetivos son de categoría $\langle e, t \rangle$, y los adjetivos graduables solo son aquellos que aparecen en posición predicativa (detrás de verbos como “ser” o “parecer”) y que permiten ser precedidos por un modificador de grado.

Según esta aproximación, la vaguedad puede a su vez subdividirse en “gradualidad” e “indeterminación”, de forma que los adjetivos que dan lugar a la gradualidad pasan a llamarse “adjetivos lineales” y, los que dan lugar a la indeterminación, “adjetivos no lineales”. Un adjetivo A será lineal si puede decirse que la expresión “ x es más A que y ” es verdadera o falsa para un determinado contexto c , siendo x e y individuos que poseen la característica o propiedad asociada al adjetivo A . Un adjetivo lineal sería “alto”, ya que dados dos elementos como “Alan” y “Kevin”, estos se pueden comparar de manera que “Alan es más alto que Kevin” es verdadero o falso si tanto Alan como Kevin son dos seres humanos y ambos no poseen exactamente la misma altura. Aquí la vaguedad aparece en los casos en que “ x es alto” no es evidentemente verdadero o falso, sino que pertenece a una región intermedia, situada entre los valores de verdad y falsedad, denominada *extension gap*. Por el contrario, los adjetivos no lineales son aquellos que no permiten una comparación directa entre dos elementos sin antes especificar cuál es el criterio utilizado. Un ejemplo es “importante”, ya que existen diferentes puntos de vista sobre lo que puede o no considerarse “importante”, así como varios parámetros implicados que no permiten realizar de manera directa, sin mayores explicaciones, una comparación de la forma “ x es más importante que y ”. Esa es la vaguedad conocida como indeterminación.

Klein desarrolla estos conceptos formalmente describiendo un adjetivo como una función parcial que tiene como dominio el conjunto U y como imagen (o rango) el conjunto $\{1, 0\}$, de manera que el conjunto de estas funciones se puede definir como $\{1, 0\}^{U^{10}}$. Estas funciones estarán representadas por la expresión $F_\alpha(c)$, siendo α un elemento perteneciente al conjunto de los adjetivos, y c un elemento perteneciente al conjunto de los contextos. Por ende, si tenemos una entidad u perteneciente al conjunto U , $F_\alpha(c)(u) = 1$ si u forma parte de la extensión positiva y $F_\alpha(c)(u) = 0$ si forma parte de la extensión negativa. Además de F , Klein también hace uso de la función ζ que, dado un contexto c en el que se está haciendo uso de un determinado adjetivo α , da como resultado un nuevo contexto c^+ . Este c^+ tiene la propiedad de ser más preciso que c , es decir: delimita de manera más clara la separación entre las extensiones positiva y negativa y, en consecuencia, reduce el *extension gap*. En otras palabras, toma una decisión con respecto a los elementos u pertenecientes al *extension gap* y los redistribuye entre las extensiones positiva y negativa. Esta delimitación, o precisión, no puede ser válida si dados dos elementos u y v tales que “ u es más A que v ”, u termina dentro de la extensión negativa y v de la positiva. Por

¹⁰Nótese que Klein usa A^B para referirse al conjunto de funciones parciales de B a A y no, como es habitual, al conjunto de funciones *totales* que van de B a A .

último, una oración será ς -verdadera en c si la oración es verdadera para todos sus c^+ posibles o, lo que es lo mismo, si se puede realizar una precisión válida tal que todos los nuevos contextos hacen la oración verdadera.

En base a este formalismo, si tenemos dos elementos u y v que pertenecen al *extension gap* del adjetivo A en un contexto c , “ u será más A que v ” será verdadera si

$$\{c^+ \in \varsigma(c, A) : F_A(c^+)(v) = 1\} \subsetneq \{c^+ \in \varsigma(c, A) : F_A(c^+)(u) = 1\}$$

En otras palabras, “ u será más A que v ” será verdadera si el conjunto de contextos c^+ en el cual u se encuentra en la extensión positiva contiene al conjunto de contextos c^+ en el que v también se encuentra en la extensión positiva. Sin embargo, como el mismo Klein indica, el principal problema de este formalismo es que es muy difícil generalizarlo para casos en los cuales u y v no pertenecen al *extension gap* en c . Por ejemplo, si ambos pertenecieran a la extensión positiva, para que “ u es más alto que v ” sea verdadera debe encontrarse al menos un contexto c^+ en el cual v dejase de pertenecer a la extensión positiva (u' dejase de ser alto). Se están reasignando los valores de verdad dados en c en lugar de asignar valores solo a los elementos pertenecientes en c al *extension gap*, lo cual por sí solo puede resultar extraño o contraintuitivo (de ser así, en un contexto en que u y v son altos, “ u es más alto que v ” solo podría ser verdad si existe otro contexto en el que u es alto y v no lo es).

Para evitar esto es necesario introducir un nuevo concepto: las clases de comparación. Por definición, una clase de comparación es un conjunto de elementos sobre los que están hablando un grupo de personas en un momento dado (su tema de conversación o *topic of conversation*) o, dicho de otra forma, el subconjunto del universo del discurso que los hablantes han escogido en relación al contexto c utilizado. Por ejemplo, el valor de verdad de “nosotros estamos cansados” dependerá del conjunto de personas al que haga referencia “nosotros” en el contexto en que esa proposición es proferida (es decir, de su “dominio de cuantificación”). También es necesario definir una función tal que, para un determinado c , su dominio sea el subconjunto $U(c)$ (siendo $U(c) \subseteq Univ$). Por ejemplo, supongamos que $Univ$ es el conjunto de todas las cosas existentes y en la oración anterior lo que queremos decir es que los que fuimos a nadar a la playa estamos cansados. Necesitamos encontrar un contexto c_2 tal que $U(c_2)$ sea el subconjunto del universo del discurso escogido (en este caso, las personas que han ido a nadar a la playa).

Ahora $F_\tau(c)$ es una función que, en lugar de pertenecer a $\{1, 0\}^U$, pertenece a $\{1, 0\}^{U(c_2)}$ (lo que hace que $F_\tau(c)$ sea indefinida fuera de $U(c_2)$). Es decir, en lugar de simplemente mover las fronteras entre las franjas positiva, negativa y *extension gap* del universo del discurso con el contexto, se utiliza dicho contexto para seleccionar un subconjunto del universo del discurso ($U(c_2)$), el cual se subdivide a su vez en tres nuevas franjas.

Todo este desarrollo formal compone los cimientos sobre los que Klein desarrolla un procedimiento con el que en teoría se pueden eliminar los casos de frontera (y, así, la vaguedad de una oración) y que recibe el nombre de “proceso de reaplicación”.

Si X es una clase de comparación para un predicado τ en un contexto c , la función $F_\tau(c)$ subdivide X en tres subconjuntos disjuntos. A este acto se le llama “aplicar” el predicado τ en X . Dicho predicado puede ser “alto”, por ejemplo, y los tres subconjuntos disjuntos serían entonces los conjuntos de aquellos que son altos, de aquellos que no lo son y de aquellos que no queda claro si lo son o no. Es a este último grupo, al *extension gap*, al que se le vuelve a aplicar la misma función (de ahí el nombre, proceso de reaplicación),

obteniendo un nuevo *extension gap* más reducido. Si se hace esto de forma reiterada sobre cada uno de los *extension gap* que van surgiendo, al final todos los elementos quedarán redistribuidos entre los intervalos positivo y negativo.

Si tomamos a X como el conjunto original (el cual posee nueve elementos que van de la a a la i), Y y Z como los *extension gap*, X_1 , Y_1 y Z_1 como los conjuntos positivos y X_2 , Y_2 y Z_2 como los conjuntos negativos, un posible esquema de este proceso de reapiación es el siguiente (Fig. 2.1):

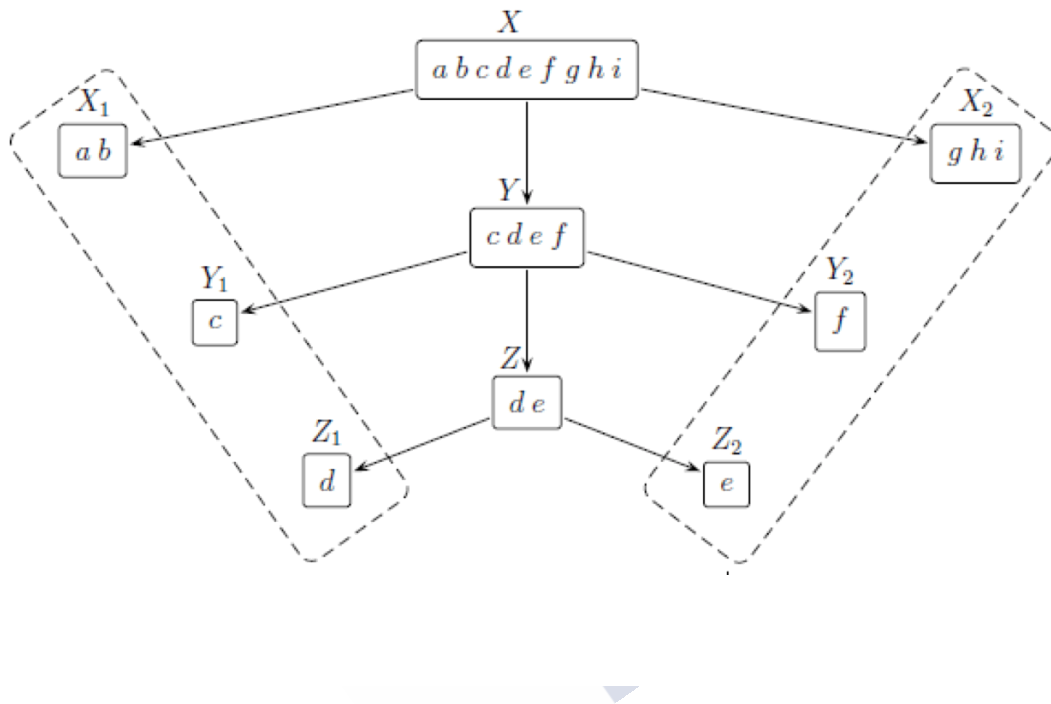


Figura 2.1: Proceso de reapiación

Como puede verse, al final del proceso todos los elementos de X se encontrarán repartidos entre la extensión positiva y la negativa, y así se podrá decir de cualquier elemento de X si este es alto o no.

Bajo esta nueva perspectiva, el problema del comparativo antes mencionado (el problema de que, si dos elementos u y v pertenecen, por ejemplo, a la extensión positiva, al hacer más preciso un contexto c es necesario reasignar el valor de v para que pueda ser verdad que “ u es más A que v ”) queda resuelto. Ahora, para realizar esa precisión basta con fijarse en un conjunto de elementos contenidos en el universo del discurso en función del cual los valores de verdad de u y v pueden variar. Es decir, hay que fijarse en una determinada clase de comparación. Para entenderlo, tómesese como ejemplo un conjunto de dos rocas R_1 y R_2 , la primera de noventa kilos y la segunda de setenta. Como solo están estas dos, es evidente que R_1 estará dentro de la extensión positiva del adjetivo “pesado” y R_2 dentro de la extensión negativa de este mismo adjetivo. Sin embargo, si además de R_1 y R_2 tenemos en cuenta otras dos rocas R_3 y R_4 , las cuales son de ciento cuarenta kilos y doscientos kilos respectivamente (es decir, cambiamos la clase de comparación), es posible que la roca R_1 ya no se sitúe dentro de la extensión positiva.

De acuerdo a esto, la fórmula antes presentada para determinar el valor de verdad de “ u es más A que v ” es reformulada como:

$$\langle u, v \rangle \in \succ_{c,\tau} \leftrightarrow (\exists X \subseteq U(c)) [F_\tau(c[X])(u) = 1 \wedge [F_\tau(c[X])(v) = 0]$$

donde $\succ_{c,\tau}$ representa “más τ que” en el contexto c y $c[X]$ es un contexto idéntico a c excepto en que su clase de comparación es X . Entonces, esta expresión se podría entender como que un par de elementos u y v pertenecen a $\succ_{c,\tau}$ si y solo si hay un subconjunto X de $U(c)$ tal que u pertenece al intervalo positivo de τ (relativo a $c[X]$) mientras v pertenece a la extensión negativa de τ (también relativa a $c[X]$).

Por último solo queda definir qué son los adjetivos lineales haciendo uso de esta notación, y para ello es necesario definir los conceptos de indistinguibilidad, determinación, equivalencia y completo. La indistinguibilidad se define de la forma siguiente:

$$\langle u, v \rangle \in \sim_{c,\tau} \leftrightarrow (\forall X \subseteq U(c)) [u, v \in X \Rightarrow F_\tau(c[X])(u) = [F_\tau(c[X])(v)]$$

donde se dice que dos objetos u y v son indistinguibles si no existe ningún subconjunto X de $U(c)$ tal que u y v pertenezcan a X y que F_τ dé distintos valores para u y v .

En segundo lugar, un contexto c' es al menos tan determinado como c con respecto a si c y c' especifican la misma clase de comparación X y si siempre que $F(c'[Y])(u)$ está definida, $F(c[Y])(u)$ también lo está y coincide en valores con $F(c'[Y])(u)$ (siendo Y un subconjunto de X y u los distintos elementos pertenecientes a Y).

En tercer lugar, dos elementos u y v serán equivalentes en c si no existe ningún c' más determinado que c para el cual u y v sean distintas con respecto a τ .

Finalmente, τ es completo en c si y solo si la relación de indistinguibilidad está contenida o es igual a la relación de equivalencia:

$$\tau \text{ es completo en } c \text{ si y solo si } \sim_{c,\tau} \subseteq \approx_{c,\tau}$$

Y así llegamos a la definición de adjetivo lineal:

Un adjetivo τ es lineal si y solo si es completo para cada $c \in C$

A pesar de la complejidad de esta definición, sí que se puede decir que Klein consigue formalizar convenientemente la idea de linealidad de los adjetivos introduciendo los conceptos de indistinguibilidad y equivalencia y formalizando las diferencias existentes entre ambos. Un ejemplo puede ser, por ejemplo, la palabra “fuerte”, un adjetivo que es lineal dado que existen pares de elementos que resultan indistinguibles entre sí con respecto al adjetivo “fuerte” pero que no son equivalentes con respecto a este mismo. Es decir, aunque dos personas A y B sean indistinguibles con respecto al adjetivo “fuerte” (ya que no hay forma de comparar la fuerza de cada uno y comprobar la veracidad de “ A es más fuerte que B ” o viceversa), eso no significa automáticamente que “ A es igual de fuerte que B ” sea verdadero. Y es que, si estuviésemos en un contexto en que A y B compitiesen en una prueba de fuerza, y ganase A , sí que sería cierto afirmar que “ A es más fuerte que B ”. Este comportamiento no tiene lugar con los adjetivos lineales (“viejo”, “alto”, “caliente”, etc.), pues si dos elementos son indistinguibles entre sí con respecto a un adjetivo lineal, eso significa que son, a su vez, equivalentes.

Por lo que se puede comprobar en las páginas precedentes, la teoría de Klein pretende describir y explicar el fenómeno de la vaguedad en el lenguaje. Sin embargo, adolece de

algunos problemas que, hasta el momento, no parecen ser resolubles dentro de la propia aproximación.

El primer problema, y a su vez el más evidente, está relacionado con la afirmación de Klein según la cual todos los adjetivos tienen un comportamiento vago (“gradual” en el caso de los adjetivos lineales e “indeterminado” en el caso de los no lineales), pues no es difícil encontrar contraejemplos dentro de nuestro idioma como “cerrado” y “seco”, dos adjetivos que no presentan las características propias de la vaguedad y, por tanto, no son vagos. Por ejemplo, “una copa seca” no es una proposición en la que puedan existir casos de frontera: cualquier copa que no contenga líquido en su superficie estará seca, existiendo una frontera bien definida entre el conjunto de copas secas y el conjunto de copas que no lo están (que están “mojadas”). Este adjetivo tampoco da lugar a la paradoja sorites, ya que aunque vaciemos la copa poco a poco con un cuentagotas, siempre habrá un punto en el cual la copa estará seca sin que este resultado nos resulte absurdo. Y, por último, el contenido semántico de una proposición que contenga únicamente un adjetivo de este tipo nunca dependerá del contexto. En otras palabras, si “la copa está seca” es verdadera en un contexto, lo será para todos los contextos posibles ya que en todos ellos el contenido de la copa será el mismo y, por tanto, seguirá estando “seca”.

Otro problema de la aproximación de Klein se refiere al proceso que utiliza para eliminar la vaguedad de una proposición (el llamado “proceso de reaplicación”). Según él, mediante este proceso se puede ir reduciendo el *extension gap* hasta hacerlo desaparecer definiendo cada vez tres nuevas extensiones dentro de cada *extension gap*. La dificultad es obvia, y los problemas que surgen a raíz de él hacen que no se puede clasificar todo un conjunto en p o $\neg p$ (siendo p un adjetivo lineal) por mucho que se intente precisar más. Pensemos en un conjunto de diez individuos a los cuales queremos dividir en altos y bajos. Indudablemente, algunos caerán en una u otra categoría, pero habrá algunos de los que no podemos decir con seguridad si son altos o bajos. Por ejemplo, digamos que en total hay seis individuos que caen dentro del *extension gap*. Entonces, según Klein, deberíamos coger a esos seis y clasificarlos de nuevo en altos, bajos, y dejar el resto en un *extension gap* reducido. Este paso puede llevar a resultados poco intuitivos, como el de llevar a un hombre de metro sesenta al conjunto de altos por el simple hecho de que es el que más mide del grupo perteneciente al *extension gap*. Y el problema se acentúa más si continuamos con el proceso de reaplicación de Klein hasta que llegamos al caso en el que ocho individuos estén repartidos entre altos y bajos y solo quedan dos en el “extensión gap”. En ese punto, ¿es correcto simplemente comprobar quién mide más de los dos para clasificarlos? Sin embargo, la mayor complicación de todas se encuentra en el hecho de que siempre es necesario hacer el reparto inicial entre las tres extensiones de forma que al final de todo el proceso de reaplicación solo nos queden dos individuos en el *extension gap*, lo que nos obliga a tomar decisiones arbitrarias sobre ciertos elementos del conjuntos incluyéndolos en la extensión negativa o positiva cuando en realidad deberían estar en el *extension gap*. Si esto no se hiciese, al final del proceso nos quedaría un *extension gap* con solo un individuo, lo que nos obligaría, o bien a tomar una decisión arbitraria más sobre dicho individuo o a reconocer que el *extension gap* no puede ser eliminado.

La tercera dificultad de la aproximación de Klein es la de que, simplemente, no dice nada sobre la paradoja sorites. Quizá podría intentar resolverse mediante el proceso de reaplicación y un conjunto de, por ejemplo, conjuntos de granos de arena. En ese caso, clasificaríamos en montones y no montones a todos los conjuntos de granos posibles, y

a continuación cogeríamos el *extension gap* resultante y volveríamos a realizar todo el proceso. La explicación, no obstante, sufre de los mismos problemas que, como ya hemos señalado, aparecen cuando se hace uso del proceso de reaplicación.

2.5.2. La aproximación de la Lógica Difusa

Una tercera aproximación formal a la vaguedad es aquella que utiliza la Lógica Difusa para representar la variación de los valores de verdad de una proposición. Esta nueva lógica forma parte de las denominadas lógicas multivaloradas, un tipo de lógica no aristotélica que toma como falso el principio de bivalencia. Según esta aproximación, una proposición puede adoptar otros valores de verdad situados entre “completamente falso” (tradicionalmente representado por el número 0) y “completamente verdadero”, esta vez representado por el número 1 (por ejemplo, las lógicas trivalentes L3 y K3 [90] proponen la existencia de un solo valor entre 0 y 1 que denominan $1/2$).

En el caso de la Lógica Difusa, esta aparece por primera vez en [167] como consecuencia del desarrollo de la teoría de conjuntos propuesta en dicho artículo (la “teoría de conjuntos difusa”). En la teoría de conjuntos clásica, dado un conjunto X y un subconjunto Y de dicho conjunto X , existe una función según la cual, a cada elemento perteneciente a X , se le asigna un valor, 1 o 0, según este pertenezca o no al subconjunto Y , respectivamente. Esta “función característica” permite, por ejemplo, clasificar los elementos de un conjunto de palabras en adjetivos y no adjetivos, ya que si X es el conjunto {casa, gordo, inteligente, mesa} e Y es el subconjunto de los adjetivos, $f_Y(\text{casa}) = 0$ y $f_Y(\text{inteligente}) = 1$.

Sin embargo, el problema se complica si X es, por ejemplo, un conjunto de personas, e Y es el subconjunto de las personas que son altas. En este caso, la teoría de conjuntos difusa permite que la función característica (ahora denominada “función de pertenencia”) asigne a cada elemento de X infinitos valores entre 0 y 1 correspondientes a sus “grados de pertenencia” a Y . Así pues, si X fuera el conjunto {Kevin, Alan, David}, Kevin midiera 1,60 metros y Alan midiera 1,90 metros, tendríamos que $f_Y(\text{Kevin}) = 0,4$ y $f_Y(\text{Alan}) = 0,9$. Bajo esta perspectiva, 0 se traduciría como “definitivamente no pertenece al conjunto” y 1 como “definitivamente pertenece al conjunto”.

En este caso, los operadores lógicos difusos serían los siguientes:

$$v(\neg p) = 1 - v(p)$$

$$v(p \wedge q) = \min(v(p), v(q))$$

$$v(p \vee q) = \max(v(p), v(q))$$

$$v(p \supset q) = \min(1, 1 - v(p) + v(q))$$

Las funciones de pertenencia, al aplicarse a problemas reales, suelen limitarse a ciertas formas que puedan ser definidas con solo unos pocos parámetros. En concreto, y sea cual sea la forma de la función de pertenencia, ésta queda definida por cuatro valores: el área donde la función de pertenencia es superior a cero (llamado “soporte” y descrito mediante la forma $s_P := \{x : \mu_P(x) > 0\}$); el área donde los elementos poseen el máximo grado de pertenencia del conjunto de pertenencia P (llamado “núcleo” y representado por $c_P := \{x : \mu_P(x) = 1\}$); el máximo valor de la función de pertenencia de P (llamado “altura” y representado por $h_P := \max_x \{\mu_P(x)\}$), y el conjunto de elementos que pertenecen

al conjunto P con grado mayor o igual que α (llamado alfa-corte y representado por $A_\alpha := \{x : \mu_P(x) \geq \alpha\}$).

El tipo de función utilizada depende mucho de los valores lingüísticos que representen, ya sean estos extremos (como *grande* o *pequeño*) o intermedios (como es *maduro*). En el primer caso se suelen utilizar funciones L o GAMMA, y funciones LAMBDA y PI en el segundo (véase la Figura 2.2). Uno de los más comunes es la función PI, también denominada función trapezoidal y que puede representarse mediante sus cuatro puntos de alfa-corte (puntos a - d de la figura). La función LAMBDA o función triangular puede considerarse un caso particular de las funciones PI donde $b = c$, es decir, donde no hay margen de tolerancia en torno al valor más representativo de la etiqueta lingüística.

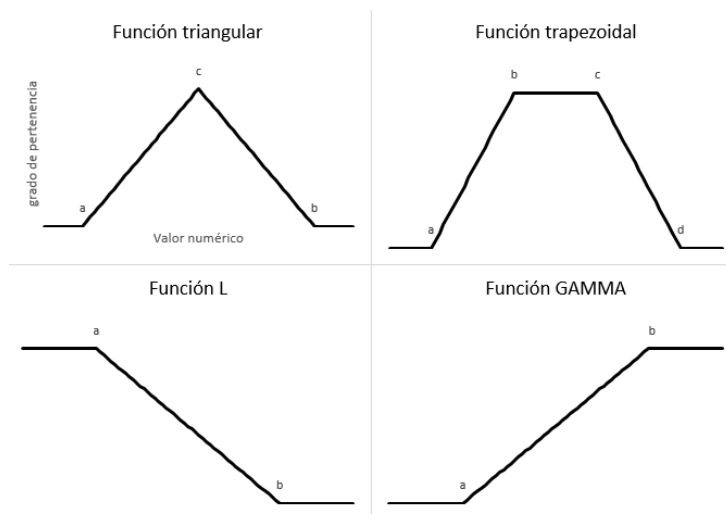


Figura 2.2: Ejemplos comunes de números borrosos utilizados en Lógica Difusa

Estas funciones representan números borrosos, pueden ser unidas, desunidas y negadas, y permiten realizar cálculos más complejos que aquellos formalismos que solo trabajan con conjuntos de grados.

En resumen, bajo la Lógica Difusa una proposición puede adoptar un valor cualquiera entre 0 y 1. Como resultado de esto, mientras que en las lógicas no difusas solo se pueden representar dos cuantificadores, “Todos” y “Algunos”, mediante el cuantificador universal (\forall) y el cuantificador existencial (\exists), en la Lógica Difusa se pueden representar otros cuantificadores tales como “bastante”, “mucho”, “poco”, etc., lo cual la convierte en una herramienta muy útil a la hora de formalizar un razonamiento natural impreciso. Otra gran ventaja de esta aproximación, como ya se ha indicado antes, es que ofrece una solución sencilla a la paradoja sorites al establecer un descenso constante del valor de verdad de la primera premisa por cada iteración, evitando así la obtención de una conclusión que sea a la vez contraintuitiva y verdadera [47].

Sin embargo, la Lógica Difusa tampoco carece de ciertos problemas fundamentales, empezando por su comportamiento anómalo en los casos de frontera [101, 65]. Si, por ejemplo, tenemos las proposiciones “El niño es inteligente y no es inteligente” y “El niño es inteligente o no es inteligente”, el primero debe ser falso (por el Principio de No Contradicción) y el segundo verdadero (por el principio del tercero excluido). Pero, si el niño no destaca por su inteligencia ni tampoco por lo contrario, sería posible que el grado de verdad de “el niño es inteligente” y “el niño no es inteligente” fuese exactamente el

2. Análisis semántico-formal del problema de la vaguedad

mismo en ambos casos: 0,5. Entonces, y haciendo uso de los operadores lógicos difusos mencionados antes, tendríamos que tanto “El niño es inteligente y no es inteligente” como “El niño es inteligente o no es inteligente” poseerían el mismo grado de verdad.

Otro problema surge al intentar obtener el significado de una oración comparativa, su contenido semántico, mediante la comparación de los valores de verdad de ambos elementos de dicha oración. Por ejemplo, el contenido semántico de “El hombre es más alto que su vecino” se puede representar como que $\llbracket \text{El hombre es alto} \rrbracket > \llbracket \text{El vecino es alto} \rrbracket$. Aquí la cuestión es que, dado que “El hombre es alto” tiene un grado distinto de verdad que “El vecino es alto”, se da a entender que decir que el hombre es alto es más verdadero que decir que el vecino es alto, lo cual resulta poco intuitivo si, por ejemplo, tanto el hombre como el vecino poseen una altura similar. Además, como en la Lógica Difusa solo existe una escala de verdad $[0, 1]$, se podrían hacer oraciones comparativas en las que apareciesen dos elementos cualesquiera, dando lugar a oraciones sin sentido (por ejemplo, *“El hombre es más feliz que el vecino es alto”).

Un tercer problema se encuentra en los argumentos de [74] contra la aproximación de grado de Cresswell, ya que estos también son aplicables a la aproximación de la Lógica Difusa dada la correspondencia que se puede establecer entre los grados en su concepción original y estos grados numéricos de pertenencia. A su vez, la Lógica Difusa tiene un nuevo problema, y es que al no existir relación de equivalencia para los valores numéricos de verdad de una proposición, decir que el significado de “El hombre es alto” es 0,9 o 0,4 carece de sentido y, en consecuencia, establece una separación insalvable entre la realidad y el significado contenido en la proposición.

En el caso de utilizar funciones de pertenencia equivalentes a números borrosos y todo lo que estos pueden aportar a un cálculo difuso, los valores numéricos tampoco adquieren un significado, pero al menos sí ganan un contexto con visos de realidad que un hablante no experto puede llegar a entender. Si por ejemplo tomamos el término *maduro*, es evidente que habrá dos rango de edades para el cual su valor sea mínimo (la niñez y la vejez avanzada) y otro en el que el valor será máximo (en torno al valor más típico o usual que suele ir asociado a esta etiqueta lingüística). Partiendo de estas dos ideas pre-teóricas, es intuitivo considerar también que la transición entre cada uno de estos rangos se produce de manera suave y uniforme, motivando así la forma de una función trapezoidal. Sin embargo, esto significa determinar de manera exacta los parámetros que describen esa función (cuatro alfa-cortes en este caso), una tarea que obliga a tomar decisiones arbitrarias que dificultan el consenso entre hablantes.

Por último, también hay que tener en cuenta que el proceso de resolución de un problema por medio de la Lógica Difusa no se limita a la construcción de funciones de pertenencia y conjuntos difusos, sino que se subdivide en cuatro pasos o puntos fundamentales: selección de un universo del discurso U , la transformación de un *input* preciso en un conjunto de términos difusos (la *fuzzification*), la aplicación de las reglas y principios propios de la Lógica Difusa a esos términos difusos con el fin de obtener un conjunto difuso final y, finalmente, la transformación del conjunto difuso en términos precisos para facilitar su aplicabilidad (la denominada *defuzzification*). Este último paso es fundamental en gran número de contextos, dado que en muchos casos la evaluación de los datos se realiza con el fin de obtener una orden claramente interpretable por una máquina.

El proceso, por supuesto, varía de acuerdo a si se pretende obtener un *output* compuesto por un conjunto preciso o directamente por un valor escalar. En el primer caso,

uno de los métodos más utilizados es el de la aplicación de los conjuntos lambda-corte. Un conjunto de este tipo se caracteriza por un valor λ tal que $0 < \lambda < 1$, de manera que $A_\lambda = \{x | \mu_A(x) \geq \lambda\}$ (siendo $\mu_A(x)$ la función de pertenencia del conjunto difuso A). En otras palabras, cualquier término con un grado de pertenencia superior al valor λ pertenecería al conjunto A_λ , de manera que en lugar de manejar un conjunto difuso A se pasa a contemplar uno o varios conjuntos A_λ precisos (solo existen dos opciones claras: o encontrarse por encima del λ -corte o por debajo). Si lo que se pretende es obtener solo un valor escalar, existen varios métodos tales como el principio de pertenencia máximo donde el valor final es aquel que posea el grado de pertenencia mayor del universo del discurso¹¹, el cálculo de la media ponderada, o el método del Centro de Gravedad (o principio centroide o del baricentro), que ofrece el valor resultante x^* de aplicar la expresión algebraica

$$x^* = \frac{\int \mu_A(x) \cdot x \cdot dx}{\int \mu_A(x) \cdot dx}$$

Para medir la validez o conveniencia de un proceso de *defuzzification* sobre otro es necesario tener en cuenta cuatro criterios (independientes del problema en el que se realiza dicha *defuzzification*) [56]: la continuidad (una pequeña modificación en el *input* no puede producir un gran cambio en el *output*), la desambiguación (no puede dar lugar a un resultado ambiguo), la plausibilidad (el valor resultante debe encontrarse próximo al centro del conjunto de valores pertenecientes al conjunto difuso, y además poseer un grado de pertenencia elevado), la simplicidad computacional (debe consumir poco tiempo de computación para considerarse útil) y el método o técnica de ponderación utilizado para ponderar los conjuntos difusos de salida.

Desde una perspectiva lingüística, la *defuzzification* dificulta en mayor grado la posibilidad de construir una justificación coherente y natural de los pasos realizados para la obtención de los valores de salida. En el caso de los valores de salida basados en conjuntos precisos, los λ -corte se seleccionan de acuerdo a criterios pre-teóricos o *ad hoc* pensados para aproximar la solución a una serie de parámetros bivalentes fácilmente manipulables. En el caso de los valores de salida compuestos por una magnitud escalar, estos se obtienen teniendo en cuenta únicamente el conjunto difuso obtenido mediante la *fuzzification* y, mediante el criterio de plausibilidad, ofrecen un valor aproximado. Ambos casos establecen un proceso ulterior sobre términos ya precisificados, más preocupado por la simplificación del algoritmo y la reducción del tiempo de computación que por la manipulación fiel de los términos implicados, de manera que la escasa similitud con la realidad del contexto ofrecida mediante la relación término-número establecida por los grados de pertenencia se ve diluida aún más, agravando la pérdida de significado o de contenido semántico causada por la ausencia de relaciones de equivalencia.

¹¹En caso de que el grado de pertenencia mayor no pertenezca a un solo valor (es decir, que exista una meseta en la función), se utiliza una versión alternativa a este principio en el que el valor final se corresponde a la media de dicha meseta)

3. Precisificación

En las siguientes secciones se realizará un análisis de las propuestas precisificadoras existentes hasta la fecha con respecto al tratamiento (o eliminación) del fenómeno lingüístico de la vaguedad. En el primer punto se pasará a analizar las primeras aproximaciones realizadas en este campo, englobadas bajo la denominada perspectiva idealista del lenguaje. A continuación se definirá formalmente el concepto de precisificación, y en los tres puntos siguientes se dividirán las teorías implicadas según el tipo de precisificación propuesto: la precisificación bivalente, la precisificación multivalorada o la no precisificación.

3.1. El tratamiento de la vaguedad en la obra de Russell y Frege

Una de las aproximaciones más radicales al tratamiento de la vaguedad puede encontrarse en [123], donde Bertrand Russell afirma haber inventado “un lenguaje especial con el fin de evitar la vaguedad” que podría sustituir nuestro lenguaje natural en cualquier ámbito. Esta postura, surgida a raíz de la creciente importancia del simbolismo lógico en la primera mitad del siglo XX, se fundamenta en la idea de que la vaguedad es un accidente causado por un desarrollo natural del lenguaje no basado en la Lógica. Si esto fuera cierto, el ser humano tendría un conocimiento preciso del significado de las palabras vagas, pero no sabría aplicarlo con corrección dado que las extensiones positivas y negativas de las mismas estarían pobremente definidas. Existiría, por tanto, una penumbra entre los casos en los que claramente se puede aplicar la palabra y aquellos en los que claramente no se puede, una serie de casos en la que el hablante dudaría.

La explicación del por qué sucede esto se podría encontrar en la psicología de los seres humanos y su percepción del mundo. Según Russell, constantemente recibimos estímulos que, aunque diferentes, nos provocan sensaciones indistinguibles. Y es que nuestros sentidos, al estar limitados, constreñirían de igual manera nuestras percepciones, impidiéndonos captar con todo el detalle necesario ciertas propiedades o características que, sin embargo, sí pueden ser relevantes. Basándonos en el ejemplo dado por Russell en su artículo, si vemos dos vasos llenos de agua aparentemente idénticos entre sí, y consideramos que uno de ellos está “limpio”, de igual forma el otro vaso también debe estarlo. Sin embargo, esto no tendría que ser cierto, pues mientras que uno de los vasos contendría agua limpia, el otro podría contener agua rica en bacterias perniciosas, o que incluso estuviese mezclada con otra sustancia también incolora e inodora. En ese caso, lo que por medio de nuestros sentidos consideramos igual, nos podría afectar de diferente manera, creándonos una falta de seguridad en nuestras percepciones que permearían a todos

los niveles del conocimiento sensible. Por extensión, las palabras en la que interviene un elemento sensible también las consideraríamos vagas.

La solución de Russell consiste en el desarrollo de un lenguaje compuesto por símbolos más precisos que las palabras donde el concepto de “precisión” es definido como el contrario o antónimo de “vaguedad”. Cualquier intento de conservar la vaguedad con el fin de representar con mayor fidelidad la complejidad del mundo que nos rodea es considerado una falacia, pues confundiría las propiedades o definiciones de una palabra con las propiedades que realmente poseen los distintos elementos de nuestra realidad¹.

Sin embargo, el propio Russell parece contradecir su postura (o, al menos, suavizar su defensa de un lenguaje puramente preciso), al considerar el problema de la “falsedad” y la “verdad” donde, si todas las palabras naturales o no-lógicas poseen un cierto grado de vaguedad, y estas palabras forman proposiciones igualmente vagas, la verdad o falsedad de estas proposiciones serían, a su vez, conceptos vagos. Y, lo que es aún más importante, dado que cualquier lenguaje lógico se construye a partir de estas palabras no-lógicas, tampoco se podría hacer un uso infinitamente preciso de lo que es “verdadero” o “falso”. Entonces, el concepto de “precisión” no sería más que un ideal, un objetivo al que uno puede intentar aproximarse, pero nunca alcanzar.

Russell también defiende que, como las palabras vagas poseen condiciones de aplicabilidad más laxas que los términos lógicos, siempre será más sencillo encontrar un razonamiento verdadero vago que uno totalmente preciso (lo cual justifica que con los métodos de resolución vagos se obtenga un número de soluciones mayor que en el caso de un razonamiento preciso, ninguna de las cuales sería, por añadidura, completamente falsa). Por tanto, no sería correcto afirmar que el conocimiento extraído de un razonamiento vago es falso aunque dicha vaguedad siguiera siendo considerada una tara del lenguaje que debe ser eliminada.

La idea de un lenguaje ideal, expuesta por Russell, encuentra su origen en Frege, quien argumenta que la Lógica no puede tratar aquellos conceptos que no posean límites claros y precisos, ni definir leyes concernientes a ellos². Dicho de otra forma, un concepto lógico debe tener siempre una delimitación precisa [111]. Quizá este sea el motivo por el que Frege trata la vaguedad desde una perspectiva tan negativa, y no muestra interés alguno en desarrollar una teoría formal de la vaguedad o de los lenguajes vagos; para él, la vaguedad es apropiada para la comunicación ordinaria, pero no deja de ser un defecto y por tanto resulta inadecuada dentro del ámbito de la Lógica. Como el mismo Russell sugeriría años después, desde su perspectiva la vaguedad no es una limitación insalvable ya que los símbolos lógicos precisos pueden sustituir totalmente el léxico de un lenguaje. Según [11] y [151], esto significaría que detrás de cada predicado vago de nuestro lenguaje hay un predicado preciso que puede utilizarse en su lugar en el campo de la Lógica (elegido

¹Frege también se apoya en el campo de la psicología para defender la ventaja del uso de símbolos precisos, en este caso argumentando que su inmutabilidad inherente permite al ser humano mantener varias cosas en la mente al mismo tiempo durante el curso de un razonamiento.

²En [42] puede leerse: “*A definition of a concept (of a possible predicate) must be complete; it must unambiguously determine, as regards any object, whether or not it falls under the concept (whether or not the predicate is truly assertible of it). Thus there must not be any object as regards which the definition leaves in doubt whether it falls under the concept... We may express this metaphorically as follows: the concept must have a sharp boundary. To a concept without a Sharp boundary there would correspond an area that had not a sharp boundary-line all around, but in places just vaguely faded away into the background*”.

mediante convenio o estipulación semántica), y que dicho predicado es el que define la referencia (el *Bedeutung*) de los predicados vagos.

Más allá de esta posibilidad, Frege hace especial hincapié en otro tipo de vaguedad denominada vaguedad epistémica que se diferenciaría de la vaguedad anterior (denominada a su vez vaguedad semántica) en la que la carencia de significados precisos no es simplemente un defecto del lenguaje, sino un fenómeno que parte del conocimiento incompleto que tiene el ser humano del mundo³.

Este tipo de vaguedad es el mismo tratado por Russell (al fin y al cabo, en la mayoría de los casos el conocimiento incompleto tendría su origen en una deficiencia de nuestros sentidos), y es especialmente relevante en los ámbitos de la Lógica y las Matemáticas, donde es común buscar definiciones precisas a los conceptos que se manejan (como son el de “límite”, “continuidad” o “infinito”) para utilizarlos como pruebas o razonamientos que permitan construir una base teórica firme⁴.

La idea de Frege de analizar las proposiciones epistémicamente vagas para obtener proposiciones cuya validez pueda ser determinada de manera inequívoca no es, a pesar de su comodidad y conveniencia, un paso sencillo. Para alcanzar la definición precisa de un concepto que, a priori, es considerado vago, es necesario explicitar unos límites precisos que sean, a su vez, objetivos (en el sentido de “no arbitrarios”), algo que solo puede intentarse mediante un profundo análisis filosófico. En palabras de Frege: “*The real driving force is the perception of the blurred boundary. In our case too, all efforts have been directed at finding a sharp boundary*” [41, p. 134].

Este no es el único problema que puede contemplarse en el tratamiento de la vaguedad propuesto por Frege. Estipular unos límites claros para los términos que presentan una vaguedad semántica lleva a tomar decisiones arbitrarias que modifican el significado original de estos términos. Frege mismo afirma de manera explícita que hay palabras como “montón” que no poseen un límite claro entre los elementos que pueden ser considerados “montones” y los que no. Y tratarlos como términos precisos nos haría incurrir, según sus propias palabras, en una falacia. Otro ejemplo es el aportado por Lange [78], físico alemán al que Frege critica por su búsqueda de una separación precisa entre los conceptos de “movimiento” y “reposo” cuando dicha separación no existe [38, p. 27].

Otro problema gira en torno a la idea de que las palabras que no tienen una delimitación clara entre sus extensiones positivas y negativas son *bedeutungslos*, palabras que no poseen *Bedeutung* (lo que en [111] se denomina *sharpness*). En el caso de los términos lingüísticos, estos *Bedeutung* representarían sus valores de verdad, por lo que la única conclusión posible es que los términos vagos no poseen valores de verdad. Además, también hay que tener en cuenta el principio de Frege de composicionalidad, según la cual una oración solo tendrá *Bedeutung* si todos los predicados y términos que la componen tienen a su vez *Bedeutung*. Entonces, si una oración posee un solo término vago, esta ya no podrá tener valores de verdad. Aquí el inconveniente radica en que los términos

³Existiría un tercer tipo de vaguedad, la vaguedad ontológica, según la cual los objetos del mundo son en sí mismos vagos (para una discusión más detallada sobre esto, véase el punto 2.2 de esta tesis). Sin embargo, Frege no hace mención a esta posibilidad y no hay nada en sus escritos que sugieran una preocupación por su parte en esta cuestión [120].

⁴Es necesario señalar aquí que, en el libro *Deviant Logic* [51], se afirma que no sería correcto utilizar el término “vaguedad epistémica”. Esto es debido a que no es una vaguedad auténtica, pues puede ser eliminable mejorando las técnicas o mediciones utilizadas (acercándolo más al concepto de “imprecisión” anteriormente expuesto).

vagos tienen un papel protagonista en nuestro lenguaje, apareciendo de manera ubicua en prácticamente todas las oraciones, lo que llevaría a afirmar que casi ninguna oración presente en un lenguaje natural posee valores de verdad.

Esta afirmación situaría a Frege en el campo del nihilismo más radical, una postura que contradice lo que el mismo Frege defiende en su obra [68]. Es evidente que hay muchas proposiciones que, aun incluyendo en su estructura sintáctica términos vagos, poseen un valor de verdad claro. Si una persona acaba de cumplir cien años, decir de esa persona que “es vieja” será siempre verdad, al igual que sería falso afirmar que, por ejemplo, un niño es más fuerte que un luchador profesional, aunque “viejo” y “fuerte” sean términos vagos.

El absurdo al que parece conducir este razonamiento puede evitarse si, como parecen evidenciar algunos textos de Frege, su teoría pretende aplicarse a las ciencias tales como las Matemáticas y la Lógica, pero nunca al campo de las ciencias sociales o el lenguaje cotidiano [157, 120, 111]. Según esta perspectiva, existirían dos tipos de conceptos: aquellos que la Lógica reconoce como tales y aquellos que no tienen *Bedeutung* desde una perspectiva puramente lógica, lo cual no cierra las puertas a la existencia de una perspectiva no lógica para la cual estos conceptos “no precisos” sí posean valores de verdad. El concepto de *sharpness* sería entonces erróneo, y con él la vaguedad del lenguaje quedaría reducida a una parte del universo que no podría ser alcanzada ni tratada por la Lógica.

En apoyo a esta idea, en [40, p. 115] puede leerse que “*it is not at all necessary that the individual words should have a sense and Bedeutung of their own, provided only that the whole sentence has a sense*”. Es decir, que el significado de una oración no solo proviene del significado lógico de sus términos (de sus valores de verdad). Si, por ejemplo, un cuenco de cerámica es claramente “antiguo”, la oración “el cuenco de cerámica es antiguo” adquirirá un valor de verdad gracias al contexto, mientras que si dicho cuenco no se encuentra en ninguna de las dos extensiones del término “antiguo”, la oración no tendrá *Bedeutung*.

En relación a lo anterior, en [39, p. 155] también se indica lo siguiente: “*Inference from two premises very often, if not always, depends on a concept being common to both of them. If a fallacy is to be avoided, not only must the concept-sign be the same, it must also mean [bedeuten] the same. It must have a Bedeutung independent of the context [unabhängig vom Zusammenhange] and not first come to acquire one in context [Zusammenhange], which is no doubt what very often happens with the words of speech*”. En este fragmento, aunque a priori lo que Frege está diciendo es que los términos de las premisas de un silogismo deben poseer el mismo significado, también se indica de manera explícita la existencia de otro tipo de razonamientos no lógicos que “*very often happens with the words of speech*” donde el significado es adquirido por medio del contexto. Teniendo esto en cuenta, no se puede afirmar que las premisas de un razonamiento vago, aunque no posean un significado preciso, carezcan de *Bedetung*, ya que los términos vagos que las componen pueden obtenerlo o no dependiendo de las condiciones que acompañen al razonamiento.

También hay muchas ocasiones en las que Frege habla de la precisión de los conceptos como una característica propia de las ciencias: “*The only requirement to be made of a concept [in science] is that it should have sharp boundaries; that is, for every object it holds that it either falls under the boundaries; that is, for every object it holds that it either falls under the concept or does not do so*” [39, p. 179], algo similar a lo que afirma en otra de sus obras cuando escribe que “*All that can be demanded of a concept from the point of view of logic and with an eye to rigour of proof is only that the limits to*

its applications should be Sharp” [37, p. 87]. Sin embargo, en todos estos casos especifica estar hablando de “pruebas rigurosas” o de conceptos aplicados al campo de la Lógica o las Matemáticas, y no hay nada que indique su intención de extender este requisito a otros campos⁵.

3.2. El concepto de precisificación

Una vez definida cuáles son las posturas idealistas de Russell y Frege, es fundamental ofrecer una definición válida de la precisificación. A este respecto, la precisión de un predicado puede definirse en función del número de elementos que contengan dicho predicado en sus extensiones positivas y negativas, de forma que un predicado A será más preciso que otro B si A tiene más elementos en sus dos extensiones que B . Es decir,

$$|Ext(A) \cup Ext(\neg A)| > |Ext(B) \cup Ext(\neg B)|$$

siendo $Ext(A) := \{x \in U | A(x)\}$ y $Ext(\neg A) := \{x \in U | \neg A(x)\}$ (expresiones a su vez análogas a las correspondientes al conjunto $Ext(B)$). Aquí hay que tener en cuenta que a) el operador “no” debe ser entendido como la propiedad de “no ser claramente A ”, a diferencia de la negación normal que también incluiría aquellos elementos pertenecientes a los casos de frontera [49], y que b) el dominio de ambas extensiones debe ser el mismo (en caso contrario se podría decir que “inteligente” es más preciso que “azul” en un mismo contexto a pesar de que ambos adjetivos hacen referencia a elementos totalmente distintos).

Utilizando este formalismo, un predicado es preciso si y solo si

$$Ext(A) \cup Ext(\neg A) = U$$

Es decir, si sus extensiones positivas y negativas abarcan todo el dominio del discurso U o, lo que es lo mismo, si no hay casos de frontera.

En consecuencia, un predicado A será una precisificación de B si, primero, A es más preciso que B , y segundo si las extensiones positivas y negativas de B están contenidas en el conjunto correspondiente a las extensiones positivas y negativas de A , respectivamente (lo que en [49] se denomina Principio de Estabilidad):

$$A \geq B := Ext(A) \supseteq Ext(B) \wedge Ext(\neg A) \supseteq Ext(\neg B)$$

Estas ideas subyacentes al concepto de precisificación pueden encontrarse por primera vez en [16], donde se presenta el concepto de los significados postulados.

Según Carnap, existen dos tipos de verdades: aquellas que son necesarias, lógicas y basadas en el significado, y aquellas otras que son empíricas y, por tanto, dependen del contexto lingüístico en el que aparecen. Por ejemplo, si se acepta el principio del tercero excluido, “Cornelia es introvertida o Cornelia no es introvertida” será verdadero, y puede demostrarse únicamente con un conocimiento básico de lo que significan las partículas

⁵Aunque a veces en estos textos Frege solo hace uso del término “Ciencia”, no parece hacerlo desde una perspectiva general, sino restringida a las Matemáticas y la Lógica y nunca a las que hoy se conocen como “ciencias sociales” [120].

lógicas “es”, “no” y “o”. Esto no es así con “si Cornelia es introvertida, entonces Cornelia es reservada”, donde para determinar las condiciones de verdad es necesario conocer las definiciones de “introvertido” y “reservado” y aceptar que existe algún tipo de relación entre un término y otro en el contexto de uso.

Carnap, que considera esta última categoría problemática para su manipulación formal en el campo de la Lógica, propone definir estos términos léxicos en función de otros términos léxicos, de una forma muy similar a como se definen las reglas en un lenguaje de programación lógica tipo Prolog: en el caso del ejemplo anterior, el significado postulado sería $\forall X(\text{introvertido}(X) \rightarrow \text{reservado}(X))$. Una vez añadida esta proposición al sistema formal que estamos utilizando, la verdad derivada de esta sería una verdad lógica y no dependería de ningún contexto. El punto más sensible en esta idea se encuentra en el hecho de que, como el propio Carnap explica, el significado postulado no surge del conocimiento del hablante, sino de una decisión que este debe hacer basándose, en la medida de lo posible, en su percepción del contexto. Es más, si existen varios significados postulados posibles para un caso concreto, el hablante debería escoger aquel postulado que se ajuste en mayor medida a sus intenciones.

Existen multitud de casos en los que el significado postulado es evidente (como es el caso del ejemplo), pero cuando dicha idea se intenta aplicar en ciertos casos uno se encuentra con problemas significativos. Supongamos que queremos elegir un significado postulado para “Cornelia está delgada”. En este caso, la idea sería relacionar el término léxico “delgado” con una unidad de medida, y decidir, basándonos en lo que sabemos del mundo, unos límites claros que nos permitan obtener verdades lógicas y necesarias. Es decir, lo que debemos hacer es precisar el significado vago del adjetivo “delgado”, obteniendo, por ejemplo, que: “Si A es una mujer, A será delgada si pesa menos de 60 kilos”. Una vez más, nos enfrentamos a una decisión, que en el caso de la vaguedad solo puede ser producto del azar, tomada entre las casi infinitas posibilidades existentes, y que además modificaría el significado original de “delgado”. Peor es el caso de los adjetivos que no están relacionados con una unidad de medida, donde además habría que asociar una escala de valores ficticia al adjetivo para poder postular un significado para él.

No es hasta [17] que explícitamente se hace referencia a la precisificación, aunque bajo el nombre de *explication*, donde se define como el proceso de “hacer más preciso un concepto vago o no lo suficientemente exacto que se utiliza en el día a día o en un estado temprano del desarrollo lógico o científico”. Esto definitivamente situaría a Carnap, como ya sugerían sus significados postulados, entre los autores que abogan por la eliminación completa de la vaguedad.

Para comprender mejor las diferentes posturas que existen en lo referente a la precisificación, es importante determinar de qué tipo de vaguedad están tratando estos autores. Para empezar, el concepto de caso de frontera en la vaguedad puede verse desde dos perspectivas diferentes, una fuerte y otra débil. En la débil, una proposición será vaga si uno o varios de los términos que la forman poseen casos de frontera entre sus extensiones positivas y negativas. En la fuerte, además de existir estos casos de frontera, también es necesario que no exista una división clara entre las dos extensiones y los casos de frontera para que la proposición sea vaga. Es decir, que cualquier división que se intente trazar entre estos grupos sea una división empírica y no semántica o lingüística. Esta última definición de vaguedad es la que defiende Carnap, dado que la dependencia del contexto a la que hace mención, así como la variación en la intensidad entre un hablante y otro, dibujan

una vaguedad en la que no hay una aplicabilidad clara. También Frege se ajustaría a esta definición, motivo por el que esta concepción de la vaguedad también se la conoce como vaguedad fregeana⁶.

Una evidencia a favor de la vaguedad fregeana se encuentra en la manera que tenemos los hablantes de hacer frente al continuo en estos casos [13]. Cuando se nos presenta una serie de elementos que abarcan el espacio situado entre ambos extremos del espectro (de menos a más delgado, de menos a más caliente, etc.), nos es fácil clasificar los casos más extremos como poseedores o no de la propiedad tratada, pero esta clasificación se va complicando según nos acercamos a los casos intermedios, volviéndose finalmente imposible tomar una decisión razonada y evidente que apoye el resto de hablantes. Esto es debido a que el significado de términos vagos como “delgado” o “caliente” que utilizan los hablantes no contempla una división precisa entre aquellos elementos que poseen la propiedad definida por el término vago y aquellos que no la poseen.

A causa de esto, la vaguedad a la que se hace referencia normalmente cuando se defiende la aplicación de un proceso precisificador es la vaguedad fregeana. Es importante, pues, destacar que la precisificación no es un proceso según el cual se establezca un límite de aplicabilidad claro en función de un conocimiento infalible o formal del mundo, sino una decisión práctica que busca obtener resultados lógicos no contextuales en un entorno vago que conlleva, inevitablemente, a la modificación del contenido semántico de los términos vagos utilizados de manera regular por los hablantes.

Otra clasificación más compleja se encuentra en [12], construida a partir de las opciones posibles para el tratamiento de un caso de frontera a de la proposición F . En total, habría tres posibilidades: considerar que a no pertenece ni a la extensión positiva ni a la negativa de F (en contra del principio de bivalencia), considerar que a se encuentra parcialmente incluida tanto en la extensión positiva como en la extensión negativa de F , o considerar que es imposible saber con seguridad si a se encuentra dentro o fuera de las extensiones positiva y negativa de F . Estas tres posturas pueden, a su vez, reducirse a solo dos: considerar que Fa (donde Fa significa que a posee la propiedad dada por la proposición F) es verdadero o falso (pero que es incierto cuál de los dos valores es el correcto) o que Fa no es ni verdadero ni falso, cada una de las cuales se puede a su vez subdividir en tres interpretaciones posibles.

En caso de que Fa no pudiera adoptar un valor de verdad clásico, una de las alternativas sería aceptar que Fa carece de valores de verdad (o, lo que es lo mismo, que existen huecos o *gaps* con respecto a los valores de verdad de los casos de frontera). Esta idea se puede encontrar, principalmente, en la teoría supervaluacionista de Kit Fine, donde los casos de frontera carecen de valor hasta que se realiza un proceso de precisificación sobre ellos que determina en cuál de las dos extensiones posibles, la positiva o la negativa, se encuentran. La segunda alternativa es considerar que los casos de frontera poseen un valor intermedio entre T (“True” o “Verdadero”) y F (“False” o “Falso”), la cual estaría representada por la *truth-value approach* y su sustitución del principio de bivalencia por el Principio de Trivalencia (asignando a los casos de frontera el valor de verdad I de “In-

⁶La vaguedad fregeana es, como ya hemos señalado, la única que da lugar a la paradoja sorites, pues en la versión débil existe una línea clara entre una extensión y los casos de frontera, y una de las premisas de la paradoja quedaría invalidada. Es por ese motivo que la inclinación hacia una u otra definición por parte de un autor suele estar determinada por su postura con respecto a la existencia de una vaguedad de orden superior.

definido”). La otra opción consistiría en asignar una serie de valores infinitos entre 0 y 1, la base sobre la que se fundamentan las lógicas multivaloradas y, más concretamente, la Lógica Difusa (en sentido restringido).

Si, por el contrario, suponemos que Fa solo puede ser Verdadero o Falso, existen tres motivos posibles sobre el por qué resulta tan difícil descubrir cuál es ese valor (si es que tal descubrimiento es posible). El primero de ellos es que el valor de verdad está determinado por ciertos hechos de nuestro mundo o nuestra forma de utilizar el lenguaje, los cuales podrían ser descubiertos gracias a un análisis profundo del problema. De ser así, la vaguedad podría ser eliminada y no se requeriría ningún tipo de lógica especial para su formalización; bastaría con la Lógica Clásica y el principio de bivalencia. La segunda opción es similar a la primera, pero asegura que descubrir los hechos que determinan el valor de verdad de un caso de frontera es una tarea que sobrepasa las capacidades del ser humano. Y, en tercer lugar, existe la posibilidad de que no haya nada en nuestra realidad que determine el valor de verdad de Fa . Aunque estos dos últimos casos no violan el principio de bivalencia, sitúan el problema en un punto irresoluble, que a efectos prácticos no dicen nada sobre la naturaleza de la vaguedad más allá de la aceptación de nuestra incapacidad para determinar sus valores de verdad y, por ende, para formalizar su contenido semántico. Quizá una aproximación original a esta idea, tal y como se verá más adelante, pueda encontrarse en [164], donde Wright, en lugar de hablar de valores de verdad, se centra en desarrollar una teoría fundamentada en los grados de creencia de los usuarios.

3.3. La precisificación bivalente

Existen varios modelos que sugieren la eliminación de la vaguedad por medio de la precisificación mediante el uso de la Lógica Clásica Bivalente.

En [112] se argumenta que la Lógica Bivalente es superior a las demás gracias a su sencillez y simplicidad en contraste con el resto de lógicas no clásicas, lo que la convierte, tal y como también se defiende en [28], en la lógica que mejor representa la realidad. Los sacrificios que hay que realizar para ajustar el mundo a una concepción bivalente serían entonces aceptables. Cada término A solo puede poseer una extensión positiva y otra negativa, estableciendo una frontera (“hasta la última molécula”, en palabras de Quine) entre aquellas cosas que son A y aquellas que no lo son, aunque eso pueda parecernos contraintuitivo. En ese sentido, la bivalencia nos permitiría establecer una dicotomía entre verdad y mentira en todas las proposiciones de nuestro lenguaje independientemente de si nosotros podemos o no tener conocimiento de cuáles son las condiciones exactas que otorgan a estas proposiciones su condición de verdad o falsedad.

Para Quine, la paradoja sorites es una prueba de que nuestro análisis de los predicados que componen la paradoja es preteórico, y de que no podemos juzgar la validez de sus conclusiones sin un proceso previo de inducción matemática. El único razonamiento realmente válido sería aquel que puede interpretarse en función de los números y de las leyes que los gobiernan. En muchos casos bastaría con sustituir el término vago por un término de comparación relativo (“alto” por “más alto que”, “viejo” por “más viejo que”) y en otros, como es el clásico “montón de arena”, la única solución sería la de sacrificar la coherencia o la intuición que guía al hablante y realizar una estipulación (en el sentido dado por Frege) que determine el número de granos mínimo que se necesita para tener un

montón de arena.

A pesar de lo radical de su postura, Quine muestra ser consciente de los problemas que conlleva alejarse de la intuición preteórica, y se limita a indicar que la lógica bivalente es el menor de los males (un escepticismo hacia el principio de bivalencia que ya era criticado en [16]). En palabras de Quine: “*One might then despair of bivalence and proceed disconsolately to survey its fuzzy and plurivalent alternatives in hopes of finding something viable, however unlovely. Or one might dig in one’s heels —recalcitrate, in a word— and accept this démarche as a lesson rather in the scope and limits of the notion of linguistic convention*” [112, p. 36].

En [35] también se realiza una defensa de la lógica bivalente, pero a diferencia de Quine, su autor sí propone una semántica formal que, en principio, podría resolver el problema de la vaguedad. En [35, p. 265], y siguiendo las ideas de Frege, esta vaguedad se define como “deficiencia de significado”. El autor, junto a las observaciones recogidas en [65], hace especial énfasis en la importancia de conservar el principio del tercero excluido, dado que lo contrario llevaría a resultados absurdos. Es decir, a raíz de los problemas de frontera propios de ciertas lógicas multivaloradas ya explicados en el segundo capítulo de esta tesis (en torno al hecho de que dos elementos contrarios pueden llegar a poseer el mismo valor de verdad, 0,5), Fine afirma que $p \wedge \neg p$ no puede tener un valor de verdad diferente de cero, al igual que $p \vee \neg p$ debe tener un valor de verdad igual a uno. Al aceptar esto, no existiría ninguna razón para abandonar las Leyes de De Morgan (siendo estas las reglas de transformación según las cuales $\neg(P \wedge Q) \leftrightarrow (\neg P) \vee (\neg Q)$, $\neg(P \vee Q) \leftrightarrow (\neg P) \wedge (\neg Q)$, la disyunción debe ser siempre conmutable ($(P \vee Q) \leftrightarrow (Q \vee P)$) y la doble negación lleva siempre a la afirmación ($\neg(\neg A)$ es equivalente a A)).

Una vez asentadas estas bases, Kit Fine empieza a desarrollar su teoría entendiendo la vaguedad de una manera similar a como se define en [16], estableciendo dos valores, uno de los cuales es el mínimo necesario para que un elemento posea esa propiedad vaga y otro el máximo para el cual ese elemento no posee dicha propiedad (“Fine es alto si mide más de 1,80 y no lo es si mide menos de 1,65”, por ejemplo)⁷. Entonces, entre un límite y otro habría una serie de valores para los cuales la proposición “Fine es alto” no es ni verdadera ni falsa (es decir, habría un hueco o gap de valoración). Para Fine, la idea de los gluts, de que una proposición pueda poseer más de un valor de verdad (que “Fine es alto” sea a la vez verdadero y falso, por ejemplo) es un caso de sobredeterminación, nacido a raíz de la confusión existente sobre los casos de frontera. La idea que prima sobre esta afirmación y el desarrollo teórico posterior de Fine se fundamenta en dos puntos, a saber: que los casos de frontera tienen, potencialmente, un valor de verdad que le vendrá dado por la precisificación utilizada, y que, a raíz de esto, los valores de verdad y, en general, las condiciones de verdad clásicas, deben preservarse en estos casos de frontera. En otras palabras, los valores o condiciones de los casos de frontera previos a la precisificación no pueden contradecir los valores obtenidos después de la precisificación, algo que no cumplirían los gluts.

La idea de la preservación de los valores de verdad en la frontera ya estaba recogida antes de la propuesta de Fine, en la denominada *truth-value approach*, consistente en

⁷ Siguiendo la línea trazada por esta definición, un término es ambigüo si los dos límites generan una serie de casos superpuestos (como sucedería si tuviéramos dos proposiciones como “Fine es alto si y solo si mide más de 1,80” y “Fine es alto si y solo si mide más de 1,75”) y es general o inespecífico si solo estipula uno de los límites (“Fine es alto si y solo si mide más de 1,80”).

aplicar a un lenguaje de primer orden una especificación parcial capaz de asignar a cada oración de ese lenguaje uno de tres valores: Verdadero, Falso y, para los casos situados entre las extensiones positivas y negativas, Indefinido (al contrario de las especificaciones completas, que solo asignan los valores definidos, Verdadero y Falso).

A pesar de ello, Fine considera que esta aproximación no es una solución al problema por no ajustarse a un sistema lógico bivalente, ya que “*any indefinite sentence can be resolved in either one of two ways. The value of indefinite sentences lies in the possibility of this bipolar resolution: they are born, as it were, to be true or false. There is no point in withholding truth from a sentence that can be made true by improving any improvement in precision*” [35, p. 279], y lo critica a raíz de las dos restricciones, reglas o condiciones que gobiernan este *truth-value approach*: la Condición de Fidelidad (según la cual una oración es verdadera o falsa para una especificación completa si y solo si es clásicamente verdadera o falsa, respectivamente) y la Condición de Estabilidad (según la cual el valor definido (Verdadero o Falso) de una oración debe conservarse bajo cualquier extensión válida).

Con estas reglas, las sucesivas precisificaciones o extensiones de los valores de verdad que pueden aplicarse a una proposición deben realizarse siempre de forma que a) los casos de frontera conserven su valor de verdad definido una vez les es asignado uno, y b) los casos que ya pertenezcan a las extensiones positivas y negativas sigan perteneciendo a ellas. De entre las especificaciones posibles que cumplan estas condiciones existen dos posibilidades extremas, una en la que cualquier proposición indefinida seguirá siendo indefinida, y otra en la que una proposición indefinida será verdadera o falsa si obtiene el mismo valor para todas las extensiones posibles. Sin embargo, estas especificaciones extremas se contradicen a la hora de asignar los valores de verdad a determinadas proposiciones. Por ejemplo, si tenemos una proposición de la forma Fa , donde F es la conjunción “ser alto y ser bajo” y a es un caso de frontera de “alto” y “bajo”, Fa debe ser falso porque “alto” y “bajo” son términos opuestos, pero si tomamos como válida una de las especificaciones extremas anteriores, Fa es indefinido dado que ambos miembros de la conjunción, “ a es alto” y “ a es bajo”, son indefinidos.

Fine propone añadir una nueva regla que debe cumplir cualquier precisificación o extensión de un término vago, según la cual siempre deben respetarse las relaciones lógicas existentes entre las proposiciones pertenecientes a los casos de frontera, las denominadas *penumbral connection*⁸. De igual manera, las verdades que se obtienen de dichas conexiones pasarían a denominarse *penmubral truths* (lo que, en sus propias palabras, serían las ramas que nacen a partir de la *penumbral connection* y que conformarían nuestro lenguaje). De esta manera, la última posibilidad no sería correcta al no poder interpretar correctamente los términos “alto” y “bajo” como mutuamente excluyentes, obligando a que Fa deba ser visto como una proposición falsa.

Dado que en teoría existen muchas precisiones capaces de cumplir con esta condición, se puede construir un conjunto de puntos de especificación (el denominado espacio de especificación) que estarían parcialmente ordenados por la relación de extensión \geq , el

⁸El uso del término “penumbra” como referencia a los casos de frontera ya estaba recogido en [123]: “*The fact is that all words are attributable without doubt over a certain area, but become questionable within a penumbra, outside which they are again certainly not attributable. Someone might seek to obtain precision in the use of words by saying that no word is to be applied in the penumbra, but unfortunately the penumbra is itself not accurately definable, and all the vaguenesses which apply to the primary use of words apply also when we try to fix a limit to their indubitable applicability*”.

cual sería transitivo, reflexivo y asimétrico. Cada punto del conjunto se correspondería con una posible precisificación y consistiría siempre en tomar casos de frontera y valorarlos en función de un determinado valor de verdad, Verdadero o Falso. Así, cada proposición podría expresarse como un par ordenado (A, t) , donde A sería una expresión ordinaria y t sería el punto de especificación que indicaría en qué estado de precisificación se encuentra A . La extensión de (A, t) sería el par ordenado (U, V) donde $U = \{u | t \leq u\}$ y $V = \{v \in U | v \models A\}$, es decir: donde U es el conjunto de todas aquellas precisificaciones mayores que la precisificación original t y V es el conjunto de precisificaciones pertenecientes a este U que, además, hacen verdadera la expresión A .

Cada una de estas precisificaciones deberían cumplir la Condición de Estabilidad (de manera que algo no sea verdad en un caso y falso en el siguiente):

$$(t \models A) \wedge (t \leq u) \rightarrow u \models A$$

y

$$(t \models A) \wedge (t \leq u) \rightarrow u \models A$$

Estos espacios, además, se caracterizarían por poseer un límite inferior (una precisificación mínima a partir de la cual todas las otras son extensiones) y respetar el Principio de Completabilidad según el cual cualquier punto podría extenderse hasta formar un punto completo dentro del mismo espacio:

$$\forall t (\exists u \geq t) \quad (u \text{ completo})$$

Este último punto sitúa a Fine en una postura precisificadora extrema, alejándose de las dudas antes mencionadas por Quine y Frege sobre la eliminación de la vaguedad en el lenguaje coloquial. No solo podría precisificarse el lenguaje, sino que cada precisificación podría extenderse con una precisificación mayor, y así sucesivamente hasta eliminar los casos de frontera por completo (de acuerdo con el Lema de Kuratowski-Zorn, como veremos a continuación).

A partir de estas definiciones, una proposición sería verdadera o falsa si y solo si fuera verdadera o falsa respectivamente para todos los puntos completos de todos los espacios de especificación admisibles. La verdad sería, por lo tanto, una superverdad (definiendo así lo que se conoce como Supervaluacionismo)⁹.

Este tratamiento de la vaguedad es lo que en [49] se denomina precisificación simple, un proceso en el que un predicado vago puede ser sustituido, sin alterar con ello sus valores de verdad, por la disyunción de todas las precisificaciones admisibles de ese predicado, las cuales arrojarán siempre como resultado final (es decir, como resultado de la sucesión de precisificaciones que representa cada una) un predicado preciso. Así, si tenemos la forma Fa , donde F es un término vago (“ a es divertido”, “ a está gordo”, etc.), esta sería

⁹En [27, p. 310] se puede apreciar un tratamiento de la vaguedad similar al de Fine, en el que se indica que “*For every vague statement, there is certain range of acceptable ways of making it definite, that is, of associating determinate truth-conditions with it. A method of making a vague statement definite is acceptable long as it renders the statement true in every case in which before, it was definitely true, and false in every case in which, before, it was definitely false. [...] Then, if we suppose that all vagueness has its source in the vagueness of certain primitive predicates, relational expressions and quantifiers, we may stipulate that a statement, atomic or complex, will be definitely true just in case it is true under every sharpening of the vague expressions of these kinds which it contains.*”

equivalente a

$$\left(\bigvee_{i=1}^{\infty} F_i \right) a$$

en el que cada F_i representa una de las precisificaciones admisibles o posibles de P . En este sentido, la precisificación es un proceso de desambiguación del lenguaje: “*Vagueness is ambiguity on a grand and systematic scale*” [35, p. 282].

Es importante señalar que Fine defiende la existencia de un punto completo dentro de un espacio de especificación (y con ella el Principio de Completabilidad) mediante el Lema de Kuratowski-Zorn, según el cual si poseemos un conjunto parcialmente ordenado P no vacío y este cumple la propiedad de que cada cadena de F tiene un límite superior en F (“cadena” en el sentido de “subconjunto totalmente ordenado”), entonces el conjunto F contiene al menos un elemento maximal. Pero aunque el espacio de especificación puede considerarse un conjunto no vacío parcialmente ordenado, y cada subconjunto como uno totalmente ordenado con un límite superior (lo cual es evidente dado que hay un número limitado de casos de frontera), el elemento maximal resultante no tiene por qué ser a su vez un punto completo sino la precisificación máxima que puede alcanzarse dentro de ese espacio de precisificación (esto sigue siendo cierto incluso aunque aceptásemos la afirmación de Fine de que una oración atómica nunca puede ser indefinida).

Además, y aunque Fine no se muestre escéptico como Quine, los problemas que señala este, ese sacrificio semántico que hay que realizar para reducir el tratamiento de la vaguedad a la Lógica Bivalente, no se resuelven aquí, sino que se magnifican. Al tratar las conexiones de penumbra, Fine habla de que algunas de estas conexiones son internas (en el sentido de que si Miguel es alto y mide 193 cm, Arturo también debe ser considerado alto si mide más de 193 cm), pero también de que muchas otras conexiones son externas y, sin mencionarlas directamente, aduce a ejemplos de conexiones que hacen referencia a diferentes relaciones semánticas del lenguaje tales como “si las ceremonias son juegos, los rituales también lo son”, “si la sociología es una ciencia, también lo es la psicología” o “si algo es rojo no puede ser rosa”. El problema es que esto, en muchos casos, no deja de ser una simplificación: es cierto que si algo es rojo, no es rosa... pero decir que algo es rosa cuando en realidad es rojo se considera un error menos grave (o más coherente) que decir que es azul (lo cual no parece posible). Este comportamiento no vendría reflejado por las conexiones de penumbra (donde “si algo es rojo no es rosa” y “si algo es rojo no es azul” poseerían el mismo valor de verdad), que para Fine “[are] the seed from which the tree grows. For it provides an initial repository of truths that are to be retained throughout all growth” [35, p. 275-276].

Aun así, la aproximación supervaluacionista de Fine es una evolución con respecto al *truth-value approach* en el sentido en que las extensiones que propone son extensiones lingüísticas, haciendo que la precisificación final tenga una fuerte dependencia de una serie de relaciones lingüísticas que establecen un vínculo entre los distintos términos implicados. “rosa” y “rojo” ya no son términos independientes, sino que están interrelacionados entre sí y son valorados como tal en la precisificación.

La *truth-value approach* también tiene el inconveniente de que, para ella, una fórmula es válida sí y solo sí toma un valor designado en cada especificación. Si el valor designado es Verdadero, entonces no existiría ninguna fórmula válida que cumpliera las condiciones de fidelidad y estabilidad, ya que siempre habría alguna especificación en la que, precisamente, la fórmula pasara de ser Indefinida a ser Verdadera. Y si los valores designados

fueran Verdadero e Indefinido, nos encontraríamos en el caso clásico. En la aproximación supervaluacionista, por el contrario, una fórmula es válida si es verdadera en todos los espacios de especificación, lo que evitaría una interpretación trivial como esta.

Esta diferencia dejaría abierta las puertas a una interpretación no clásica del supervaluacionismo, pero Fine se opone a ello. Primero, por lo ya comentado sobre el principio del tercero excluido, donde Frege niega que dicho principio falle en el caso de las proposiciones vagas (según él, afirmar lo contrario sería una “falacia de equivocación”, ya que aquí se hablaría, en lugar de la verdad, de la superverdad asociada a un espacio de especificación, o de una verdad asociada a una especificación completa, y por ende no habría ya vaguedad que contradijese dicho principio). Y segundo, porque el argumento de que la Lógica Clásica da lugar a la paradoja sorites sería erróneo dado que, bajo la perspectiva supervaluacionista, la segunda premisa (“si un objeto que pesa n kilos es pesado, un objeto que pesa $n + 1$ kilos también es pesado”) es falsa. Los predicados vagos pueden entonces tratarse como predicados precisos y no hay nada contradictorio en ello, ya que en cualquier especificación completa y admisible existirá un límite o división entre “calvo” y “no calvo” o “alto” y “no alto”. Fine señala que sus argumentos a favor de la Lógica Clásica pueden parecer contraintuitivos, pero no da ningún argumento que lo justifique más allá de que son, una vez más, circunstancias que hay que aceptar debido a que conservar las conexiones de penumbra requiere del uso de la Lógica Clásica. La afirmación de Fine de que el supervaluacionismo elimina la paradoja sorites, sin embargo, es criticable: como se indica en [124], que la premisa sea falsa al hacerse preciso un predicado vago de todas las formas posibles no la hace falsa cuando ese predicado se presenta sin precisar o, en todo caso, con un significado que no es tan preciso como podría serlo en caso de obtener todas sus precisificaciones admisibles.

En último lugar, la postura supervaluacionista requiere que se resuelva la duda de cómo los seres humanos somos capaces de determinar los valores de verdad de los casos de frontera (es decir, de cuál es nuestra capacidad para identificar especificaciones admisibles y completas). En el caso de Fine, este enumera tres posibles respuestas.

La primera es que entendemos de manera indirecta todas las posibles especificaciones, y con estas cada una de las proposiciones que hacen que una determinada proposición vaga sea totalmente precisa. Afirmer esto sería lo mismo que decir que somos capaces de sustituir cada uno de los términos vagos que conocemos (“alto”, “viejo”, etc.) por una serie de proposiciones que definen sus dominios y extensiones de manera perfectamente clara. La segunda opción es similar a la primera, excepto que el término vago es sustituido por un conjunto en el que la condición de pertenencia recae sobre una serie de valores que las variables asociadas al elemento analizado deben poseer. Y la tercera es aquella en la que el término vago es sustituido por una variable que engloba todas las propiedades precisas que debe poseer un elemento para pertenecer a la extensión positiva del término vago.

El inconveniente reside en que las tres opciones implicarían que el hablante es capaz de enumerar una serie de proposiciones o requisitos totalmente precisos cualificados para, en conjunto, comportarse de igual forma que el término vago al que sustituyen, lo cual parece contradecir la propia existencia de los casos de frontera y nuestra incapacidad para, a priori, tomar una decisión unánime sobre determinados elementos del dominio del término vago. Como se indica en [124, p. 207] en referencia a la obtención de un valor preciso para un predicado vago que invalide la segunda premisa de la paradoja sorites: “*This makes things come out neatly, but the neatness is purchased by assigning some*

statements, such as the crucial premiss of the sorites argument, values which seem to be counter-intuitive". Además, la dificultad de definir cuáles son las variables asociadas en muchos de estos casos, así como la arbitrariedad a la hora de asignar dichos valores, tampoco parecen apoyar estas propuestas. Esta crítica también se encuentra en [93], donde se afirma que la existencia de la vaguedad no puede explicarse únicamente por nuestra ignorancia o incapacidad de observar con la precisión suficiente ciertos hechos, cuando en muchos casos, como en "rojo", no hay una propiedad según la cual si un elemento la posee puede considerarse "rojo", y "no rojo" en caso contrario. Incluso si se intentara establecer una división precisa de acuerdo con parámetros científicos (como puede ser mediante la asociación simplificada de un cierto rango de longitudes de onda con el color rojo), el resultado solo podría ser utilizado con fines prácticos en un contexto científico, pero no sería justificable su extensión a otros contextos relacionados con el habla cotidiana de los seres humanos.

3.4. La precisificación multivalorada

El proceso de precisificación bivalente, como se ha indicado en el apartado anterior, aparece asociado al concepto de sacrificar parte del significado original de la palabra en aras de un resultado simplificado, dejando de lado tanto la intuición como el uso natural del lenguaje, lo cual nos lleva irremediablemente a considerar contraintuitivas algunas de sus soluciones propuestas.

Una crítica al respecto puede encontrarse en [93], donde se afirma que la formulación clásica del principio de bivalencia (según el cual toda proposición solo puede adoptar uno de dos valores de verdad, "Verdadero" o "Falso") no es una verdad lógica sino todo lo contrario, y que por tanto "requiere reparaciones". No rechaza la posibilidad de establecer una precisificación admisible como un tratamiento formal previo al procesamiento de un predicado bien formado, pero considera que reducir las posibles respuestas a "sí" y "no" (tal y como hacen los lenguajes de programación lógica como Prolog basados en procesos de resolución meramente sintácticos) es "seriamente artificial y engañoso"¹⁰.

Machina sugiere que la complejidad a la hora de determinar la división entre ciertos términos tales como "rojo" y "no rojo" son un claro indicio de que se requiere una estructura más complicada para describirla formalmente. Para ello, siguiendo los presupuestos de la Lógica Difusa, y más concretamente los formalismos desarrollados en [167] que trataremos en el próximo capítulo, propone establecer un intervalo I entre 0 y 1 de valores de verdad (denominado índice), donde el elemento $\phi: E \rightarrow I$ sería una función representativa del grado en que un elemento de un conjunto E cae dentro de la extensión positiva de un término vago concreto.

Otra posible respuesta a la teoría de Fine y a las precisificaciones bivalentes se fundamenta en el hecho de que se puede construir una teoría multivalorada sin rechazar por ello el principio del tercero excluido [125]. Esto es porque el principio de bivalencia implica el principio del tercero excluido, pero no a la inversa. El principio de bivalencia se puede

¹⁰Machina señala la posibilidad de que las proposiciones que no se ajustan a este comportamiento puedan no ser llamadas *proposiciones* (la denominada Teoría de la No Proposición), pero la rechaza al considerar que no hay sentido en realizar esta diferencia cuando una proposición vaga posee las mismas implicaciones que cualquier otra y puede igualmente ser negada, contradicha o unida a otras proposiciones no vagas ("el bebé estaba vivo y era precioso", por ejemplo).

subdividir en tres presupuestos básicos: a) Toda proposición debe tener un valor semántico, b) Solo hay dos valores de verdad, y c) “verdadero” y “falso” son valores de verdad. Aquí el verdadero problema es el apartado b), el denominado “principio de dos valores de verdad”, aunque se puede eliminar sin negar por ello los otros dos presupuestos. A su vez, el principio de biexclusión también puede subdividirse en tres presupuestos iguales a los del principio de bivalencia con excepción del apartado a), que aquí quedaría sustituido por a’) Ninguna proposición puede tener más de un valor semántico. De esta forma, de los principios de bivalencia y biexclusión solo sería necesario eliminar el principio de dos valores de verdad y sustituirlo por el equivalente para N valores de verdad, obteniendo tres principios válidos, a saber: el principio de valencia (cada proposición tiene un valor de verdad), el principio de exclusión (ninguna proposición tiene más de un valor de verdad) y el principio de N -valores de verdad (existen N valores de verdad), ninguno de los cuales contradice el principio del tercero excluido.

El rechazo del principio de bivalencia en Sanford es una necesidad surgida de la incertidumbre semántica, de modo que ciertos términos no permiten establecer un punto preciso a partir del cual se puede decir sin lugar a duda si un elemento posee o no la propiedad designada por dicho término [15]. Sin embargo, mientras que Campbell recurre una vez más a una explicación epistemológica del problema, Sanford indica que *“The explanation of our inability to determine a precise moment which I favor supposes that there is no precise moment”* [125, p. 198].

Según Sanford, la conclusión lógica es que el tratamiento multivalorado de la vaguedad es una opción más ajustada a la realidad que el tratamiento bivalente. Para que, por ejemplo, una persona que está caminando eche a correr es necesario que se produzcan una serie de variaciones en la velocidad de dicho individuo que le permitan pasar de “caminar” a “correr”, sin importar lo abrupto o “instantáneo” del cambio. Estos cambios son infinitos, pues en el momento en que se identifican dos estados concretos del proceso siempre se puede incluir un tercero que tiene lugar entre uno y otro. Si $[A_i]$ indica el valor de verdad adoptado por el caso de frontera A_i , y la proposición vaga posee al menos dos casos de frontera tales que $0 < [A_i] < [A_j] < 1$, siempre se podrá encontrar un caso de frontera intermedio entre A_i y A_j , y así sucesivamente hasta el infinito. Por ende, lo más próximo a la realidad sería adoptar el principio de infinitos valores de verdad. Aun así, Sanford señala que no se necesitaría definir un número infinito de valores de verdad para describir este y cualquier otro proceso de cambio, pues al fin y al cabo nuestro poder de discriminación es finito, llegando incluso a afirmar que en algunos casos puede calcularse cuál es el mínimo número N de valores de verdad necesarios. En este principio de infinitos valores de verdad, el valor de verdad de una conclusión obtenida a partir de una serie de premisas dependerá directamente de los valores de verdad de cada una de estas premisas, de forma que si alguna de ellas posee un valor $\alpha < 1$, la conclusión solo podrá alcanzar un valor de verdad no inferior a α . Asimismo, si hay varias premisas con un valor inferior a 1, el valor de la conclusión no podrá ser inferior al valor de la conjunción de dichas premisas.

Para evitar las críticas expuestas en [35] y [65] hacia un modelo multivalorado, Sanford señala que el principio de infinitos valores de verdad es independiente del principio veritativo-funcional y que, además, este último principio no puede aplicarse en cualquier caso. Aquellas proposiciones que son verdades lógicas de acuerdo con la semántica bivalente de la Lógica Proposicional deberán, pues, adoptar un valor semántico de 1, al igual que si su expresión semántica forma una contradicción deberán adoptar el valor semántico

0, independientemente de los valores de verdad de las proposiciones que la formen. Así se evitarían proposiciones que contradigan el principio del tercero excluido como “Diego es viejo y Diego no es viejo”, donde aunque $[Diego\ es\ viejo] = 0,5$ y $[Diego\ no\ es\ viejo] = 0,5$, $[Diego\ es\ viejo\ y\ Diego\ no\ es\ viejo] = 0$. En el resto de casos, el valor de verdad siempre se obtendrá de acuerdo con los valores de verdad de los elementos que componen la proposición.

3.5. La no precisificación

Aunque la aproximación multivalorada puede considerarse un avance importante en el tratamiento del lenguaje vago, no carece de inconvenientes. Es el propio Sanford quien, al mismo tiempo que desarrolla su teoría semántica multivalorada, indica cómo *“There is admittedly something ironic about responding to the imprecision of natural language by adopting a semantics which allows infinitely precise discriminations of truth-value”* [125, p. 201], una crítica que se vuelve a repetir más adelante en [12] y [49]. Incluso en [36] se llega a argumentar que toda precisificación de un predicado vago es inadmisibles puesto que, si existen casos donde no se sabe con seguridad si se puede o no aplicar un determinado predicado vago, esa es razón suficiente para que ese desconocimiento se considere parte del significado del predicado vago.

Cuando se sustituye el principio de bivalencia por el principio de multivalencia, estableciendo un número elevado (si no infinito) entre 0 y 1, los problemas se multiplican en lugar de desaparecer. La dificultad de encontrar un punto de división preciso entre dos estados, “verdadero” y “falso”, ahora se extiende a encontrar múltiples puntos de división, uno por cada par de valores existentes. Es más, esto conduciría a la situación ya indicada en el capítulo tercero sobre un caso extremo de la Lógica Multivalorada, la Lógica Difusa, donde se supone que una proposición de la forma “Diego es viejo tiene un valor de verdad de 0,674992” debería ser una afirmación coherente, ajustada a nuestro uso diario del lenguaje, cuando en realidad dista mucho de serlo. Sanford, sin embargo, se limita a culpar de esto al principio de valencia, señala que es una dificultad que acarreará cualquier principio de n -valores de verdad y que, por tanto, si hay que elegir una, la más acertada será siempre aquella que utilice el principio de infinitos valores de verdad.

La precisificación también hace frente a otros problemas, entre ellos la necesidad de que las precisificaciones admisibles cumplan la condición de “accesibilidad pública” [21], la cual consiste en que una precisificación P de un predicado vago F solo es aplicable al lenguaje si los hablantes pueden adoptar esa precisificación, reemplazando el significado original de F por el que aporta P . Si, por ejemplo, afirmáramos que existe un punto de corte en 30 años para el predicado “joven”, la precisificación realizada solo sería válida si los hablantes utilizaran el predicado “joven” de esa manera (es decir, considerando que todo aquel inferior a 30 años es “joven”). Pero esta es una condición inalcanzable, en parte porque el significado de un término vago es dependiente del contexto, y en parte porque sería extremadamente difícil (si no imposible) llegar a un consenso entre todos los hablantes. Esa es precisamente una de las ventajas de la vaguedad: que, dados los múltiples usos que puede darle cada individuo a una palabra, siempre existirá un margen lo suficientemente amplio y flexible para permitir el entendimiento.

El otro problema descrito por Collins y Varzi se ilustra mediante una versión del Juego del Ciempiés que aparece por primera vez en [8]. En este ejercicio lógico, tenemos

dos jugadores racionales, cada uno de los cuales se centra en un solo objetivo: conseguir el mayor beneficio sin importar cuáles sean las ganancias o pérdidas de su contrincante (en otras palabras, no es una competición). El juego consiste en una pila de 200 monedas donde los jugadores pueden coger en cada turno una o dos monedas, de forma que si el jugador A coge una moneda, su turno finaliza y empieza el del jugador B , pero si A coge dos monedas el juego se termina, cada uno quedándose con lo que ha cogido hasta ese momento. Así pues, solo hay dos opciones: coger una moneda y permitir que el juego siga, o coger dos monedas y darlo por finalizado. Esto conduce a identificar dos formas de ver el juego: si la decisión más lógica (la que reporta más beneficios al jugador) es coger una moneda y dejar que el juego continúe, este sería lo que se conoce como un *leave-it game*, pero si la decisión más lógica es coger dos monedas y terminar el juego, sería un *take-it game*.

Teniendo en cuenta que ambos saben que el otro jugador es racional, en el turno $n = 1$ (cuando todavía hay 200 monedas en la mesa) el juego sería claramente un *leave-it game* ya que de lo contrario el jugador A se quedaría con solo dos monedas (lo más racional para el jugador es coger una sola moneda y dejar que el juego continúe para seguir aumentando sus ganancias). Por otro lado, cuando solo quedan 2 monedas en la mesa (turno $n = i$), la decisión del jugador A es evidente: lo mejor para él es coger esas dos monedas y dar por acabado el juego para acabar con 101 monedas en lugar de acabar con 100 monedas. Es decir, en ese punto el juego sería un *take-it game*. Pero recordemos que ambos jugadores son racionales: el jugador B sabe que, llegados al turno $n = i$, el jugador A cogerá las dos monedas y él se quedará solo con 99 monedas, así que lo que hace es coger dos monedas en el turno anterior $n = i - 1$, cuando quedan 3 monedas sobre la mesa. Así, el jugador B se quedará con 100 monedas y el jugador A con 99. De nuevo, este sería otro caso de *take-it game*... y, a partir de aquí, el problema se repite. El jugador A , a raíz del mismo razonamiento, preverá la jugada del jugador B y cogerá dos monedas cuando haya 4 monedas en la mesa (en el turno $n = i - 2$), y así sucesivamente. Al final, el jugador A llegará a la conclusión lógica de que en el primer turno $n = 1$, cuando hay 200 monedas sobre la mesa, lo que debe hacer es coger dos monedas y acabar el juego. Sin embargo, eso es absurdo pues entonces solo acabaría ganando 2 monedas cuando podría haber ganado 100.

Esta contradicción, según sus autores, surge del mismo problema que da lugar a la paradoja sorites, a saber: que ambos términos, *leave-it game* y *take-it game*, son términos vagos entre los cuales existe una línea de separación difusa. Y, lo que es aún más importante, si en verdad *leave-it game* y *take-it game* fueran términos vagos, no aceptarían ningún tipo de precisificación. Si el jugador A indicase que el juego es un *leave-it game* en los turnos $n \leq m$, y un *take-it game* para los turnos $n > m$, el jugador B realizaría una nueva precisificación, indicando esta vez que el turno anterior sería un *take-it game* (en el turno $n > m - 1$), y así sucesivamente. Lo que tendríamos al final serían dos jugadores, cada uno de los cuales manejaría una precisificación distinta (y por ende un significado distinto) de los conceptos *take-it game* y *leave-it game*, incumpliendo la condición de “accesibilidad pública” y sirviendo como contraejemplo a la teoría según la cual cualquier término vago puede ser precisificado hasta que finalmente deja de serlo.

Llegados a este punto cabe preguntarse si los problemas subyacentes a las precisificaciones bivalentes y multivaloradas no pueden subsanarse o, al menos, si no es posible otra perspectiva desde la cual estos inconvenientes no den lugar a un tratamiento poco

intuitivo e incluso contradictorio del lenguaje vago.

En [30] se propone como alternativa la postura gradual en contrapunto a las propuestas multivaloradas y a las “actitudes epistémicas absolutas”, como su autora denomina a las teorías que, como la *truth-value approach*, a la hora de pensar en el contenido semántico de una proposición solo admiten tres opciones: creer que la proposición es verdadera, creer que no lo es, o situarse en una posición agnóstica en la que ni crees ni dejas de creer en ella. Con respecto a esta actitud epistémica, cuando uno piensa en creencias antes que en valores absolutos de verdad, clasificar las posturas de un individuo con respecto a una proposición en solo tres categorías resulta insuficiente: no solo es importante la inclinación del individuo a creer, no creer o permanecer en la duda, sino también la fuerza con la que dicho individuo mantiene esas creencias. Esta fuerza puede llevar incluso a que dos individuos (idénticos en cuanto a deseos, actitudes frente a la vida y creencias) coincidan en su valoración general de una proposición p , y a pesar de ello actúen de maneras diametralmente opuestas. Supongamos que dos personas ganan un concurso y, como premio, reciben la posibilidad de realizar un salto en paracaídas, y aunque ambos consideran que realizar esa actividad no les va a provocar la muerte, uno de ellos decide no saltar en paracaídas mientras que el otro acepta la oferta. Eso se debería a que aunque ambos creen que no les va a pasar nada, el sujeto que hace el salto lo cree con la firmeza suficiente como para no perderse la experiencia, mientras que la creencia del otro dista mucho de ser una certeza.

Esta postura gradual o actitud epistémica gradual pretende recoger este comportamiento. Dada una proposición p existiría un espectro de actitudes que irían de la certidumbre de que p es verdadero a la certidumbre de que p es falso. Estas actitudes o creencias estarían representadas por los grados, los cuales no tendrían por que, necesariamente, ser equidistantes entre sí. Las proposiciones vagas se beneficiarían de esta postura, ya que son los términos vagos los que presentan con más claridad casos de frontera y son más difíciles de clasificar de acuerdo con solo dos o tres valores de verdad. Por ese motivo, la postura gradual permitiría clasificar los distintos casos de frontera de un término vago de acuerdo con su proximidad o lejanía a los casos claros de ese término (a las extensiones positivas y negativas), sin por ello tener que definir puntos de corte (esta proximidad vendría determinada por la función $c(X)$, donde $c(A)$ daría el grado de certeza del caso A).

La aproximación propuesta por Edgington se asemeja en cierto modo a la aproximación multivalorada, pero a diferencia de esta última no se aleja de los presupuestos de la Lógica Clásica ni del principio de bivalencia. La escala no determinaría el grado de verdad de un elemento con respecto a un término vago, sino el grado de certidumbre según la cual podemos situar ese elemento en la extensión positiva o negativa del término vago. Así pues, si tenemos una proposición p , la escala iría de 0 (“ciertamente p es falso”) a 1 (“ciertamente p es verdadero”). Sin embargo, la diferencia más importante reside en que se aboga por una aproximación no precisificada en la que, aunque se utilicen números para designar estos grados, estos no pretenden ser valores exactos. En este contexto, establecer diferencias significativas entre dos grados cuando entre ambos solo existe una diferencia pequeña entre los valores que tienen asignado cada uno es absurdo. Es decir, una vez fijado el contexto y, con él, determinado qué se considera una diferencia pequeña entre dos valores, los valores a y $a - \epsilon$ deben ser considerados iguales. A su vez, esto conduce a que las comparaciones tampoco pueden hacerse arbitrariamente precisas. Los números

serían aproximaciones, con una utilidad meramente instrumental, y la propia Edgington advierte que nunca se debe olvidar que son solo idealizaciones y que en ningún caso pueden conducir a la sustitución de un término vago por un equivalente precisificado¹¹. En sus propias palabras: “*The numbers serve a purpose as a theoretical tool, even if there is no perfect mapping between them and the phenomena; they give us a way of representing significant and insignificant differences, and the logical structure of combinations of these*” [30, p. 297].

El tratamiento no preciso de la vaguedad basado en la fuerza con que creemos en la verdad o falsedad de una determinada proposición lleva a ciertas dificultades, siendo la principal que las inferencias válidas parecen dar lugar a conclusiones no válidas cuando las premisas no son del todo ciertas. Incluso la regla de la introducción de la conjunción parece fallar, dado que aunque creamos que las afirmaciones “El billete de lotería *A* no es ganador” y “El billete de lotería *B* no es ganador” poseen el mismo grado de certeza, la afirmación “los billetes de lotería *A* y *B* no son ganadores” será siempre algo menos certera. Esto llevaría a la conclusión de que, cuando existe más de una creencia incierta, no podemos hacer uso de argumentos válidos para realizar inferencias. Una prueba es la denominada Paradoja de la Lotería [77], donde si tenemos 100 billetes de lotería de los cuales solo uno es el ganador, “El billete de lotería *i* no es ganador” (siendo *i* cualquier valor entre 1 y 100), será casi con toda seguridad cierto, aunque esto nos llevaría a la conclusión de que ningún billete de lotería es ganador, lo cual contradice la propia premisa del juego¹².

Aunque esto se ha utilizado para defender que el *modus ponendo ponens* no se puede aplicar a premisas no completamente ciertas, y resolver así la paradoja sorites, Edgington sugiere que no es una solución válida, pues eliminaría un razonamiento completamente válido como es el *modus ponendo ponens* de acuerdo únicamente con una distinción vaga entre lo que es claramente cierto y lo que no lo es. Por el contrario, asegura que el problema de las paradojas sorites no está en esta regla de inferencia (y que aplicarlo a varias premisas no completamente ciertas es válido), sino en la acumulación progresiva de *unverities* (siendo *unverity* un término que representa el grado de separación existente con la certeza absoluta, opuesto al término *verity*). Para Edgington, no sería necesario rechazar los argumentos válidos, ya que para que un argumento sea válido basta con que cumpla la propiedad de restricción de *unverities* según la cual la *unverity* de la conclusión no puede exceder la suma de las *unverities* de sus premisas, algo que cumplen todos los argumentos válidos clásicos.

A pesar de ello, es importante repetir que Edgington no trata con valores de verdad sino con creencias. Es decir, con nuestra percepción de esos valores de verdad. Si atendemos a sus escalas de creencias, la realidad sería objetivamente bivalente, “verdadero” o “falso”, y cualquier distinción más allá de esto estaría basado en la propia experiencia del individuo. Y aunque puede entenderse como una defensa del tratamiento empírico de la vaguedad, también es una postura que, aun sin querer profundizar mucho en el problema, defiende el principio de bivalencia y la Lógica Clásica para el tratamiento de la vaguedad, heredando

¹¹Su idea de utilizar valores aproximados para aquellos casos que no requieran o no permitan una precisión matemática se remonta a [114], donde se defiende la validez y utilidad de las verdades aproximadas.

¹²En este ejemplo, la creencia del individuo hace referencia no a la probabilidad de que le toque la lotería, sino a la posibilidad de que eso ocurra. Esto es relevante ya que la probabilidad es un valor numérico preciso (por lo que el concepto de “creencia” no tiene relevancia en ese contexto) mientras que la posibilidad es una característica cualitativa que se utiliza para señalar el hecho de que ganar la lotería es un evento que puede tener lugar.

con ello las críticas existentes en relación a ellos.

En [164] se llega a afirmar que ninguna lógica que tome como válido el principio del tercero excluido y/o la contraposición (como es la Lógica Clásica o la Lógica Multivalorada desarrollada por Sanford) puede utilizarse en aquellas proposiciones cuyo rango de aplicación solo ha sido definido de forma parcial. El problema está en que en la mayoría de las propuestas antes mencionadas existe la tendencia a aferrarse a estos principios y lógicas, fundamentados en la tradición por la cual vemos el lenguaje como un conjunto de reglas a partir de las cuales podemos formar, aplicar y combinar oraciones (lo que Wright denomina la *Governing View*). Pero el principal inconveniente es que incluso si pudiéramos expresar y enumerar esas reglas explícitamente para el lenguaje vago, estas no añadirían nada nuevo al significado de la palabra y, lo que es peor, dado que no serían reglas informativas, no podrían utilizarse para decidir sobre la aplicabilidad de un término concreto. Pensemos en el caso de “alto”, donde definimos una regla explícita según la cual este adjetivo puede aplicarse a un individuo cuando este cumple la condición ϕ . La única opción, lejos de las alternativas poco realistas de la teoría supervaluacionista de Fine, y que se ajuste a nuestra comprensión del término, sería definir ϕ como la condición de que el individuo sea alto, lo cual llevaría a una definición muy poco práctica (“alto” puede aplicarse a a si y solo si a es alto).

El argumento formal en contra de la *Governing View* se basa en las dos afirmaciones que la componen, siendo estas que: a) La condición de aplicabilidad de un término, y con ella su contenido semántico, está determinado por aquellas reglas que establecen su correcto uso, y b) Dichas reglas pueden obtenerse de manera explícita mediante nuestro conocimiento del mundo, construido en gran medida a partir de nuestra percepción y memoria. Cuando intentamos obtener una serie de reglas semánticas sin tener en cuenta la existencia de límites borrosos entre las extensiones positivas, negativas y los casos de frontera de los términos vagos, el resultado entraría en contradicción a cómo percibimos y utilizamos estos términos en muchos casos (y por ende contradeciría la primera afirmación de la *Governing View*): “*Lack of sharp boundaries is a phenomenon of semantic depth. It is not usually a matter simply of our lacking an instruction where to 'draw the line'; rather the instructions we already have determine that the line is not to be drawn*” [164, p. 230]. Pero si aceptamos la existencia de límites borrosos, la *Governing View* clasificaría estos términos como semánticamente incoherentes ya que su aplicación no vendría definida por una o varias reglas exactas y, en principio, darían lugar a la paradoja sorites.

Lo que lleva a la *Governing View* a tratar los términos vagos como incoherentes es la posesión de lo que Wright denomina “tolerancia”. Si poseemos un predicado F relacionado con una propiedad ϕ (“rojo” relacionado con “color”, “alto” relacionado con “altura”, etc.), y un elemento a que posee las características propias de ϕ que le permiten entrar dentro de la extensión positiva de F , cualquier otro elemento que no difiera significativamente de a también podrá ser considerado como parte de la extensión positiva de F . Y para que no “difiera significativamente”, el cambio no puede ser observable de manera casual. Esto podría conducir a una solución alternativa de la paradoja sorites, no negando el predicado según el cual un palo pasa de ser “largo” a no serlo cuando le cortamos un milímetro, sino estableciendo que aunque no podemos situar ningún límite preciso entre “largo” y “no largo”, esto no significa que el paso siempre preserve la aplicación del predicado. Si vamos quitando milímetros al palo, llegará un momento en que obtendremos un palo de una longitud tal que, sin necesidad de realizar mediciones de precisión, difiere del palo original

lo suficiente como para replantearse de nuevo si dicho palo sigue siendo “largo” o si, por el contrario, ya puede considerarse como un palo “no largo”.

Aun más grave, la tolerancia no es una característica que cualquier lógica, acepte o no la *Governing View*, pueda permitirse rechazar, lo que situaría a la vaguedad como un elemento inherentemente incoherente de nuestro lenguaje. Hacerlo sería igual que rechazar cualquier predicado basado en la observación mediante el uso de nuestros sentidos (considerad, en el caso anterior, que si cogemos un segundo palo b que nos parece igual al primero a , y a es “largo”, b también debe ser considerado “largo”), y eso provocaría una desconexión entre nuestro lenguaje y la realidad empírica [164, p. 241]. Por consiguiente, la observación del mundo y su comprensión en estos casos llevaría a una contradicción directa de la segunda afirmación de la *Governing View*, y contradeciría la idea de que, para formalizar el comportamiento del lenguaje, lo que se necesita es definir una serie de reglas precisas que controlen su uso y formación. En consecuencia, precisificar los términos vagos sería un sacrificio demasiado grande como para considerarlo una opción, al contrario de lo que defienden Quine y Fine, entre otros.

Esta teoría de la tolerancia, al igual que en [30], apunta como alternativa al uso de una aproximación gradual a la vaguedad, aunque a diferencia de esta no trata con grados de creencia sino directamente con diferentes grados de verdad. Ya no se debe a una cuestión de formalizar nuestra capacidad para identificar un elemento a como F o no F , sino a que a partir del comparativo “ a es más F que b ”, la proposición “ a es F ” poseerá un grado de verdad superior al de “ b es F ”. De nuevo, la existencia de varios grados de verdad lleva a tratar con un conjunto de grados de ser F , lo que a su vez rechazaría el principio de bivalencia. Esto también eliminaría la paradoja sorites, ya que la premisa conflictiva quedaría sustituida por aquella en la que, si el grado de a justifica que a sea descrito como F , y el grado de b es ligeramente más pequeño que a con respecto a F , está más justificado afirmar “ b es F ” que “ b no es F ”.

Wright, sin embargo, no se aleja por completo del principio de bivalencia cuando defiende que, aun haciendo uso de los grados, al final el hablante solo tiene dos opciones: aplicar el predicado o no hacerlo. Y lo justifica afirmando que “*There is not a series of distinct linguistic acts in which we can reflect every degree of justification with which a predicate may be applied*” [164, p. 250]. Es una propuesta sorprendentemente conservadora en comparación con la idea de que cada elemento x posee una propiedad F solo hasta cierto grado, y que este grado determina la verdad o falsedad de la proposición “ x es F ”. Y, en cierto modo, parece contradecirla, aunque tiene justificación cuando se trabaja con un número infinito de grados de verdad, situación en la que sería impracticable, así como absurdo, pretender encontrar un número de infinitas expresiones lingüísticas que cubriesen el espacio existente entre la aplicabilidad y la no aplicabilidad de una proposición.

En [12] también puede encontrarse un argumento en contra del uso de reglas precisas para determinar la aplicabilidad de un término vago, afirmando que las reglas de estos términos deben ser a su vez vagas, dejando al “usuario competente” sin respuesta “en ciertos casos difíciles”. A pesar de ello, y al contrario que Wright, la autora rechaza la idea de que la vaguedad pueda ser a la vez un elemento esencial de nuestro lenguaje y una parte incoherente del mismo. En caso contrario, el lenguaje natural (que, recordemos, es eminentemente vago) no podría ejercer una función comunicativa ni ser descrito formalmente. La incoherencia no solo sería fuente de paradojas, sino de inconexiones evidentes a nivel lógico entre ideas, y provocaría una desconexión en los textos escritos en lenguaje

natural que impediría su uso.

Por ende, la existencia de reglas vagas que permitan un tratamiento coherente (que no completo) de la vaguedad parece ser la única solución posible, sobre todo a causa de los problemas que parecen surgir en caso contrario. Ante todo, debido a las dificultades que ya han demostrado poseer los modelos bivalentes, empezando por su defensa de que hay una respuesta correcta y solo una a la pregunta de si un predicado se aplica o no a un determinado elemento. Esa es una postura conflictiva si tenemos en cuenta que solo da lugar a dos opciones: o bien se puede descubrir cuál es esa respuesta (por lo que la vaguedad dejaría de existir a pesar de lo que parece indicarnos la intuición) o no se puede descubrir, en cuyo caso... ¿qué sentido tiene afirmar que siempre hay una respuesta a dicha pregunta? Si los usuarios de un determinado lenguaje no pueden saber si un predicado F se aplica a un elemento a , lo que habría que intentar es construir un modelo que simulase nuestra forma de ver el significado de Fa en lugar de hacerlo en torno a una idealización del mismo. Asimismo, ignorar la complejidad inherente a las proposiciones vagas y asegurar que en realidad, a pesar de nuestras limitaciones, sí existe ese punto de corte entre las extensiones positivas y negativas del predicado, da lugar a una teoría que se aleja de nuestra percepción de la realidad. Al no tener en cuenta la intuición, ni el uso empírico que se le da al lenguaje, el modelo resultante no es tanto una formalización del lenguaje natural como un lenguaje formal construido a partir de este.

El rechazo del principio de bivalencia tampoco parece solucionar estos problemas, y en algunos casos puede llegar incluso a agravarlos al adoptar una postura puramente precisificadora. Es el caso de la *truth-value approach* a la que hace mención Fine, donde el problema de definir un punto de corte se sustituye por el problema de definir dos puntos de corte (al asignar el valor Indefinido a los casos de frontera), y de la Lógica Multivalorada donde se introducen múltiples puntos de corte, eliminando en ambos casos la duda sobre la aplicabilidad de un predicado propio de los casos de frontera. Además, en el caso de adoptar infinitos valores de verdad y querer preservar la lógica veritativo-funcional, se pierden varias leyes y principios fundamentales de la Lógica Clásica, lo que conlleva que se produzcan aseveraciones incoherentes (como afirmar y negar al mismo tiempo la misma proposición, violando el principio del tercero excluido).

En resumen, la naturaleza precisificadora del principio de bivalencia es una de las razones principales por las cuales muchos autores han intentado desarrollar un modelo semántico alejado de la Lógica Clásica, pero las alternativas han resultado ser tanto o más problemáticas: bien porque conducen a una precisificación aun mayor, bien porque se ven obligados a adoptar principios o leyes que parecen todavía más contraintuitivas que la propia existencia de los puntos de corte (aunque Sanford, como ya hemos visto, sugiere una solución basada en la eliminación del principio veritativo-funcional). Esto ha llevado a que haya quienes intenten darle una vuelta de tuerca al principio de bivalencia, como es el caso de Wright [164], que evita tratar con valores de verdad en favor de los grados de creencia, o la propia Burns [12], según la cual los casos de frontera están en una situación de estricta indecibilidad y, por ende, aunque solo puedan ser verdaderos o falsos, no podemos determinar cuál es su valor de verdad.

El principio de bivalencia sigue siendo, a pesar de sus esfuerzos, una postura incoherente cuando la comparamos con nuestra manera de manejar cualquier lenguaje natural, por lo que quizá la solución se encuentre en una aproximación gradual donde, como sugiere Edgington, Sanford o el propio Wright (que, a pesar de su postura clásica, defiende un

tratamiento no precisificado del concepto de grado), se haga uso de una serie de grados de verdad de valor aproximado que permitan arrojar valores coherentes para los casos de frontera de un predicado vago. A su vez, parte de los problemas de la Lógica Difusa o multivalorada antes mencionados se producen a raíz de la aceptación del principio de infinitos valores de verdad, el cual, entre otras cosas, impide asignar valores lingüísticos a todos los grados implicados. Una teoría gradual de finitos valores de verdad lingüísticos sería, por tanto, una posible alternativa a desarrollar.





4. La computación con palabras (CWW) en el tratamiento de la vaguedad

El desarrollo de la Ciencia moderna se basa fundamentalmente en la idea de que, como defendía Lord Kelvin, solo se llega a tener verdadero conocimiento sobre algo si ese algo puede medirse y expresarse de forma numérica: “*I often say that when you can measure what you are speaking about, and express it in numbers, you know something about it; but when you cannot measure it, when you cannot express it in numbers, your knowledge is of a meagre and unsatisfactory kind; it may be the beginning of knowledge, but you have scarcely in your thoughts advanced to the state of Science, whatever the matter may be*” [86, p. 91-92]. En consecuencia, la labor principal de la Ciencia se ha centrado en construir (o buscar) modelos matemáticos mediante los cuales poder extraer información cuantitativa de los campos de investigación que se estén desarrollando.

Esto ha llevado a un avance y mejora considerable en la modelización de lo que Zadeh denomina “sistemas mecanicistas” [169], y que se caracterizan por estar compuestos de elementos sin consciencia, que responden únicamente a las leyes naturales de la Física y/o la Química. Sin embargo, existe otro tipo de sistemas, los “sistemas humanistas”, los cuales se ven influidos en gran medida por el comportamiento de los seres humanos y que se fundamentan en nuestras percepciones, sentimientos y juicios. Y ese es el motivo por el que la computación y las Matemáticas han resultado poco efectivas en el desarrollo de disciplinas como la Filosofía o la Sociología, un síntoma de que la precisión con la que puede ser analizado un sistema y la complejidad de dicho sistema están inversamente relacionados. En otras palabras, cuanto más complejo es un sistema, menor debe ser la precisión con la que se trate (el llamado “principio de incompatibilidad”). Si esto fuera así, el tratamiento preciso de la computación clásica sería incompatible con los sistemas humanistas, siendo necesario el desarrollo de un nuevo tipo de computación, más centrado en la construcción de un aparato formal capaz de caracterizar aquellos sistemas complejos en los que interviene el hombre (es decir, fundamentados en las percepciones y no en las medidas). Dado que los humanos empleamos mayormente palabras a la hora de razonar, las conclusiones a las que llegamos no solo están expresadas en lenguaje natural, sino que parten de una serie de premisas también construidas dentro del mismo lenguaje. Es decir, razonamos en gran medida con palabras, y no con números, y la metodología que intenta imitar esta forma de razonar es la denominada computación con palabras (*Computing with words* o CWW en inglés). Esta Computación puede, por tanto, aplicarse cuando se den uno de los siguientes cuatro requisitos [174]: los valores de las variables no se conocen con la suficiente precisión, no se requiere una solución precisa, el problema no se puede

resolver de forma numérica, o un concepto es demasiado complejo como para definirlo mediante el uso de números.

La CWW se construye a partir de una serie de conceptos e ideas que aparecen en varios artículos publicados en las décadas pasadas, y entre los cuales los más importantes son los de variable lingüística [169] y granularidad [171], así como el desarrollo formal introducido con el método de representación formal del significado PRUF [170].

4.1. Variable lingüística

El concepto de variable lingüística aparece por primera vez en [169] como una forma de caracterización aproximada de escenarios demasiado complejos para ser descritos mediante términos cuantitativos clásicos (o que no han sido definidos completamente). En estos casos, y aunque la variable lingüística ejerza el mismo papel que el de una variable numérica, la variable lingüística siempre será menos informativa. Es decir, menos precisa.

Pensemos en la proposición “Mi gato Zeus está bastante gordo”. Interpretado de forma convencional, esto significaría que “Mi gato Zeus” es miembro de la clase de los seres vivos que están bastante gordos. Sin embargo, no hay una frontera clara entre los seres vivos que están “bastante gordos” y aquellos que no lo están, por lo que es necesario hacer uso de estas variables lingüísticas para interpretar correctamente su significado. Entonces, “Mi gato Zeus” sería el nombre de un individuo del que se puede predicar una variable lingüística compuesta cuyos componentes son variables lingüísticas como “Edad”, “Peso”, “Altura”, etc, de manera que “Mi gato Zeus está bastante gordo” se interpretaría como una expresión de asignación que atribuye a la variable lingüística “Peso” de “Mi gato Zeus” el valor “bastante gordo”.

$$Peso(\text{Mi gato Zeus}) = \text{BASTANTE GORDO}$$

Dicha variable lingüística puede definirse como una variable cuyo dominio, los valores que puede tomar, no son numéricos sino lingüísticos, palabras o proposiciones. Por ejemplo, una variable numérica sería “altura”, la cual tomaría valores como 168 cm, 175 cm, 192 cm, etc. Y una variable lingüística también podría ser “altura”, solo que en este caso sus valores serían: “alto”, “bajo”, “bastante alto”, “ni alto ni bajo”, etc.

En términos formales, una variable lingüística se representa mediante la quintupla

$$(N, T(N), U, G, M)$$

donde N es el nombre de la variable (“Altura”, “Edad”, etc.), $T(N)$ es el conjunto de valores que puede tomar N (y que puede tener un número infinito de elementos), U es el universo del discurso, G es la regla sintáctica que da lugar a los términos de $T(N)$, y M es la regla semántica que asocia a cada valor X de $T(N)$ un significado, el cual es un conjunto difuso del universo del discurso y que se denota mediante la forma $M(X)$. De esta manera, el significado de la variable X es una función que asocia a cada elemento del universo del discurso un grado de “compatibilidad” con dicha variable lingüística (la “función de compatibilidad”). En el caso de “Altura”, un elemento obvio de $T(N)$ sería “alto”, el cual daría lugar a otros sintagmas pertenecientes a $T(N)$ mediante la regla sintáctica G (añadiendo, por ejemplo, “mucho”, “más o menos” o “bastante” a “alto”). Y,

4. La computación con palabras (CWW) en el tratamiento de la vaguedad

por último, M sería la regla encargada de asociar “alto” a un subconjunto difuso del universo del discurso U .

También hay que distinguir entre dos tipos de términos, términos primarios y términos compuestos, siendo estos últimos aquellos términos constituidos por dos o más términos primarios (como es el caso de “extremadamente alto”, siendo términos primarios “extremadamente” y “alto”). Las reglas semánticas M tienen por finalidad relacionar los valores de compatibilidad de los términos primarios con el valor de compatibilidad del término compuesto en el que aparecen (aquí, los conectores “y” y “o”, junto con los modificadores como “bastante”, “extremadamente”, “poco”, etc, se interpretan como operadores no lineales que modifican el significado de sus operandos).

Dos conceptos relevantes en la definición de la variable lingüística son los de “base de la variable” y “restricción difusa”. Si tenemos una variable numérica como “altura”, el conjunto de sus posibles valores (100, 101, ..., 168, 169, ..., 198, 199, ...) se conoce como “base de la variable” o “conjunto soporte”. De esta manera, los valores de la variable lingüística “altura” (“muy alto”, “poco alto”, “bajo”, etc.) se consideran restricciones difusas aplicadas a los valores de la base de la variable. Esta restricción está caracterizada por la función de compatibilidad antes mencionada, dando a cada valor de la base de la variable un grado de compatibilidad con un determinado valor difuso de la variable lingüística. Por ejemplo, si tenemos el valor “alto” y los valores numéricos 160, 183 y 199, la función de compatibilidad les podría dar a estos tres valores un grado de compatibilidad con “alto” de 0,2, 0,8 y 1, respectivamente.

Siguiendo este formalismo, el significado de una etiqueta como “alto” podrá representarse mediante una gráfica en la que en las abscisas se encuentren los valores de la base de la variable y en las ordenadas los grados de compatibilidad (Fig. 4.1).

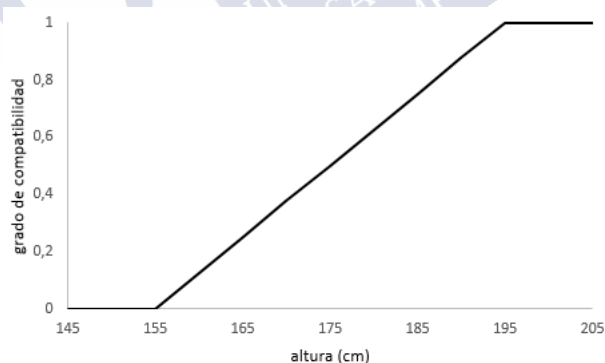


Figura 4.1: Representación posible de la función de compatibilidad de “muy alto”.

De esta forma, la función de compatibilidad de “alto” $c : U \rightarrow [0, 1]$ dará como resultado una curva representativa del valor lingüístico “alto”¹.

En último lugar, hay que tener en cuenta que la base de una variable no tiene por qué ser numérica en todos los casos (por ejemplo, la variable “peligroso” no ejerce una restricción difusa sobre una serie de valores o términos numéricos medibles, al contrario

¹El concepto de “compatibilidad” no debe confundirse con el concepto de “probabilidad”. Es decir, el grado de compatibilidad es un valor subjetivo, que nos indica en qué medida un valor numérico (como 168) puede quedar representado con el valor de una variable lingüística como “alto”.

que otras como “altura” o “edad”). En estos casos todavía se pueden asignar grados de compatibilidad a elementos del universo del discurso, pero estos valores estarán basados en impresiones que no podrán interpretarse o formalizarse de manera explícita (es decir, se podrá decir que “Mi gato Zeus” tiene un grado de pertenencia al grupo de los seres vivos peligrosos de 0,9, aunque dicho valor no estará basado en medida alguna como su altura, su peso, etc.). Definir de esta manera una función de compatibilidad (sobre impresiones en lugar de sobre valores numéricos), hace que las variables lingüísticas correspondientes a dichas funciones de compatibilidad puedan ser tratadas de una manera más cualitativa que aquellas definidas sobre valores numéricos.

4.2. Fundamentos basados en PRUF

La base teórica subyacente a la computación con palabras se fundamenta en gran medida en los trabajos de Zadeh sobre PRUF (acrónimo de *Possibilistic Relational Universal Fuzzy*), un lenguaje que tiene por finalidad la representación formal del significado para lenguajes naturales [170].

PRUF parte de una sola premisa: que el lenguaje natural no puede caracterizarse con precisión (sintáctica o semánticamente hablando), y que esto se debe en gran medida a su ambigüedad. Además, Zadeh afirma que prácticamente todas las proposiciones pertenecientes a un lenguaje natural que podemos formar poseen al menos una palabra difusa (“Daniela es muy inteligente”, “La ciudad se encontraba próxima a la frontera”, “Oriente Próximo es más peligroso que Estados Unidos”, etc.), y que por tanto no es válida una aproximación basada en la estructura lógica bivalente tradicional. Es decir, se pierde parte del significado de “inteligente” si simplemente lo tomamos como una relación tal que, dado un individuo cualquiera del universo del discurso, este es o no es inteligente (subdividiendo el universo del discurso en dos subconjuntos disjuntos, el de los inteligentes y el de los no inteligentes) sin considerar la existencia de una transición más suave, continua, entre ambos extremos.

Zadeh propone el uso de la Lógica Difusa para el tratamiento del significado de las proposiciones imprecisas mediante PRUF. De esta manera, los valores de verdad ya no serán solo dos, “Verdadero” y “Falso”, o 1 y 0, sino una serie de valores lingüísticos, de subconjuntos difusos que subdividen el intervalo existente entre “Verdadero” y “Falso” (“muy verdadero”, “más o menos falso”, “poco verdadero”, etc.).

En este contexto, el significado de las palabras se representa mediante subconjuntos difusos del universo del discurso. Por ejemplo, si tenemos un conjunto A de personas (nuestro universo del discurso), el término “persona enferma” será un subconjunto difuso caracterizado por una función de pertenencia $\mu_{\text{persona enferma}} : A \rightarrow [0, 1]$. Si tenemos un elemento $a \in A$, este poseerá un valor entre 0 y 1, indicativo del grado en que dicho elemento a puede llegar a ser considerado una “persona enferma”.

Otro elemento característico de PRUF es el de tratar la imprecisión del lenguaje no como un fenómeno probabilístico, sino posibilístico. Esto se debe a que la posibilidad está relacionada con la percepción que tenemos los humanos del grado de factibilidad o, dicho de otra manera, con nuestra percepción de cuán fácil es lograr algo, y por tanto la información posibilística es más fácil de manipular y tratar que la información probabilística (la cual, aunque también subjetiva, hace referencia al grado de frecuencia, proporción o probabilidad).

4. La computación con palabras (CWW) en el tratamiento de la vaguedad

Entonces supongamos que tenemos la proposición p “ X está templado”, siendo X una variable y no la etiqueta correspondiente a ningún elemento concreto. La posibilidad de que X pueda tomar el valor a vendrá representado por $Poss\{x = a\}$. Como la proposición p induce una distribución de posibilidad Π_X , $Poss\{x = a\}$ tendrá como valor el grado de pertenencia de a al conjunto difuso TEMPLADO (siguiendo la notación utilizada por Zadeh en [170], la palabra en mayúsculas TEMPLADO hace referencia al conjunto difuso etiquetado con la palabra “templado”). Así pues, si a hace referencia a un líquido que está a 22 grados, y consideramos que el grado de pertenencia de un elemento de 22 grados al conjunto TEMPLADO es de 0,8, la posibilidad de que X pueda ser sustituido por el elemento a será, a su vez, de 0,8 (Fig. 4.2).

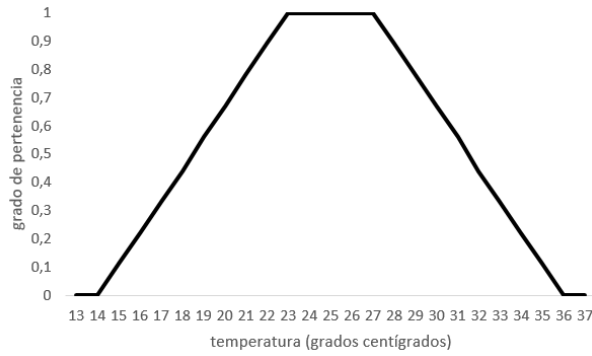


Figura 4.2: Posible función de pertenencia μ_{templado}

Este caso puede generalizarse con una proposición q que posea una estructura de la forma “ X es S ”:

$$q \triangleq X \text{ es } S$$

donde la distribución de posibilidad Π_X inducida por q será igual a S (haciendo que el valor de la distribución de posibilidad sea subjetivo, al serlo a su vez la propia definición de S):

$$\Pi_X = S$$

Y, por tanto,

$$Poss\{x = a\} = \mu_S(a)$$

para todo elemento a perteneciente al universo del discurso A , siendo $\mu_S : A \rightarrow [0, 1]$ la función de pertenencia de A (de manera que $\mu_S(a)$ es el grado de pertenencia de a en S).

Por último, hay que señalar que la variable X solo puede ser sustituida por otra variable. Es decir, supongamos que tenemos la proposición “Carla es alta”. En ese caso, y atendiendo a la forma general “ X es S ”, $S = \text{ALTA}$ pero X no será “Carla” sino la variable implícita en “Carla” que hace referencia a su altura. Es decir, $X = \text{Altura}(\text{Carla})$, donde “ $\text{Altura}(\text{Carla})$ ” es una variable que se corresponderá con la altura de la entidad a la que hace referencia “Carla” (por ejemplo, 168 cm). De este modo, y de acuerdo con lo descrito antes sobre el lenguaje PRUF, la traducción de una proposición como “Carla es alta” será

$$\text{Carla es alta} \rightarrow \Pi_{\text{Altura}(\text{Carla})} = \text{ALTA}$$

donde \rightarrow se entiende aquí como un símbolo indicativo de que la proposición de la izquierda se traduce a la forma de la derecha². En este sentido, la distribución de posibilidades es una relación difusa en el universo del discurso que actúa como una restricción elástica de los valores que puede tomar la variable $X = \text{Altura}(\text{Carla})$. Estos valores posibles de X son solo aquellos que pertenezcan al conjunto difuso ALTA (Fig. 4.3).

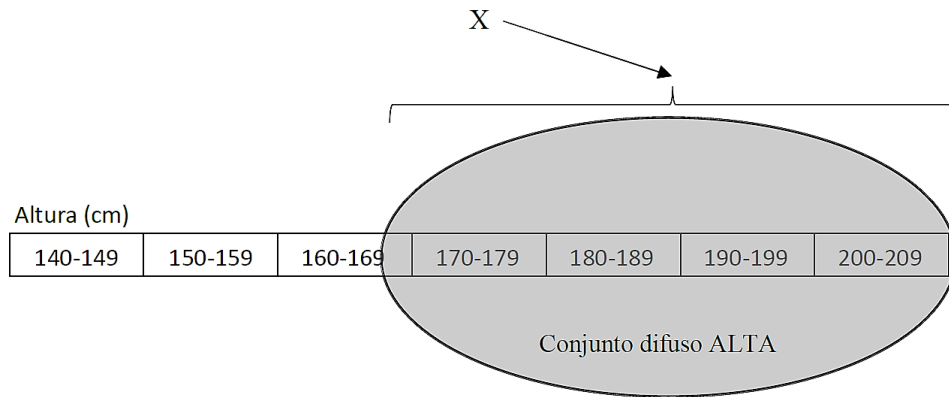


Figura 4.3: Valores posibles de X de acuerdo con la representación formal ofrecida por PRUF en el caso de “Carla es alta”. En este caso, X solo puede adoptar los valores pertenecientes al conjunto difuso ALTA

En la explicación anterior, se ha tratado en todo momento con distribuciones de posibilidad unarias, es decir, dependientes de un solo parámetro (por ejemplo, $\text{Altura}(\text{Carla})$). Sin embargo, este solo es un caso concreto ya que las distribuciones de posibilidad pueden ser n -arias, siendo $n > 1$.

Por ejemplo, en la proposición “Almendra es un perro grande”. En este caso, PERRO GRANDE es una relación difusa que depende de dos parámetros, altura y peso, por lo que la distribución de posibilidad será de la forma $\Pi_{\text{Altura}(\text{Almendra}), \text{Peso}(\text{Almendra})}$.

Haciendo uso de las distribuciones de posibilidad (sean estas unarias o n -arias), se pueden traducir un gran número de expresiones vagas escritas en lenguaje natural a lenguaje PRUF. En concreto, estas expresiones se pueden subdividir en tres tipos: proposiciones difusas, preguntas difusas y descriptores (también llamados descriptores de conjuntos difusos).

El primer caso corresponde a expresiones del tipo “La mayor parte de los alemanes son altos”, “El café estaba tan caliente que no pude terminármelo” o “El día fue más o menos interesante”, las cuales pueden traducirse mediante el uso de PRUF a ecuaciones de asignación de posibilidades. Es decir, de igual forma a como hemos dicho anteriormente, estas proposiciones pueden traducirse a una proposición equivalente de la forma “ X es S ”, la cual se traduce como $\Pi_X = S$.

El segundo caso es el de los descriptores de conjuntos difusos, los cuales son etiquetas que hacen referencia a un conjunto difuso. Por ejemplo, “Profesores con gafas”, “Hombres

²Cuando se habla de traducción, se hace referencia a la aplicación de una serie de reglas ya definidas que traducen una proposición en lenguaje natural a una expresión en lenguaje PRUF. Según Zadeh, estas reglas de traducción podrían subdividirse en cuatro categorías: “Reglas de modificación o de tipo I”, “Reglas de composición o de tipo II”, “Reglas de cuantificación o de tipo III” y “Reglas de calificación o de tipo IV”.

peligrosos” o “La mayoría de los policías jubilados”. En su traducción en PRUF toman la forma de relaciones difusas, a diferencia de las proposiciones difusas que se traducen en ecuaciones de asignación de posibilidades.

El tercer y último tipo de expresiones es el de las preguntas difusas. Estas se expresarán de la forma “ X es $?S$ ”, donde X es la pregunta en sí (“¿Qué edad tiene el profesor?”, “¿Cómo de grande es la tarta?”, etc.) y S indica cuál es la forma que debe adoptar la respuesta. Estas formas pueden ser una distribución de posibilidad, un elemento del universo del discurso, un valor de verdad, un valor de probabilidad o un valor de posibilidad. Por ejemplo, la pregunta “¿Cómo de joven es Lucas?” se expresaría de la forma “¿Cómo de joven es Lucas $?II$ ” y ésta, a su vez, sería respondida mediante la proposición “Lucas es $?II$ ” (que, en este caso, sería una distribución de posibilidad). La traducción final se realizaría sobre la respuesta a la pregunta (que, al fin y al cabo, es una proposición difusa), y no sobre la pregunta, lo que simplificaría el proceso de traducción. Otro ejemplo sería, “¿Es falso que Marina es agresiva?”, cuya respuesta sería “Marina es agresiva es $?T$ ” siendo T un valor de verdad.

Una vez descritos sus fundamentos básicos, hay que destacar que con PRUF se toma como el significado de una expresión en lenguaje natural su forma traducida, es decir: si a es una expresión en lenguaje natural, y mediante PRUF se traduce a una forma A (de manera que $a \rightarrow A$), el significado de a será A . De esta manera, el significado de “El reloj es antiguo” será $\Pi_{edad(reloj)} = \text{ANTIGUO}$ o, lo que es lo mismo, $\text{RELOJ}[\Pi_{edad} = \text{ANTIGUO}]$.

4.3. Granularidad

El desarrollo teórico de PRUF le sirvió a Zadeh para definir uno de los conceptos básicos de la computación con palabras: la “granularidad” [171].

Concretamente, un gránulo g es un conjunto de puntos o elementos caracterizados por una proposición de la forma

$$G \triangleq X \text{ es } F \text{ es } \lambda$$

donde X es la variable cuyos elementos pertenecen al universo del discurso U (el cual, a su vez, suele ser $U = R^n$), F es un subconjunto difuso de dicho universo del discurso (y que está caracterizado por la función de pertenencia μ_F), y λ es una probabilidad difusa [168] y, por tanto, un subintervalo dentro del intervalo $[0, 1]$.

Un ejemplo sería “ $g = X$ es agresivo no es muy probable” o “ $g = X$ es bastante más pequeño que Y es probable”.

Como en PRUF, el concepto de granularidad está asociado al concepto de distribución de posibilidad. Esta distribución de posibilidades puede construirse a partir de una restricción física o una restricción epistémica. En el primer caso, y utilizando el ejemplo dado por Zadeh, una restricción física puede ser el número de pelotas de tenis que caben en una caja de madera, siendo X dicho número y π_X la posibilidad (material) de que u pelotas de tenis puedan caber en dicha caja³. Sin embargo, con las restricciones epistémicas, la distribución de posibilidad vendrá dada mediante proposiciones en lenguaje natural, siendo este el caso desarrollado en la computación con palabras.

³ $\pi_X : U \rightarrow [0, 1]$ es la función de distribución de posibilidades, es decir: la función de pertenencia de Π_X .

De nuevo, la dificultad para obtener una proposición de la forma “ X es F ” reside en definir unas reglas de traducción que permitan formar, a partir de una proposición p cualquiera, una proposición equivalente escrita en su forma canónica. Estas reglas son las utilizadas con PRUF, de manera que, por ejemplo, la negación “no” (“ X no es muy grande”) se traduce como el complemento de la función de distribución de posibilidades de X (es decir, $\pi_X(u) = 1 - \mu_F$), “muy” como la función de pertenencia de GRANDE elevada al cuadrado (es decir, $\mu_{\text{GRANDE}^2} = (\mu_{\text{GRANDE}})^2$), etc. Hay que indicar que estas reglas son convenciones y no deberían ser tomadas como aproximaciones realistas a la manera de funcionar de estos modificadores en el lenguaje natural [173].

Para ejemplificar lo dicho anteriormente, supongamos que tenemos un gránulo caracterizado de la siguiente manera:

$$g \triangleq X \text{ es peligroso no es muy probable}$$

En este caso, si tomamos “ X es peligroso” como un evento difuso, podemos interpretarlo como la probabilidad de que X sea peligroso, es decir,

$$\text{Prob}\{X \text{ es peligroso}\} \text{ no es muy probable}$$

Como ya dijimos que “ X es F ” puede traducirse a la forma $\Pi_X = F$, la proposición se traduce como

$$\Pi_{\text{Prob}\{X \text{ es peligroso}\}} = \text{no es muy probable}$$

En cuanto a la parte izquierda de la igualdad, tomando $\rho_X(u)$ como la densidad de probabilidad asociada con X , la probabilidad de que X sea peligroso puede medirse como la integral [168]:

$$\text{Prob}\{X \text{ es peligroso}\} = \int_U (\rho_X(u) \mu_G(u) du)$$

Por otro lado, y de acuerdo con las reglas de traducción tomadas de PRUF, “no muy probable” indica que la función de distribución de posibilidad es:

$$\pi(\rho_X) = 1 - \mu_{\text{PROBABLE}}^2(\rho_X)$$

Entonces, al sustituir estos términos, la traducción final quedaría de la forma:

$$\pi(\rho_X) = 1 - \mu_{\text{PROBABLE}}^2 \left(\int_U \rho_X(u) \mu_{\text{PELIGROSO}}(u) du \right)$$

De forma más general, cualquier gránulo de la forma $g \triangleq X \text{ es } F \text{ es } \lambda$ puede traducirse, mediante este método, a

$$\pi(\rho_X) = 1 - \mu_{\lambda}^2 \left(\int_U \rho_X(u) \mu_G(u) du \right)$$

4.4. Forma canónica y estructura de la computación con palabras

Esta definición de gránulo, dada por Zadeh en [171], incluye la posibilidad particular de que el gránulo se caracterice por una expresión simplificada, de la forma “ X es F ”, en lugar de “ X es F es λ ”:

$$g \triangleq X \text{ es } F$$

4. La computación con palabras (CWW) en el tratamiento de la vaguedad

Estos gránulos carecen de valoración probabilística (ya que ésta es introducida en la expresión mediante el elemento λ), y se denominan π -gránulos a diferencia de los gránulos probabilísticamente valorados, que se denominan πp -gránulos (siendo la letra p el indicativo de que el gránulo se corresponde con una distribución de probabilidad o posibilidad).

En artículos posteriores donde se desarrolla la base teórica de lo que se conoce como computación con palabras [173, 174], la forma “ X es R ” que caracteriza a los π -gránulos es la llamada forma canónica, de manera que una proposición p cualquiera puede ser traducida a una forma consistente en una relación de restricción difusa (R), una variable restringida por R (X) y la cópula de la variable (“es”).

Por lo tanto, para traducir una proposición p a su forma canónica, es necesario desarrollar dos procedimientos, uno para determinar la variable restringida X y el otro para establecer la restricción difusa R . En el caso de “Abel está muy gordo”, la variable X sería el atributo determinante (*Peso*) del sujeto (Abel):

$$X = \text{Peso}(\text{Abel}) =_{\text{Peso}} \text{CIUDADANOS}[\text{Nombre} = \text{Abel}]$$

Es decir, el argumento *Nombre* se inicializa con el nombre del sujeto (“Abel”) en la relación CIUDADANO, proyectando a continuación dicha relación en el argumento *Peso*, lo que nos daría el peso de Abel.

La restricción R viene dada por la relación GORDO y por el modificador de grado “muy” que aparece en la proposición. Según PRUF, “muy” indica que la relación debe elevarse al cuadrado, dando que

$$R = (\text{GORDO})^2 = \text{GORDO}[\text{Peso}; \mu^2]$$

El tercer elemento del que aún no hemos hablado es el de la cópula de la variable. Esta cópula determina la manera en que la restricción R restringe a X . La cópula, en su forma canónica generalizada, se denota como “isr”:

$$p \rightarrow X \text{ isr } R$$

donde r es la variable que define la restricción. Algunos de los valores que r puede tomar son: e (para determinar una restricción de igualdad), d (disyuntiva), c (conjuntiva), p (probabilística), λ (valor de probabilidad), u (usualidad), etc.

Por ejemplo, si $r = d$, estamos ante una restricción disyuntiva en la que R toma el papel de la distribución de posibilidades de X . En este caso, en lugar de escribir *isd* se escribe solamente *is* y es la cuestión que se desarrolla en la definición de PRUF y del concepto de granularidad (es decir, $\Pi_X = R$ y $\text{Poss}\{X = u\} = \mu_R(u)$).

Otro caso no tan usual es el de $r = p$, donde la restricción R es probabilística. Es decir, si tenemos que “ X isp R ”, esto significa que R es la distribución de probabilidad de X . Un ejemplo sería

$$X \text{ isp } \left(\frac{\alpha}{s} + \frac{\beta}{t} + \frac{\gamma}{q} \right)$$

lo que se interpretaría como que X puede tomar los valores s , t y q con probabilidad α , β y γ , respectivamente.

En la computación con palabras, una vez se traduce una serie de proposiciones a su forma canónica, el siguiente paso es hacer uso de unas reglas que permitan interpretar

estas formas canónicas y construir nuevas proposiciones. Estas reglas son las reglas de inferencia de la Lógica Difusa.

La estructura conceptual de la computación con palabras se podría subdividir de forma más general en tres fases: “explicitación de la restricción”, “propagación de la restricción” y “traducción de la restricción”.

La fase de “explicitación de la restricción” hace referencia a la traducción de una o varias proposiciones expresadas en lenguaje natural a la llamada GCL (*Generalized Constraint Language*) o, lo que es lo mismo, a su correspondiente forma canónica “ X is R ”. Estas proposiciones son las premisas del problema. Aquí la dificultad reside en que solo en unas pocas proposiciones es inmediata la identificación de los tres parámetros X , R y r de la forma canónica, mientras que en la mayoría de casos la explicitación se vuelve más o menos compleja de acuerdo con la “profundidad de explicitación” de la proposición en cuestión. Por ejemplo, en “Diego es alto”, es evidente que $X = \text{Altura}(\text{Diego})$, $r = d$ y que $R = \text{ALTO}$. Sin embargo, en el caso de “Probablemente el presidente se enfrente a los medios dentro de poco”, no está tan claro cuál debería ser su forma canónica. Esto hace que sea mucho más complejo diseñar un método no supervisado con el cual explicitar la restricción de una proposición (si es que esto es siquiera posible).

Una vez superada esta dificultad inicial, tras haber obtenido varias proposiciones expresadas en su forma canónica, la segunda fase consiste en utilizar las reglas de inferencia de la Lógica Difusa para propagar las restricciones difusas de estas proposiciones y así componer una conclusión en función de las premisas de las que se parte. Y, por último, se realiza la tarea inversa: traducir una proposición expresada en su forma canónica (la conclusión a la que se ha llegado) a una proposición en lenguaje natural.

4.5. El problema de la computación con palabras en el tratamiento de los razonamientos puramente vagos

En el caso de los razonamientos expresados en lenguaje natural y que contienen en sus premisas y/o conclusión uno o más términos vagos, la metodología propuesta por la computación con palabras parece a priori la opción más acertada. De acuerdo con lo discutido anteriormente con respecto a los inconvenientes de la precisificación, consideramos que es un avance cualitativo de gran importancia abordar el problema del razonamiento desde una perspectiva lingüística, en un proceso que busca simular el razonamiento del ser humano acercándose a su uso de las palabras y la manera que tiene este de percibir el mundo que le rodea.

En un lenguaje de programación tipo PROLOG, el concepto de variable lingüística compleja (compuesta a su vez de otras variables lingüísticas) es también increíblemente útil y sencillo de aplicar. Lo mismo sucede con el concepto de base de la variable de restricción difusa, el cual permite formar una función de compatibilidad que permita, sabiendo el valor exacto de una variable, relacionarla con cada uno de los elementos en lenguaje natural que conforman la restricción difusa.

Sin embargo, es cuestionable la idea de que el “grado de compatibilidad” sea un valor numérico preciso obtenido a partir de una intuición que puede llevar a la asignación arbitraria, o en todo caso injustificada, de valores. Al no existir una correspondencia real entre dichos grados de compatibilidad y la realidad, estos tampoco pueden encontrarse en

4. La computación con palabras (CWW) en el tratamiento de la vaguedad

el razonamiento natural de un ser humano. Si, por ejemplo, vemos a un hombre que mide 185 cm no pensamos que posea un grado de compatibilidad de 0,8 con el concepto de “alto”, 0,6 con el concepto de “muy alto” y 0,2 con el concepto de “bajo”. Nuestra relación entre la base de la variable y la restricción difusa es una relación pre-teórica, y como tal solo podríamos componer una función de compatibilidad mediante un estudio empírico del uso que se le da a cada uno de estos términos. Incluso entonces, sería más interesante asociar directamente los valores de base con los términos lingüísticos, sin pretender un resultado preciso de un fenómeno que en ningún momento lo es (como veremos más adelante, en el caso de los razonamientos naturales es mejor estudiar en qué elemento de la restricción difusa, “alto”, “muy alto”, etc., se centra la distribución normal asociada a una serie de datos empíricos, y componer una respuesta en lenguaje natural a partir de él).

Dentro ya del lenguaje PRUF y la notación propia de la Lógica Difusa, este problema se traslada a la fórmula canónica “ $X \text{ isr } R$ ” y, más concretamente, a la función de pertenencia a la que va asociado R . Es contradictorio (igual que señala Sanford en [125]) afirmar que el lenguaje natural no puede caracterizarse con precisión y a la vez utilizar una función de pertenencia que hace exactamente eso: asociar cada variable lingüística de X a un valor preciso, el cual es todavía más problemático en el caso de aquellas propiedades que no están asociadas a una base de variable numérica como es el caso de “peligroso” o “bonito”. Al limitar el codominio de la función a un conjunto infinito de valores numéricos, perdemos el sentido mismo de utilizar (y pensar) con términos vagos, y nos vemos obligados a realizar una traducción posterior en lenguaje natural que tampoco puede justificarse en función de esa misma vaguedad. Además, si en lugar de valores matemáticos se utilizaran términos vagos, esto permitiría eliminar las críticas asociadas al tratamiento multivalorado y precisificado de la vaguedad, pues conservando la vaguedad en el proceso de razonamiento, y al dar como resultado una conclusión igualmente vaga, se evitarían resultados incoherentes o contraintuitivos.

Esto no significa que la traducción propuesta para PRUF, y en concreto su forma canónica expresada en el Lenguaje de Restricciones Generalizadas, no sea de gran utilidad en estos casos, y que su estructura conceptual (la explicitación, propagación y traducción de la restricción) no sea un esquema válido siempre que se resuelva el problema de aquellas expresiones con un grado elevado de profundidad de explicitación.

Supongamos, en un entorno PROLOG, que alguien pregunta “¿El agua está caliente?” y tenemos los siguientes hechos:

limpia(agua).

tibia(agua).

dos términos que, evidentemente, son equivalentes a las variables lingüísticas *Limpieza*(agua)=LIMPIA y *Temperatura*(agua)=TIBIA.

En este caso, la pregunta se puede reformular como “El agua está caliente es $? \tau$ ” o, lo que es lo mismo, *Temperatura*(agua) es CALIENTE es $? \tau$. En su forma canónica, CALIENTE también puede expresarse como CALIENTE[*Temperatura*; μ].

En definitiva, la pregunta obtendrá como respuesta un grado de verdad τ en función del grado de pertenencia de *Temperatura*(agua) al conjunto CALIENTE dado por la función de pertenencia μ . Este ejemplo es un ejemplo vago no solo por el hecho de que en la pregunta aparezca el término vago “caliente”, sino porque el valor de temperatura del

agua no es un valor numérico conocido, sino que a su vez viene expresado mediante otro término vago (“tibia”). La función de pertenencia en este caso debería asignar un grado de pertenencia a CALIENTE de acuerdo con el valor “tibia”, pero para hacerlo habría que establecer la relación entre “tibia” y el término “caliente”. En otras palabras, habría que 1) asociar ambos términos a la variable lingüística *Temperatura* (para evitar cálculos innecesarios con el término “limpia”), y 2) desarrollar un sistema de medición que nos permitiera establecer un grado de relación entre “tibia” y “caliente”⁴.

A estas dos cuestiones se suman otras dificultades, como el hecho de que existen varios tipos de relaciones entre términos lingüísticos (las relaciones semánticas, como veremos en el capítulo siguiente) y de que el grado de relación no puede expresarse de forma precisa mediante un valor numérico (de hacerlo incurriríamos en los mismos problemas que ya posee la función de pertenencia en estos casos). Si se lograra, la última fase del proceso, la traducción de la restricción, ya no consistiría en la conversión de un término preciso en uno vago, sino en el proceso (mucho más sencillo y fácil de justificar) de transformar la forma canónica a una expresión natural con un cierto nivel de profundidad de explicitación.

Llegados a este punto cabe preguntarse si con la sustitución de la función de pertenencia, y la eliminación de la Lógica Difusa como herramienta para la obtención del grado de validez de una conclusión, esta propuesta se encuadraría dentro del paradigma de la computación con palabras. Si nos centramos en los fundamentos sobre los que se asienta la CWW y que justifican su uso, la respuesta es afirmativa dado que se trata de un sistema que, mediante el uso de variables lingüísticas, utiliza palabras y no números y busca replicar el proceso de razonamiento de un ser humano (facilitando su justificación frente a un usuario no especializado). Por otro lado, de acuerdo con lo expuesto referente al problema de abordar el problema de la vaguedad desde una perspectiva precisificada, consideramos que el sacrificio que se debe hacer en el proceso de transformar una proposición en lenguaje natural a una escrita en GCL, y en la posterior transformación inversa, es excesivo en el caso de los razonamientos puramente vagos, y puede llevar a soluciones incoherentes.

Y es que no hay duda de la naturaleza precisificada de la CWW, pues como dice el mismo Zadeh: “*Fuzzy logic is not fuzzy. Basically, fuzzy logic is a precise logic of imprecision and approximate reasoning. More specifically, fuzzy logic may be viewed as an attempt at formalization/mechanization of two remarkable human capabilities. First, the capability to converse, reason and make rational decisions in an environment of imprecision, uncertainty, incompleteness of information, conflicting information, partiality of truth and partiality of possibility –in short, in an environment of imperfect information. And second, the capability to perform a wide variety of physical and mental tasks without any measurements and any computations. Paradoxically, one of the principal contributions of fuzzy logic – a contribution which is widely unrecognized – is its high power of precisiation of what is imprecise*” [175]. Es esta “paradoja”, la precisificación de lo que es impreciso, lo que aquí se critica, señalando que la paradoja no sería tal, sino una señal de que, aunque

⁴Quizá podría argumentarse que en este caso, una vez establecida la variable lingüística a la que pertenecen “tibia” y “caliente”, lo más fácil es limitarse a construir una respuesta negativa de la forma “no está caliente, está tibia”, dejando al usuario la tarea de interpretar las implicaciones de dicha negación. El atajo, aunque poco expresivo y antinatural, es válido hasta cierto punto, pero no tendría ninguna utilidad en el caso de un razonamiento en el que están implicadas varias reglas o premisas y donde el grado de relación entre cada par de términos vagos existente se propaga de una premisa a otra hasta influir en el grado de validez de la conclusión final.

4. La computación con palabras (CWW) en el tratamiento de la vaguedad

la CWW permite un enriquecimiento de los procesos de resolución semánticos, en ciertos casos es necesario ir un paso más allá en la automatización de razonamientos naturales.

En el capítulo siguiente abordaremos el problema de las relaciones entre términos lingüísticos, donde se realizará un estudio de las distintas relaciones lingüísticas ya existentes en nuestro lenguaje y su posible aplicación en un algoritmo de medición impreciso entre términos vagos de un razonamiento. Al fin y al cabo, si eliminamos los números del razonamiento, las relaciones de igualdad y negación utilizados hasta el momento dejan de tener sentido (al menos en un proceso de resolución semántico), por lo que es necesario buscar relaciones equivalentes.





5. El uso de las relaciones semánticas en el tratamiento de las inferencias naturales vagas

En un lenguaje de programación lógica como Prolog, los dos sistemas o herramientas más comunes son los de resolución y unificación, siendo esta última el procedimiento mediante el cual se emparejan dos objetivos del programa. La principal limitación viene dada por el hecho de que dicha unificación es sintáctica, de forma que solo se establece una conexión entre dos objetivos si el predicado y los argumentos de cada uno coinciden (o si las variables pueden instanciarse con los mismos términos).

Por ejemplo, si el programa tiene definida la premisa

$$\text{necesita_repararse}(x) \text{ :- } \text{roto}(x)$$

(“Si x está roto, entonces x necesita repararse”) y tenemos el hecho $C(a)$ (“El elemento al que hace referencia a es C ”), la única posibilidad de que $\text{necesita_repararse}(a)$ sea una conclusión válida es que roto y C sean el mismo término.

A su vez, el proceso de resolución en Prolog hace uso únicamente de la negación fuerte [135]. Esta falta de flexibilidad en el proceso, en la que solo se utiliza un tipo de contradicción y una igualdad sintáctica, hace que Prolog sea muy útil en el proceso de automatizar razonamientos de origen matemático, pero no así en el caso de razonamientos imprecisos donde existen fenómenos no precisificados como el de la vaguedad. En el ejemplo anterior, un problema puede ser tan sencillo como que el estado de a no venga expresado por el adjetivo “roto” sino por otro término similar, como “deteriorado”, y por tanto el programa considere tajantemente que a no necesite repararse.

La solución más extendida ([81], [62], [83] y [1] entre otros) se basa en la relajación del proceso de unificación mediante un Prolog Difuso en el que la negación se debilita y la igualdad entre dos términos no es absoluta. En su lugar, se establece un grado numérico de equivalencia entre dos elementos que determina hasta qué punto un término puede ser sustituido por el otro sin que se produzca una pérdida importante de su contenido semántico. A pesar de que estos casos aumentan la capacidad expresiva de Prolog, en todos ellos se propone una correspondencia entre las palabras (utilizadas en los razonamientos imprecisos de los seres humanos) y los números como herramienta de implementación de dichos razonamientos en una máquina, precisificando así los términos vagos. De esta forma, a cada par de términos se les asigna un valor numérico con el cual el sistema puede operar, pero al hacerlo, como ya se ha discutido en el capítulo referente a los problemas de la precisificación en el lenguaje vago, se pierde parte del contenido semántico al establecer

límites arbitrarios a los términos lingüísticos, eliminando cualquier posible tratamiento natural de la vaguedad y, por ende, cualquier resultado o conclusión subjetiva que impide expresar una traza, una justificación al razonamiento, en términos aceptables para el usuario.

Para evitar esto hay que descartar el uso de elementos precisificados en el proceso de unificación y resolución con el objetivo de conseguir un razonamiento impreciso capaz de manejar el problema de la vaguedad de la misma forma que lo hacen los seres humanos. Si estos razonamientos se fundamentan en el uso del lenguaje, el siguiente paso posible es partir de la idea base de la computación con palabras [169, 173, 174] según la cual para procesar correctamente un lenguaje natural es preciso manejar palabras (y percepciones). En nuestro caso, la solución consiste en sustituir estas relaciones matemáticas de equivalencia y negación por las relaciones de significado que ya existen en nuestro lenguaje tales como son la sinonimia, la antonimia o la hiponimia (o su contraparte, la hiperonimia).

Los siguientes apartados pretenden dar una visión de conjunto de todas las relaciones semánticas existentes, y ofrecer argumentos sobre el posible uso de cada una en la automatización de un razonamiento vago. Para ello, las relaciones semánticas que sean relevantes para nuestro propósito deben cumplir dos requisitos fundamentales, siendo el primero que, si dos términos a y b están conectados entre sí por dicha relación, y uno es sustituido por el otro en una oración S , dicha sustitución pueda cambiar los valores de verdad de la oración resultante S' (en otras palabras, que dicha relación esté basada en el significado, y no en otros criterios sintácticos o pragmáticos). En el ejemplo de “deteriorado” y “roto” antes mencionado, aunque son sinónimos, hacen referencia a grados de daño material diferentes y, por ende, “ a está deteriorado” dará lugar a unos valores de verdad diferentes que “ a está roto” de acuerdo con la premisa del programa. El segundo requisito hace referencia a la idea de que es la categoría de los adjetivos calificativos o atributivos la principal fuente de vaguedad en nuestro lenguaje [85]. Por ende, las relaciones semánticas utilizadas deben poder aplicarse a parejas de términos pertenecientes a esa categoría gramatical.

5.1. Sobre las relaciones de significado

Desde una perspectiva estructuralista, las relaciones de significado, tal y como se indica en [59], se subdividen en relaciones paradigmáticas y sintagmáticas o, en términos de [92], relaciones de sustitución (*substitutional relations*) y de combinación (*combinatorial relations*). Estas dos categorías agrupan todas las relaciones existentes entre dos unidades léxicas, de manera que las relaciones paradigmáticas son relaciones que se forman entre unidades léxicas intercambiables que, a su vez, pertenecen a la misma categoría gramatical, mientras que las relaciones sintagmáticas son relaciones que se forman entre unidades léxicas que se pueden colocar juntas dentro de una construcción gramatical bien formada (en este último caso, las unidades léxicas normalmente pertenecen a distintas categorías gramaticales)¹.

Dicho de otra manera, dos unidades léxicas pueden relacionarse entre sí de dos maneras

¹Una unidad léxica se define como un elemento lexicográfico que se compone de una forma léxica (ya sea esta una palabra, una cadena de palabras o parte de una palabra) y de un sentido o significado bien definido asociado a esta [23].

5. El uso de las relaciones semánticas en el tratamiento de las inferencias naturales vagas

distintas. Por ejemplo, en el contexto “una _____ de terror”, palabras como “novela”, “película” o “historia” están relacionadas entre sí paradigmáticamente, ya que todas ellas pueden ocupar la misma posición, componiendo así una oración válida (“una novela de terror”, “una historia de terror”, etc.). De igual forma, cada una de estas palabras está relacionada sintagmáticamente con las otras unidades léxicas que aparecen junto a ellas en la misma construcción (“una”, “de” y “terror” en este caso).

La correcta comprensión y clasificación de estas relaciones es fundamental, ya que las relaciones sintagmáticas de una unidad léxica son las que determinan el contexto en el que se encuentra y éstas, junto con las relaciones paradigmáticas, establecen cuál es su estructura semántica (su significado).

Las relaciones paradigmáticas están estrechamente relacionadas con la noción de distribución [91], lo cual se debe a que cada una de las unidades léxicas de nuestro lenguaje posee unas restricciones inherentes que le impiden aparecer en ciertos contextos. El conjunto de los contextos en los que puede aparecer una unidad léxica sería, por tanto, su “distribución característica”, y en función de ella se pueden establecer cuatro tipos de relaciones². Si dos unidades léxicas a y b poseen la misma distribución característica, entonces son “distribucionalmente equivalentes”, mientras que en el caso contrario, cuando no poseen ningún contexto en común, se dice que poseen una “distribución complementaria”. Por otro lado, puede darse el caso de que la distribución de a esté contenida en la distribución de b (de manera que los contextos en que puede aparecer a son parte del conjunto de contextos en los que puede aparecer b), o que las distribuciones de a y b se superpongan (o intersequen), dando lugar a una distribución de superposición.

Dado que las distribuciones características son conjuntos de contextos, las relaciones de distribución de las unidades léxicas pueden tratarse dentro de la Teoría de Conjuntos. En este sentido, los casos antes mencionados nos permiten distinguir cuatro relaciones básicas entre unidades léxicas (las denominadas “relaciones de congruencia”):

Identidad $A = B$, los conjuntos A y B tienen los mismos miembros.

Inclusión $A \subset B$, los miembros de un conjunto están incluidos por completo en el otro conjunto.

Disyunción $x \in A \rightarrow x \notin B$, los elementos de A no pertenecen al conjunto B , o viceversa.

Superposición $A \cap B \neq \emptyset$, los conjuntos A y B tienen miembros en común, aunque cada uno también posee elementos que no están incluidos en el otro.

No obstante, intentar establecer una subdivisión de las relaciones paradigmáticas en función de las distribuciones características de las unidades léxicas acarrea consigo el problema de ser una clasificación poco práctica, dado que habría que tratar con un número casi infinito de contextos, además de buscar una definición clara e inequívoca de cada uno

²Cabe indicar que el concepto de “distribución” aquí tratado no es un concepto vago, pues se utiliza únicamente para referirse al conjunto de contextos en los que la unidad léxica puede aparecer, siempre y cuando estos contextos puedan incluirse dentro del alcance de una declaración sistemática de las restricciones que determinan con claridad la aparición de dicha unidad léxica en cualquiera de los contextos pertenecientes al conjunto.

en función de las restricciones que determinan qué unidades léxicas pueden aparecer en el contexto en cuestión.

Otra alternativa es la de adoptar un punto de vista referencial [23], y clasificar las unidades léxicas en función del conjunto de entidades a las que hacen referencia. Esta aproximación, aunque conveniente, tampoco carece de dificultades, la mayor de las cuales consiste en que no siempre es sencillo encontrar los referentes de una unidad léxica. En el caso de un término como “hombre”, es evidente que el conjunto de referentes es el de seres humanos de sexo masculino, e igual pasa con muchas otras palabras (“mamífero”, “vehículo”, “playa”, etc.). Pero, ¿qué sucede con palabras como “absolutamente” o “vacío”? Incluso hay casos en los que no existe referente alguno en el universo, y que sin embargo sería erróneo considerarlos carentes de contenido semántico. Ese es el caso de palabras como “centauro”, “unicornio” o “cíclope”. Y es que aunque no existan los unicornios, sí podemos afirmar que existe una relación semántica entre “unicornio” y “caballo” aun cuando, claramente, la clase de los caballos no contiene a la de los unicornios.

Una posible solución a estos inconvenientes consiste en clasificar las relaciones entre unidades léxicas en términos de sus significados, buscando conexiones semánticas entre aquellas palabras que puedan ocupar la misma posición en una construcción gramatical. Algunos ejemplos de relación paradigmática bajo esta perspectiva serían la sinonimia, la antonimia, o las relaciones de incompatibilidad y compatibilidad.

Aunque en el caso que nos ocupa nos centraremos principalmente en las relaciones paradigmáticas por una simple cuestión de relevancia con respecto al tratamiento de la vaguedad, es conveniente mencionar brevemente los tipos de relaciones sintagmáticas que pueden aparecer en una construcción gramatical.

Este tipo de relaciones son mucho más difusas que las anteriormente citadas, y es que dependen de la proximidad entre unidades léxicas dentro de un mismo conjunto de proposiciones, las cuales constituyen a su vez su propio contexto. Estas relaciones son las causantes de que, aunque exista una relación paradigmática entre dos unidades léxicas, la sustitución de la una por la otra no se considere correcta o apropiada. Los distintos tipos de discordancias que se producen en estos casos pueden clasificarse en tres tipos [23]. El primero es la “falta de adecuación” entre una unidad léxica y las otras unidades próximas a ellas, de manera que esta es una discordancia que puede resolverse mediante la sustitución de dicha unidad léxica por su sinónimo cognitivo. Uno de los casos más comunes que entran dentro de esta categoría es aquel en los que se utiliza una palabra informal en una proposición formal, o viceversa (por ejemplo, la discordancia existente en “Las escenas de acción de esta obra han resultado de lo más chulas por diversos motivos” puede desaparecer sustituyendo “chulas” por “apasionantes”: “Las escenas de acción de esta obra han resultado de lo más apasionantes por diversos motivos”). El segundo tipo es la “paradoja”, una serie de casos en los que si bien la discordancia no se resuelve sustituyendo el término discordante por su sinónimo cognitivo, sí lo hace sustituyéndolo por un hiperónimo suyo (como, por ejemplo, sustituir “puñetazo” en “me dio un puñetazo con la rodilla” por su hiperónimo “golpe”: “me dio un golpe con la rodilla”). Por último, si la discordancia no se puede solucionar con ninguna clase de sustitución, estamos hablando del tercer tipo de discordancia, la “incongruencia”.

5.2. Sinonimia

Una de las relaciones paradigmáticas fundamentales es la conocida como “sinonimia”, una relación que guarda un paralelismo con la relación de identidad entre dos elementos y que, por tanto, en su versión de sinonimia total o perfecta, se define como la relación entre expresiones con idéntico significado [92]³. La sinonimia también se puede definir en función de la implicación bilateral o “equivalencia”. En este caso, si S_1 y S_2 son oraciones, y se cumple que S_1 implica S_2 y viceversa, entonces S_1 y S_2 son equivalentes ($S_1 \supset S_2 \wedge S_2 \supset S_1 \rightarrow S_1 \equiv S_2$). Si, además, tanto S_1 como S_2 tienen la misma estructura sintáctica con la excepción de una única unidad léxica (a en S_1 y b en S_2), entonces a y b son sinónimos.

Si dos unidades léxicas (simples o complejas) son sinónimas, eso significa que entre ambas existe un grado importante o significativo de superposición semántica [23]. Debido a esto, un término implicará a su sinónimo hasta cierto punto, de manera que si a y b son dos palabras entre las cuales existe una relación de sinonimia, afirmar que algo es a significará que también se puede afirmar (aunque quizá no con el mismo grado de seguridad) que ese algo es b (y viceversa, pues decir que algo no es a implicará que ese algo tampoco sea b). Esto se puede expresar distinguiendo entre dos tipos de rasgos principales asociados a cada unidad léxica: “rasgos centrales” y “rasgos periféricos” (o “menores”). Así pues, dos unidades serán sinónimas si su significado es idéntico con respecto a un rasgo central, pero difiere en los rasgos periféricos asociados a cada uno de ellos.

Estos sinónimos suelen aparecer en ciertas construcciones y expresiones, la mayoría de las cuales se centran en explicar o clarificar el significado de un término (algunos ejemplos serían “es decir”, “o mejor dicho” o “más concretamente” como, por ejemplo, “Estaba asustado o, mejor dicho, aterrorizado”). En relación a esto, un caso característico de obra compuesta por entero de construcciones explicativas y clarificativas es el diccionario, porque en estos repertorios se considera que cada palabra tiene asociada un conjunto de palabras con significado similar, principio a partir del cual se construye el significado de las palabras en función de sus relaciones de sinonimia así como de otras descripciones secundarias que facilitan la explicación. El significado de una unidad léxica se puede definir, por tanto, como el conjunto de relaciones semánticas que tiene con otras unidades léxicas del vocabulario.

La mayor complicación de la sinonimia, sin embargo, no reside en su definición, sino en su clasificación. El concepto de sinonimia se puede interpretar de dos maneras: una “estricta” y otra “relajada” o “aproximada”. Según el punto de vista estricto, dos unidades son sinónimas solo si poseen el mismo significado, pero la postura aproximada defiende que dos unidades son sinónimas si éstas representan distintos grados de significado de una palabra.

La primera interpretación se correspondería con la denominada sinonimia “total” que, según [103], no puede existir debido a que, si en un mismo lenguaje hubiese dos palabras con exactamente el mismo significado, por el principio de economía lingüística una de las dos terminaría por caer en desuso. Para que dos unidades a y b sean totalmente

³Hay quien define la sinonimia como una relación entre significados independientemente definidos (es decir, entre elementos que denotan la misma identidad). Aun así, en [91] se afirma que no es necesario postular la existencia de significados independientemente definidos, pues dos unidades léxicas se consideran sinónimas si las oraciones que obtenemos cuando sustituimos una de las unidades por la otra tienen el mismo significado.

sinónimas, deben ser intercambiables en todos los contextos y, además, debe cumplirse que el contenido cognitivo y emotivo de cada una sea siempre idéntico [149]. Esta definición es problemática, ya que 1) el concepto de intercambiabilidad presupone que o dos palabras son totalmente sinónimas en todos los contextos, o no lo son en ninguna, y 2) defiende que la diferencia entre significado cognitivo y emotivo de una palabra es siempre relevante, o clara, lo cual no tiene por qué ser así.

Aun así, a raíz de la definición de Ullman, en [91] se denominan “sinónimos totales” a los que cumplen la primera condición (de intercambiabilidad), y “sinónimos completos” a los que cumplen la segunda condición. Entonces, en un principio podrían existir cuatro tipos distintos de sinónimos: 1) Sinónimos Completos y Totales (palabras que se consideran totalmente sinónimas, o que son “sinónimos reales”), 2) Sinónimos Completos pero no Totales (los llamados “sinónimos parciales”), 3) Sinónimos Incompletos, pero Totales, y 4) Sinónimos Incompletos y no Totales.

Es importante señalar aquí que la diferencia que se está realizando entre el significado emotivo y el significado cognitivo de una palabra responde a la idea de que, en el contenido semántico de cualquier término, participan dos facultades psicológicas distinguibles cuando hacemos uso del lenguaje: una intelectual, y otra imaginativa o emotiva. Esta diferencia no siempre es relevante, y hay contextos en los que dos palabras pueden utilizarse de manera indistinguible aun no teniendo las mismas implicaciones emotivas. Por esa razón es más relevante distinguir entre sinonimia cognitiva y no cognitiva, y no utilizar el término “emotivo” para reunir todos aquellos factores que impiden a un término ser sustituido por otro en un contexto concreto a pesar de poseer el mismo significado cognitivo. Lyons también defiende la posibilidad de restringir la sinonimia y su tratamiento a la sinonimia cognitiva, y por tanto sería innecesario distinguir entre la sinonimia completa e incompleta, quedándonos solo con dos categorías: sinonimia total y sinonimia parcial.

Otra posible clasificación puede encontrarse en [103], donde se distingue entre cinco tipos distintos de sinonimia:

El primer tipo se correspondería a los sinónimos que, aunque forman parte de un mismo lenguaje, provienen de distintos dialectos (como *fall* (EEUU) y *autumn* (Reino Unido)). Esta categoría, como el propio Palmer indica, es poco interesante desde una perspectiva semanticista debido a que, al fin y al cabo, no se diferencia de cualquier otra palabra que ha sido traducida de un idioma a otro.

El segundo tipo, bastante más complejo y difícil de distinguir de manera sistemática, es la de los términos que llevan consigo asociados unos parámetros de “estilo” (o de “registro”) diferentes. El ejemplo más claro es el de una palabra coloquial, y otra formal (“zurrar”/“golpear”). Aquí la cuestión es si al proceso de pasar de un estilo a otro dentro de un mismo contexto se le puede considerar un cambio de lenguaje (de un lenguaje formal a otro coloquial, por ejemplo) o un cambio dentro del mismo lenguaje. Si fuera el primer caso, estaríamos hablando de nuevo de un caso muy similar al cambio entre dialectos, pero si consideramos que no estamos tratando con varios lenguajes, entonces habría que considerar las diferencias de estilo como diferencias semánticas, esto es: que utilizamos una palabra u otra para conseguir un efecto en nuestro interlocutor. El problema en este caso es que, según Palmer, al cambiar de estilo no solo hay un cambio de vocabulario, sino también un cambio gramatical y fonológico, lo que haría muy difícil tratar este tipo de sinónimos desde esta perspectiva.

El tercer tipo se correspondería a las palabras que difieren en su significado emotivo o

5. El uso de las relaciones semánticas en el tratamiento de las inferencias naturales vagas

“evaluativo” aun poseyendo el mismo significado cognitivo, pero Palmer asegura que es un error intentar separar ambos significados (a diferencia de lo dicho en [91], donde se indica que, aunque dicha diferencia existe, lo correcto sería simplemente descartar el significado emotivo de las unidades léxicas a la hora de evaluar una posible relación de sinonimia entre ellas). La principal razón es que aún no se ha logrado definir de manera clara qué es el significado cognitivo, encontrándonos con que, por ejemplo, hay adjetivos y verbos que por el uso que se les da en el lenguaje parecen carecer por completo de significado cognitivo, cuando esto no puede ser posible (como es el caso de “bueno” y “malo”). Por otro lado, el lenguaje natural es mayormente subjetivo, una herramienta que utilizamos para realizar toda clase de juicios, y por ende las palabras no pueden definirse a partir únicamente de una serie de hechos objetivos (de sus significados cognitivos).

El cuarto tipo es el de las palabras que poseen diferentes restricciones de colocación, aunque en ese caso estas palabras no poseen una diferencia semántica, sino solo entre las palabras junto a las que aparecen (por ejemplo, si vas a ayudar a alguien puedes decir que vas a “arrimar el hombro”, pero no que vas a “acercar el hombro”). Por ese motivo podría afirmarse que cada par de elementos *a* y *b* que entran dentro de esta categoría son sinónimos totales (ya que la única diferencia es que suelen aparecer en ambientes o entornos diferentes). El impedimento para hacerlo es que, como veremos más adelante, una de las pruebas más extendidas para determinar si dos palabras son sinónimas reside, precisamente, en comprobar si estas pueden aparecer en ambientes o entornos diferentes.

Por último, el quinto tipo es el de las palabras con un significado próximo entre sí, o que incluso tienen significados superpuestos. Este sería el equivalente a la interpretación “relajada” de la sinonimia antes mencionada, y es el que más abunda en los diccionarios de sinónimos (por ejemplo, para “fuerte”: “fornido”, “robusto”, “forzudo”, “musculoso”, etc.).

Además de estas categorías, Palmer también descarta otros dos tipos de sinonimia, siendo el primero el de los casos en los que dos términos parecen convertirse en sinónimos bajo un contexto particular (como “golpe” y “puñetazo” en “el boxeador fue derribado con un _____ de su contrincante”). El argumento para no tenerlo en cuenta es que, en realidad, la relación entre estos términos no es de sinonimia, sino de hiponimia, de manera que el hiperónimo (en este caso, “golpe”), asimila la parte del significado que le separa de su hipónimo (“puñetazo”) a partir del contexto en el que se encuentra. Este no puede considerarse un movimiento válido, porque esta asimilación del significado presupone ciertos hechos que no tienen por qué ser ciertos. Por ejemplo, aunque podemos suponer que el golpe será un puñetazo (dado que quien lo realiza es un boxeador), esta no es la única opción: quizá el boxeador hizo trampas, y derribó a su rival de un codazo. El segundo tipo de sinonimia descartado es el que puede existir entre una palabra como “volcán” y una cadena de palabras como “abertura en la tierra por donde salen de tiempo en tiempo humo, llamas y materias encendidas o derretidas”, pues si se sustituye una por otra queda claro que realmente no son sinónimos, sino que la cadena de palabras es una definición dada por los lingüistas y no un fenómeno lingüístico natural (nadie diría “vivo en un pueblo situado junto a una abertura en la tierra por donde salen de tiempo en tiempo humo, llamas y materias encendidas o derretidas” cuando lo que quiere decir es que vive en un pueblo situado junto a un volcán).

En resumen, aunque a priori Palmer subdivide la sinonimia en cinco categorías, al descartar la diferenciación entre significados cognitivos y emotivos, y al no tener en cuenta la sinonimia total (por considerarla imposible), las categorías restantes pueden considerarse

como subdivisiones posibles dentro de la “sinonimia parcial”.

Esto permite que la relación de sinonimia pueda clasificarse en solo tres categorías: sinonimia absoluta (o total), sinonimia cognitiva (o parcial) y un tercer tipo que mencionaremos más adelante: la “plesionimia” o “sinonimia próxima” (*near-synonymy* en inglés) [23, 92].

Para Cruse, dos términos a y b son sinónimos absolutos si y solo si todas sus relaciones contextuales son idénticas (es decir, si poseen las mismas relaciones paradigmáticas y sintagmáticas en todos los contextos). No obstante, esta es una definición poco útil dado que, como ya hemos mencionado, la cantidad de contextos que maneja el ser humano es, en la práctica, infinito (aun así, aunque no sirva para encontrar sinónimos absolutos, sí sirve para demostrar justo lo contrario, pues solo bastaría encontrar una discrepancia entre a y b). Por ese motivo, Cruse propone que, aunque no existan sinónimos absolutos, sí se puede hablar de una sinonimia absoluta parcial o, lo que es lo mismo, una sinonimia absoluta restringida a solo determinados contextos.

Una definición más extensa se puede encontrar en [92], donde se habla de tres parámetros a cumplir para que dos palabras a y b sean consideradas sinónimos absolutos:

- 1) Todos sus significados deben ser idénticos.
- 2) a debe poder sustituir a b (y viceversa) sin violar por ello las restricciones de colocación de cada una, y
- 3) a y b deben ser semánticamente equivalentes en todas las dimensiones de su significado (tanto en su significado descriptivo o proposicional como en su significado expresivo)⁴⁵.

En cuanto a este último parámetro, Lyons sugiere que, aunque a veces es imposible separar el significado descriptivo del expresivo, la mejor manera de determinar si dos términos poseen el mismo significado expresivo es comprobar si su uso implica aprobación, desaprobación o, por el contrario, son neutras desde un punto de vista expresivo (como por ejemplo “delicado” y “débil”).

La sinonimia cognitiva es una relación algo menos estricta que la sinonimia absoluta, pues para que dos unidades a y b sean sinónimas cognitivas solo se necesita que

- 1) a y b pertenezcan a la misma categoría gramatical, y
- 2) dos proposiciones S_1 y S_2 posean las mismas condiciones de verdad si ambas tienen la misma estructura gramatical excepto porque en S_1 se ha reemplazado el término a de S_2 por b .

⁴En este contexto, dos expresiones a y b tienen el mismo significado descriptivo o proposicional si dos oraciones S_1 y S_2 que solo difieren en un término (a en S_1 y b en S_2) se implican mutuamente.

⁵En este mismo libro puede encontrarse otra definición de la sinonimia descriptiva basada en el concepto de Leibniz de los mundos posibles. Bajo esta perspectiva, dos expresiones serán sinónimos descriptivos si y solo si tienen la misma extensión en todos los mundos posibles. Dado que dos expresiones son sinónimos descriptivos si y solo si tienen el mismo significado, y el “significado” de una palabra no es otra cosa que su intensión, esto también serviría como prueba de que la intensión de una expresión es, o bien su extensión en todos los mundos posibles, o una función que determina su extensión en todos los mundos posibles.

5. El uso de las relaciones semánticas en el tratamiento de las inferencias naturales vagas

La principal consecuencia de tratar la sinonimia bajo estos parámetros es que, en primer lugar, eliminamos la relevancia de los rasgos expresivos de las unidades léxicas, ya que el significado expresivo de un término léxico no influye en las condiciones de verdad de la proposición en la que aparecen (pensemos en el caso extremo de “maldito” dentro de la proposición “cierra la maldita puerta”). Eso simplifica mucho el problema al no tener que dilucidar de una manera inequívoca la intención o actitud de la proposición en la que aparece la unidad léxica, una tarea compleja pues muchas veces la intensidad o grado de significado de un término expresivo no viene dado únicamente por las palabras seleccionadas y su posición en la oración, sino también por otros parámetros como la entonación, el volumen de la voz, etc. (a diferencia del significado proposicional, que depende de la actitud expresada en la proposición, ya sea esta una pregunta, una exclamación, un imperativo, etc.).

Además, estos sinónimos pueden poseer distintas restricciones de colocación (causante de que a veces, al sustituir el uno por el otro en una proposición, obtengamos un resultado que nos parezca menos apropiado), aunque sin llegar nunca a generar una paradoja o una proposición incongruente. Es decir, sin violar las denominadas *selectional restrictions* [19], que a diferencia de las restricciones de colocación no son semánticamente arbitrarias.

Para establecer un análisis de las restricciones de una unidad léxica, y por tanto de las propiedades semánticas que determinan junto a qué elementos puede aparecer normalmente un término concreto, hay que distinguir entre el significado evocado y el significado presupuesto. En este caso, el significado presupuesto es el conjunto de datos o rasgos asociados a una unidad léxica en un contexto dado (por ejemplo, cuando se utiliza el verbo “fumar” se da por supuesto que se está haciendo referencia a un elemento como el tabaco que permite aspirar y expulsar el humo que despide este al quemarlo). Estas presuposiciones se traducen en una serie de *selectional restrictions* o restricciones lógicas (pues estas son relevantes para la obtención de las condiciones de verdad). El significado evocado, aunque no sea lógicamente relevante, sí sirve para aumentar el grado de cohesión de las proposiciones. Por lo tanto, si dos palabras poseen un significado evocado diferente, se sentirán menos sinónimas aunque tengan idéntico significado, agrupándose dentro del conjunto de los sinónimos cognitivos (el hecho de que existan estas diferencias se debe a la aparición de distintos dialectos y registros dentro de un lenguaje, concepto que ya tiene en cuenta Palmer en su subdivisión de la sinonimia, concretamente en los sinónimos de tipo uno y dos)⁶.

Por debajo de estos dos tipos de sinonimia (absoluta y cognitiva), existe un tercer conjunto de sinónimos denominados plesiónimos o sinónimos próximos que se caracterizan porque su aparición en una misma proposición lleva a distintas condiciones de verdad. Si a y b son plesiónimos, y tomamos como verdadero que un elemento X sea a , esto no implica que X sea también b . Aquí lo más difícil es tratar con un grado de sinonimia tan débil, ya que si no hay identidad de significado, la dificultad está en trazar una línea divisoria no vaga entre la plesionimia y la no sinonimia. Para identificar este fenómeno, existen dos formas, una de las cuales consiste en buscar textos donde se responda a una pregunta con

⁶Los dialectos de un lenguaje se pueden subdividir en dialectos geográficos, sociales y temporales (siendo el ejemplo más claro las palabras en desuso), mientras que el registro de una palabra se construye a partir de tres dimensiones de variación: campo (el tema o campo del discurso, ya sea este legal, científico, etc.), modo (si el mensaje es escrito, hablado, etc.) y estilo (el conjunto de características de un lenguaje que permiten establecer las distintas relaciones existentes entre los hablantes, ya sean estos jefe y empleado, padre e hijo, etc.).

la construcción “no exactamente” (como “¿Estabas asustado? No exactamente, más bien estaba intranquilo”). La otra forma sería distinguir entre rasgos capitales y subordinados de una palabra, ya que la mayoría de plesiónimos difieren solo en sus rasgos subordinados⁷.

La existencia de tres tipos distintos de sinonimia dificulta la tarea de desarrollar técnicas con las cuales comprobar el nivel de sinonimia existente entre dos elementos. Pero eso no impide que existan algunas, siendo la más extendida la técnica de la sustitución [6, 104]. Esta técnica consiste en cambiar una palabra por otra dentro de una misma proposición solo bajo determinados contextos (si fueran sustituibles bajo todos los contextos, serían sinónimos absolutos, aunque como ya hemos visto la existencia de dos palabras que cumplan esta condición no parece posible). La sustitución, sin embargo, es limitada ya que teóricamente solo indica las posibilidades de colocación de dos elementos, un concepto que no tiene por qué estar siempre relacionado con la proximidad de significados, y por ende no sirve para determinar su grado de sinonimia.

Otra posibilidad sería la de estudiar los términos opuestos comunes de cada uno (por ejemplo, “desgracia” contrasta tanto con “fortuna” como con “suerte”, pero “pobreza” solo contrasta con “fortuna”). En este caso, las palabras que poseen los mismos términos opuestos se considerarían sinónimos. Sin embargo, esta técnica no dista mucho de la anterior, pues para encontrar dichos opuestos habría primero que encontrar los contextos en los cuales los dos términos estudiados son intercambiables, por lo que al final la búsqueda de opuestos resultaría una tarea redundante (en el caso anterior, “desgracia” se opone a “fortuna” y “suerte” solo en el contexto en que estas dos palabras son intercambiables).

Existe una tercera opción, mencionada en [104], que consiste en determinar si dos elementos son sinónimos en función de sus connotaciones comunes. Aun así, existen dos inconvenientes por los que esta técnica no es tan útil como la de sustitución. En primer lugar, en la mayor parte de los casos las connotaciones hacen referencia al significado emotivo o evaluativo, que como ya hemos visto nada tiene que ver con el significado cognitivo y, por tanto, no permite establecer una relación de sinonimia clara entre pares de elementos. Y, en segundo lugar, las connotaciones no son más que características que una parte de los hablantes de una lengua asocian a un término concreto sin que dichas características estén relacionadas con su significado real y, por ende, tampoco pueden utilizarse para destacar diferencias de significado (por ejemplo, por culpa de ciertas características consideradas “desagradables”, muchas palabras pasan a ser tabú, y por ese motivo suelen sustituirse por eufemismos).

Bajo este tratamiento de la sinonimia, hemos trabajado con la intuición de que, si presuponemos la existencia de sinónimos, algunos pares de unidades léxicas son más sinónimos que otros. Y es que las distintas categorías existentes dentro de la sinonimia no parecen apuntar hacia varios fenómenos relacionados entre sí, sino hacia distintos “grados” o “niveles” de sinonimia entre cada par de elementos. Esto implica que la sinonimia está asociada al concepto de escala, y por tanto los distintos tipos de sinonimia pueden ordenarse. De entre las tres opciones posibles, el punto cero de la escala, su origen, se corresponde al grupo de los sinónimos absolutos, pues la identidad semántica total es más fácil de establecer, al contrario de lo que sucede con la separación entre los términos que

⁷Los rasgos capitales pueden definirse como aquellos rasgos que conforman la parte principal de una construcción sintáctica (“nave” en “una nave grande”), mientras que los rasgos subordinados son aquellos que tienen la misma función que la de un modificador dentro de una construcción sintáctica (“grande” en “una nave grande”).

Una crítica posible al tratamiento gradual de la sinonimia es que para llevarlo a cabo habría que establecer cuáles son las diferencias entre un sinónimo y otro cuando en la mayoría de diccionarios únicamente ofrecen conjuntos de términos asociados semánticamente a cada palabra. Por ese motivo, los sinónimos de los diccionarios solo son útiles porque la persona que los utiliza tiene una serie de conocimientos a priori que le permiten determinar qué sinónimos puede utilizar en cada contexto. Y es que el hecho de que dos palabras sean equidistantes en significado a una tercera palabra no significa que la relación de sinonimia que les une a dicha palabra sea la misma [91]. Sin embargo, estos argumentos no establecen un juicio en relación al uso de grados y escalas, sino que señalan una de las principales dificultades asociadas a esta aproximación, a saber: que los diccionarios no diferencian de manera explícita entre sinónimos absolutos, cognitivos y plesiónimos. Una posible solución podría partir del hecho de que en muchos diccionarios como el Diccionario de la Real Academia Española, cada palabra viene definida por una serie de acepciones que se corresponden con los significados de esa palabra según los contextos en los que aparece. Entonces, si existieran dos palabras absolutamente sinónimas, las acepciones de ambas serían idénticas y así aparecerían en el diccionario sin necesidad de añadir nuevas condiciones o aclaraciones. Bajo esta perspectiva, en castellano quizá sí existen algunos casos que podrían considerarse sinónimos absolutos, como por ejemplo “comenzar” y “empezar” donde las tres acepciones de “comenzar” refieren directamente a “empezar”. En el caso de que dos palabras fueran sinónimas cognitivas, solo haría falta que compartiesen una o varias acepciones (como es el caso de “bello” y “hermoso”, o “profundo” y “hondo”), o que lo hiciesen bajo ciertas diferencias lingüísticas (como es el caso de “papá” y “padre” que, aunque son sinónimos, no lo son en un sentido absoluto, ya que “papá” es un coloquialismo de “padre”). Los plesiónimos son el caso más complejo, pues poseen acepciones diferentes, y el hecho de que dos acepciones tengan en su descripción algunas palabras en común (en algunos casos precedidas por modificadores de grado) es un factor demasiado débil como para utilizarlo (es el caso de “enorme”, cuya única acepción en castellano es “Mucho más grande de lo normal”).

Establecer dicha subdivisión dentro de las relaciones de sinonimia de un lenguaje es fundamental, pues la aparición de cada caso en las premisas de un razonamiento influirá de manera distinta en la coherencia y validez de la conclusión. Supongamos que tenemos en Prolog la premisa $A(x) :- B(x)$ (es decir, “todos los elementos que son B , también son A ”) y el hecho $C(a)$ (o, lo que es lo mismo, “el elemento al que hace referencia a es C ”). Si quisiéramos evaluar la validez y coherencia de la conclusión $A(a)$, esta dependería directamente de la relación existente entre B y C , la cual pertenecería a uno de los cuatro casos posibles:

- 1) C y B son sinónimos absolutos.
- 2) C y B son sinónimos cognitivos.
- 3) C y B poseen campos semánticos superpuestos (son plesiónimos), o
- 4) C y B no son sinónimos.

En el primer caso, la coherencia y la validez de la conclusión $A(a)$ sería la misma que si hubiésemos tenido el hecho $B(a)$ en lugar de $C(a)$ en el programa, pues tanto el significado cognitivo como el no cognitivo de B y C serían idénticos. Si C y B fuesen sinónimos

5. El uso de las relaciones semánticas en el tratamiento de las inferencias naturales vagas

cognitivos, el contenido cognitivo sería el mismo, y como este es el único que modifica las condiciones de verdad de una proposición, la validez de $A(a)$ sería total, aunque no sucedería lo mismo con la coherencia del discurso, ya que la elección de C sobre B significaría que se ha ignorado parte del contenido no cognitivo del razonamiento, y por tanto es probable que la conclusión no posea los mismos matices discursivos que los enunciados en la premisa. En el tercer caso, utilizar C en lugar de B sí modificaría el significado cognitivo, y por tanto aquí la validez se vería reducida en un grado equivalente al grado de superposición semántica existente entre B y C , y en el cuarto caso (donde B y C no son sinónimos) la sustitución haría que la conclusión quedase invalidada. En el caso de “deteriorado” y “roto”, si consideráramos que “roto” hace referencia a un estado o condición peor que “deteriorado”, las condiciones de verdad por las cuales “ a debe repararse” se verían modificadas y, por ende, estaríamos tratando del tercer caso, estableciendo entre “deteriorado” y “roto” una relación de plesionimia.

Estos matices, que no solo permiten una evaluación más natural de cualquier razonamiento vago sino que también proveen de herramientas con las cuales justificar dicha evaluación, se perderían si, en lugar de tenerlos en cuenta, únicamente se aplicasen otros factores como el número de sinónimos que tienen B y C en común para determinar la proximidad semántica entre ambos (como sería el caso de, entre otros, la aplicación del coeficiente de Jaccard al problema).

5.3. Hiponimia e hiperonimia

Otra relación de significado relevante es la relación de hiponimia e hiperonimia entre dos elementos. En muchos casos puede aparecer bajo el término genérico de “inclusión”, y de igual manera se le formaliza en términos de la lógica de clases, ya que la clase de entidades a las que hace referencia una palabra como “perro” es siempre menor y está incluida dentro de la clase de entidades a las que hace referencia la palabra “mamífero”. Sin embargo, es importante que se establezca una distinción teórica clara entre significado y referencia [91], algo que no se consigue mediante una definición que descansa sobre la lógica de clases y la noción de referencia. Además, la palabra “inclusión” es ambigua y puede ser problemática. Por ejemplo, podemos afirmar que una unidad léxica más general es más inclusiva que una unidad léxica más específica al tener una extensión mayor (en cuyo caso “mamífero” sería más inclusivo que “perro”), pero también puede verse desde otra perspectiva, y afirmar que la intensión de “perro” es mayor que la de “mamífero” al hacer referencia a un conjunto de atributos más amplio. Para evitar esta confusión, en el artículo de Lyons se sugiere descartar el término “inclusión” y hacer referencia a las unidades léxicas implicadas en dicha relación únicamente mediante los términos “hipónimo” e “hiperónimo” (o “superordinado”).

Esta relación se define en términos de la implicación unilateral. Si tomamos como verdadero que X es $f(a)$ (siendo $f(a)$ una expresión indefinida que representa la elaboración sintáctica mínima del elemento léxico a para que funcione como complemento del verbo “ser” o “estar”), y a es hipónimo de b , entonces “ X es $f(a)$ ” implicará que “ X es $f(b)$ ”. Esta regla no se cumple a la inversa, pues que X sea un “mamífero” no le obliga a ser también un “perro”. En su lugar, si a es un hiperónimo, “ X es $f(a)$ ” implicará la disyunción de oraciones que contienen diferentes miembros del conjunto de sus hipónimos (por ejemplo, “varios animales salvajes me atacaron” implica que te atacaron o bien varios jabalíes, o

varios lobos, o varios ciervos, etc.), o en su lugar implicará una oración en la cual sus hipónimos aparezcan de manera simultánea (“varios jabalíes y lobos me atacaron”, “varios lobos y ciervos me atacaron”, etc.). Por último, la relación de hiponimia es siempre transitiva (si a es hipónimo de b , y b es hipónimo de c , entonces se cumple que a es hipónimo de c).

La definición de hiponimia permite también definir la sinonimia como un caso especial de hiponimia en el que a es hipónimo de b y viceversa y, por tanto, la relación entre a y b es bilateral. Por ese motivo, la sinonimia, además de ser transitiva, también es una relación simétrica (si a es sinónimo de b , b también es sinónimo de a) y reflexiva (a puede ser sustituido por a en el mismo contexto). En otras palabras: bajo esta perspectiva, la sinonimia es una relación de equivalencia.

La relación de hiponimia e hiperonimia, aunque más sencilla de formalizar que la relación de sinonimia, se complica a causa de la imposibilidad por parte del lenguaje de ofrecer un léxico capaz de asignar una palabra a cada hiperónimo posible. Un caso muy claro es el de los colores [103], pues en castellano no existe una palabra que represente un hiperónimo para todos los colores posibles (algunos pueden afirmar que un hiperónimo de “rojo”, “verde”, etc. es “coloreado”, pero en ese caso habría que descartar “blanco”, “gris” y “negro”). Además, un fenómeno común es que una palabra puede ser hiperónima de sí misma siempre y cuando no tengan el mismo significado. Es el caso de “jabalí”, palabra que podemos utilizar para hacer referencia a una especie concreta dentro del hiperónimo “mamífero”, y que a su vez también se puede utilizar en el sentido de “macho” para dividir los “jabalíes” en “jabalíes” y “jabalinas”.

Más allá de estas particularidades, la complejidad a la hora de hacer uso de la hiponimia viene dada en mayor medida por el hecho de que las inferencias no siempre son las mismas [23]. Si la palabra en cuestión se ve afectada por un cuantificador universal (como “todos”, “cada”, etc.) o por un negador dentro de una proposición, o si pertenece a una proposición condicional, la inferencia se invierte. Un ejemplo es “Cada persona tiene intenciones ocultas”, ya que, aunque “persona” es hiperónimo de “hombre” y “mujer”, sí implica que “cada mujer tiene intenciones ocultas” y que “cada hombre tiene intenciones ocultas”. La cuestión es todavía más compleja, pues si la palabra se ve afectada por dos de estos factores al mismo tiempo, la inferencia se vuelve a invertir, volviendo a la “normalidad” (“No todos los médicos saben lo que hacen” vuelve a implicar “No todos los profesionales saben lo que hacen”). Aún más, si la palabra, en lugar de verse afectada por dos factores, se ve afectada por los tres al mismo tiempo, la inferencia se invierte una vez más, volviendo al primer caso.

A todo lo anteriormente mencionado, también hay que añadir que, primero, en un lenguaje natural los cuantificadores no siempre son explícitos (“Los lunes son horribles” es equivalente a “Todos los lunes son horribles”), y, segundo, que la aparición de un hipónimo en algunas proposiciones puede no generar la implicación deseada (“Me fui a la playa más tranquila del país” no implica “Me fui al lugar más tranquilo del país”). Por lo tanto, no existe todavía una regla general para predecir la implicación de una proposición que contenga un hipónimo o un hiperónimo.

En relación con el tratamiento automático de la vaguedad en un razonamiento impreciso, la hiponimia no es tan útil ya que, a priori, el uso de hipónimos e hiperónimos no genera vaguedad en el lenguaje (exceptuando los casos en que no esté clara la pertenencia de una palabra al conjunto de hipónimos asociado al hiperónimo en cuestión). De todas

formas, sí puede servir para generar nuevos resultados en la evaluación de un razonamiento. Volviendo al caso mencionado con la sinonimia (una premisa del tipo $A(x):-B(x)$ y un hecho $C(a)$), si B es hiperónimo de C , podemos decir que $A(a)$ es una conclusión válida (y es que, aunque en la premisa hay un cuantificador universal y es, además, una proposición condicional, estos factores no cambiarán el sentido de la implicación ya que es el predicado A el que se encuentra bajo su influencia, y no B). En el caso contrario (B hipónimo de C), la inferencia no sería válida exceptuando el caso en que a , además de ser C , es también B , y así se podría explicar al usuario.

5.4. Compatibilidad e incompatibilidad

La relación semántica fundamental de la compatibilidad, al ser una relación paralela a la superposición, se caracteriza por que, si a y b son compatibles, estas dos unidades léxicas coincidirán solo en ciertos rasgos semánticos. Así, “ X es $f(a)$ ” y “ X no es $f(a)$ ” serán proposiciones lógicamente independientes de “ X es $f(b)$ ” y “ X no es $f(b)$ ” y, además, a y b tendrán un hiperónimo en común. Un ejemplo es “nocivo” y “mortal”, dos palabras que son hipónimas del hiperónimo “propiedad” (en el sentido de “atributo” o “cualidad”). En este caso, “Ingirió una dosis nociva” puede ser verdadero, pero esto no obliga a que “Ingirió una dosis mortal” también lo sea (puede haber causado daños en el sujeto sin llegar a matarlo).

Dentro de la compatibilidad, esta se puede subdividir en compatibilidad estricta y compatibilidad contingente. La compatibilidad estricta es aquella donde, además de compartir un mismo hiperónimo, también comparten un hipónimo que, a su vez, es independientemente caracterizable. “mamífero” y “animal carnívoro” sería un ejemplo, pues además de compartir un mismo hiperónimo (“animal”), también tienen más de un hipónimo en común (como “perro”). Además, dicho hipónimo común será independientemente caracterizable, y es que un perro en concreto no tiene por qué ser un animal carnívoro (se le puede restringir la dieta, y hacer que no coma carne, por ejemplo). El caso de la compatibilidad contingente es el caso más común de los dos, y un ejemplo sería “informático” y “artista”, pues ambos términos son lógicamente independientes, y además no hay ningún subconjunto de informáticos que posean como rasgo obligatorio el ser artista, ni ningún artista que a su vez necesite poseer el rasgo de ser informático.

El simple hecho de que dos términos posean ciertos rasgos semánticos comunes no es suficiente para que esta relación sea relevante dentro de un razonamiento estructurado en premisas, más aún cuando la principal característica de este grupo es que sus términos son siempre lógicamente independientes.

La relación de incompatibilidad, por otro lado, es similar a la relación entre clases sin miembros en común y permite inferir de “ X es $f(a)$ ” que “ X no es $f(b)$ ” cuando a y b son incompatibles. En otras palabras, si una proposición S_1 niega otra proposición S_2 de manera explícita o implícita, entonces S_1 y S_2 son contradictorias. Si a y b son los únicos términos en los que difieren S_1 y S_2 , entonces a y b son incompatibles (“El lobo acabó con su vida a medianoche” niega “El oso acabó con su vida a medianoche”, por lo que “lobo” y “oso” son incompatibles).

Esta incompatibilidad está relacionada con la Teoría Semántica de Campos, teoría que se fundamenta en la noción de “valor” dada en [127] y que trata al lenguaje como un sistema interconectado de signos, de forma que si un signo se ve alterado, todo el sistema

cambia con él. Según esta perspectiva, un elemento no se define en función de sus cualidades inherentes (de tamaño o forma, por ejemplo), sino por las relaciones existentes entre este y los otros elementos de su entorno. Entonces, si cogiésemos varios términos como “vítreo”, “nacarado”, “adamantino” o “córneo” (todos hipónimos de “brillo” o “lustre”), y eliminásemos uno de ellos, su contenido semántico se repartiría entre los términos restantes. Y es que estas palabras se utilizan para subdividir un campo semántico concreto, de manera que todas ellas son incompatibles entre sí [103].

Aunque la explicación dada hasta ahora pudiera dar otra idea, es importante destacar que la incompatibilidad no es igual a la diferencia de significado. Una prueba de esto es que dos palabras pueden tener significados distintos, y a su vez no ser incompatibles por el mero hecho de no generar contradicción en los contextos en que ambos aparecen. Un caso es “inteligente” y “pobre”, pues aunque no son similares semánticamente hablando, ambos pueden aplicarse a una misma persona. También puede suceder que dos palabras tengan una cierta similitud en su significado y a su vez sean incompatibles, como es el caso de los cohipónimos (algo no puede ser un “guepardo” y un “lince” a la vez, aunque ambos sean hipónimos de “felino”), o que se dé el caso de que ambos términos difieran en su significado, pero sean incompatibles como es el caso de “chimenea” y “nevera” (aquí, al no existir un hiperónimo común a ambos, establecer formalmente la diferencia entre las dos palabras es bastante más complejo que en los casos anteriores).

El hecho de que no exista ninguna relación directa entre la similitud o diferencia de significados dentro de la propia incompatibilidad la hacen poco útil como herramienta de unificación semántica, aunque los términos incompatibles que son a su vez cohipónimos podrían incluirse dentro de las relaciones de hiponimia e hiperonimia (de manera que si tenemos la premisa $A(X) \rightarrow B(X)$ y el hecho $C(a)$, y B y C son cohipónimos, podemos decir de manera precisa que $A(a)$ no es una conclusión válida). Otro problema inherente a la incompatibilidad reside en la imposibilidad de establecer un orden natural entre los términos que son incompatibles entre sí (como es el caso de las subdivisiones del campo semántico que responden a principios puramente científicos, como la subdivisión de los cuerpos celestes en “planetas”, “satélites”, “cometas”, “meteoros”, etc.). También se da el caso de que cierto conjunto de palabras incompatibles puede ordenarse en función de sus referentes (tales como los días de la semana, los números o las unidades de medida), pero este orden no determina en ningún caso el grado de incompatibilidad entre sus miembros y por tanto tampoco puede utilizarse con ese fin (“lunes” y “martes” son incompatibles en la misma medida en que lo son “lunes” y “viernes”). Por último, y como puede verse en [103], hay otras palabras que quizá sí puedan ordenarse en función de parámetros o métodos más exhaustivos (como los colores, que simplificando mucho el problema podrían ordenarse en función de su longitud de onda), pero esto tampoco es relevante dado que dicho orden, aunque real, no es un orden lingüístico y, por tanto, no se ve reflejado en nuestro uso del lenguaje.

5.5. Meronimia y holonimia

La relación paradigmática denominada meronimia (y su contrapuesto, la holonimia) es un tipo de conexión entre unidades léxicas que se distingue de las demás en que solo hace referencia a sustantivos, y más concretamente a las palabras que a su vez hacen referencia a aquellos objetos totalmente cohesionados e integrados que forman un objeto

5. El uso de las relaciones semánticas en el tratamiento de las inferencias naturales vagas

mayor. Es el caso de “empuñadura” y “filo”, ambos merónimos de “cuchillo”, o el caso de “dedos”, que es merónimo de “mano” (de manera inversa, “cuchillo” es holónimo de “filo” y “empuñadura”, y “mano” es holónimo de “dedos”). La meronimia genera, por tanto, una jerarquía no léxica entre términos, y no permiten establecer ningún tipo de conexión semántica entre los términos medios de dos premisas.

Para definir formalmente la meronimia es necesario establecer cuáles son las diferencias entre “parte” y “pieza” [23]. Una “pieza”, desde el punto de vista lingüístico, es una relación transitiva, asimétrica e inherentemente diferenciada, motivo por el cual para que algo sea una pieza de otra cosa, ese algo debe ser topológicamente estable y espacialmente continuo (lo que significa que el objeto debe poder moverse de un punto a otro del espacio manteniendo todas sus propiedades inherentes). Las “partes”, aunque también cumplen estas dos propiedades de estabilidad topológica y continuidad espacial, se diferencian de las “piezas” en que deben cumplir otras tres cualidades más: autonomía (es decir, una existencia independiente del objeto del que forman parte), no arbitrariedad de sus límites y una función concreta con respecto al objeto del que forman parte. Siguiendo estas directrices, es fácil ver que un pedazo de papel es una “pieza” de una hoja de papel (puedes cogerla y transportarla sin modificar su forma o sus características), pero no es autónoma (requiere haber formado parte previamente de una hoja de papel), sus límites son arbitrarios y no ejercen una función diferenciada dentro del posible conjunto de pedazos de papel. En el caso contrario, ejemplos de “partes” sería un tornillo, o la columna de una fachada.

Entonces, a será un merónimo de b si y solo si proposiciones de la forma “un b tiene a es/un a ” y “un a es parte de un b ” son normales cuando a y b son interpretadas de manera general.

5.6. Oposición de significado

La última relación semántica fundamental es la denominada “relación de antonimia”, aunque para ser más exactos debería denominarse “relación de oposición de significado”, pues la “antonimia” propiamente dicha es solo uno de los tipos de oposición posibles en nuestro lenguaje. Esta oposición de significado es de gran importancia, pero muchas veces, cuando se ha intentado describir su comportamiento de una forma sistemática, se ha generado una cierta confusión al considerarla una relación complementaria a la sinonimia, cuando en realidad son muy distintas [91]. Una muestra de ello es que el lenguaje no tiene necesidad real de sinónimos absolutos, pero sí los tiene de los antónimos, los cuales tienen un uso bien definido dentro de este [103].

En total, hay tres tipos de oposición: la complementariedad, la reciprocidad y la antonimia propiamente dicha.

La complementariedad puede definirse como un caso particular de la relación de incompatibilidad en la que, además de cumplirse que si afirmamos a , entonces es verdadero que no b , también se cumple que si negamos b , entonces estamos afirmando a (en términos lógicos, $\neg a \supset b$ y $b \supset \neg a$)⁸. Algunos ejemplos son “material” e “inmaterial”, “vivo” y “muerto”, “casado” y “soltero”, etc.

⁸Según esta definición la complementariedad sería un caso límite de las relaciones de incompatibilidad, en las que el conjunto de unidades léxicas relacionadas quedaría reducida a solo dos miembros. Sin embargo, no sería conveniente reclasificar este tipo de relaciones a solo un subconjunto de las relaciones

Cuando hablamos de las propiedades de implicación de la complementariedad, es importante señalar dos factores que parecen contradecir lo dicho. Y es que, aunque no es algo común ni normal en nuestro lenguaje, puede darse el caso de que ciertos pares de elementos complementarios puedan afirmarse o negarse al unísono. Es el caso de, por ejemplo, “la presencia fantasmagórica era material e inmaterial al mismo tiempo” o “El hombre no estaba muerto, pero tampoco vivo”. Estas expresiones, aunque semánticamente erróneas, son válidas desde un punto de vista pragmático al sugerir una información que va más allá de su propia estructura formal (en la primera expresión se quiere transmitir la idea de que la presencia fantasmagórica es demasiado vaga como para establecer un juicio definitivo sobre su estado físico, y en la segunda se intenta dar a entender que el hombre, aun estando vivo, no se encuentra en buenas condiciones físicas o mentales).

El segundo problema es que a veces los términos complementarios exhiben un comportamiento graduable, aceptando la influencia de los términos “más” o “menos” [91, 103]. Es el caso de “ X es más soltero que Y ”, en el sentido de que X hace una vida más próxima a lo que, por tradición, se considera una “vida de soltero” que Y , independientemente de si X e Y están o no solteros en la realidad. Esta clase de ejemplos no tiene gran importancia en castellano, donde expresiones de este tipo se consideran anómalas en prácticamente todos los contextos. Lo importante aquí es que destaca una de las propiedades que más nos interesan para el tratamiento de la vaguedad, a saber: que los términos complementarios no son graduables. Aun así, en un tratamiento gradual de la vaguedad en la que se utilice la oposición de significado como negación, hay que tener en cuenta la complementariedad ya que ejercen la función de una negación fuerte. Es decir, si tenemos el razonamiento $A(x) :- B(x)$ y el hecho $C(a)$, y C es complementario de B , podemos decir que $A(a)$ es una conclusión no solo lógicamente no válida, sino contradictoria en función de los datos que manejamos.

La antonimia se diferencia de la complementariedad en que, si a y b son antónimos, solo se cumple la implicación lógica $b \supset \neg a$ (si afirmamos que algo es b , entonces a no será verdadero). Esto se debe a que los antónimos son graduables, y por tanto negar que X sea b no establece automáticamente que X sea a , sino que puede situarse en algún punto intermedio entre ambos. Gordo/delgado, viejo/joven y alto/bajo son algunos ejemplos de este grupo, los cuales comparten el hecho de que todos los antónimos son adjetivos, y de que su relación de antonimia se puede describir en función de los grados de la cualidad a la que hacen referencia [126].

Al ser una relación graduable, la antonimia está ligada a la operación de comparación, la cual puede ser tanto explícita como implícita. Si una oración comparativa es explícita, una posibilidad es que compare dos elementos con respecto a una propiedad particular, donde dicha propiedad esté representada en mayor grado por una de esas cosas, y en menor grado por la otra (“David era más bajo que Goliat”). La otra opción es que se comparen no dos elementos, sino dos estados de la misma cosa con respecto a la “propiedad” en cuestión (“La casa estaba mucho más sucia de lo que solía estarlo”). Por supuesto, la diferencia no es siempre tan clara: hay casos en los que una oración es ambigua a este respecto (“La casa está más sucia”), y otros en los que se combinan ambos tipos dentro de una misma oración (“David era mucho más bajo de lo que era Goliat a su edad”). Ese es el motivo por el que es necesario encontrar una fórmula general para las oraciones comparativas

de incompatibilidad, ya que el propio concepto de “dicotomía” que acompaña a la complementariedad es de una importancia capital para el campo semántico de cualquier lenguaje natural.

5. El uso de las relaciones semánticas en el tratamiento de las inferencias naturales vagas

explícitas y que puede encontrarse en [91]:

$$\text{Comp}([SN_1, a]T_i + M_k + A_m)([SN_2, a]T_j + M_l + A_n)$$

Siguiendo esta notación, SN es el sintagma nominal que denota el elemento (o elementos) que están siendo comparados, a es la unidad léxica graduada (“más alto”, “más deteriorado”, etc.), T es el tiempo gramatical de la oración (pasado, presente, etc.), M es el modo gramatical y A el aspecto de la oración (por lo que hace referencia al estado de desarrollo de la acción expresada por el verbo)⁹. Si el subíndice de algunos de estos tres modos es igual a 0, eso significa que dicho rasgo gramatical no aparece indicado en la oración. El formalismo aquí presentado nos permite describir de manera precisa la característica más importante de la relación de antonimia (la cual es al mismo tiempo el rasgo diferenciador más evidente entre una pareja de antónimos y una de términos complementarios): si a y b son antónimos, una oración comparativa de la forma

$$\text{Comp}([SN_1, a]T_i + M_k + A_m)([SN_2, a]T_j + M_l + A_n)$$

implicará (y es, a su vez, implicada por) una oración de la forma:

$$\text{Comp}([SN_2, b]T_j + M_l + A_n)([SN_2, b]T_i + M_k + A_m)$$

Un ejemplo sería la oración “David era más bajo que Goliat”, que es verdadera sí y solo sí “Goliat era más alto que David”.

Esto en cuanto a las oraciones comparativas explícitas. Si, por el contrario, una oración contiene un antónimo, pero no es explícitamente comparativa, entonces debe serlo de manera implícita. Eso es debido a que las palabras como “alto” y “bajo” o “viejo” y “joven” no hacen referencia a cualidades opuestas e independientes, sino que son herramientas léxicas cuya finalidad es establecer un grado con respecto a alguna norma implícita (“viejo” es entendido como “más viejo que” y “bajo” como “más bajo que”, por ejemplo) [126]. Esta perspectiva permite describir el significado de una oración como “Un caniche grande es un perro pequeño” de una manera no contradictoria. Semánticamente hablando, la oración sería equivalente a “Un caniche considerado grande al compararse con el tamaño normal del conjunto de los caniches es considerado pequeño al compararse con el tamaño normal del conjunto de los perros”. En consecuencia, dependiendo del conjunto al que está asociada la dimensión normal, el significado introducido por el adjetivo vago varía: decir que “El perro es grande” puede significar que mide más de cincuenta centímetros si el perro es un caniche, mientras que si es un galgo, quizá signifique que mide más de setenta centímetros.

A pesar de la gradualidad de los antónimos, en determinados contextos muestran un comportamiento similar al de los complementarios o pares dicotómicos. Por ejemplo, existen términos que, a pesar de estar conectados mediante una relación de antonimia, no se comportan como términos implícitamente graduables. Ese es el caso de “honesto” y “deshonesto” o de “obediente” y “desobediente” (se suele hablar de que alguien es obediente o desobediente, pero no parece existir un término intermedio entre ambas palabras a pesar de que sí se pueden formular oraciones del tipo “ X es más obediente que Y ”). También se da el caso de antónimos que, a pesar de ser graduables, no son “simétricamente reversibles” o, lo que es lo mismo, no aceptan los comparativos “más” y “menos” (como es el caso de

⁹Los parámetros o rasgos gramaticales de esta expresión aparecen como variables independientes para simplificar la explicación del problema.

“brillante” y “estúpido” en el sentido en que “más brillante” no es igual a “menos estúpido”, y viceversa). Todo ello es prueba de que a veces la gradualidad de los antónimos se concibe como una característica secundaria de esta categoría, y por tanto la frontera entre antonimia y complementariedad no es tan clara. Una posible explicación es que el ser humano concibe la gradualidad como algo psicolingüísticamente secundario [103] y se mueve con mayor comodidad en el terreno de la dicotomía: algo es *a*, o no lo es. La prueba está en que si, por ejemplo, alguien pregunta si *X* es bonito, y la otra persona le responde que no, esto implica que *X* es feo. La única manera de hacer referencia a un estado intermedio entre un extremo y otro es introduciendo una explicación más compleja en la respuesta (“no, tenía un aspecto neutro” o “no, pero tampoco es que destacase por lo contrario”).

A partir de lo mencionado anteriormente, el simple hecho de que todos los antónimos pertenezcan a la categoría gramatical de los adjetivos, la cual es la principal culpable de que una oración tenga un contenido semántico vago, y de que estos términos sean graduables (otra característica que la aproximación de grado señala como inherente al fenómeno de la vaguedad), parecen señalar de una manera clara la conveniencia de utilizar una aproximación gradual a la vaguedad introducida por los antónimos en el lenguaje. La tarea de construir una escala lingüística también se simplifica por este motivo, pues dado que los antónimos son graduables, es bastante común en el lenguaje natural que existan términos intermedios entre un extremo y otro. Es el caso de “caliente” y “frío”, entre los cuales se puede situar “tibio” y “fresco” (que, a su vez, están conectados entre sí por otra relación de antonimia). También hay que considerar el hecho de que, en una relación de antonimia, los dos términos implicados no tienen un comportamiento simétrico, sino que la polaridad de uno es positiva, y la del otro es negativa. Si algo es “diminuto”, el hablante lo verá como algo “carente de tamaño” y no como algo “rebotante de pequeñez”. Esto se extiende a las oraciones interrogativas donde, si se utiliza el antónimo positivo para referirse a un determinado objeto, no se implica nada sobre dicho objeto (solo se utiliza para preguntar sobre el grado de la cualidad graduada), cosa que no sucede con los términos negativos: “¿Cómo es de alto el armario?” no implica que el armario sea bajo o alto, pero sí lo hace la pregunta “¿Cómo es de bajo el armario?” (da por sentado que el armario es bajo en cierto grado). Es por ello que en las escalas que busquen representar la relación de antonimia, el punto de referencia se debe situar en su extremo positivo.

Como último comentario, aparte de su relación con la vaguedad, la sola existencia de la antonimia (junto con la complementariedad) puede verse como un argumento contra un análisis puramente lógico o formal de los lenguajes naturales. La razón es que su existencia no es necesaria: si buscásemos simplificar el léxico de un lenguaje, una opción evidente es utilizar con más frecuencia los negadores y los comparativos: en lugar de “Ulises está casado”, “Ulises no está soltero”, o “David es menos grande” en lugar de “David es pequeño”. Sin embargo, hay un número muy extenso de términos antónimos o complementarios como resultado de la tendencia del ser humano a, como ya se ha indicado, polarizar experiencias y juicios [126].

Además de las relaciones de complementariedad y antonimia existe una tercera relación de oposición de significado: la denominada relación de “reciprocidad” (*converseness*). Los términos recíprocos son aquellos en los que la afirmación de la existencia de uno implica necesariamente la afirmación de la existencia de su contrario tales como “comprar” y “vender”, “matar” y “morir” o “dar” y “recibir”. Si se ha vendido algo, definitivamente tiene

5. El uso de las relaciones semánticas en el tratamiento de las inferencias naturales vagas

que haber alguien que lo ha comprado, y si se ha matado a alguien, es que ese alguien ha tenido que morir. De una manera más formal, si por ejemplo SN_1 compró SN_3 a SN_2 , eso implica que SN_2 vendió SN_3 a SN_1 . La sustitución léxica de un término por su opuesto correspondiente se asocia a una transformación sintáctica, la cual permuta SN_1 y SN_2 y lleva a cabo ciertos cambios automáticos en la elección de la preposición adecuada¹⁰.

Lo fundamental en este caso es que la relación de reciprocidad tiene lugar entre verbos (dar/recibir, etc.), sustantivos (marido/mujer, padre/hijo, etc.) o términos que hacen referencia a la posición espacial o temporal de los elementos (en frente de/detrás de, por debajo/por encima, antes de/después de, etc.), todos los cuales se caracterizan por no ser relaciones simétricas. Sin embargo, no hay adjetivos vagos recíprocos dado que son términos graduables, y por ende su participación en el fenómeno de la vaguedad es mínimo más allá del hecho de que ciertos antónimos puedan reinterpretarse como términos recíprocos (en el sentido de que, como ya hemos dicho, “alto” puede tratarse como “más alto que la norma en el contexto dado”, y en consecuencia aceptamos “más alto que” como equivalente a “alto”, haciendo que más alto que/más bajo que sean relaciones de reciprocidad).

Para concluir, en los apartados anteriores se ha hablado de las relaciones principales del lenguaje que existen entre dos unidades léxicas, haciendo hincapié en las características que permiten utilizar algunas de ellas para la formación de escalas y, con esto, tratar de manera no precisificada el problema de la vaguedad. Sin embargo, más allá de la sinonimia, la hiponimia, la compatibilidad, la incompatibilidad, la meronimia y la oposición de significado, hay otras relaciones que suelen concebirse como variaciones de las relaciones ya tratadas [23]. Ese es el caso de las relaciones parciales (donde la distribución sintáctica entre ambos elementos no coincide, como es el caso de “completar” y “terminar”, los cuales aun apareciendo en contextos en los que tienen el mismo significado, no pueden sustituirse el uno por el otro en las mismas construcciones sintácticas), las cuasirrelaciones (relaciones en las que la categoría gramatical entre las dos unidades léxicas implicadas en la relación no coincide, como es el caso de los adjetivos “rojo”, “verde” y “amarillo”, que no poseen un hiperónimo dentro de la categoría gramatical de los adjetivos, pero sí uno dentro de los sustantivos como es “color”), las pseudorrelaciones (conexiones contextuales producto de la coincidencia o ajenas a la proposición, como “ángulo” y “lado” en “Este triángulo tiene tres _____ iguales”) y las pararelaciones (relaciones basadas en las expectativas del hablante y no en la necesidad, como es el caso de “perro” y “mascota”, cuya parahiponimia es la causante de que el hablante espera que digas algo como “es un perro, pero no es una mascota” antes que “es un perro, pero es una mascota”).

Sin embargo, ninguno de los casos anteriores son relevantes en el proceso de establecer la validez y coherencia de un argumento: las relaciones parciales y las pseudorrelaciones solo hacen referencia a las relaciones sintagmáticas de las unidades léxicas y no a su contenido semántico, las cuasirrelaciones no tienen papel alguno en los razonamientos deductivos dado que en un silogismo los términos medios de cada premisa pertenecen siempre a la misma categoría gramatical, y tampoco es necesario tener en cuenta las pararelaciones porque no influyen en la coherencia o validez de una inferencia.

Una vez establecidas las principales relaciones semánticas existentes y su posible apli-

¹⁰Lo mismo sucede con los antónimos, donde si SN_1 es más viejo que SN_2 , SN_2 es más joven que SN_1 [91]. Igualmente, los cambios sintácticos son los mismos que los realizados cuando se cambia de una oración pasiva a una activa, y viceversa (“ SN_1 asesinó a SN_2 ” implica que “ SN_2 fue asesinado por SN_1 ”).

cación a una inferencia natural, el siguiente paso es construir un proceso de resolución alternativo para los lenguajes de programación lógica, enriquecido con las posibilidades que ofrece una unificación semántica frente a una unificación solo sintáctica. Así pues, y a pesar del gran y variado número de relaciones semánticas implicadas en el lenguaje, el problema se simplifica en el caso del tratamiento de la vaguedad, donde si atendemos a las características descritas al principio de este capítulo solo serían relevantes las relaciones de sinonimia (como alternativa a la relación sintáctica de equivalencia) y de oposición de significado (como alternativa a la negación fuerte).



6. Diseño de un proceso de resolución lingüístico para lenguajes de programación lógica tipo Prolog

Los problemas surgidos a raíz de la precisificación, y las dificultades existentes en la representación formal pero desnaturalizada de la vaguedad, son argumentos esgrimidos en los capítulos anteriores a favor de la utilización del conocimiento lingüístico, y en concreto de las relaciones semánticas, para la representación de hechos en lenguaje natural. Sin embargo, la aplicación de este nuevo tratamiento no es directa sino que requiere de una modificación de los procesos de resolución sintácticos propios de los lenguajes de programación lógica. Lo que se pretende en este capítulo es proponer el diseño de un emparejamiento semántico, analizando los posibles pasos o técnicas requeridas en la modificación de dicho proceso, así como analizar una representación de los valores de salida que se adecúen a los requisitos de una computación con palabras puramente lingüística.

6.1. Fundamentos básicos de Prolog

Antes de continuar, quizá sea necesario introducir brevemente los fundamentos básicos del lenguaje Prolog con el fin de facilitar la comprensión de los siguientes puntos.

Prolog es un lenguaje de programación lógica basado en una versión de la lógica de predicados de primer orden denominada lógica clausal, y como tal se fundamenta en el uso de reglas y hechos. Un hecho es un predicado seguido de una serie de argumentos (según la notación usual, $pred/n$ hace referencia al predicado $pred$, de aridad n) que el programa tomará como una declaración verdadera. Así pues, si el código contiene el hecho $barato(restaurante)$ o $ama(romeo, julieta)$, Prolog tratará de inferir conclusiones de las premisas “el restaurante es barato” y “Romeo ama a Julieta”, que son proposiciones verdaderas. Por otro lado, una regla es la conexión condicional entre dos o más hechos, siendo un hecho una regla sin condiciones de verdad (el símbolo que conecta el hecho con las condiciones de verdad es $:-$, que puede traducirse como el condicional “si” o *if* en inglés y que sitúa el antecedente a su derecha y el consecuente a su izquierda). Por ejemplo, $menu(X) :- rico(X)$ es una regla que indica que algo está incluido en el menú si está rico. Dicho de otra manera, si el elemento designado por X está “rico”, dicho elemento deberá estar incluido en el “menú”.

Estos hechos y reglas tienen como finalidad conformar una base a la que el usuario puede acceder por medio de consultas. Las consultas también pueden ser de dos tipos: o un objetivo formulado por un predicado y una serie de argumentos cuya respuesta solo

puede ser “sí” o “no” (en el sentido de que el predicado consultado es verdadero o no) o una consulta en la cual intervienen una o varias variables, de manera que la respuesta será la sustitución de la variable por el átomo o átomos que satisfacen el predicado. En el caso anterior, la pregunta $?-ama(romeo, julieta)$ dará como resultado que $ama(romeo, julieta)$ es verdadero, mientras que la pregunta $?-ama(romeo, X)$ puede traducirse como “¿A quién ama Romeo?” y su respuesta será $X=julieta$.

Supongamos, pues, que tenemos el código:

$caro(langosta).$

$barato(pollo).$

$menu(X) :- barato(X).$

donde $P(x)$ se puede traducir como “ X posee la propiedad P ” (es decir, “el pollo es barato”, etc.) y $menu(X) :- barato(X)$ representa una regla según la cual “el elemento designado por X estará en el menú si X cumple con un requisito, a saber: que X verifique la propiedad de ser barato”.

Si, por ejemplo, se realiza la pregunta de si el pollo está incluido en el menú ($?-menu(pollo).$), el proceso de resolución que realiza Prolog sería como sigue:

- 1) Se hace uso de la refutación o reducción al absurdo, es decir: se supone la negación a la pregunta, $\neg menu(pollo)$, con el fin de buscar inconsistencias.
- 2) Dada la regla $menu(X) :- barato(X)$, para que $\neg menu(pollo)$ sea verdadero también debería ser verdadero $\neg barato(pollo)$.
- 3) Dado que está declarado el hecho $barato(pollo)$, Prolog obtiene entonces que $barato(pollo) \wedge \neg barato(pollo)$.
- 4) La contradicción inferida permite negar el supuesto de partida y concluir que $menu(pollo)$ es verdadero.

Un proceso similar tiene lugar cuando en la pregunta aparece alguna variable, y la respuesta es por tanto las posibles instancias de dichas variables. Si ahora tenemos la pregunta $?-menu(X)$ la resolución sería de la siguiente forma:

- 1) Se incluye en el código la negación de la pregunta, $\neg menu(X)$, según la cual no hay ningún elemento capaz de inicializarse con X .
- 2) Dada la regla $menu(X) :- barato(X)$, el objetivo $\neg menu(X)$ queda reducido al subobjetivo $\neg barato(X)$ (no hay ningún elemento que sea “barato”).
- 3) Prolog encuentra en el código el hecho $barato(pollo)$, lo cual contradice el hecho $\neg barato(X)$ bajo la instanciación $X=pollo$.
- 4) Dado que es una contradicción, por reducción al absurdo se llega a la conclusión de que sí hay un elemento que haga verdadero $menu(X)$, y este es aquel que ha dado lugar a la contradicción. Por tanto, la respuesta será: $X=pollo$.

Un concepto clave en la resolución es el de unificación, proceso que indica la existencia de una sustitución $\sigma = \{X_1/t_1, \dots, X_k/t_k\}$ según la cual, dada una serie de expresiones P_1, P_2, \dots, P_n , $\{P_1, P_2, \dots, P_n\}\sigma = \{P_1\sigma, P_2\sigma, \dots, P_n\sigma\}$. Es decir, estas expresiones se unificarán si son expresiones idénticas o si contienen variables que pueden sustituirse de manera uniforme con otros términos de manera que las expresiones resultantes sean iguales. En el ejemplo anterior, $barato(X)$ se unificaría con $barato(pollo)$ dado que a) $barato(X)$ y $barato(pollo)$ tienen el mismo nombre y la misma aridad (es decir, poseen el mismo functor), y b) X puede unificarse de manera consistente con el término “pollo”. Además, X también se unificaría con X en la regla $menu(X) :- barato(X)$ debido a que X y X son la misma variable. Por último, otro elemento implicado en el proceso de resolución es el denominado retroceso o *backtracking*, siendo este el proceso de desvincular las variables implicadas en el razonamiento para así buscar nuevas soluciones (en el caso de haber encontrado previamente una respuesta válida a la pregunta) o para deshacer una serie de pasos previos que han dado lugar a una contradicción y buscar así un nuevo término que se pueda unificar con la variable. Hay que tener en cuenta que en el proceso de resolución no solo intervienen las reglas y hechos expresados de forma explícita en el código, sino que existen una serie de predicados ya predefinidos (*built-in predicates*) en Prolog. El caso más interesante para nuestra aproximación es el de las listas (proveniente de la librería *library(lists)*, la cual se encuentra en la mayoría de los sistemas Prolog existentes), permitiendo de manera directa toda una serie de funciones relacionadas con la búsqueda y manipulación de los elementos que las componen. En Prolog, una lista es una estructura definida mediante dos corchetes y una serie de elementos separados entre sí mediante comas (como, por ejemplo, $[1, 2, 3, 4]$) y que, a diferencia de los conjuntos, están ordenados, pudiendo a su vez distinguir con claridad la cabeza o primer elemento de la lista (H) y el resto de elementos de dicha lista (T) mediante la notación $[H/T]$ (en el ejemplo anterior $H = 1$ y $T = [2, 3, 4]$). Esto nos ofrece una solución inmediata al tratamiento y manipulación de grados, pues una lista posee todas las características necesarias para que pueda ser tratada como una escala.

Las manipulaciones con respecto a una determinada escala más útiles en nuestro caso son dos: la comprobación de si un elemento pertenece o no a una escala concreta y la distancia existente entre dos elementos dentro de una misma escala. Para el primer caso, dado que estamos tratando con escalas cuyos elementos pueden ser, a su vez, listas de términos (pues varios términos lingüísticos pueden hacer referencia a un mismo grado), definimos un predicado *pertenencia*($X, List$) que permite determinar si el elemento X pertenece a la lista $List$. Así, *pertenencia*($b, [a, [b, c], d]$) será verdadero mientras que *pertenencia*($a, [b, c, d]$) no. En el segundo caso, lo importante es determinar cuál es el índice de un elemento dentro de una escala, y esto puede hacerse de manera recursiva. Un ejemplo sería el siguiente, que además sirve para ilustrar esta condición de recursividad, necesaria en Prolog para definir reglas más generales y eficientes:

$$indice(Elem, [Elem|_], 1).$$

$$indice(Elem, [_/T], Ind) : -indice(Elem, T, Ind), !.$$

$$Ind = Ind + 1.$$

donde $Elem$ se correspondería al elemento que queremos encontrar, T a la cola de la escala que estamos analizando e Ind al índice de $Elem$. Según la condición límite del

procedimiento recursivo, si el elemento buscado es el primer elemento de la lista, este poseería el índice 1. De no ser así, en la segunda regla se elimina el primer elemento de la escala y se pasa a analizar el resto de elementos, comprobando en cada caso si el elemento es igual al primer elemento de la escala resultante y aumentando en una unidad el valor del índice en cada recursión¹.

6.2. Diseño de un emparejamiento semántico

En el proceso de resolución mencionado en el apartado anterior la unificación se produce entre elementos idénticos, basándose únicamente en su sintaxis, es decir: en la forma en que estos aparecen escritos en el código del programa o en la pregunta realizada. Esto evita que se realicen unificaciones incorrectas y permite construir un sistema formal consistente, semidecidible (Prolog permite construir programas que contengan bucles recursivos) y completo, donde las uniones entre términos equivalen a relaciones de igualdad y, por tanto, llevan a una serie de razonamientos cuya validez es fácilmente verificable.

Sin embargo, en el caso de los razonamientos naturales vagos, el problema se complica. Al hacer uso de los recursos lingüísticos que ofrece cualquier lenguaje natural, los seres humanos no se limitan a las relaciones de igualdad y negación para alcanzar un resultado, sino que se apoyan en las relaciones lingüísticas; en particular, en las relaciones semánticas y pragmáticas. Limitarse, por tanto, a la sintaxis para la simulación de un proceso de razonamiento natural da lugar a una serie de restricciones y concesiones que pervierten hasta cierto punto el contenido semántico de la conclusión, imposibilitando así su equiparación a las respuestas o conclusiones que cabría esperarse de un ser humano. Si, por ejemplo, en una oferta de trabajo se especifica que se busca a alguien con un nivel *alto* de inglés, y en el CV del interesado se indica que este posee un nivel *avanzado* de este idioma, un razonamiento sintáctico como el descrito le descartaría como candidato por el simple hecho de no haber utilizado la misma palabra que se utilizó en la oferta, a pesar de que ambos términos hacen referencia a un grado similar, si no idéntico, de conocimiento de ese idioma.

Hasta la fecha se han realizado varios intentos de enriquecer el emparejamiento en Prolog o, directamente, de modificar sus procesos de resolución para así obtener un Prolog difuso (lo que se conoce como PLB o Programación Lógica Borrosa).

El primero de ellos puede encontrarse en [81], donde se propone una modificación del proceso de resolución (expresada no en lenguaje Prolog, sino en forma prenex) utilizando la Lógica Difusa. En esta aproximación el valor de verdad de una cláusula S (expresado de la forma $T(S)$) se obtiene mediante los operadores *min* o *max* si los componentes de dicha cláusula están relacionadas entre sí mediante el operador \wedge o \vee , respectivamente, o $1 - T(R)$ si $S = \neg R$. El punto más interesante de esta aproximación se correspondería con el teorema 9 de este artículo, según el cual si S es un conjunto de cláusulas C_1, C_2, \dots , etc, se cumple que $T(C_i) \geq 0.5$, $\min[T(C_1), T(C_2), \dots] = a$ y $\max[T(C_1), T(C_2), \dots] = b$, de manera que cualquier consecuente lógico C^n de S obtenido mediante el principio de

¹Esta es una simplificación del algoritmo utilizado en el programa de resolución lingüística. En nuestro caso, y como se verá a continuación, las escalas semánticas estarán representadas mediante listas cuyos elementos son a su vez otras listas o subconjuntos de elementos, y por ende debe tenerse en cuenta esto analizando el interior de cada subconjunto en la recursión (al igual que hace el predicado *pretenencia(X,List)*) y asignando el mismo índice a todos los miembros de un mismo conjunto.

resolución tendrá un valor comprendido entre a y b . En otras palabras, si el valor de verdad de cada cláusula de S es superior a 0,5, el valor de verdad de su consecuente lógico será siempre igual o superior al menor de los valores de verdad $T(C_i)$ y nunca podrá exceder el valor de verdad más alto ($a \leq T \leq b$), respetando el principio clásico según el cual el valor de verdad de la conclusión no puede superar al de las premisas².

En [156] se propone una nueva aproximación a la Lógica Difusa en el campo del razonamiento automático introduciendo operadores difusos. En vez de simplemente generalizar el proceso de unificación más allá del emparejamiento sintáctico, propone modificar el proceso de resolución en lugar de aplicar directamente el ya existente en Prolog. De nuevo se hace uso de un solo valor numérico perteneciente al intervalo $[0, 1]$ para medir la incertidumbre, aunque en este mismo artículo se reconoce que existen otras opciones mejores aunque también más difíciles de implementar³.

El operador difuso $\lambda: A \rightarrow [0, 1]$ permitiría determinar el grado de confianza de una expresión A , transformando en un paso posterior dicho *output* numérico en términos lingüísticos tales como “Verdadero”, “Altamente probable”, etc. (correspondientes a, en estos casos, los valores 1 y 0,8 respectivamente). El cálculo que presenta Weigert en torno a este operador se denomina FOpL (*Fuzzy Operator Logic*), y satisface las tablas de verdad de los operadores lógicos de conjunción y disyunción, además de ser distributivo e idempotente. Según este FOpL, las fórmulas bien formadas deberán estar expresadas en forma clausal, es decir, como una serie de literales (variables o negación de variables) unidos entre sí por el operador disyunción (formando así oraciones o cláusulas) de manera que estas cláusulas estén a su vez unidas entre sí mediante el operador conjunción (en forma prenex). El grado de confianza de una serie de cláusulas se determinará con el operador máximo, y el grado de confianza de los literales que conforman una cláusula se determinarán con el operador mínimo. A su vez, es necesario combinar el grado de incertidumbre que se tiene en una expresión A con el grado de confianza que se tiene en que la expresión A posea un nivel de incertidumbre α , lo cual se resolvería mediante la expresión:

$$\text{Si } \lambda_1, \lambda_2 \in [0, 1] \text{ entonces } \lambda_1 \otimes \lambda_2 = (2\lambda_1 - 1)\lambda_2 - \lambda_1 + 1$$

De acuerdo con estos grados de confianza, las expresiones o fórmulas bien formadas serán aceptadas en el proceso de resolución atendiendo a un cierto umbral de aceptabilidad Λ , de manera que si \mathcal{J} es una interpretación de una fórmula bien formada F , y si $C_{\mathcal{J}} \geq \Lambda$, la interpretación \mathcal{J} Λ -satisface F . Otro punto relevante es que ahora la complementariedad entre literales (un concepto fundamental en el proceso de resolución) se redefine, de manera que si $\lambda_1 A_1$ y $\lambda_2 A_2$ son literales y existe una sustitución σ tal que $\lambda_1 A_1 \vee (1 - \lambda_2) A_2$ es una cláusula unidad en Λ (siendo una cláusula unidad una cláusula

²En un proceso de resolución regido por la lógica bivalente, si el valor de verdad de C_1 fuera 0 se utilizaría la cláusula $\neg C_1$ en su lugar. Siguiendo esta misma idea, en el caso multivalorado las cláusulas siempre tendrán un valor de verdad superior a 0,5, pues si una cláusula poseyera un valor inferior a 0,5 sería la negación de esa cláusula la utilizada en el proceso de resolución.

³Se refiere concretamente a la propuesta descrita en [2], donde la incertidumbre se expresa de acuerdo con un valor mínimo y a un valor posible. De esta manera $T(S) = \langle T_n, T_p \rangle$, siendo T_n el valor de verdad mínimo de S y T_p el valor de verdad posible o más probable de S . También es interesante mencionar [10], donde $i(S)$ (la “incidencia” de S) representa las posibles interpretaciones o mundos posibles i_i en los que S es verdadero, $i(S) = \{i_1, i_2, \dots, i_n\}$ y la probabilidad de que S sea verdad es la suma de las probabilidades de las interpretaciones que forman parte de $i(S)$: $Pr(A) = \sum_{j \in i(A)} Pr(J)$.

con un solo literal), ambos serán Λ -*complementarios* bajo esa sustitución.

También se redefine el concepto de consecuencia lógica, de forma que si F y G son dos fórmulas bien formadas,

$$\forall \mathcal{J}, \text{ si } C_{\mathcal{J}}(F) \geq \Lambda \text{ entonces } C_{\mathcal{J}}(G) \geq \Lambda$$

y se demuestra que un proceso de resolución en el que se hace uso de este FOpL cumple las condiciones de completitud y solidez.

En [83] también se propone una modificación del proceso de resolución, donde cada hecho, regla y consulta viene asociado a un determinado valor numérico y se hace uso de los operadores típicos de la Lógica Difusa. De esta manera, cada hecho poseerá un valor de verdad preciso ν expresado de la forma:

$$H(X_1, \dots, X_n) : -|\nu|$$

y cada regla un valor de verdad mínimo a partir del cual todos los hechos que cumplan los subobjetivos de esta regla se consideran válidos ($H(X_1, \dots, X_n) : -|\nu|T_i$). Las preguntas también vienen acompañadas de un valor de verdad de la forma $? - |\nu| - T_i$; si ν fuera una constante, la respuesta sería afirmativa o negativa en función de si los hechos y reglas consultados alcanzan ese umbral de verdad, y si fuera una variable, la respuesta sería el grado de validez que poseen los hechos y reglas consultados. Aunque esta aproximación ofrece un *output* basado en etiquetas lingüísticas (*muy posible, posible, razonablemente posible, etc.*), estas se obtienen mediante una correspondencia directa con valores numéricos, como es el caso de la etiqueta *muy posible*, que acompañaría a una respuesta si su valor de verdad final fuera inferior a 1 pero superior a 0,8 (teniendo en cuenta las definiciones lingüísticas típicas, como es en este caso $\mu_{muy}(x) = \mu^2(x)$).

En [1] se presenta un Prolog Difuso Intuicionista (el InF-Prolog) donde a cada hecho se le asocian dos valores numéricos, un grado de verdad μ y un grado de falsedad γ que deben cumplir la restricción $0 \leq \mu + \gamma \leq 1$. Las estructuras InF pueden ser de tres tipos: un intervalo (cuando se conocen los valores entre los cuales se sitúa el grado), un par de elementos correspondientes a los umbrales de los grados de verdad y falsedad y un par de valores correspondientes directamente a estos grados de verdad y falsedad. En todos los casos las cláusulas InF serán de la forma:

$$\langle H_{\mu}, H_{\gamma} \rangle H : -B \langle B_{\mu}, B_{\gamma} \rangle$$

Uno de los ejemplos más claros de esta aproximación es el de una regla construida mediante estructuras InF de intervalos donde aparecen cuatro pares de valores que representan los valores entre los que se encuentra el grado de verdad de la regla $[\mu_i^h, \mu_s^h]$, los valores entre los que se encuentra el grado de falsedad de dicha regla $[\gamma_i^h, \gamma_s^h]$ y los intervalos de verdad y falsedad correspondientes a la totalidad de los subobjetivos de la regla $[\mu_i^b, \mu_s^b]$ y $[\gamma_i^b, \gamma_s^b]$:

$$[\mu_i^h, \mu_s^h][\gamma_i^h, \gamma_s^h]H : -B_1, \dots, B_n[\mu_i^b, \mu_s^b][\gamma_i^b, \gamma_s^b]$$

Además, y siguiendo con esta notación, los grados de verdad y falsedad de la regla y los subobjetivos son μ_H, γ_H, μ_B y γ_B , respectivamente, y se relacionan entre sí de la forma siguiente:

$$\mu_H = \mu_i^h + \alpha_{\mu}(\mu_s^h - \mu_i^h)$$

$$\gamma_H = \gamma_i^h + \alpha_\gamma(\gamma_s^h - \gamma_i^h)$$

donde

$$\alpha_\mu = \begin{cases} \frac{\mu_B - \mu_i^b}{\mu_s^b - \mu_i^b} & \text{si } \mu_s^b > \mu_i^b \\ \frac{1}{2} & \text{en caso contrario} \end{cases} \quad \text{y} \quad \alpha_\gamma = \begin{cases} \frac{\gamma_B - \gamma_i^b}{\gamma_s^b - \gamma_i^b} & \text{si } \gamma_s^b > \gamma_i^b \\ \frac{1}{2} & \text{en caso contrario} \end{cases}$$

Estas reglas, introducidas en el proceso de resolución, permiten obtener conclusiones en las que se valora el intervalo en el que se encuentra su grado de validez. Por ejemplo, si realizamos la pregunta de qué elementos satisfacen un predicado concreto ($?-pred(X)$) en un programa InF-Prolog, la respuesta sería de la forma:

$$\text{SUCCESS } \mu_i^c : \mu_s^c \\ X = a$$

siendo μ_i^c y μ_s^c valores numéricos.

Años después, en [50] se critica la excesiva precisión de las funciones de pertenencia de la Lógica Difusa, y se propone como solución una generalización de las mismas, transformándolas en funciones que asignan a cada elemento del universo un elemento del álgebra de Borel sobre el intervalo $[0, 1]$ ($A: X \rightarrow \mathcal{B}([0, 1])$), donde $\mathcal{B}([0, 1])$ es una unión de subintervalos de $[0, 1]$. Esto permite, por ejemplo, tener en cuenta dos interpretaciones de un mismo dato, de manera que si los sujetos A y B consideran que la afirmación $P(a)$ tiene un valor de verdad de $[0.3, 0.6]$ y $[0.8, 0.9]$, respectivamente, la conclusión pueda reflejar este hecho determinando que el valor de verdad de $P(a)$ se encuentra en uno de los dos intervalos $\nu(P(a)) \in [0.3, 0.6] \cup [0.8, 0.9]$ ⁴.

La sintaxis propuesta para CIAO-Prolog [57] permitiría expresar, pues, el valor de un determinado hecho de tres formas distintas: mediante un valor exacto $pred(a) \leftarrow \mu$, un intervalo $pred(a) \leftarrow [\mu_i, \mu_s]$ y una unión de intervalos $pred(a) \leftarrow [\mu_i^1, \mu_s^1] \cup \dots \cup [\mu_i^n, \mu_s^n]$, todas ellas expresadas mediante los operadores propios de la $CLP(\mathcal{R})$ “=”, “<”, “>”, “=<” y “>=”. Aquí las cláusulas difusas vendrían indicadas de la forma:

$$H : \sim B_1, B_2, \dots, B_n$$

Una de las ventajas de esta aproximación es que permite determinar cuándo la respuesta ha sido negativa y cuando la respuesta se desconoce debido a la falta de información en el programa. Entonces existen tres opciones con respecto al valor de verdad de una conclusión difusa: $\nu = 0$ (la respuesta no es válida), $\nu \in [0, 1]$ (posee un valor de verdad situado entre 0 y 1) y $\nu = unknown$ (la respuesta es desconocida).

A diferencia de las aproximaciones anteriores, no es hasta [129] que se sugiere el uso de las relaciones de similitud en el diseño de una extensión de la resolución SLD. Desde un punto de vista puramente matemático, el concepto de similitud en un dominio U es

⁴Esta notación también permitiría representar la incertidumbre. Si en lugar de dos opiniones dispares sobre la afirmación $P(a)$ tenemos dos posibles valores de a y no sabemos cuál de los dos es el correcto, el valor de verdad final también se expresaría como la unión de dos intervalos, uno por cada valor posible de a .

un subconjunto difuso $R: U \times U \rightarrow [0, 1]$ reflexivo, simétrico y transitivo, vinculado a las relaciones de equivalencia en el sentido de que si tenemos un valor de corte λ y si $x \approx_{R,\lambda} y$, entonces $R(x, y) \geq \lambda$ (donde $\approx_{R,\lambda}$ puede considerarse una generalización de la relación de identidad). En la extensión propuesta por Sessa (denominada SiLog), todas las cláusulas son similares en un cierto grado superior o igual a un λ dado.

En [64] se parte de esta resolución SLD débil (WSLD en inglés) para construir una nueva extensión de Prolog denominada Bousi \sim Prolog donde se introduce el símbolo \sim para describir una relación de similitud simétrica por medio de la ecuación de similitud:

$$\langle term_1 \rangle \sim \sim \langle term_2 \rangle = \langle \text{grado de similitud} \rangle$$

Dentro del código de Bousi \sim Prolog, esta similitud viene expresada de la forma $sim(a, b, \alpha)$ y, cuando hay varios grados de similitud implicados en la resolución Bousi \sim Prolog hace uso del operador mínimo para obtener el grado de la conclusión.

Por lo tanto, si se tiene la siguiente especificación de similitud:

$sim(\text{motocicleta}, \text{coche}, 0, 8)$

y el hecho

$motocicleta$

Si se realizara la consulta $?-coche.$, la respuesta será afirmativa con un grado de validez de 0,8.

El principal problema de las aproximaciones a la PLB mencionadas hasta este punto es evidente, puesto que todas ellas se fundamentan en las funciones de pertenencia propias de los conjuntos borrosos para la determinación de los grados que miden el emparejamiento parcial entre términos, obteniendo casi siempre valores numéricos dentro del intervalo $[0, 1]$ [29]. Por el contrario, la solución que proponemos busca enriquecer el emparejamiento de Prolog sin incurrir en los problemas y contradicciones a los que conduce esta precisificación de la vaguedad. La principal dificultad reside, pues, en encontrar una forma de expresar y clasificar las relaciones semánticas que existen entre un término vago y el resto de palabras del vocabulario sin hacer uso de ninguna simplificación numérica o matemática. Para ello utilizaremos las relaciones lingüísticas de sinonimia y antonimia ya existentes de nuestro lenguaje, expresándolas a su vez en escalas de acuerdo con ciertos paralelismos con la aproximación de grado analizada en el segundo capítulo de esta tesis⁵⁶.

⁵Es necesario recalcar que la aproximación de grado, en su forma clásica, impone en sus escalas un determinado grado “estándar de comparación” o “normal” que sirve como límite claro entre aquellos grados que representan de manera positiva la dimensión de la escala y aquellos que no. Dado el tratamiento no vago de este formalismo, en el estudio no adoptaremos dicha medida, centrándonos únicamente en la existencia de los grados y de una relación de orden total que nos permita ordenarlos de mayor a menor dentro de una escala.

⁶Las relaciones de sinonimia y antonimia no se pueden reducir a una relación de equivalencia para representar estos emparejamientos (como se hace con las unificaciones sintácticas) ya que existen diferentes categorías dentro de cada una de estas relaciones (sinónimos cognitivos, plesiónimos, etc.) y, dentro de una misma categoría, pueden existir diferentes grados de fortaleza semántica entre términos. En otras palabras, aunque la sinonimia y la antonimia sean relaciones reflexivas y simétricas, no pueden considerarse transitivas ya que aunque exista el mismo grado de similitud entre los términos a y b y los términos b y c , esto no permite afirmar que la relación entre a y c sea la misma que la existente entre a y b y b y c . Se requiere, pues, de una aproximación que permita establecer una medida en cada caso.

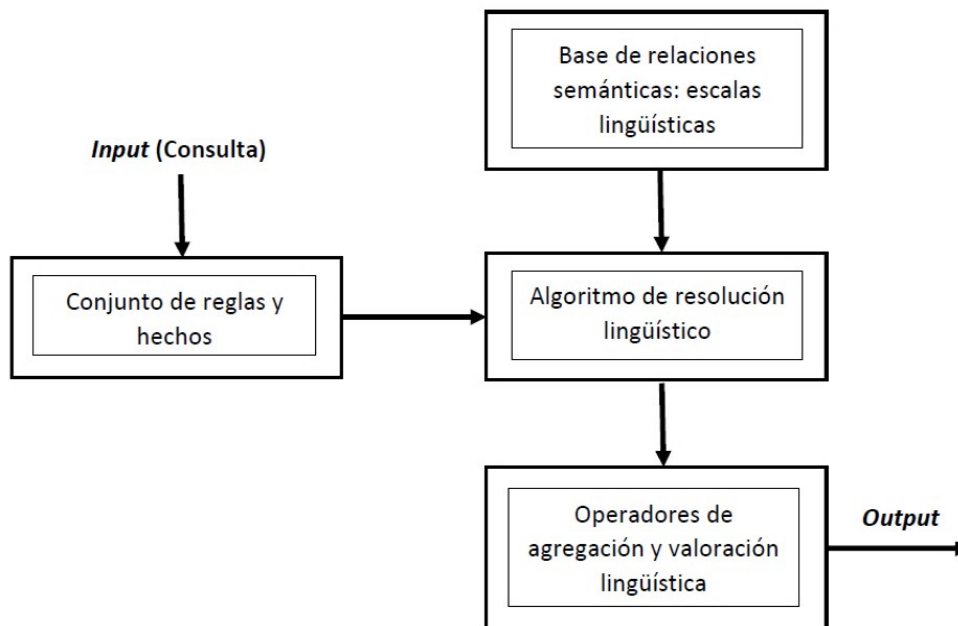


Figura 6.1: Algoritmo de resolución general

Para ilustrar este emparejamiento lingüístico entre términos, supongamos que tenemos el siguiente código:

rico(pasta).

bueno(sushi).

delicioso(paella).

menu(*X*) :- *rico*(*X*).

y un usuario realiza la pregunta “¿Qué incluye el menú?”. De acuerdo con el proceso de resolución expuesto en el anterior punto, la única respuesta que daría Prolog sería “*X*=pasta”. Sin embargo, *bueno* y *delicioso* son sinónimos de *rico*, sinónimos que a su vez dan lugar a respuestas intuitivamente coherentes. La unificación sintáctica actual no tiene en cuenta este punto al basarse en un simple emparejamiento o *matching* tipográfico. Es, pues, necesario establecer otro tipo de emparejamiento, uno que no descarte aquellos términos que no sean idénticos sintácticamente hablando, sino que los ofrezca como posibles soluciones si poseen vecindad o parecido semántico. Hay que tener en cuenta que estas soluciones alternativas nunca poseerán el grado máximo de validez que sí tendría *rico* (al existir diferencias en el contenido semántico), por lo que también habría que establecer un grado asociado a dichas respuestas que dieran una idea al usuario de cuán plausibles son.

Si partiéramos de una aproximación difusa precisa, una posible solución sería asociar a cada par de términos un determinado valor numérico obtenido mediante el cálculo de

un coeficiente de similitud [140, 5]⁷. Sin embargo, lo que aquí se propone es, de acuerdo con los argumentos expuestos en el capítulo segundo, utilizar las herramientas ofrecidas por la aproximación de grado para construir una escala lingüística en la que cada grado represente un posible predicado $pred/n$, de manera que si dentro de una misma escala tenemos los predicados $pred_1$ y $pred_2$, la sustitución de $pred_1$ por $pred_2$ (y viceversa) se considere una sustitución plausible. Esto se debe a que, independientemente del grado de validez que posea dicha sustitución, ambos predicados se están utilizando en el mismo contexto y, por tanto, su contenido semántico hace referencia al mismo concepto (indicado a su vez por la propia dimensión de la escala).

Un ejemplo sería $rel_semantica([(delicioso, exquisito), (rico, apetitoso), bueno], sabor, positivo)$, es decir: una escala de tres posiciones (dos de las cuales son a su vez conjuntos de dos elementos) que contiene todos aquellos predicados que hacen referencia al juicio positivo sobre el sabor. La distribución mostrada correspondería a la clasificación teórica descrita anteriormente para la sinonimia; los términos que ocupan la misma posición de la escala (como son *rico* y *apetitoso*) serían adjetivos cognitivos, mientras que los de las otras posiciones (*rico* y *bueno*, *rico* y *delicioso*) indicarían una relación de plesionimia o sinonimia próxima. Aquí lo importante no es la posición absoluta de un predicado (que *delicioso* esté en el primer puesto o en el último, según el máximo grado de sabor se sitúe a la izquierda o derecha de la escala), sino la posición relativa a los otros predicados, ya que cuanto más cerca se encuentren dos términos el uno del otro, mayor será el grado de validez de una posible sustitución de uno por otro en el proceso de emparejamiento.

El uso de escalas para el emparejamiento semántico de términos vagos es útil no solo en el caso de los términos relacionados mediante la sinonimia. Esto es debido a que si tenemos dos términos a y b , el emparejamiento semántico puede producirse por una de tres opciones: a) porque a y b son el mismo término (emparejamiento sintáctico), b) porque a y b son sinónimos (que es el caso analizado hasta el momento) o c) porque a o b o ambos son locuciones que, aun compartiendo el mismo adjetivo vago, se componen de otros términos o expresiones que modifican el grado al que estos adjetivos hacen referencia. Este último es el caso de, por ejemplo, *bueno* y *extremadamente bueno*, donde el adverbio provoca que se pierda confianza o plausibilidad en la unificación.

Para que el proceso de resolución pudiese manipular correctamente estos adverbios vagos habría que establecer una escala lingüística con los mismos de manera equivalente a lo que hemos hecho antes. Por ejemplo, [*extremadamente*, (*mucho*, *muuy*), *bastante*, *algo*, *poco*, *escasamente*]. De esta manera, *algo bueno* se corresponderá con un grado menor de sabor positivo que *bastante bueno*, y viceversa. Además, y de acuerdo con la propia aproximación de grado, estos términos actuarían a modo de puntero, estableciendo una equivalencia entre las locuciones (*adverbio + adjetivo*) y la escala de sinónimos correspondiente (en la escala indicada como ejemplo de *sabor positivo*, *bastante bueno* haría referencia a los sinónimos *rico* y *apetitoso*, al igual que *extremadamente bueno* sería equi-

⁷Estos coeficientes, situados dentro del intervalo $[0, 1]$ dependen de la cardinalidad del conjunto de sinónimos de cada uno de los términos y/o de la cardinalidad de conjunto obtenido de la intersección, unión o diferencia entre estos dos conjuntos de sinónimos. Un ejemplo es el coeficiente de Jaccard, y otro el coeficiente de superposición. Respectivamente:

$$g_{Jacc}(a, b) = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|}, \quad g_{sup}(a, b) = \frac{|A \cap B|}{\min(|A|, |B|)}$$

valente a *delicioso*), lo cual haría innecesario el diseño e implementación de un proceso de resolución alternativo para estos casos.

Por último, la división de cada escala en dos subescalas (puesto que, de acuerdo a [52], una escala lingüística conformada por adjetivos siempre puede subdividirse en varias subescalas), cada una de ellas con una polaridad opuesta, permite la detección de antónimos en la base de conocimientos (en el conjunto de hechos y reglas que maneja el programa). Y aunque la unificación de dos antónimos es un proceso lógicamente inválido, sí que posee una cierta coherencia, y por ende el programa está diseñado para que en estos casos el proceso de resolución realice dicha unificación y continúe con el proceso hasta alcanzar una conclusión no solo negativa sino que, además, permita señalar a qué paso o emparejamiento semántico se debe dicha invalidez.

Como se verá en el punto siguiente, esto además posibilitaría, dentro del paradigma de los razonamientos silogísticos, analizar premisas negativas desde una perspectiva vaga, y a su vez ofrecer resultados equivalentes a las conclusiones universales negativas.

6.3. Representación lingüística y manipulación de los valores de salida

Como hemos indicado en el capítulo referente a la computación con palabras, todo el proceso de resolución, incluyendo el *input* y el *output*, debe estar expresado en lenguaje natural. Es por eso que los grados de plausibilidad deben ser grados lingüísticos, etiquetas lingüísticas que a su vez permitan una interpretación vaga por parte del usuario, pues la fortaleza o debilidad de la relación semántica existente entre dos términos no es precisa.

En este caso las escalas Likert son consideradas una buena opción, pues permiten expresar un determinado grado de conformidad relacionado con una aseveración o, lo que es lo mismo, con la conclusión o respuesta dada por Prolog. Además, su uso permite una evaluación empírica más sencilla (como se verá en el próximo capítulo), en gran parte porque quizá sea el tipo de escalas de uso más extendido en la actualidad. Para aquellos no familiarizados con este tipo de herramientas, una escala Likert es una escala psicométrica en la que al participante se le presentan una serie de opciones, cada una de las cuales se corresponde con un nivel de acuerdo o desacuerdo concreto. A diferencia de otro tipo de cuestionarios, la escala Likert debe ser simétrica (los puntos que la componen deben ser equidistantes entre sí) y estar en equilibrio (es decir, poseer igual número de puntos negativos que de positivos en torno a un punto central o medio) [84, 14]. Por último, el número total de grados utilizados varía de un caso a otro en función de los parámetros del problema.

En un Prolog lingüístico, las escalas y sus etiquetas lingüísticas nos permitirán construir un proceso de emparejamiento alejado del concepto mucho más restrictivo de equivalencia o igualdad. La unificación entre dos términos no arrojará un fallo cuando ambos no posean identidad ortográfica, sino que realizará una evaluación adicional, a saber: consultar si ambos términos se encuentran dentro de una misma escala, y de ser así determinar cuál es la distancia entre ambos para establecer la fortaleza de la relación semántica.

Supongamos que tenemos el mismo ejemplo anterior:

rico(pasta).

bueno(sushi).

delicioso(paella).

y que el usuario realiza la consulta $?-rico(X)$ (es decir, “¿Qué productos están ricos?”). La primera respuesta será la misma que la ya considerada anteriormente, siguiendo exactamente los mismos pasos: el predicado *rico*/1 encontrará un predicado sintácticamente idéntico en el código, y como ambos predicados poseen la misma aridad, X podrá ser sustituido por el término *pasta*, arrojando como resultado $X=pasta$. En el caso de un Prolog clásico no habría más respuestas, pero en este Prolog lingüístico la traza continuaría, en este caso calculando si existe alguna contradicción entre el hecho *bueno*(sushi) y la negación a la pregunta $\neg rico(X)$. Aunque el predicado sea sintácticamente distinto al de la pregunta, se comprobará si existe una relación semántica entre ambos accediendo a una base de conocimientos de escalas semánticas. Si no hay una escala (asociada, recordemos, a un concepto que hace las veces de dimensión de la escala) en la que se encuentren ambos predicados, la relación semántica entre ambos será inexistente y el programa descartará esa opción. Si, por el contrario, ambos pertenecen a la misma escala, Prolog pasará a determinar la distancia entre ambos. En el caso de [*delicioso, exquisito, (rico, apetitoso), bueno*], daría lugar a un grado g_1 de fortaleza de la relación, diferente al grado g_2 de *delicioso*⁸. En definitiva, la respuesta de un Prolog lingüístico a la pregunta $?-rico(X)$ sería en este caso:

$X = pasta$;

$X = sushi$ (grado g_1);

$X = paella$ (grado g_2).

El problema, sin embargo, se complica si en el razonamiento interviene más de un emparejamiento semántico, debiendo en este caso determinar cuál es el grado de plausibilidad global de la conclusión. Este caso es bastante común en el caso de los razonamientos de estructura silogística, los cuales se componen de una serie de premisas de la forma “ $Q A$ es B ” (aquí Q hace referencia al cuantificador utilizado (como es “todos”, “alguno”, “muchos”, “ninguno”, etc.), A al sujeto de la premisa, B al predicado y *es* a la forma correspondiente del verbo ser o estar). En el caso más clásico de dos premisas y una conclusión, su estructura sería:

Premisa 1: $Q1A1$ es $B1$

Premisa 2: $Q2A2$ es $B2$

Conclusión: $Q3A3$ es $B3$

⁸Hay que tener en cuenta que en esta aproximación los grados g_1 y g_2 no pueden ser elementos numéricos ni precisos, sino términos lingüísticos vagos. Una opción es adoptar la terminología más extendida dentro de las escalas Likert, siendo esta el uso de la locución “de acuerdo” o “en desacuerdo” precedidos por un adverbio (*adverbio + de acuerdo, adverbio + en desacuerdo*) tales como “bastante de acuerdo”, “algo de acuerdo”, etc.).

En un razonamiento sintáctico preciso los términos medios, que sirven de unión entre premisas, serían idénticos ($B1 = A2$), así como el sujeto de la conclusión y el sujeto de la primera premisa, y el predicado de la conclusión y el predicado de la segunda premisa ($A1 = A3$ y $B2 = B3$). Como ya hemos visto, estas restricciones no tienen por qué suceder en el caso de un razonamiento natural en el cual se haga uso de todas las relaciones lingüísticas existentes entre los términos. Se han realizado estudios relacionados con los silogismos difusos, centrados principalmente en la introducción de cuantificadores vagos [172], aunque también en el tratamiento de la vaguedad presente en los términos medios [109]. Sin embargo, cuando se trabaja con un lenguaje de programación como Prolog hay que tener en cuenta que la vaguedad también puede aparecer en la propia formulación de la consulta, que haría las veces de conclusión, o en los hechos que aparecen en las premisas. Es decir, supongamos que tenemos el siguiente código:

prohibido(X) :- *inseguro*(X)

peligroso(X) :- *cortante*(X)

afilado(tijeras).

cuyas reglas podrían traducirse cómo $\forall x(P_1x \rightarrow P_2x)$ y $\forall x(P_3x \rightarrow P_4x)$ o, lo que es lo mismo, “Todo elemento inseguro está prohibido” y “Todo lo que es cortante es peligroso”. Si el usuario quiere saber si podrá llevar consigo unas tijeras y realiza la consulta *?-prohibido*(tijeras) (“¿Están las tijeras prohibidas?”), para llegar a una conclusión válida el razonamiento sería el siguiente:

1. Todo elemento inseguro está prohibido
2. Todo lo que es cortante es peligroso.
3. Las tijeras son afiladas.

Pregunta: ¿Están prohibidas las tijeras?

4. (Sup.) Las tijeras no están prohibidas.
5. (MT 4,1) Las tijeras no son inseguras.
6. (MT 5,2) Las tijeras no son cortantes.
7. (Conj. 3,6) Las tijeras son afiladas y no son cortantes.
8. (RA, 4-7) Las tijeras están prohibidas.⁹

Sin embargo, para alcanzar la conclusión ofrecida en el último punto ha sido necesario realizar dos emparejamientos semánticos, uno en el paso 6 (entre los términos *inseguro* y *peligroso*) y otro en la reducción al absurdo del paso 8 (entre los términos *cortante* y *afilado*). Por ende, el grado de plausibilidad de la conclusión (*prohibido*(tijeras)) dependerá

⁹En este razonamiento, *Sup.* y *Conj.* hacen referencia a la realización de una suposición o una conjunción, mientras que *MT* y *RA* indican que para realizar ese paso ha sido necesario aplicar la regla del *Modus Tollendo Tollens* y el método de Reducción al Absurdo, respectivamente.

a su vez del grado de plausibilidad de cada uno de los dos emparejamientos implicados. En otras palabras, si el grado de fortaleza de la relación semántica existente entre *inseguro* y *peligroso* (para un contexto c) es $g_c(\textit{inseguro}, \textit{peligroso})$, y el grado de fortaleza de la relación semántica existente entre *cortante* y *afilado* es $g_c(\textit{cortante}, \textit{afilado})$, $g_c(\textit{inseguro}, \textit{peligroso})$ y $g_c(\textit{cortante}, \textit{afilado})$ serán los único elementos determinantes a la hora de calcular el grado de validez g_T de la conclusión¹⁰.

Es, por tanto, necesario definir un proceso formal mediante el cual los grados de las relaciones semánticas implicadas den como resultado un solo grado de valoración final.

En el caso concreto de los Sistemas de Inferencia Difusa donde los grados se expresan de forma numérica, una vez obtenido el conjunto de grados de validez

$$(g_{c_1}(x_1, y_1), g_{c_2}(x_2, y_2), \dots, g_{c_N}(x_N, y_N))$$

de los N emparejamientos realizados durante la inferencia, existen varios operadores de agregación posibles para obtener el grado de certidumbre o confianza final de la conclusión. Y aunque existen dos Sistemas de Inferencia Difusa principales, uno propuesto en [94] y otro en [142], ambos coinciden en que las premisas (expresadas de la forma *si... entonces*) están conectadas por el operador \wedge , y por tanto no es necesario hacer distinciones entre uno y otro a la hora de determinar el operador utilizado¹¹:

- 1) Una primera opción se corresponde al operador mínimo (introducido por primera vez en [167]), un operador t-norma que toma el valor mínimo del conjunto de grados de validez de los emparejamientos implicados en el razonamiento (utilizado en gran parte de los trabajos relacionados con emparejamiento parcial tales como [45] y [109]) y que responde a la intuición subyacente según la cual “una cadena es tan fuerte como su eslabón más débil” [115]:

$$g_T = \min_{i=1, \dots, N} g_{c_i}(x_i, y_i)$$

¹⁰Si los términos medios son sinónimos cognitivos o sinónimos próximos, el grado de validez del emparejamiento entre ellos será siempre inferior al obtenido mediante un emparejamiento sintáctico (en un proceso de resolución puramente clásico o sintáctico, si se produce un número N de emparejamientos, $g_{c_i}(x_i, y_i) = 1, \forall i = 1, \dots, N$). Sin embargo, recordemos que también existe la posibilidad de que la relación existente entre ambos no sea de sinonimia sino de hiperonimia/hiponimia al estar uno contenido en el otro. Esta opción no se tiene en cuenta aquí dado que, por lo argumentado en el capítulo cinco, este tipo de relaciones no son útiles en el tratamiento de la vaguedad, y por tanto tampoco pueden formalizarse por medio de escalas, sino mediante la explicitación de la relación de hiperonimia/hiponimia por medio de una base de conocimientos de premisas adicionales. Es el caso de “Algunos hombres son católicos” y “Ningún cristiano es ateo”, cuya conclusión válida “Algunos hombres no son ateos” solo puede alcanzarse mediante la premisa adicional “Todos los católicos son cristianos” (puesto que cristiano es un hiperónimo de católico).

¹¹Los Sistemas de Inferencia Difusa de Mamdani y de Takagi-Sugeno son prácticamente idénticos tanto en la manera de transformar los *input* en premisas difusas como en la aplicación del operador difuso, obteniendo en ambos casos una serie de reglas expresadas matemáticamente de la forma *si x_1 es A_{i1} y... x_n es A_{in}* . La principal diferencia radica en que el *output* del Sistema Mamdani está formado por los *inputs* de la variable y un conjunto difuso (*si x_1 es A_{i1} y... x_n es A_{in} , entonces y_i es B_i*) mientras que el *output* del Sistema Sugeno será siempre una constante o una función lineal (*si x_1 es A_{i1} y... x_n es A_{in} , entonces y_i es $f_i(x)$, siendo $f_i(x) = a_i x^2 + b_i x + c_i$). Como en ambos casos se busca ofrecer un *output*, en el caso del Sistema Mamdani se requiere además un proceso de *defuzzification* que dé como respuesta un número en lugar de un conjunto difuso, por lo que requiere de un mayor coste computacional para generar un *output* válido.*

6. Diseño de un proceso de resolución lingüístico para lenguajes de programación lógica tipo Prolog

- 2) En [148] también se estudia como posibilidad el uso del operador t-conorma máximo (aunque en el artículo mencionado se ofrecen pruebas por las que es más ventajoso utilizar la media aritmética en su estudio sobre la generación de técnicas difusas para patrones de clasificación):

$$g_T = \max_{i=1, \dots, N} g_{c_i}(x_i, y_i)$$

- 3) En [61] se propone la utilización del operador producto en lugar del operador mínimo para determinadas implementaciones dentro de los problemas de clasificación, donde este operador t-norma toma el valor resultante del producto de los grados implicados:

$$g_T = \prod_{i=1}^N g_{c_i}(x_i, y_i)$$

- 4) Por último, la cuarta opción pasa por utilizar la ya mencionada media aritmética, aunque esta no es una t-norma [148]:

$$g_T = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N g_{c_i}(x_i, y_i)$$

Sin embargo, tal y como se indica en [95], en el caso de *inputs* imprecisos en el contexto de un razonamiento aproximado, es importante tener en cuenta el caso en el que un solo emparejamiento no sea válido, pues invalidaría el razonamiento independientemente del resto de emparejamientos. En este caso, por tanto, la expresión ha utilizar sería de la forma:

$$g_T = \begin{cases} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N g_{c_i}(x_i, y_i) & \text{si } g_{c_i}(x_i, y_i) > 0, \quad i = 1, N \\ 0 & \text{en caso contrario} \end{cases}$$

En general, un operador de agregación $g_T: [0, 1]^n \rightarrow [0, 1]$ debe cumplir cuatro propiedades, a saber:

- 1) si todos los elementos del dominio de la función son cero, el resultado debe ser igualmente cero $g_T(0, 0, \dots, 0) = 0$.
- 2) si todos los elementos del dominio de la función son uno, el resultado debe ser igualmente uno ($g_T(1, 1, \dots, 1) = 1$).
- 3) debe ser continuo.
- 4) debe ser monótono.

Aunque, como se acaba de señalar, dado que en el caso de un razonamiento silogístico es importante que el operador arroje un valor mínimo si uno de los emparejamientos implicados no es un emparejamiento válido, se debe sustituir la primera propiedad por:

$$\exists g_{c_i}(g_{c_i} = 0) \rightarrow g_T(g_{c_1}, \dots, g_{c_N}) = 0,$$

En nuestro caso los razonamientos serían puramente lingüísticos, incluyendo cada grado $g_{c_i}(x_i, y_i)$ implicado, por lo que solo disponemos de una relación binaria \leq con la que ordenar estos grados de menor a mayor (de manera que, si g_{c_1} y g_{c_2} pertenecen a la misma escala de similitud E , $g_{c_1} > g_{c_2}$ o $g_{c_2} > g_{c_1}$ al ser E un conjunto totalmente ordenado). En consecuencia, el operador que mejor se ajusta a las características del problema sería *a priori* el operador mínimo, pero en nuestro caso hay que tener en cuenta que no trabajamos con los grados tradicionales de verdad, sino con la distancia entre palabras, por lo que la distancia y la validez del emparejamiento son inversamente proporcionales. Esto conduce a la utilización del operador máximo.

En lenguaje Prolog, este operador puede expresarse de la forma siguiente:

maximo([X],X):-!.

maximo([X, Y/T], V):- X >= Y, *maximo*([X/T], V), !.

maximo([X, Y/T], V):- *maximo*([Y/T], Y), !.

donde la primera línea de código indica que en una lista donde solo hay un elemento, dicho elemento será el máximo de la lista, y las dos siguientes reglas permiten al programa comparar los grados de dicha lista por parejas (descartando en cada caso el menor de los dos) hasta obtener el valor máximo total.

De manera general, el razonamiento seguido por Prolog mediante esta aproximación sería la siguiente:

- 1) Tras introducir la consulta, se realiza la negación de dicha consulta y se busca en el código un predicado que produzca una contradicción.
- 2) En caso de que ese posible predicado contradictorio sea sintácticamente idéntico al predicado de la consulta, se procede de acuerdo con un proceso de resolución clásico. Si eso no ocurre, se busca en la base de conocimientos semántica una escala que contenga ambos predicados (el predicado de la consulta y el predicado de la base de conocimientos).
- 3) En caso de no encontrar una escala que contenga ambos predicados, se establece que no existe contradicción y se repite el proceso para el siguiente predicado. En caso contrario, se mide la distancia existente entre ambos predicados o, lo que es lo mismo, el número de posiciones existentes entre uno y otro en la escala (sin para ello tener en cuenta los predicados que ocupan la misma posición que uno u otro predicado).
- 4) Se asigna una etiqueta lingüística vaga equivalente a esa distancia.
- 5) En caso de que el predicado sea un hecho, se procede directamente al paso 7). Si, por el contrario, el predicado es una regla, se procede a negar los subobjetivos y repetir el proceso con cada uno de ellos hasta que todos los predicados analizados sean hechos.
- 6) Se recogen todas las distancias semánticas obtenidas durante el proceso y se aplica el operador de agregación máximo.

- 7) Si existe una contradicción referente a la negación de la consulta se establece el grado de contradicción relativo a la etiqueta lingüística obtenida en el paso anterior¹².

A diferencia de las aproximaciones anteriores, centradas en el diseño de un Prolog difuso precisificado, este proceso no se fundamenta en un paso intermedio numérico y, por ende, no conforma sus conclusiones en función de datos precisos que, aunque pueden ser razonables, siempre son arbitrarios. Por otro lado, al representar los grados y las valoraciones de salida mediante etiquetas lingüísticas, estos pueden ser interpretados a su vez de forma vaga por el usuario, lo que daría como resultado una traza que no sea contradictoria o incoherente. Así obtendríamos un proceso de resolución puramente lingüístico y, lo que es aún más importante, nos permitiría ofrecer una justificación razonada y natural de todas aquellas conclusiones arrojadas por el programa.

La composición de la traza responde no solo a la necesidad de mostrar al usuario las etiquetas lingüísticas obtenidas hasta llegar a la conclusión, sino a la intención de expresar en lenguaje natural los pasos más relevantes que se han realizado durante el proceso de resolución. Estas operaciones de traducción deben ser de índole general, en cuanto a que las reglas y hechos implicados pueden poseer cualquier aridad y las reglas pueden poseer un número cualquiera de subobjetivos, así como existir un número no especificado de predicados implicados.

En la Figura 6.2 puede verse el *output* lingüístico correspondiente a los primeros dos resultados obtenidos a la pregunta “¿Qué incluye el menú?” del ejemplo anterior (donde dicha regla se cumplía solo si el elemento *X* poseía la propiedad *rico* y donde los elementos *paella* y *pasta* poseían las propiedades *delicioso* y *rico*, respectivamente).

La principal ventaja de este sistema es que el algoritmo permite realizar modificaciones de la traza de forma relativamente sencilla y directa, por lo que el *output* lingüístico se puede ajustar a las necesidades de cada aplicación concreta. Uno de los casos más evidentes es aquel en el que se reduce el carácter general del programa y se limita al tratamiento de silogismos (de un número cualquiera de premisas universal positivas, premisas universal negativas y premisas particulares). Un ejemplo sencillo es el siguiente:

Todo lo que es oscuro da miedo.

Las catacumbas de Paris son tenebrosas.

¿Las catacumbas de Paris dan miedo?

Que, traducido a reglas y hechos de acuerdo a la notación recogida en Prolog, sería de la forma

tenebroso(catacumbas_paris).

miedo(X) :- oscuro(X).

Con el proceso de resolución vago, el resultado no solo sería positivo sino que vendría acompañado de la traza que puede verse en la Figura 6.3.

Como se mencionó anteriormente, también se contemplan las unificaciones no válidas pero en las que se recoge una cierta relación semántica (antonimia, en este caso) con el fin

¹²Para una explicación pormenorizada del algoritmo de resolución, véase el Apéndice A.

?-menu(X).

A continuación se comprueba si la constante definida **menu** puede emparejarse con **menu**. Por ende:

Paso 1: Se establece un emparejamiento sintáctico entre **menu** y **menu**.

Con respecto al argumento antes mencionado...

Paso 2: Se establece un emparejamiento sintáctico entre **paella** y **paella**.

A continuación se comprueba si la constante definida **delicioso** puede emparejarse con **rico**. Por ende:

Paso 3: Se establece un emparejamiento semántico entre **rico** y **delicioso** (con el cual este programa está **bastante de acuerdo**).

Con respecto al argumento antes mencionado...

Paso 4: Se establece un emparejamiento sintáctico entre **paella** y **paella**.

En conclusión, este programa está **bastante de acuerdo** con este resultado.

X = paella ;

A continuación se comprueba si la constante definida **menu** puede emparejarse con **menu**. Por ende:

Paso 1: Se establece un emparejamiento sintáctico entre **menu** y **menu**.

Con respecto al argumento antes mencionado...

Paso 2: Se establece un emparejamiento sintáctico entre **sushi** y **sushi**.

A continuación se comprueba si la constante definida **bueno** puede emparejarse con **rico**. Por ende:

Paso 3: Se establece un emparejamiento semántico entre **rico** y **bueno** (con el cual este programa está **totalmente de acuerdo**).

Con respecto al argumento antes mencionado...

Paso 4: Se establece un emparejamiento sintáctico entre **sushi** y **sushi**.

En conclusión, este programa está **totalmente de acuerdo** con este resultado.

X = sushi ;

Figura 6.2: *Output* lingüístico parcial a la consulta $?-menu(X)$ del ejemplo anterior

de realizar una valoración semánticamente completa en cada problema, siempre coherente y fundamentada en datos empíricos, como sería el caso del ejemplo anterior si añadiéramos la premisa singular *luminoso(casa)* y preguntamos qué elementos son los que dan miedo (Figura 6.4).

De forma general, el *output*, generado de forma automática y correspondiente al análisis de silogismos, se compondrá de las siguientes secciones:

- 1) Un título inicial en el que se indique el número de premisas generales y particulares que han participado en el razonamiento.
- 2) Un índice de siglas y abreviaturas que ayuden al usuario a comprender y seguir el proceso de resolución utilizado.

6. Diseño de un proceso de resolución lingüístico para lenguajes de programación lógica tipo Prolog

```
[debug] ?- *miedo(catacumbas_paris).
```

Análisis semántico de un razonamiento conformado por 1 premisa general y una premisa particular

Índice de siglas y abreviaturas:
MT = Modus tollendo tollens o negación del consecuente.
Sup. = Supuesto.
Conj. = Conjunción.
RA = Reducción al absurdo.

Paso 1: (Premisa general) Todo elemento relacionado con la propiedad **oscuro** está relacionado con la propiedad **miedo**.

Paso 2: (Premisa particular) **catacumbas_paris** está relacionado con la propiedad **tenebroso**

Paso 3: (Consulta) ¿Está **catacumbas_paris** relacionado con la propiedad **miedo**?

Paso 4: (Sup.) **catacumbas_paris** no está relacionado con la propiedad **miedo**.

Paso 5: Se establece un emparejamiento sintáctico entre **miedo** y **miedo**.

Paso 6: De acuerdo al emparejamiento realizado, **catacumbas_paris** tampoco está relacionado con esta última propiedad.

Paso 7: (MT, 4.1) **catacumbas_paris** no está relacionado con la propiedad **oscuro**

Paso 8: Se establece un emparejamiento semántico entre **oscuro** y **tenebroso** (con el cual este programa está **bastante de acuerdo**).

Paso 9: Se establece un emparejamiento sintáctico entre **catacumbas_paris** y **catacumbas_paris**.

Paso 10: (Conj. 2.7) Contradicción: **catacumbas_paris** no está relacionado con la propiedad **oscuro** en un contexto donde "**catacumbas_paris** está relacionado con la propiedad **tenebroso**" es una premisa particular válida.

Paso 11: (RA, 4-10) **catacumbas_paris** está relacionado con la propiedad **miedo**.

En conclusión, este programa está **bastante de acuerdo** con este resultado porque **oscuro** y **tenebroso** pertenecen a la clase de sinónimos próximos que hacen referencia a un grado similar de intensidad.
true ;
false.

Figura 6.3: *Output* lingüístico a la consulta *?-miedo(catacumbas_paris)* del ejemplo anterior, donde intervienen dos sinónimos como términos de unión entre premisas

```
[debug] ?- *miedo(X).
```

Análisis semántico de un razonamiento conformado por 1 premisa general y una premisa particular

Índice de siglas y abreviaturas:
MT = Modus tollendo tollens o negación del consecuente.
Sup. = Supuesto.
Conj. = Conjunción.
RA = Reducción al absurdo.

Paso 1: (Premisa general) Todo elemento relacionado con la propiedad **oscuro** está relacionado con la propiedad **miedo**.

Paso 2: (Premisa particular) **casa** está relacionado con la propiedad **luminoso**

Paso 3: (Consulta) ¿Está **casa** relacionado con la propiedad **miedo**?

Paso 4: (Sup.) **casa** no está relacionado con la propiedad **miedo**.

Paso 5: Se establece un emparejamiento sintáctico entre **miedo** y **miedo**.

Paso 6: De acuerdo al emparejamiento realizado, **casa** tampoco está relacionado con esta última propiedad.

Paso 7: (MT, 4.1) **casa** no está relacionado con la propiedad **oscuro**

Paso 8: Se establece un emparejamiento semántico entre **oscuro** y **luminoso** (con el cual este programa está **totalmente en desacuerdo**).

Paso 9: De acuerdo al emparejamiento realizado, **casa** tampoco está relacionado con esta última propiedad.

Paso 10: (Conj. 2.7) Contradicción: **casa** no está relacionado con la propiedad **oscuro** en un contexto donde "**casa** está relacionado con la propiedad **luminoso**" es una premisa particular válida.

Paso 11: (RA, 4-10) **casa** está relacionado con la propiedad **miedo**.

En conclusión, este programa está **totalmente en desacuerdo** con este resultado porque se ha realizado un emparejamiento no válido entre **oscuro** y **luminoso**, los cuales son antónimos extremos.
X = casa ;

Figura 6.4: *Output* lingüístico a la consulta *?-miedo(X)* del ejemplo anterior, donde se observa el tratamiento de una respuesta coherente pero no válida

3) Los pasos realizados, indicando en aquellos que lo requieran la enumeración de los

pasos anteriores utilizados para la obtención lógica de una aseveración determinada.

- 4) La conclusión general (haciendo uso del operador de agregación adecuado) y un párrafo final, consistente en una o dos frases explicativas (dependiente del tipo de relaciones semánticas implicadas) con el fin de resumir y simplificar la comprensión del resultado final.

Para el caso de las premisas negativas, hemos definido una negación de tipo complementario, de manera que afirmar que “ x no es A ” se considera equivalente a afirmar “ x es B ” cuando A y B están semánticamente vinculados mediante la relación de antonimia y las posiciones de A y B en sus respectivas escalas son posiciones opuestas. Este tipo de negación no solo permite expresar ideas y conceptos de una manera más clara para un usuario no experto, sino que evita el uso de la doble negación durante el razonamiento por reducción al absurdo, algo que habría que evitar en un argumento natural.

[debug] ?- *imaginario(polifemo).

Análisis semántico de un razonamiento conformado por 2 premisas generales y una premisa particular

Índice de siglas y abreviaturas:

MT = Modus tollendo tollens o negación del consecuente.
Sup. = Supuesto.
Conj. = Conjunción.
RA = Reducción al absurdo.

Paso 1: (Premisa general): Ningún elemento relacionado con la propiedad **mitológico** está relacionado con la propiedad **real**

(Nota: En los siguientes pasos se considerará que si un elemento no está relacionado con **real**, eso implica a su vez que sí lo está con **ficticio**).

Paso 2: (Premisa general) Todo elemento relacionado con la propiedad **gigante** está relacionado con la propiedad **mitológico**.

Paso 3: (Premisa particular): **polifemo** está relacionado con la propiedad **gigante**

Paso 4: (Consulta) ¿Está **polifemo** relacionado con la propiedad **imaginario**?

Paso 5: (Sup.) **polifemo** no está relacionado con la propiedad **imaginario**.

Paso 6: Se establece un emparejamiento semántico entre **imaginario** y **ficticio** (con el cual este programa está **totalmente de acuerdo**).

Paso 7: De acuerdo al emparejamiento realizado, **polifemo** tampoco está relacionado con esta última propiedad.

Paso 8: (MT, 5.1) **polifemo** no está relacionado con la propiedad **mitológico**

Paso 9: Se establece un emparejamiento sintáctico entre **mitológico** y **mitológico**.

Paso 10: De acuerdo al emparejamiento realizado, **polifemo** tampoco está relacionado con esta última propiedad.

Paso 11: (MT, 8.2) **polifemo** no está relacionado con la propiedad **gigante**

Paso 12: Se establece un emparejamiento sintáctico entre **gigante** y **gigante**

Paso 13: Se establece un emparejamiento sintáctico entre **polifemo** y **polifemo**.

Paso 14: (Conj. 3.11) Contradicción: **polifemo** no está relacionado con la propiedad **gigante** en un contexto donde "**polifemo** está relacionado con la propiedad **gigante**" es una premisa particular válida.

Paso 15: (RA, 5-14) **polifemo** está relacionado con la propiedad **imaginario**

En conclusión, este programa está **totalmente de acuerdo** con este resultado porque **imaginario** y **ficticio** son sinónimos cognitivos.

true:
false.

Figura 6.5: *Output* lingüístico a la consulta *?-imaginario(polifemo)*, en la que interviene una premisa de tipo universal positiva y otra de tipo universal negativa

Un negación de esta forma nos permite representar los silogismos conformados en parte por premisas de tipo universal negativo, como es el caso siguiente:

Nada que sea mitológico es real.

Todos los gigantes son mitológicos.

Polifemo es un gigante.

El cual generará, ante la pregunta, “¿Es Polifemo imaginario?” la traza o *output* lingüístico de la Figura 6.5.





7. Aproximación empírica

De acuerdo con lo expuesto anteriormente, el tipo de relación semántica entre dos términos (así como la intensidad de la misma) vendría determinada por su posición relativa dentro de una escala lingüística. De esta manera, midiendo la distancia entre dos términos se puede, al menos teóricamente, realizar una evaluación expresada en lenguaje natural, utilizando en todo momento términos vagos que no entren en conflicto con la intuición u opinión personal del usuario. Para este fin es necesario aplicar una técnica capaz de ordenar totalmente un conjunto de términos vagos con respecto a una dimensión (algo que trataremos en el apartado 1.2 de este capítulo), y a su vez desarrollar un algoritmo empírico capaz de traducir la información contenida en dicha escala a un *output* lingüístico (puntos 1.1 y 1.3).

7.1. Valoración natural empírica de la separación semántica entre términos

Además de la aproximación difusa de la que hace uso la computación con palabras, existen dos teorías principales con respecto a la naturaleza semántica de los adjetivos vagos (tal y como ya hemos visto en el capítulo segundo de este estudio): la aproximación descrita en [74] y la aproximación de grado. En el primer caso estos adjetivos son funciones parciales dependientes del contexto que, de acuerdo con una clase de comparación C , subdividen los elementos que poseen la cualidad caracterizada por dicho adjetivo en tres grupos o extensiones. En el segundo caso, los adjetivos simplemente establecen una relación entre elementos y grados de una escala. Dentro de esta última aproximación existen a su vez dos subconjuntos de teorías, a saber: aquellas que defienden la naturaleza abstracta de los grados [155, 70], y aquellas según las cuales los grados y sus escalas asociadas surgen a raíz de agrupar una serie de elementos mediante relaciones transitivas y reflexivas en clases de equivalencia ([22],[75],[80] y [153], entre otros). Las clases de equivalencia se ordenarían de esta manera, estableciendo acto seguido una función de medida que permitiría, dado un nuevo individuo, situarlo en la clase de equivalencia a la que pertenece. En [3] y [4] Bale propone una variante para el caso de aquellos adjetivos asociados a una unidad de medida (temperatura a grados centígrados, por ejemplo), donde las medidas en sí (-7 , 12 , 35 grados centígrados, etc.) actuarían como individuos. En otras palabras, las estructuras de las escalas serían isomórficas con respecto a aquellas asociadas a los sistemas de medida.

La aplicación de una u otra aproximación es una decisión fundamental, ya que determina el formalismo y la estructura que da lugar a las escalas lingüísticas. En [136] se realiza un estudio empírico sobre este punto con el fin de, mediante el análisis del uso que hacen

los hablantes de determinados adjetivos de acuerdo con un contexto dado, determinar cuál de estas opciones se aproxima más a la realidad.

Básicamente, existen dos posibles estructuras para las escalas lingüísticas de los términos vagos: escalas ordinales y escalas de medidas. Las primeras se caracterizan por permitir únicamente la comparación entre dos de sus elementos (establecer la verdad o falsedad de $a > b$ perteneciendo a y b a la misma escala), sin importar en ningún caso la distancia real existente entre ellos (eliminando el valor de realizar cualquier otra operación matemática como es la suma o resta de dos grados). Las segundas, por el contrario, contienen la suficiente información para determinar no solo el orden de sus miembros sino también el intervalo que les separa, una opción que sería incompatible con la perspectiva no abstracta de los grados iniciada por Cresswell. La aproximación de Klein, como es evidente, tampoco sería compatible con ninguna de estas dos opciones pues no reconoce la existencia de estructuras conformadas mediante grados. Estas diferencias e incompatibilidades permiten establecer una relación experimental directa, probando o refutando estas aproximaciones de acuerdo con el tipo de escalas que reflejen mejor nuestro uso del lenguaje.

Los experimentos realizados por Solt y Gotzner se mostraron concluyentes en los siguientes puntos:

- 1) No hay indicios que apoyen el formalismo propuesto por Klein, y sí a favor de la existencia de los grados en la estructura semántica de los adjetivos vagos.
- 2) No hay ninguna diferencia cualitativa entre aquellos adjetivos asociados a un sistema numérico de medidas (tales como *alto*) y aquellos que no lo están (tales como *bello*).
- 3) Las respuestas de los participantes se producen de manera independiente a los elementos que conforman la clase de comparación ofrecida (y, por ende, tienen acceso a una noción de grado no construida sobre dicha clase).

En conclusión, ofrecen un argumento más a favor de la solidez del formalismo propio de las aproximaciones de grado, haciendo especial hincapié en que la concepción abstracta de los grados parece ser más adecuada para el tipo de juicios lingüísticos que realizan los seres humanos. Esto es así hasta el punto de que la existencia o no de unidades de medida asociados a un adjetivo tampoco parece determinar el uso de una u otra estructura para su escala.

Este resultado es importante dado que la aproximación gradual de Kennedy es la única que permite sin ningún tipo de excepción el uso de las escalas de medida, precisamente las que se requieren para recoger la suficiente información semántica como para permitir un juicio natural sin necesidad de recurrir a operaciones matemáticas o precisas.

Sin embargo, la estructura de una escala de medida obliga a plantearse la cuestión de cuál es la distancia que existe realmente entre dos de sus miembros. Al mismo tiempo, para que se pueda establecer un *output* lingüístico en cada uno de los pasos del razonamiento (un requisito a priori fundamental dentro de la computación con palabras), es necesario establecer una correlación entre la evaluación lingüística de la conclusión de un razonamiento y la separación existente entre los adjetivos valorativos implicados dentro de una escala.

Con tal fin se ha realizado un experimento que permite establecer algunas pautas generales para la introducción de juicios coherentes no precisificados de razonamientos vagos

en un sistema automático no supervisado y que, de forma más general, sirve como un nuevo argumento a favor de una teoría de la vaguedad empírica que pueda ser sistematizada sin la necesidad del uso de ningún método precisificado.

7.1.1. Metodología

El experimento consistió en un cuestionario, repartido entre 38 alumnos, profesores e investigadores pertenecientes al ámbito universitario, cuyas preguntas estaban subdivididas en tres partes, siendo la primera una serie de cuestiones de carácter general referentes a la edad, nivel de conocimiento del castellano y nivel de estudios del participante. La edad media de los participantes obtenida fue de 25,2 años y, puesto que todos indicaron que el castellano era su lengua madre y no se detectaron irregularidades en las respuestas (las dos únicas condiciones que hubieran permitido descartar a un participante), los datos contenidos en los 38 cuestionarios fueron aceptados como válidos¹.

7.1.2. Materiales y procedimientos

Para este experimento se utilizaron cuatro adjetivos valorativos, dos de ellos asociados a un sistema de medida (como es la edad para *anciano* y la temperatura para *caliente*) y otros dos (*guapo* y *divertido*) que, al menos de manera numérica, no pueden ser medidos.

Aunque hay varias categorías gramaticales que presentan un comportamiento vago, se decidió centrar el estudio en los adjetivos puesto que en la mayoría de casos son estos quienes, junto a los adverbios, introducen la vaguedad en nuestro lenguaje. Además, “la gramática tradicional ha reconocido el grado como uno de los accidentes gramaticales del adjetivo”, ya que “expresan propiedades, características o dimensiones que, sin variar de manera cualitativa, pueden, en cambio, variar cuantitativamente” [85].

Con respecto al cuestionario en sí, su segunda parte estaba compuesta de 12 textos breves ordenados de manera aleatoria, cada uno de los cuales presentaba una serie de premisas expresadas con sencillez, enriquecidas de forma que fuera siempre evidente cuál era el contexto que se estaba utilizando en cada caso. A continuación se les presentaba una posible conclusión, y finalmente se les preguntaba cuál era su grado de conformidad con dicha conclusión mediante una escala Likert de siete puntos [84].

Un ejemplo extraído del propio cuestionario es el siguiente:

TEXTO: “El director de casting de una película pone en varias páginas web el siguiente anuncio: ‘se necesita actor maduro para una nueva campaña de perfumes’. Al día siguiente su asistente llega a su despacho y le dice que hay un candidato esperando en la sala. Cuando el director le pregunta sobre el aspecto de dicho candidato, el ayudante le dice que es un anciano.”

PREGUNTA: “¿Estás de acuerdo con la afirmación ‘el candidato cumple con los requisitos del anuncio’?”

OPCIONES: 1) Totalmente de acuerdo, 2) Bastante de acuerdo, 3) Algo de acuerdo, 4) Ni de acuerdo ni en desacuerdo, 5) Algo en desacuerdo, 6) Bastante en desacuerdo, 7) Totalmente en desacuerdo.

¹El estudio y los resultados aquí descritos provienen de [154], artículo presentado en el Congreso Español sobre Tecnologías y Lógicas Fuzzy (ESTYLF 2018), dentro de la XVIII Conferencia de la Asociación Española para la Inteligencia Artificial.

Las premisas y la conclusión sugeridas formarían un silogismo tradicional, excepto porque aquí los términos medios de ambas premisas no eran idénticos (*maduro* y *anciano*), sino que uno de ellos era siempre uno de los cuatro adjetivos principales utilizados y el otro un sinónimo de este. Estos sinónimos se han escogido en base a la clasificación extraída de las obras de Cruse, Palmer y Lyons ya analizadas en su capítulo correspondiente, de manera que a lo largo de los 12 textos se pudiese estudiar la relación entre cada uno de los cuatro adjetivos principales (como *anciano*) y todas las categorías sinónimicas existentes, es decir: a) un sinónimo cognitivo (como *viejo*), b) un sinónimo próximo que haga referencia a un grado superior al que hace referencia el adjetivo principal (como *senil*) y c) un sinónimo próximo que haga referencia a un grado inferior al que hace referencia el adjetivo principal (como *maduro*), todos ellos recogidos en WordNet [34]. Para una lista completa de los adjetivos utilizados véase la Tabla 7.1.

Tabla 7.1: Clasificación semántica de los doce sinónimos utilizados, uno por cada uno de los 12 textos presentados

	Sin. Cognitivo	Sinónimo próximo 1	Sinónimo próximo 2
Anciano	Viejo	Senil	Maduro
Caliente	Cálido	Ardiente	Tibio
Guapo	Bonito	Precioso	Agraciado
Divertido	Entretenido	Alegre	Animado

En la última parte del cuestionario se presentaron al participante cuatro conjuntos de palabras ordenadas al azar con el fin de que las colocase donde considerase correcto dentro de una escala de diez posiciones (el número de posiciones fue elegido con el fin de que existiera espacio suficiente para que cada participante situase la distancia que considerase oportuna entre cada par de palabras sin que el tamaño de la escala influyese en su decisión). Cada conjunto estaba formado, como puede verse en la Tabla 7.2, por uno de los adjetivos principales, los tres sinónimos utilizados en la segunda parte del cuestionario (Tabla 7.1) y uno o dos sinónimos nuevos más.

Tabla 7.2: Grupos de adjetivos utilizados en la tercera parte del cuestionario

Edad	maduro, envejecido, canoso, senil, viejo, anciano
Temperatura	tibio, ardiente, cálido, templado, caliente
Belleza	guapo, precioso, bonito, cautivador, agraciado, atractivo
Diversión	divertido, alegre, animado, entretenido, ameno

Para finalizar, a cada participante se le preguntaba si había habido algún conjunto especialmente difícil de ordenar, pudiendo además justificar su respuesta.

7.1.3. Predicciones y resultados

La parte del experimento correspondiente a los 12 textos y sus escalas Likert asociadas tenía como primer objetivo determinar si, al utilizar términos de unión entre premisas

distintos gramaticalmente entre sí, y a pesar de ser ambos sinónimos, estos modificaban las condiciones de verdad del razonamiento tal y como parece indicar nuestra intuición. Los resultados apoyaron esta idea, puesto que las respuestas no se distribuían uniformemente entre los siete puntos de la escala Likert, sino que se agrupaban en torno a un determinado valor (como puede verse en la Figura 7.1). De nuevo, estos resultados son un argumento a favor de una aproximación multivalorada al problema de los razonamientos naturales, pues presentan un tipo de comportamientos del que no puede dar cuenta un tratamiento de la vaguedad bivalente (algo que solo sería posible si las respuestas se limitasen al primer o último punto de la escala Likert en cada pregunta).

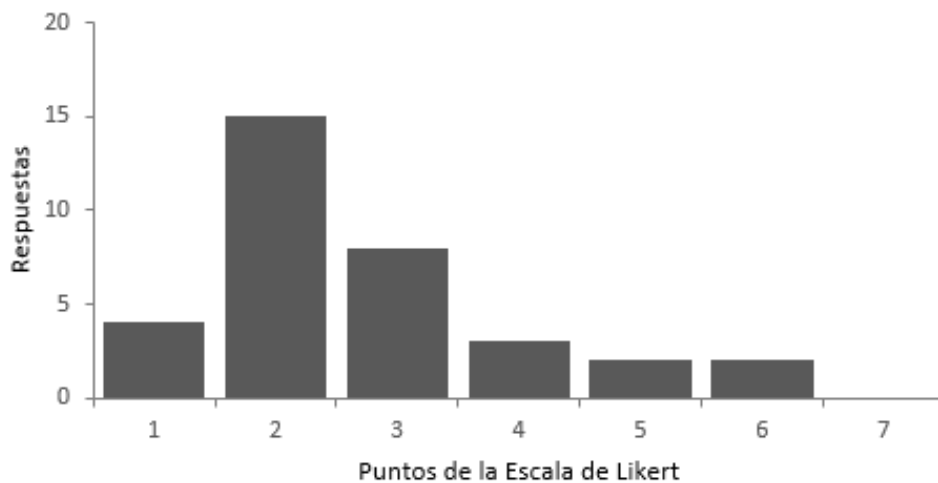


Figura 7.1: Distribución de las respuestas para el caso de los sinónimos “anciano” y “senil” en una escala Likert de siete puntos

Un resultado interesante correspondiente a la última parte del experimento fue que, a pesar de lo expuesto por Solt y Goltzner, los adjetivos asociados a una unidad de medida resultaron más fáciles de ordenar y presentaron una mayor homogeneidad en las respuestas que en los otros casos, probablemente debido a que, aunque los grados se traten como entidades abstractas, los hablantes tienden a utilizar estas unidades de medida en su lugar, tal y como sugería el trabajo de Bale antes mencionado. Esto debe tenerse en cuenta, pues puede ser, a su vez, otra razón que explique por qué las condiciones de verdad de una conclusión se ven modificadas.

Con respecto a la correspondencia entre la distancia entre términos elegida en la tercera parte, y la valoración lingüística seleccionada en la segunda parte, el resultado puede verse en la Figura 7.2.

El eje de las ordenadas se corresponde a la distancia entre dos términos que pertenecen a la misma escala obtenida en la tercera parte y está formado por valores numéricos que van de 0 a 5 (0 es equivalente a “dos términos situados en la misma posición”, 1 a “dos términos situados en posiciones adyacentes”, etc.), mientras que el eje de las abscisas está formado por 7 puntos correspondientes a los siete puntos de la escala Likert (siendo 1 equivalente a “Totalmente de acuerdo”, 2 a “Bastante de acuerdo”, etc...). Al mismo tiempo, los 12 puntos se corresponden a los doce pares de palabras estudiados, cuyas coordenadas x-y han sido obtenidas mediante los valores medios de los resultados de la segunda y tercera parte del cuestionario, respectivamente. Las barras de error están

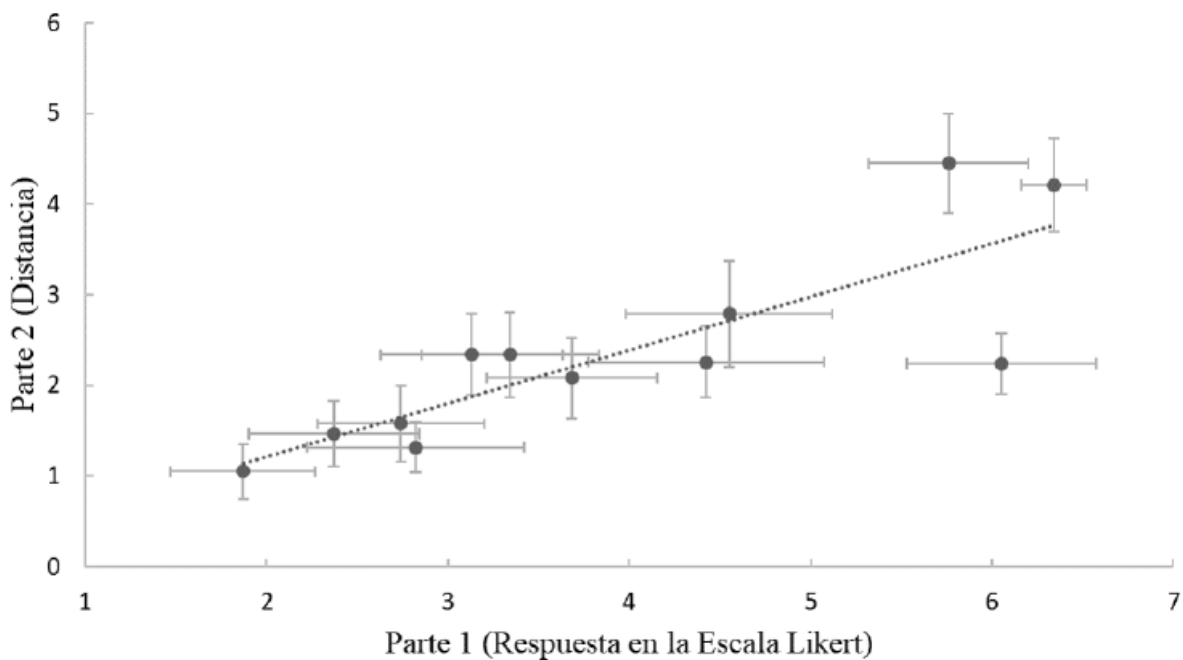


Figura 7.2: Representación de los datos del estudio y su ajuste por mínimos cuadrados

representadas a partir de los valores de la segunda y cuarta columna de la Tabla 7.3 y representan sus intervalos de confianza (para un valor de confianza del 95 %).

Teniendo todos estos valores en consideración, la recta representada en la gráfica es una estimación obtenida mediante la técnica de mínimos cuadrados con un coeficiente de determinación o R^2 de 0,70, valor que refleja la muy buena calidad del ajuste².

En general, estos resultados nos han llevado a concluir dos puntos fundamentales para nuestra aproximación, siendo el primero que en un razonamiento natural la sustitución de una palabra A por un sinónimo $SinA$ se interpreta siempre como una pérdida de las condiciones de verdad de la conclusión, llegando hasta el punto de considerarse inválida en ciertos casos. Además, esta pérdida de las condiciones de verdad está relacionada de forma prácticamente lineal con la distancia que, de manera intuitiva, existe para el hablante entre A y $SinA$, y que puede reflejarse dentro de una escala lingüística obtenida de manera empírica.

Esto se ajusta a la premisa principal de la aproximación gradual según la cual el contenido semántico-cognitivo de los adjetivos se expresa mediante los grados a los que estos hacen referencia. Es evidente que cuanto más alejados estén los grados de A y $SinA$ dentro de una misma escala, mayores serán los cambios introducidos en las condiciones de verdad de la conclusión del silogismo al sustituir un término medio por otro.

Si las implicaciones de nuestro experimento resultan correctas, en estos casos ya no sería necesario reducir el contenido semántico de una palabra a valores numéricos mediante la Lógica Difusa para su tratamiento no supervisado. Entonces un lenguaje de programación lógica como Prolog podría arrojar más soluciones que las aportadas actual-

²Denominado coeficiente de determinación o de correlación múltiple, se define como la proporción de la varianza total de la variable que es explicada por la regresión. Se utiliza para determinar la calidad con la que las estimaciones del modelo se ajustan a la variable y toma valores entre 0 y 1, de manera que cuanto más próximo se encuentre a 1, mayor será el ajuste de dicho modelo.

Tabla 7.3: Valores representados en la Figura 7.2

Par de palabras	Valor $\underline{P1}$	Conf $\underline{P1}$	Valor $\underline{P2}$	Conf $\underline{P2}$
Anciano-Senil	2,74	0,46	1,58	0,42
Anciano-Viejo	1,87	0,40	1,05	0,30
Anciano-Maduro	5,76	0,44	4,45	0,55
Caliente-Tibio	6,34	0,18	4,21	0,51
Caliente-Cálido	2,82	0,60	1,32	0,28
Caliente-Ardiente	6,05	0,52	2,24	0,34
Guapo-Bonito	2,37	0,47	1,47	0,36
Guapo-Agraciado	3,34	0,49	2,34	0,47
Guapo-Precioso	4,42	0,65	2,26	0,39
Divertido-Entretenido	4,55	0,57	2,79	0,59
Divertido-Animado	3,13	0,50	2,34	0,45
Divertido-Alegre	3,68	0,47	2,08	0,45

mente, valorando el grado de verdad de cada conclusión de manera lingüística midiendo únicamente la distancia entre los grados asociados a cada término dentro de una escala.

Para lograrlo se podría, tal y como se ha explicado en el capítulo anterior, diseñar un método resolutivo que simule la manera de juzgar una conclusión de los seres humanos modificando el proceso de unificación de Prolog con una nueva regla según la cual el emparejamiento entre dos palabras se produzca siempre y cuando pertenezcan a la misma escala en el contexto dado, incluyendo a continuación un “grado de coherencia” a dicho emparejamiento por medio de la distancia existente entre ambos grados.

La principal dificultad de la propuesta no numérica es, en definitiva, la construcción de una escala lingüística para cada una de las dimensiones referidas, tarea especialmente complicada dado que las bases de datos léxicas como WordNet no recogen la información correspondiente al orden o intensidad de los términos graduables, y que comentaremos con más detalle en el siguiente punto.

7.2. Clasificación y ordenamiento de los términos graduables

Existen varias aproximaciones al ordenamiento de los adjetivos de acuerdo con la intensidad o grado al que hacen referencia, y una de las más relevantes es la aproximación de los AdjScales [130, 131], basada a su vez en los Patrones de Horn [58]. Estos patrones léxico-semánticos son palabras o cadenas cortas de palabras que permiten comparar las intensidades de dos adjetivos de acuerdo con sus posiciones más frecuentes con respecto a dichos patrones. De esta manera, el patrón *if not* permitiría determinar la intensidad de N_1 con respecto a N_2 de la forma $g(N_1) >_c g(N_2)$ para un contexto c determinado si N_1 *if not* N_2 es menos frecuente que N_2 *if not* N_1 ³.

³Los trabajos de Sheinman y Tokunaga relacionados con la aplicación de patrones lingüísticos para el análisis de las relaciones semánticas entre términos se fundamentan en parte en [24], donde se establece que

El proceso puede subdividirse en cinco pasos: subdivisión, extensión, formación de una estructura intermedia, generación de escalas y unificación.

Partiendo de un conjunto de palabras seleccionado previamente de manera que todos sus elementos hagan referencia a una misma dimensión o propiedad (por ejemplo, $W = \{\text{frío}, \text{templado}, \text{gélido}, \text{caliente}\}$), y del hecho ya mencionado según el cual una escala lingüística de adjetivos puede siempre subdividirse en varias subescalas [52], el primer paso es separar dicho conjunto en dos subescalas de antónimos, juntando aquellas palabras que hacen referencia a un grado positivo de dicha propiedad ($W_{pos} = \{\text{templado}, \text{caliente}\}$), y aquellas que hacen referencia a un grado negativo ($W_{neg} = \{\text{frío}, \text{gélido}\}$). Una vez obtenidos estos subconjuntos, el siguiente paso (la extensión) consiste en incluir todos aquellos términos similares a los términos ya incluidos en las subescalas haciendo uso de una base de datos léxica como WordNet (por ejemplo, si *fresco* estuviese registrado como un término similar a *frío*, este pasaría a formar parte del conjunto de términos contenidos en W_{neg} , igual que podría pasar en el conjunto W_{pos} con el término *ardiente*).

En un paso previo a la generación de escalas, y para reducir el tiempo de computación requerido, se selecciona el adjetivo más relevante o útil de cada conjunto, siendo este aquel que aparece con más frecuencia en un corpus lingüístico. Acto seguido, se utilizan los patrones de Horn para ordenar cada uno de estos conjuntos. En concreto, si poseemos una expresión de la forma $p(w_1, w_2)$ (es decir, un patrón p cuya primera y segunda posición están ocupadas por w_1 y w_2 , respectivamente), se compara la frecuencia df con la que aparece $p(\text{adjetivo principal}, \text{sinónimo})$ y $p(\text{sinónimo}, \text{adjetivo principal})$, enfrentando cada término del conjunto con el adjetivo más relevante encontrado en el paso anterior. Para que los resultados sean de mayor confianza, no basta con que una expresión aparezca más veces que la otra, sino que debe hacerlo un número significativamente superior, lo cual viene indicado por el parámetro denominado *peso*; a su vez, el número de apariciones de la expresión dominante en el corpus también debe ser superior a un mínimo o *límite*. Estas dos condiciones se expresan de la siguiente forma:

$$df(p(w_1, w_2)) > \text{peso} \cdot df(p(w_2, w_1))$$

$$df(p(w_1, w_2)) > \text{límite}$$

Esta búsqueda permite subdividir los términos de un conjunto en aquellos que hacen referencia con mayor intensidad que el término principal al parámetro del conjunto, y aquellos que hacen referencia al mismo con menor intensidad, lo que admite aplicar los patrones de Horn en los términos de cada uno de estos subconjuntos, realizando así el ordenamiento final que acaba por transformar los conjuntos iniciales en un conjunto totalmente ordenado (por ejemplo, $[\text{gélido}, \text{frío}, \text{fresco}]$ y $[\text{templado}, \text{cálido}, \text{caliente}, \text{ardiente}]$). Por último, ambas escalas se unifican en una sola por los dos lados más alejados de los extremos superiores e inferiores de la escala. Es decir, por la palabra más suave de cada una de las subescalas ($[\text{gélido}, \text{frío}, \text{fresco}, \text{templado}, \text{cálido}, \text{caliente}, \text{ardiente}]$).

Una aplicación de este método puede encontrarse en [132], donde se sugiere que los AdjScales podrían utilizarse para incluir la relación semántica de intensidad existente

es posible extraer de manera automática estos conjuntos de patrones de un corpus lingüístico. A su vez, y partiendo de una pareja de términos conectados entre sí mediante una determinada relación semántica, en ese estudio se aplican esos patrones para el reconocimiento de nuevos términos que compartan esa misma relación, y se evalúa su validez mediante la respuesta de preguntas tipo SAT por parte de seres humanos.

entre los adjetivos graduables que aparecen en WordNet, lo que incrementaría su utilidad dentro del campo del Procesamiento del Lenguaje Natural.

A partir del método de los AdjScales también se han desarrollado nuevas aproximaciones al problema como la que se describe en [25], donde se siguen utilizando los Patrones de Horn para el ordenamiento de términos graduables pero con un 32 % de reducción de error relativo con respecto a Sheinman y Tokunaga gracias en parte a no utilizar buscadores web como corpus (pues, como se indica en [72], esa clase de resultados son inestables e irreproducibles), sustituyéndolos a su vez por los *Google n-grams* [7], y a la posibilidad de extenderse con más facilidad a otros idiomas además del inglés. Este método denominado MILP (*Mixed Integer Linear Programming*) tampoco realiza un primer ordenamiento en torno al adjetivo más relevante (pues a veces da lugar a resultados erróneos incluso con los corpus más completos), sino que establece una comparativa dos a dos de todos los adjetivos implicados en el conjunto ajustándose a los parámetros propios de estos n-grams al utilizar patrones de una longitud máxima de 5 palabras. El valor o puntuación final que obtienen dos términos w_1 y w_2 se calcula mediante la ecuación (siendo $cnt()$ una función de conteo):

$$score(a_1, a_2) = \frac{(W_1 - S_1) - (W_2 - S_2)}{cnt(a_1)cnt(a_2)}$$

donde

$$W_1 = \frac{1}{P_1} \sum_{p_1 \in P_{ws}} cnt(p_1(a_1, a_2))$$

$$W_2 = \frac{1}{P_1} \sum_{p_1 \in P_{ws}} cnt(p_1(a_2, a_1))$$

$$S_1 = \frac{1}{P_2} \sum_{p_2 \in P_{ws}} cnt(p_2(a_1, a_2))$$

$$S_2 = \frac{1}{P_2} \sum_{p_2 \in P_{ws}} cnt(p_2(a_2, a_1))$$

$$P_1 = \sum_{p_1 \in P_{ws}} cnt(p_1)$$

$$P_2 = \sum_{p_2 \in P_{ws}} cnt(p_2)$$

Una vez obtenidas estas puntuaciones el siguiente paso es ordenar los términos w_i en una misma escala. Si $score(w_i, w_j)$ es positivo, $x_i < x_j$ (siendo x_i la posición en la escala del término w_i), y viceversa. Por ese motivo es necesario maximizar la función:

$$\sum_{i,j} sgn(x_j - x_i) score(a_i, a_j)$$

donde $sgn()$ es la función signo, el cual nos dará el orden relativo de x_i y x_j , y la función $score()$ permitirá resolver contradicciones al dar más peso a aquellos pares de términos con una puntuación mayor (los denominados “ciclos de restricción global”, donde algunas

puntuaciones parecen contradecir el orden general de la escala y deben ser eliminadas). Esta maximización se realiza con el método de programación lineal MILP que da nombre a esta propuesta.

Cabe destacar que, aunque en el método MILP se ordenan los términos en una escala $[0, 1]$, en ningún momento estos valores numéricos pretenden determinar de manera precisa la diferencia o distancia existente entre dos términos. Son valores estadísticos obtenidos mediante la función de conteo $cnt()$, y se utilizan para establecer un orden empírico que refleje la forma en la que aparecen estos términos normalmente en un corpus.

Además de estas dos aproximaciones, existen otros métodos utilizados en el ordenamiento de escalas que no hacen uso de los patrones lingüísticos.

En [116] se hace uso del denominado método *MeanStar*, el cual utiliza las valoraciones personales de los usuarios de un cierto número de productos o servicios. Para que sea una valoración válida, esta debe cumplir dos requisitos: primero, que venga acompañada de una puntuación numérica introducida por estos mismos usuarios, y segundo que haya un adjetivo en su título. De esa forma es fácil establecer una correlación entre la puntuación y dicho adjetivo.

Concretamente, en el artículo de Rill et al. hicieron uso de las opiniones disponibles de los clientes de Amazon⁴ (que, en el momento de realizar el estudio, era de aproximadamente 6,9 millones). En un siguiente paso realizaron un etiquetado gramatical de los títulos de estos artículos (*part-of-speech tagging* o *POST* en inglés), y de los artículos que resultaron poseer un adjetivo en su título descartaron aquellos que a) estaban escritos en modo subjuntivo, b) estaban escritos a modo de pregunta, c) expresaban ironía o d) contenían la palabra *pero* justo a continuación del adjetivo. Por último se extrajo la locución de la que formaba parte el adjetivo siendo el más común aquel formado por uno o varios adverbios (muchas veces con un determinante intercalado entre el adverbio más próximo al adjetivo y el adjetivo en sí) y se seleccionaron aquellos artículos que solo poseían un adjetivo o locución que expresara opinión para evitar la existencia de dos o más valoraciones diferentes dentro del mismo título. Después de aplicar estos filtros, el número total de valoraciones utilizables fue de 2,9 millones.

El siguiente paso fue calcular la puntuación numérica media que viene asociada a cada adjetivo o locución i mediante la expresión:

$$SR_i = \frac{\sum_{j=1}^n S_j^i}{n}$$

donde S_j^i es cada una de las valoraciones y n es el número de artículos en el que aparece ese adjetivo o locución. Dado que la idea era ordenar estos valores en una escala $[-1, +1]$, se realizó la transposición correspondiente (calculando en cada caso su desviación y error estándar):

$$OV_i = \frac{SR_i - 3}{2}$$

Esta aproximación, aunque sencilla, ofrece resultados muy buenos para el caso de los adjetivos polares incluso en comparación con un *gold standard* totalmente supervisado [121]. Sin embargo, el método está limitado a aquellos adjetivos que aparecen en un determinado contexto (el de las valoraciones de productos y servicios) por lo que es especialmente útil para adjetivos de calidad como *excelente*, *bueno* o *mediocre*, pero no

⁴<https://www.amazon.es>

tanto para otros que hagan referencia a, por ejemplo, la dimensión o duración de algo. Además, para que pueda ser aplicado requiere de metadatos extrínsecos (en este caso la existencia de una valoración numérica asociada al término), condición que restringe su uso a corpus construidos *ad hoc*.

Una alternativa al método MeanStar es aquella que hace uso de las paráfrasis para el ordenamiento de términos [20]. A diferencia de las aproximaciones basadas en Patrones de Horn, esta mide la equivalencia entre un adjetivo y una frase (generalmente de la forma $MAdj_u \leftrightarrow Adj_v$, siendo M un adverbio de intensidad) para el ordenamiento de estos en una escala. Así, si se estableciese una paráfrasis entre *maravilloso* e *increíblemente bueno*, el adverbio de intensidad *increíblemente* serviría como prueba de que $bueno < maravilloso$ ($Adj_u < Adj_v$).

Cocos y Wharton recomiendan para ello el uso de la *Paraphrase Database* (PPDB) [44, 105], a partir del cual forman un grafo *JJGraph* compuesto por 36k paráfrasis adjetivales de la forma antes mencionada. Para identificar los adverbios intensificadores (tales como *very* o *really*) se realiza una aproximación de *bootstrapping*. Primero se selecciona un par de términos (adj_u, adj_v) conformado por un adjetivo (*hard*) y su superlativo (*hardest*) o su comparativo (*harder*), y se obtienen aquellos adverbios de intensidad que modifican adj_u hasta formar una paráfrasis con adj_v (*very hard* \leftrightarrow *harder*). En el segundo paso se utilizan estos adverbios para extraer más pares de adjetivos (adj'_u, adj'_v) con la misma relación de intensidad que los anteriores (*very pleasant* \leftrightarrow *delightful*), y finalmente, haciendo uso de estos nuevos pares de adjetivos, se extraen nuevos adverbios de intensidad (*more pleasant* \leftrightarrow *delightful*). Utilizando este método, de entre los 36k paráfrasis analizados se encontraron más de 600 adverbios de intensidad.

Para puntuar el ordenamiento $adj_u < adj_v$ entre 0 y 1 utilizan la siguiente expresión:

$$score_{pp}(adj_u, adj_v) = \frac{1}{1 - \exp^{-wx_{uv}}} - 0.5$$

siendo w y x_{uv} vectores de características y cuyo resultado será positivo o negativo si $adj_u < adj_v$ o $adj_v < adj_u$ respectivamente, y cero si no hay conexión entre ambos en *JJGraph*.

Una vez obtenido este valor se aplica el método MILP mencionado anteriormente, pudiendo así situar cada adjetivo en su lugar correspondiente a lo largo de la escala $[0, 1]$.

En [73] se sugiere el uso de un modelo lingüístico de redes neuronales recurrentes (*RNNLM*), y más concretamente de los espacios continuos de representaciones de palabras que se extraen a partir de este, los cuales a su vez pueden representar regularidades sintácticas y semánticas entre palabras [99, 100]. En esta aproximación cada palabra a estaría asociada a un vector w_a , por lo que la diferencia entre un par de vectores $w_a - w_b$ reflejará la transformación sintáctica o de significado de a de acuerdo con la relación lingüística que le une a b (*rey - hombre* representará el concepto de monarca sin un género específico, pudiéndole añadir uno a continuación y logrando que *rey - hombre + mujer* equivalga al término *reina*).

Dados dos términos y su vector asociado, se puede determinar fácilmente cuál es el término medio entre ambos realizando el cálculo $w_b + (w_a - w_b)/2$. En el caso de los adjetivos semánticamente relacionados, esos términos medios poseerán propiedades escalares relacionadas con la misma dimensión a la que están asociados a y b (como es el caso de los términos positivos, comparativos y superlativos, donde la forma comparativa siempre

se encontrará en un punto intermedio entre la forma positiva y la forma superlativa). Si, por ejemplo, tomásemos dos términos antónimos como son *limpio* y *sucio*, los términos que aparezcan entre medias pertenecerán a un continuo semántico y, por ende, harán referencia a un grado mayor o menor de limpieza o suciedad. Es decir, pertenecerán a la misma escala.

Por último, también existe la opción de establecer un método de ordenamiento entre adjetivos que, a diferencia de los anteriormente mencionados, sea supervisado, como es el caso de los *gold standards* descritos en [162]. Para generar una escala de este tipo se establece un método que a su vez puede subdividirse en dos partes claramente diferenciadas, la primera de ellas consistente en la obtención de un conjunto de términos pertenecientes a la misma escala, y la segunda en el ordenamiento de dicho conjunto, utilizando en ambos casos la Teoría de Consenso Cultural (*Cultural Consensus Theory* o *CCT* en inglés) desarrollada en [118] y [159] y fundamentada en una serie de modelos y técnicas de análisis que pueden utilizarse para valorar las creencias culturales de un conjunto de individuos estimando el grado de consenso existente entre ellos.

En un paso previo, se escogen algunas palabras asociadas a una misma dimensión y del conjunto resultante se escoge al azar un término, un término antónimo del primero y un tercero que puede ser tanto un sinónimo como un antónimo de éste. Estos tres términos (diferentes en cada caso) se presentan a continuación en un cuestionario, y se le pide al participante que añada todas las palabras que considere parecidas o similares a estas, un método de obtención de información ya utilizado en [158]. Dado que las tres palabras presentadas a cada participante no siempre son las mismas, se genera una matriz de correlación, comparando las respuestas de cada uno, de manera que si un participante dio como respuesta una palabra w , y al mismo tiempo un segundo participante recibió w como una de las tres palabras escogidas, se asume que este segundo participante también habría añadido w como palabra válida. Igualmente, si dos participantes reciben la misma palabra destacada, no se asume que ninguno de los dos la hubiera añadido para evitar que un participante sea “recompensado” por el simple hecho de recibir el mismo término que otro participante. En un paso posterior se realiza un análisis factorial de los resultados, y se calcula el ratio entre los autovalores obtenidos, de manera que se acepta la existencia de un consenso si dicho ratio es de un mínimo de 3:1 (tal y como se defiende en [159]). Finalmente, las palabras que han sido obtenidas por consenso se presentan en un nuevo cuestionario, esta vez situadas de forma aleatoria, y se procede al ordenamiento de las mismas.

Este último método, al ser supervisado, asegura unos resultados mejores que los de los otros métodos (sacrificando, eso sí, la posibilidad de aplicarlo de manera eficiente a todos los adjetivos graduables que componen un lenguaje), y por tanto suelen utilizarse como *gold standards* con los que comparar el resto.

Aunque tanto en este caso como en los métodos anteriores se ha hablado del ordenamiento de adjetivos, la mayoría de ellos pueden aplicarse a otras categorías gramaticales como es el caso de los adverbios [122]. También hay que tener en cuenta que hay otros trabajos paralelos a estos que proponen sistemas capaces de identificar aquellos términos considerados “graduables” con el fin de incluir esta categoría en los diccionarios y thesaurus [53, 161], una herramienta que simplificaría muchos de los estudios aquí mencionados.

Como puede verse, dados los métodos existentes actualmente para el ordenamiento de términos, existen numerosas fuentes desde las que obtener escalas que recojan de manera

válida y coherente el ordenamiento entre términos de acuerdo con las necesidades generadas por el tipo de razonamientos naturales incluidos en el programa. Sin embargo, la complejidad y características de todas ellas dificultan su aplicación de manera extensiva y no supervisada para la generación de escalas completas. Y, lo que es también importante, dado que ninguno de estos métodos permite establecer la distancia entre términos, limitándose a generar escalas ordinales (insuficientes para nuestra aproximación), es necesario diseñar un método que permita recoger este tipo de datos y que a la vez resulte sencillo de aplicar, sin por ello perder información fundamental en el proceso.

7.3. Juicios valorativos y conjuntos de intensidad: simplificación estructural

Si partimos de la aproximación de grado para la formalización del contenido semántico de un término vago, ya hemos visto que en los extremos de una escala se sitúan términos que no exhiben un comportamiento gradual. Es el caso de *maravilloso* en el contexto de “sobresalir de sus óptimas cualidades”, que a diferencia de *bueno* no acepta modificadores de grado tales como **muy maravilloso* o **poco maravilloso*. Al mismo tiempo, en el punto anterior se ha visto cómo en métodos como los AdjScales de Sheinman y Tokunaga se da por válida la existencia de un término más útil, relevante o característico que el resto de términos de una escala (*bueno*, por ejemplo), el cual a su vez presenta siempre un comportamiento gradual y por ende no suele situarse en el extremo de dicha escala. Por último, si nos centramos en una de las dos subescalas (de polaridad positiva o negativa) que forman cada escala lingüística, el contrapunto a los términos extremos de la escala lo dan aquellos términos que hacen referencia a un grado próximo a la subescala contraria y que suelen denominarse *términos suaves* (como es *acceptable* en el ejemplo anterior). Esto permite subdividir una escala en seis categorías diferentes y que, en orden desde un extremo a otro, son: términos extremos de polaridad positiva, términos medios de polaridad positiva, términos suaves de polaridad positiva, términos suaves de polaridad negativa, términos medios de polaridad negativa y términos extremos de polaridad negativa.

En el experimento del apartado 7.1 los cuatro adjetivos característicos eran términos medios y se estudiaba su emparejamiento con un adjetivo de cada una de las tres categorías con igual polaridad. Lo interesante, más allá de los resultados ya expuestos, fue que los datos sugerían que los participantes seleccionaban una distancia similar entre los términos medios y los términos extremos incluso aunque estos perteneciesen a escalas diferentes, algo que se repetía para la distancia entre términos medios y términos suaves. De ser esto cierto, serviría como indicio de que el ser humano utiliza escalas con estructuras similares o equivalentes en sus comparaciones semánticas. En otras palabras, el juicio valorativo que se establece en dos unificaciones entre dos sinónimos a y b y a' y b' sería similar o incluso idéntico siempre y cuando $a, a' \in S_i^p$ y $b, b' \in S_j^p$, donde S_i^p y S_j^p son subconjuntos de términos de una escala que comparten una misma polaridad p y que son equivalentes a una de las seis categorías antes mencionadas (S_e^{pp} , S_m^{pp} , S_s^{pp} , S_e^{pn} , S_m^{pn} y S_s^{pn}).

Partiendo de esta premisa, el problema de la obtención de escalas semánticas para el razonamiento natural no supervisado se podría subdividir en tan solo dos pasos: la obtención de un conjunto de términos que hagan referencia a una misma dimensión, y el reparto de los mismos en esos seis conjuntos, un procedimiento mucho más sencillo e

intuitivo que facilitaría la obtención de escalas con un ratio elevado de consenso. Además, establecer escalas semántica de estructuras más rígidas permitiría una mayor estabilidad en las respuestas al no depender estas únicamente del número de términos existentes entre medias de ambos términos analizados, evitando así que la ausencia o inclusión de un término en la escala pueda modificar todas las valoraciones obtenidas a partir de ella.

Un argumento a favor puede encontrarse en el siguiente estudio.

7.3.1. Metodología

El experimento se realizó por medio de un cuestionario diseñado y puesto a disposición de los participantes en la plataforma Amazon MTurk (véase [141] para un argumento a favor de la validez de MTurk para la obtención de juicios lingüísticos). Esta vez el cuestionario ha consistido en dos partes, la primera de las cuales se componía una vez más de una serie de preguntas de carácter general. Por otro lado, solo se permitió la participación a aquellos que viviesen en España (para favorecer un uso del lenguaje similar en todos los casos, evitando en la medida de lo posible las diferencias existentes en el uso del castellano entre otros países hispanohablantes), y que a su vez tuviesen un porcentaje de HITs (siglas de *Human Intelligence Tasks*) aprobadas superior al 96%. En total se recibieron 53 respuestas, descartando a dos participantes por no contestar a varias de las preguntas y a un tercero por poseer un nivel de castellano insuficiente, y pagando 0,20 dólares a los 50 restantes. La edad media fue de 34,6 años, y 17 de ellos indicaron poseer estudios de posgrado, 25 estudios de grado y 11 estudios de secundaria o bachillerato.

7.3.2. Materiales y procedimientos

Utilizando criterios similares al anterior experimento, para este segundo cuestionario se utilizaron diez adjetivos valorativos, la mitad de ellos asociados a un sistema de medida. Para la selección de términos (todos ellos obtenidos en WordNet) se siguió la clasificación dada en [26] según la cual la categoría gramatical de los adjetivos se subdivide en siete categorías semánticas ⁵:

- 1) Adjetivos que hacen referencia a dimensiones como largo, ancho, peso... (*gordo, estrecho, etc.*).
- 2) Adjetivos que hacen referencia a características puramente físicas (*suave, caliente, etc.*).
- 3) Adjetivos que hacen referencia a un color (*blanco, rojo, etc.*).
- 4) Adjetivos que hacen referencia a comportamientos, actitudes, inclinaciones o características propias del carácter de los seres humanos y de ciertos animales (*celoso, violento, etc.*).
- 5) Adjetivos que hacen referencia a la edad (*infantil, viejo, etc.*).

⁵Aunque en un principio esta clasificación solo es válida para los adjetivos propios del inglés británico, se considera que por sus características, así como por las similitudes existentes entre ambas lenguas, también puede aplicarse al caso de los adjetivos castellanos.

6) Adjetivos que hacen referencia a la calidad o a la cualidad (*caro, bueno, etc.*).

7) Adjetivos que hacen referencia a la velocidad (*rápido, lento, etc.*).

De estas siete categorías, descartamos los adjetivos de color y velocidad (por ser las dos categorías más específicas y por tanto con menos elementos en su haber) con el fin de reducir el tamaño del cuestionario a unas dimensiones adecuadas y acordes a la plataforma utilizada, y seleccionamos dos adjetivos de cada una de las cinco categorías restantes.

El cuestionario en sí consistió, pues, en 10 textos breves ordenados de manera aleatoria, cada uno de los cuales presentaba una situación de contexto inequívoco en el que, en algún momento, aparecía uno de los diez adjetivos elegidos, y a continuación se presentaban cuatro posibles frases a modo de conclusión, todas ellas de estructura sintáctica similar pero con la presencia de un adjetivo distinto en cada una. Finalmente, al participante se le ofrecía una escala Likert de 7 puntos (idéntica a la utilizada en el primer experimento) para cada una de las conclusiones ofrecidas, y se le pedía que valorase su grado de acuerdo o desacuerdo en cada caso.

Uno de los textos fue el siguiente:

TEXTO: “En el consulado se celebra una fiesta por el centésimo aniversario de la nación. Es una cena de gala en el que asistirán diplomáticos de todo el mundo, así que el organizador del evento necesita encontrar un violinista **magnífico** que entretenga a los invitados. Por ese motivo. . .”

OPCIONES:

- 1) “escoge un **buen** violinista para la fiesta.”
- 2) “escoge un violinista **excelente** para la fiesta.”
- 3) “escoge un violinista **decente** para la fiesta.”
- 4) “escoge un violinista **nefasto** para la fiesta.”

RESPUESTAS POSIBLES PARA CADA CONCLUSIÓN: 1) Totalmente de acuerdo, 2) Bastante de acuerdo, 3) Algo de acuerdo, 4) Ni de acuerdo ni en desacuerdo, 5) Algo en desacuerdo, 6) Bastante en desacuerdo, 7) Totalmente en desacuerdo.

De esta manera, cada texto sirve para evaluar el emparejamiento del adjetivo con otros cuatro adjetivos, escogidos a su vez entre las seis categorías de intensidad mencionadas anteriormente. Para una lista completa de los adjetivos utilizados véase la Tabla 7.4.

Tabla 7.4: Adjetivos valorativos de carácter vago presentes en el estudio

Categoría semántica	Adjetivo principal 1	Adjetivos presentes en las conclusiones	Adjetivo principal 2	Adjetivos presentes en las conclusiones
Dimensión	grande	pequeño, diminuto, intermedio, enorme	corpulento	robusto, flaco, gordo, obeso
Propiedad física	caliente	tibio, frío, ardiente, fresco	crítico	grave, débil, bueno, normal
Inclinación	nervioso	tranquilo, inquieto, histérico, adormecido	carismático	carismático, cautivador, amable, tímido
Edad	anciano	viejo, maduro, joven, adolescente	maduro	anciano, senil, muchacho, adulto
Valor	caro	Costoso, barato, inasequible, tirado (de precio)	magnífico	bueno, excelente, decente, nefasto

7.3.3. Predicciones y resultados

El objetivo principal de este experimento era estudiar la posible existencia de un patrón de valoración compartido por aquellos pares de términos que perteneciesen a los mismos dos conjuntos de intensidad. De esta manera, centrándonos primero en las relaciones de sinonimia, podrían esperarse cuatro patrones: a) uno correspondiente a los pares de términos pertenecientes al mismo conjunto de intensidad, b) otro correspondiente a aquellos pares compuestos por un término extremo y uno medio, c) otro correspondiente a aquellos pares compuestos por un término medio y un término suave, y d) un cuarto correspondiente a aquellos pares compuestos por un término extremo y uno suave.

Seguindo los resultados obtenidos en el primer experimento (según los cuales los términos extremos se situaban más próximos a los términos medios que los términos suaves), se esperaba obtener resultados que reflejasen una valoración extremadamente positiva (primera posición de la escala Likert) para el caso a), seguida por una pérdida leve de validez en el caso b) y una posible valoración negativa para los casos c) y d).

Los resultados no se alejaron mucho de este esquema. En la Figura 7.3 puede apreciarse la distribución obtenida mediante los emparejamientos realizados entre pares pertenecientes a un mismo conjunto de intensidad, donde el eje de las ordenadas presenta en tanto por ciento las respuestas de los participantes y el eje de las abscisas se corresponde a los 7 puntos de la escala Likert, comprendiendo desde 1 ("Totalmente de acuerdo con la conclusión") a 7 ("Totalmente en desacuerdo con la conclusión"). En este caso, casi todas las respuestas muestran un comportamiento similar, existiendo (de acuerdo con la Teoría de Consenso Cultural) un consenso evidente en cuanto a valorar el emparejamiento con la primera opción de la escala ya que el ratio entre esta y el resto de opciones es muy superior a 3:1.

En el caso b), la distribución obtenida está representada en la Figura 7.4. De nuevo, la respuesta es claramente positiva, con una mediana centrada en la segunda posición de la escala ("Bastante de acuerdo")⁶.

Sin embargo, al analizar las respuestas dadas individualmente a cada emparejamiento, pueden observarse dos tipos de comportamientos muy diferentes: aquellos en los que las respuestas se distribuyen mayormente en torno a la segunda opción (manteniéndose la mediana invariable en estos casos) y aquellos en los que existe una preferencia hacia la tercera opción, aumentando incluso el número de casos que consideran el emparejamiento no válido (véase un ejemplo de cada caso en la Figura 7.5).

Esto puede deberse a una cuestión puramente pragmática, donde la diferencia gradual entre ambos términos se percibe de manera positiva en unos casos y negativa en otros debido a la inversión connotativa que se produce al sustituir uno por otro en la mayoría de oraciones. De acuerdo con esta posibilidad, el emparejamiento entre *carismático* y *cautivador* o entre *crítico* y *grave* se consideraría válido puesto que ambos adjetivos poseen para el hablante una misma connotación con respecto al contexto en el que se presentan, mientras que en el caso de *caliente* y *ardiente* la sustitución de un grado por otro conllevaría un "exceso negativo" que cambiaría el contenido semántico de la oración (debido a que *caliente* posee unas connotaciones claramente positivas mientras que esto no es así para *ardiente*). Esta explicación secundaría el análisis realizado por [92], el cual determina

⁶Aquí, al igual que en los datos representados en la Figura 7.7, se ha utilizado la mediana en lugar de la media debido a que la distribución obtenida no es normal sino asimétrica (en este caso concreto, sesgada a la izquierda)

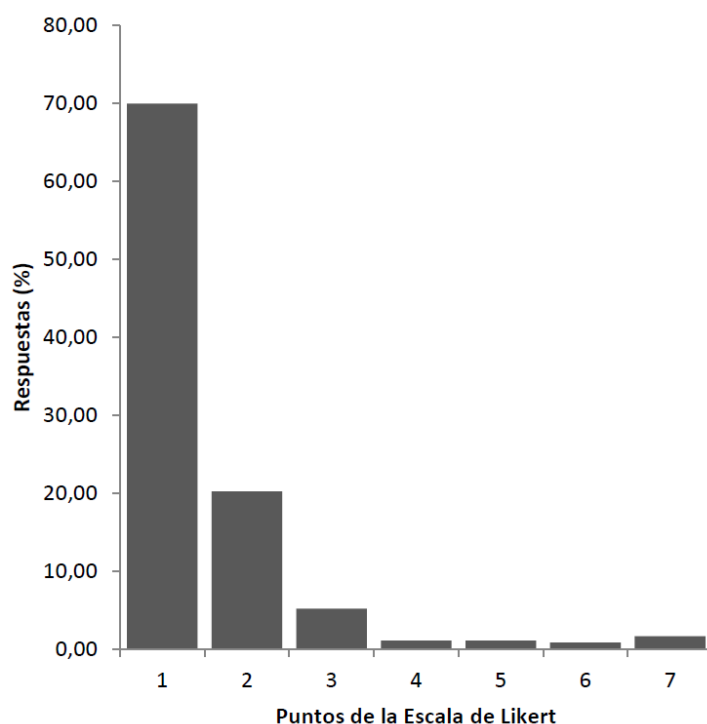


Figura 7.3: Distribución de las respuestas para el caso de un emparejamiento entre dos términos pertenecientes al mismo conjunto de intensidad

que, dada la dificultad (e incluso imposibilidad) de separar el significado descriptivo del expresivo, la mejor manera de analizar la proximidad semántica entre dos términos es estudiando el tipo de implicación que sugieren y que en el caso de Lyons se podían dividir en “aprobación”, “desaprobación” e implicación “neutra”.

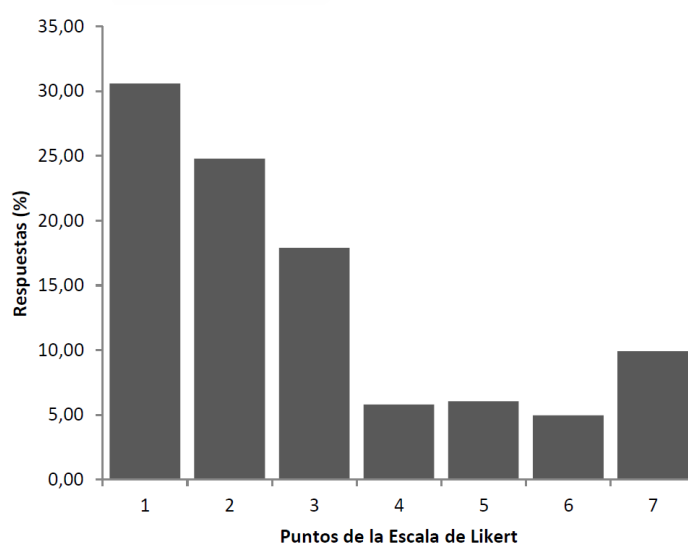


Figura 7.4: Distribución de las respuestas para el caso de un emparejamiento entre dos términos, uno de ellos extremo y otro medio

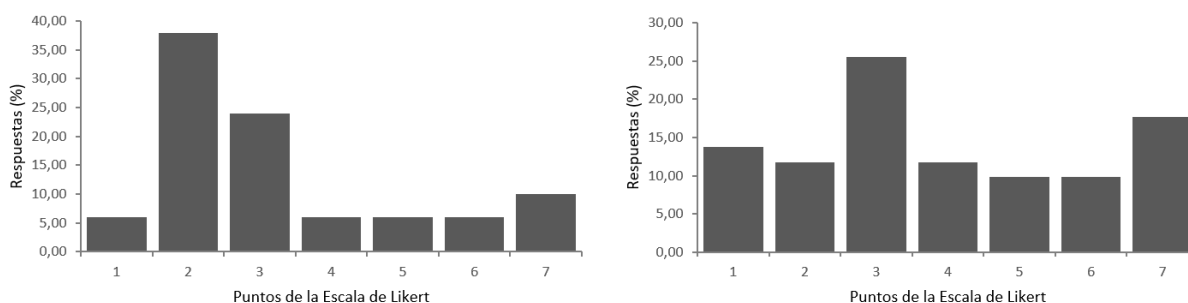


Figura 7.5: Distribución de las valoraciones a la cuestión 8B del experimento referente al emparejamiento de *carismático* con *cautivador* (izquierda) y a la cuestión 3C, referente al emparejamiento de *caliente* con *ardiente* (derecha)

El caso c) es quizá el más complejo de los cuatro debido a que más de la mitad de las respuestas se agrupan en la zona central de la escala, entre una valoración negativa y una positiva al emparejamiento (Figura 7.6). Tanto la media como la mediana se sitúan en el valor intermedio “Ni de acuerdo ni en desacuerdo”, pero hay que tener en cuenta que esta opción no sería representativa de las valoraciones adoptadas por los participantes. Esto se debe a que, al ser el grado intermedio o neutral de una escala Likert, una elección semejante solo sería válida si realmente existiera una mayoría de respuestas agrupadas en ese punto. Sin embargo, los resultados establecen una distribución similar entre la posición 3 (“algo de acuerdo”) y 5 (“algo en desacuerdo”), por lo que una alternativa mejor en este caso sería adoptar la moda.

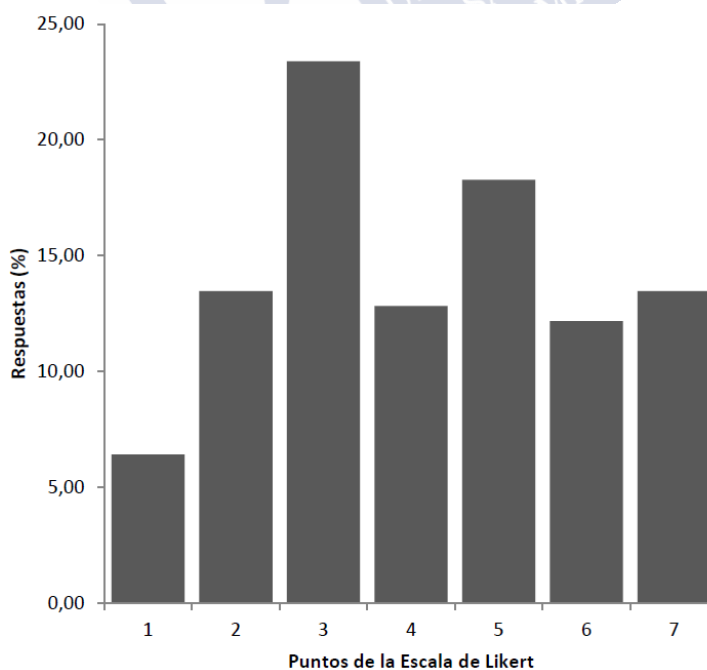


Figura 7.6: Distribución de las respuestas para el caso de un emparejamiento entre dos términos, uno de ellos medio y el otro suave

La distribución referente al caso d) puede observarse en la Figura 7.7. Igual que en

el caso b) se observa una distribución asimétrica (aunque aquí se encuentra sesgada a la derecha), y tanto la mediana como la moda se sitúan en el quinto punto de la escala ("Algo en desacuerdo"). Esta distribución desfavorable al emparejamiento concuerda con las predicciones previas, así como con los resultados del anterior experimento según los cuales, aunque los términos extremos y los términos suaves son sinónimos, la distancia entre ambos grupos se antoja excesiva para el hablante.

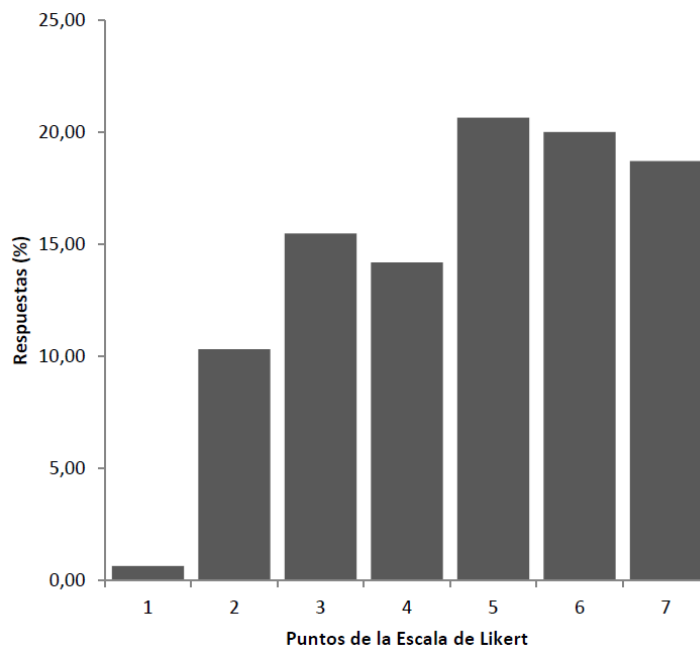


Figura 7.7: Distribución de las respuestas para el caso de un emparejamiento entre dos términos, uno de ellos extremo y el otro suave

En términos generales, los resultados en los casos a), b) y d) apenas discrepan de las predicciones iniciales, con una valoración muy positiva en el caso de un emparejamiento entre sinónimos cognitivos, algo menor entre términos extremos e intermedios y negativa en el caso de que la unificación se produzca entre términos extremos y suaves. La mayor dificultad radica en la relación semántica entre términos medios y suaves (caso c), donde aunque el número de valoraciones *algo positivas* es superior (algo que se ve con más claridad en las distribuciones individuales de muchas de las preguntas), la existencia de un porcentaje elevado de individuos que consideran este tipo de unificaciones no válidas es también importante.

La influencia del contexto a la hora de responder también ha sido especialmente evidente en el caso b), reforzando con ello la idea de que las unificaciones entre términos, aunque resaltadas y señaladas de forma clara, nunca son valoradas de manera independiente al contexto. Es fundamental en trabajos futuros resolver el problema de la desambiguación, así como encontrar un modo claro de clasificar estos posibles contextos, para establecer una valoración próxima a la de los seres humanos en la computación con palabras de razonamientos vagos.

Otro resultado importante que ya había aparecido en el primer estudio empírico es el hecho de que la sustitución de un término por su sinónimo no solo se percibe como una pérdida de las condiciones de verdad, sino que a su vez puede conducir a una valoración

negativa de la misma, algo fundamental en el caso de una serie de premisas donde una sola unificación negativa invalida por completo la conclusión. Los términos mal llamados *medios* no se encontrarían entonces en el centro de cada una de las dos subescalas, sino más próximos a los términos *extremos*, quizá como resultado de su mayor uso por parte de los hablantes (con el fin de indicar el exceso o carencia de una determinada cualidad) en comparación con aquellos denominados *suaves*, siempre próximos a sus antónimos, lo cual corroboraría la tendencia descrita en [126] según la cual los seres humanos tienden a polarizar experiencias y juicios. Este tipo de apreciaciones solo han sido posibles gracias al uso de escalas explícitamente bipolares, una mejora con respecto a las ordenaciones numéricas donde el salto de una polaridad a otra se produce de acuerdo con una elección arbitraria y, por ende, mucho más brusca y más difícil de justificar.

Finalmente, los antónimos introducidos en el cuestionario tenían como finalidad comprobar el grado de invalidez que indicaban los hablantes, y si existía alguna diferencia en dicha valoración con respecto a la distancia entre los tres conjuntos de intensidad de una subescala y los tres conjuntos de la subescala de polaridad opuesta.⁷ Una representación resumida de los resultados puede verse en la Figura 7.8.

El eje de las ordenadas representa los puntos de la escala de Likert elegidos (de nuevo, 7 equivale a “Totalmente en desacuerdo”, etc.) y el eje de las abscisas la distancia existente entre dos conjuntos de intensidad (por ejemplo, 1 correspondería a dos conjuntos de términos suaves, cada uno situado en su subescala correspondiente). Así pues, cada punto representa la media de todas las valoraciones correspondiente al emparejamiento producido entre dos antónimos cuyos conjuntos se sitúan a una misma distancia. Las barras de error corresponden a intervalos de confianza (para un valor de confianza del 95 %), y el ajuste ha sido realizado por mínimos cuadrados con un R^2 elevado ($R^2 = 0,89$).

De estos resultados se pueden concluir dos hechos concretos: primero, que ninguno de los resultados apunta hacia una valoración negativa suave, centrando todas las respuestas entre la sexta y la séptima posición de la escala, y segundo que, aunque no se produzca un cambio muy grande en función de la distancia a la que se sitúa un término con respecto a su antónimo en la escala, sí que se aprecia una tendencia (acorde con nuestra intuición) según la cual se produce una transición desde una negación fuerte (“bastante en desacuerdo con este emparejamiento” cuando ambos conjuntos de intensidad son adyacentes) a una negación absoluta (“Totalmente en desacuerdo” cuando ambos términos se sitúan en extremos opuestos de la escala).

En definitiva, un análisis general de los datos nos ha permitido corroborar y equiparar los resultados de ambos estudios y, lo que es más importante, pueden servir como base empírica para la selección de *outputs* por parte de un sistema de razonamientos no supervisado que trabaje dentro del paradigma de la computación con palabras. Además, con respecto a su aplicación a un algoritmo de unificación en un lenguaje de programación lógica tipo Prolog, estos resultados simplificarían la obtención de escalas, pues no sería imprescindible establecer la distancia exacta entre dos términos, sino solo realizar un ordenamiento previo en conjuntos mucho más sencillo e intuitivo. A ello se añade el beneficio

⁷Como ya se vio en el apartado 5.6, la antonimia, una de las relaciones pertenecientes a las denominadas “relaciones por oposición de significado”, no permite ninguna clasificación en subgrupos o categorías (como sí es el caso de la sinonimia, que permite hablar de sinonimia cognitiva, absoluta, etc.), motivo por el cual este estudio se ha realizado únicamente teniendo en cuenta la distancia existente en los casos donde en la unificación cada término pertenece a una polaridad diferente.

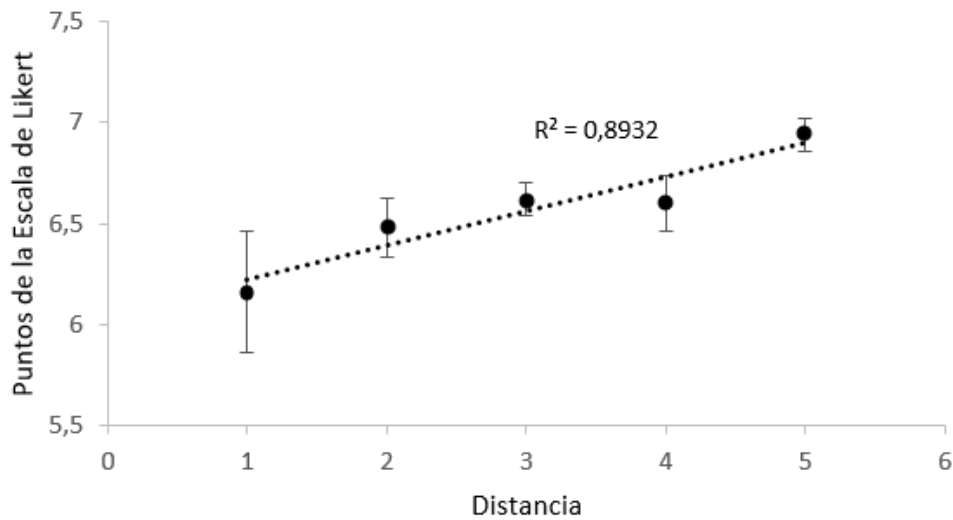


Figura 7.8: Representación de las medias de los datos recogidos en el estudio y su ajuste por mínimos cuadrados

colateral de que, al no requerir medidas entre grados individuales, los pasos realizados para alcanzar una determinada conclusión son aún más fáciles de justificar puesto que no modifican el contenido vago propio de los términos implicados, trabajando siempre dentro de las limitaciones que este nos impone.



8. Conclusión

Al inicio de esta tesis se explicitaron las dos principales hipótesis sobre las que se asentaba el estudio, a saber: la necesidad de aplicar relaciones lingüísticas en la expresión computacional del significado completo de la vaguedad que no conlleven una correspondencia directa entre palabras y valores precisos o numéricos, y el hecho de que, dentro del Procesamiento del Lenguaje Natural y el campo de la argumentación automática, todavía no se han explotado ni explorado todas las ventajas que ofrecería un sistema de resolución (e interpretación) puramente lingüístico.

El primer punto encuentra un apoyo evidente en el análisis realizado a lo largo de los capítulos segundo, tercero y cuarto. A pesar de las ventajas que aporta la correlación palabra-número desde un punto de vista computacional (reduciendo los tiempos de cálculo y facilitando la expresión no supervisada de cualquier problema lingüístico), dicha simplificación se realiza a un coste semántico elevado. El significado de los términos lingüísticos quedan reducidos a un conjunto ordenado de valores que o bien permiten usos incoherentes o inválidos para un hablante humano (como es el caso de la Lógica Difusa) o no establecen un tratamiento válido de la vaguedad al modificar/precisificar sus contenidos semánticos de forma contraintuitiva (como se verá a continuación en la descripción de los objetivos de esta tesis). Las limitaciones de este tipo de aproximaciones precisificadas, como los que se proponen originalmente en la computación con palabras, aunque son poco relevantes en aquellos contextos donde no se requiere simular con más o menos grado de detalle la interpretación semántica que realizaría un ser humano, se vuelven especialmente evidentes en el tratamiento automático de argumentos o razonamientos vagos.

Con respecto a la segunda hipótesis, en el apartado 3.5 se estudian algunas de las críticas dirigidas a las principales aproximaciones numéricas, algunas de las cuales se utilizan como base para sugerir alguna de las características o propiedades que debería seguir cualquier tratamiento formal de la vaguedad. Estos argumentos sirven de pautas para el desarrollo del proceso de resolución implementado en esta tesis, y los resultados parecen sugerir sus bondades en el análisis de razonamientos puramente vagos frente a otros métodos propios de la Programación Lógica Borrosa. Sin embargo, los autores mencionados solo ofrecen una visión general de cómo debería tratarse la vaguedad, sin construir un marco formal completo desde el que aproximarse a ella haciendo uso del concepto de grado.

Ambas hipótesis han sido el punto de partida para abordar los objetivos que se planteaban en la introducción y que pasamos a analizar en función de los puntos aportados por cada uno de los capítulos de esta memoria:

El primer objetivo que se propuso fue realizar un análisis crítico de las aproximaciones pertenecientes al ámbito de la semántica formal que intentan construir un formalismo

en torno al concepto de vaguedad. Este objetivo se ha alcanzado en los capítulos segundo y tercero, comparando en el primero tres de las principales teorías que pretenden, más allá de mostrar una visión general de la vaguedad (como intenta el contextualismo o el supervaluacionismo, por poner solo dos ejemplos), ofrecer una explicación teórica completa del fenómeno.

Una de estas teorías es la aproximación de Klein, la cual se fundamenta en el principio de bivalencia, definiendo los adjetivos como funciones parciales y estableciendo que un elemento en un contexto dado solo acepte dos opciones: o pertenecer a la extensión positiva o a la negativa del adjetivo. Dado que los adjetivos vagos poseen por definición casos de frontera, Klein propone eliminarlos de acuerdo con un proceso de reaplicación, según el cual se aplica reiteradamente un predicado a una determinada clase de comparación, subdividiendo los elementos del universo del discurso en tres nuevas extensiones de manera sucesiva hasta que la extensión intermedia, perteneciente a dichos casos de frontera, desaparece. Las ventajas de semejante mecanismo son evidentes, adscribiéndose a la visión idealista de Frege y Russell y por ende simplificando el problema, aunque por otro lado sus dificultades son igualmente destacables y difíciles de superar, como es el caso de tratar a todos los adjetivos como si poseyeran algún grado de vaguedad en su significado o, lo que es más grave, el hecho de que el proceso de reaplicación lleve con facilidad a resultados contraintuitivos después de aplicarse a un conjunto de elementos y requiera tomar una decisión arbitraria sobre uno o varios elementos de dicho conjunto. Esto último impide, a su vez, que el proceso sugerido por Klein pueda ofrecer una solución coherente a la paradoja sorites, lo que dejaría sin formalizar uno de los aspectos más destacados de la vaguedad.

La Lógica Difusa, por otro lado, propone una aproximación matemática no bivalente, alejado de las lógicas aristotélicas, que permita operar por medio de funciones características con los casos de frontera sin necesidad de eliminar el mismo concepto de vaguedad que los define. Un problema de esta propuesta reside en el hecho de que los términos pertenecientes a los casos de frontera pueden derivar en resultados anómalos que contradicen el principio del tercero excluido y el Principio de No Contradicción. El significado de las oraciones comparativas también se muestra deficiente, en especial al permitir comparaciones entre cualquier par de elementos al existir solo una escala de verdad (lo que podría llevarnos a aceptar como válida una oración sin sentido). Sin embargo, su principal problema es que, al carecer de una relación de equivalencia para los valores numéricos implicados en una proposición, el contenido semántico de la misma se pierde por completo.

La aproximación de grado propone, a diferencia de las dos anteriores, una variación dentro de la Gramática de Montague al introducir una nueva entidad abstracta, el grado d , la cual caracteriza la relación existente entre un elemento y una determinada dimensión o propiedad. Esta aproximación tampoco parece, al menos tal y como es presentada originalmente por Cresswell, una opción mejor. Primero porque el uso que hace del morfema silente *pos* no respeta el Principio de Composicionalidad, lo que lleva a que el significado de las oraciones comparativas no dependa del significado de las oraciones afirmativas asociadas a ellas, y segundo porque la definición que ofrece de los grados es una definición circular que, además, conduce a un tratamiento excesivamente complejo de los mismos e imposible de aplicar.

Sin embargo, posteriores trabajos de Kennedy, McNally, Graff, Rostein y Winter entre otros han resuelto ambos problemas, explicando además mediante la existencia de escalas

otros fenómenos como la imposibilidad de aplicar modificadores proposicionales en algunos casos (los denominados “adjetivos absolutos” en contraposición a los “adjetivos relativos”). Esta división entre adjetivos absolutos y relativos ha recibido también críticas, centradas en el hecho de que ciertos adjetivos absolutos parecen comportarse de manera imprecisa, y han aparecido otros argumentos que señalan la dificultad de utilizar el morfema silente *pos* en los casos extremos de las escalas. La diferencia de esta aproximación con las otras dos analizadas es que ambos problemas tienen una respuesta satisfactoria que, además, no modifica los fundamentos básicos sobre los que está construida. En el primer caso, la aparente imprecisión de los adjetivos absolutos se podría explicar mediante la teoría de halos pragmáticos de Lasershons, y en el segundo la dificultad se resuelve al modificar las condiciones de verdad del estándar de este morfema.

De todas formas, todas estas teorías semánticas comparten un mismo problema fundamental, analizado en el capítulo tercero: la precisificación. Analizando la principal bibliografía dedicada a tal práctica se observa que esta imposición de límites artificiales en las extensiones de cualquier término, sea bajo el principio Bivalente o de multivalencia (aunque este último presenta una mejora significativa con respecto al primero), lleva a una serie de sacrificios semánticos que impiden registrar el significado de dichos términos de forma coherente, tal y como lo percibimos los seres humanos, e incurrir en irregularidades o complicaciones no resueltas (tales como la imposibilidad de cumplir la condición de “accesibilidad pública” o las contradicciones señaladas en el trabajo de Collins y Varzi). La solución, de acuerdo con los indicios encontrados durante este análisis, conducen a una aproximación centrada en una aplicación no precisificada del concepto de grado que no haga uso del principio de infinitos valores de verdad.

El segundo objetivo propuesto fue establecer las bases de un modelo teórico a raíz de los puntos indicados en el objetivo anterior, buscando herramientas formales que permitieran tratar de manera no supervisada y no precisificada los razonamientos vagos. El resultado puede encontrarse en los capítulos cuarto y quinto de esta memoria.

La computación con palabras analizada en el capítulo cuarto es una herramienta basada en el principio de incompatibilidad, es decir, en la idea de que cuanto más complejo es un sistema menos preciso debe ser el formalismo que lo describa. La principal ventaja de la computación con palabras con respecto a otras aproximaciones radica en su aproximación lingüística al problema, intentando simular la percepción que tiene el ser humano del lenguaje por medio de variables lingüísticas (muy útiles en el diseño de algoritmos en lenguajes de programación lógica como Prolog) y al exigir que tanto las entradas como salidas del algoritmo estén expresadas por completo en lenguaje natural. Sin embargo, para lograr este objetivo se recurre a la Lógica Difusa y el concepto de Conjuntos Difusos y establece un “grado de compatibilidad” que exige la traducción de una oración en lenguaje natural a lenguaje PRUF (el proceso de “explicitación”) para poder llevar a cabo las operaciones requeridas y, en un paso posterior, realizar una traducción inversa. Sin embargo, en ese proceso no se manipula ningún término lingüístico ni ningún contenido semántico, sino que las operaciones se realizan sobre el grado de compatibilidad que es, además, un valor preciso, lo cual contradice los presupuestos de los que parte la computación con palabras. Para encuadrar nuestra propuesta dentro del paradigma de la computación con palabras es necesario asociar directamente la base de la variable de restricción difusa con la variable lingüística, encontrando otro sistema que sustituya el uso de funciones de compatibilidad y permita formalizar los razonamientos puramente vagos.

Nuestra alternativa a estas funciones de compatibilidad, de acuerdo con lo expresado en [135], ha consistido en hacer uso de las relaciones semánticas que ya existen en nuestro lenguaje natural. La idea es relajar las condiciones manejadas en el proceso de unificación de Prolog mediante la sustitución de las relaciones de igualdad y negación, útiles en razonamientos precisos o matemáticos, por relaciones semánticas que permitan expandir las capacidades expresivas de este lenguaje de programación.

Como posible sustituto de la relación de igualdad se sugiere la relación de sinonimia debido a las similitudes entre ambas (la sinonimia es, al fin y al cabo, un fenómeno lingüístico caracterizado por la existencia de una superposición semántica relevante entre dos términos). De acuerdo con nuestro análisis de las definiciones dadas por Palmer, Cruse y Lyons, consideramos que hay indicios empíricos y teóricos suficientes para tomar como válida la subdivisión de la sinonimia en tres categorías principales: sinonimia absoluta, sinonimia cognitiva y sinonimia parcial. La primera sería aquella en la que ambos términos poseen las mismas restricciones gramaticales y en la que ambos son semánticamente equivalentes a un nivel tanto descriptivo o proposicional como expresivo, por lo que la sustitución de uno por otro en un contexto dado debería ser interpretado por cualquier hablante como un paso válido y coherente. La sinonimia cognitiva, por el contrario, solo describiría la relación entre términos que son equivalentes desde una perspectiva descriptiva, ateniéndose únicamente al contenido lógico asociado a cada uno. Por último, la sinonimia parcial se correspondería con aquellos términos que, aun sin ser equivalentes en el plano lógico ni en el expresivo, poseen una cercanía en sus significados que permite establecer una similitud relevante entre ambos. Traducido al uso de los grados lingüísticos (y de manera equivalente a la “clasificación por círculos concéntricos” propuesta por Cruse), dos términos que fueran sinónimos absolutos o cognitivos estarían asociados al mismo grado de la escala mientras que los sinónimos parciales ocuparían posiciones diferentes en esa misma escala, lo que permitiría caracterizar la relación de igualdad a partir de las escalas semánticas descritas en el séptimo capítulo.

Por su parte, la alternativa a la relación de negación de Prolog sería la relación de oposición de significados, que también se subdivide en tres categorías o clases: oposición por complementariedad, oposición por reciprocidad y antonimia. Sin embargo, y a diferencia de lo que sucede con la relación de sinonimia, no todas ellas parecen tener un papel relevante en la caracterización de la vaguedad. La oposición por reciprocidad surge principalmente en verbos y sustantivos no graduables (lo que impide su aplicación al caso de los adjetivos implicados en razonamientos vagos) y algo similar sucede en el caso de la oposición por complementariedad al no manifestarse en términos graduables, aunque en este caso los términos complementarios son más relevantes al realizar en muchos casos la función de negaciones fuertes. La antonimia, por el contrario, se muestra como una alternativa increíblemente adecuada al tener lugar principalmente dentro de la categoría gramatical de los adjetivos, centrándose a su vez en los adjetivos graduables. Además, la sola existencia de antónimos en nuestro lenguaje, innecesarios desde una perspectiva puramente formal, sirven como argumento a favor de una aproximación empírica, no basada solo en mecanismos matemáticos y lógicos, al tratamiento de estas relaciones. Por último, en el capítulo quinto también se estudia la viabilidad del resto de relaciones, en concreto de las relaciones de compatibilidad e incompatibilidad, meronimia y holonimia e hiponimia e hiperonimia, y aunque sugieren nuevas conexiones semánticas entre términos que deberían tenerse en cuenta para un estudio futuro dentro del Procesamiento del

Lenguaje Natural (sobre todo en el caso de la hiponimia y la hiperonimia), su influencia concreta en la aparición o definición del fenómeno de la vaguedad ha resultado ser mínimo o directamente inexistente.

El tercer objetivo propuesto fue la aplicación de estos fundamentos en el diseño y programación de un razonador automático que sirviera como ejemplo práctico de la viabilidad y las posibilidades de una aproximación de estas características. El resultado puede encontrarse desarrollado en detalle en el capítulo sexto.

Un estudio crítico de las propuestas realizadas hasta la fecha por parte de Li y Liu, Guadarrama o Atanassov entre otros para incluir un proceso de resolución semántico en Prolog muestra que, a pesar de las mejoras indudables que introducen aumentando de manera significativa la expresividad de este lenguaje, adolecen de las mismas limitaciones que presenta la computación con palabras al reducir el problema al cálculo y manipulación de unos grados de pertenencia que permitan puntuar de manera precisa la unificación realizada en el proceso. En nuestro caso hemos aplicado un tipo de escalas basadas en aquellas descritas por Kennedy en la aproximación de grado, utilizando términos lingüísticos como grados en lugar de otro tipo de expresiones matemáticas más abstractas con el fin de que cada uno de ellos corresponda a un posible predicado $pred/n$. Nuestro algoritmo permite entonces detener el proceso de resolución cuando este encuentre una unificación no válida desde una perspectiva gramatical, y realizar una búsqueda en una base de conocimientos de escalas lingüísticas con el fin de establecer si los dos términos implicados en esa unificación pertenecen a la misma escala, algo que solo ocurrirá si ambos términos hacen referencia en ese contexto a la misma característica, propiedad o dimensión. La clasificación se realizaría de acuerdo con las relaciones lingüísticas antes mencionadas, por lo que cada posición de la escala puede estar ocupada tanto por términos individuales como por subconjuntos de términos cognitivos o absolutos. Este enfoque permitiría a su vez interpretar de manera directa las locuciones y, más concretamente, los modificadores de grado que acompañan a los adjetivos. Estos, al poder ordenarse también en escalas, ejercerían la función de punteros, indicando la dirección en la que debe desplazarse el razonador dentro de la escala a la que pertenece el adjetivo y por ende el grado al que hace referencia la locución.

Respetar los principios fundamentales de la computación con palabras requiere exigir a cada consulta por parte del usuario una respuesta o *output* expresado por entero en lenguaje natural, algo que, suponiendo que el programa pueda seleccionar una etiqueta lingüística adecuada a cada unificación semántica realizada (un problema tratado en el capítulo séptimo), y gracias a que el conjunto de respuestas o etiquetas posibles está dotado de un orden total, se ha podido resolver mediante la elección de un operador de agregación adecuado.

Este algoritmo también ha demostrado poseer la capacidad de trabajar no solo en la validez o no validez de una respuesta a un razonamiento vago, sino de obtener y presentar todos aquellos resultados considerados coherentes por el sistema (es decir, resultados que aun habiendo incurrido en una o varias unificaciones semánticas consideradas demasiado débiles como para resultar válidas, sí presentan un argumento semántico que permite al usuario identificar todos los términos implicados en el razonamiento). Estos análisis, además de resultar útiles desde un punto de vista académico, permiten distinguir entre tres posibles respuestas: respuestas positivas, respuestas negativas y respuestas desconocidas.

El cuarto y último objetivo que propusimos fue buscar soluciones a dos de los principales problemas que presenta una propuesta como la nuestra para su aplicación extensiva a un número significativo de términos lingüísticos: la construcción de las escalas que determinan el grado de validez de la unificación entre dos términos, y una justificación lógica a la asignación y manipulación de etiquetas lingüísticas.

Estas escalas deben permitir la aplicación de todas aquellas operaciones que permitan calcular la distancia existente entre dos grados y no se limiten a indicar el orden de los mismos. Este requisito solo está asegurado aplicando el tipo de escalas presentadas en la obra de Kennedy (tal y como puede verse, por ejemplo, en los experimentos de Solt y Gotzner), lo que sirve como un nuevo argumento a favor de la aplicación de un formalismo similar a la aproximación de grado (modificando, eso sí, algunos de los presupuestos de dicha aproximación como es el uso de un estándar de comparación que, en su forma original, vuelve precisos a los términos vagos), pero que deja sin resolver cualquier otra cuestión referente a cómo explicitar y medir estas distancias entre grados.

El hecho de que el objetivo último de esta memoria sea realizar una simulación de un aspecto muy concreto del razonamiento humano, y que una aproximación meramente formal al problema lleve siempre a resultados contraintuitivos, señalan de manera clara a la necesidad de responder a estas cuestiones desde una perspectiva empírica.

El primer experimento realizado tenía como objetivo estudiar una posible correlación entre las distancias que existen de manera intuitiva para un ser humano entre dos términos lingüísticos y la valoración lingüística asociada a la sustitución de uno de esos términos por el otro en un contexto concreto. El resultado fue positivo, encontrando indicios (con un ajuste bastante favorable) de la existencia de una correspondencia lineal entre dichas distancias y los puntos de una escala Likert de siete puntos, una de las escalas psicométricas más extendidas en estudios estadísticos de este tipo. Además, los datos también permitieron concluir lo que ya era evidente: que la sustitución de un término por su sinónimo en una premisa lleva consigo una modificación semántica (y por ende de las condiciones de verdad) de esta, y que los términos asociados a unidades de medida son mucho más sencillos de manejar por el usuario, y por tanto dan lugar con mayor frecuencia a un consenso.

La cuestión es que, aunque exista una correlación semejante, las técnicas no supervisadas desarrolladas hasta la fecha para el ordenamiento de términos con respecto a una dimensión vaga solo permiten la construcción de escalas ordinales. Sería, pues, necesario aplicar un método de generación de *gold standards* (muy poco práctico para la obtención de un número elevado de escalas) o buscar una solución alternativa.

Partiendo de la concepción pre-teórica, aceptada en gran parte de los artículos relacionados con la obtención de escalas (como es el caso de los trabajos centrados en los AdjScales), de que las escalas lingüísticas de grados están subdivididas en tres subconjuntos o regiones de intensidad (extremos, medios y suaves), realizamos un nuevo estudio por medio de la plataforma AmazonTurk para estudiar su viabilidad. De nuevo los resultados fueron prometedores además de concordes con los del primer experimento, sugiriendo una serie de patrones compartidos por dos unificaciones en las que el par de términos de una perteneciese a los mismos subconjuntos que el par de términos de la otra. Esto condujo, por ejemplo, a la conclusión de que, a diferencia de lo que se ha sugerido hasta el momento, la relación de dos premisas por medio de un término y su sinónimo no siempre se interpreta como un paso válido en el razonamiento. En el caso de los antónimos, parece

que vuelve a existir una correlación lineal entre la distancia entre términos y una escala de juicios valorativos, por lo que bastaría con estructurar las escalas en seis subconjuntos de intensidad (tres para cada una de las polaridades posibles, positiva y negativa, de la dimensión que define la escala), lo que simplificaría el algoritmo de resolución semántico (dotándole además de una estabilidad añadida con respecto a otras opciones) y reduciría el tiempo y recursos necesarios para construir una base de conocimientos de escalas lingüísticas vagas.

En resumen, los hechos y datos aquí expuestos parecen construir una base sólida para la construcción de un formalismo teórico y el diseño de un algoritmo que permitan el tratamiento no supervisado de la vaguedad sin perder contenido semántico en el proceso, una alternativa que, aunque ya ha sido abordada con éxito en trabajos anteriores, todavía no se ha intentado implementar. Al manejar en todo momento el contenido semántico sin establecer límites ni valores numéricos en ninguno de los pasos, la traza resultante de cualquier razonamiento puramente vago permite justificar de manera comprensible para un usuario no experto los pasos realizados para llegar a una determinada conclusión, un avance que, bajo nuestro punto de vista, es fundamental para la simulación válida y, sobre todo, coherente del comportamiento humano frente al fenómeno de la vaguedad.

8.1. Futuras líneas de investigación

A pesar de las ventajas propias de esta aproximación y de las posibilidades inherentes de una herramienta de las características aquí mencionadas, a lo largo de su desarrollo hemos identificado una serie de parámetros y aspectos problemáticos que son merecedores de un mayor análisis en estudios posteriores. Su resolución futura permitirá avanzar en la obtención de un algoritmo más completo y su aplicación en otros campos más allá del académico, y nos posibilitará profundizar en nuestra comprensión de la vaguedad.

El primero de todos y quizá el más complejo sería la necesidad de resolver el problema de la desambiguación lingüística con el fin de clasificar de manera correcta los términos polisémicos. Entre los adjetivos vagos este es un fenómeno relativamente común y se traduce en que un mismo grado lingüístico puede asociarse a más de una dimensión o característica. En otras palabras, el grado aparecerá de igual manera en dos o más escalas de la base de conocimientos, por lo que el algoritmo necesita de manera explícita registrar cuál es el sentido dado al término lingüístico asociado a él en el contexto en que aparece. Esto evitaría tomar como válidas (o siquiera coherentes) unificaciones entre términos que en ese contexto no comparten ningún tipo de relación semántica. En la actualidad, un primer paso para la resolución de este problema, y que evitaría en gran medida el cruce de escalas, puede encontrarse en el diccionario DESALE [134], donde se permite realizar una clasificación por acepciones de los sinónimos y antónimos de su base de datos.

El siguiente paso en el estudio consistiría en generar mediante técnicas no supervisadas un conjunto de escalas lingüísticas que, asociado al algoritmo, serviría como base de conocimientos semánticos a partir de la cual realizar las valoraciones y juicios requeridos. Asociado a esta idea se podría, como ya se mencionó en el capítulo séptimo, perfeccionar un sistema de ordenamiento gradual mediante el cual se implementase dicha información en los diccionarios, *thesaurus* o bases de datos léxicas.

Dentro del paradigma del Procesamiento del Lenguaje Natural y también en un ámbito más general, habría que avanzar en la automatización de la extracción y recuperación automática de información a partir de textos. De esta forma la necesidad de traducir una serie de premisas en un conjunto de reglas y hechos manipulables por Prolog desaparecería, de manera que el objetivo último de la computación con palabras (obtener un sistema que permita introducir consultas expresadas en lenguaje natural y recibir respuestas de esta misma forma) estaría un paso más cerca de lograrse.

Otra cuestión de gran importancia teórica sería estudiar la posibilidad de extender esta aproximación gradual a otras categorías gramaticales. Si bien los adjetivos (junto con los adverbios) son los principales causantes de la aparición de la vaguedad en nuestro lenguaje, no podemos olvidar que otros términos también exhiben (o parecen exhibir) comportamientos propios de los términos vagos. Es el caso de los sustantivos y en especial los verbos, como por ejemplo “correr” y “andar” (pues no existe una velocidad exacta a partir de la cual se pueda afirmar que se ha pasado de una acción a otra).



Apéndice A. Algoritmo de resolución

En este apéndice se ofrece una explicación pormenorizada del algoritmo implementado en nuestro programa de resolución vaga y presentado en el capítulo seis de esta tesis. El objetivo de este algoritmo es doble: por un lado, sustituir el proceso de resolución sintáctico de Prolog por uno fundamentado en las relaciones semánticas existentes entre dos términos vagos; por otro, utilizar la traza recogida durante el proceso para componer un *output* puramente lingüístico (como exige la metodología de la computación con palabras) que justifique cada paso dado en el razonamiento y permita un acercamiento más natural a la interacción hombre-máquina.

El algoritmo se compone de tres módulos principales: uno que contiene todas las relaciones semánticas recogidas por el programa (en forma de escalas y subconjuntos, tal y como se explica en los capítulos cinco y siete y que denominamos “base de conocimientos”), otro que define el proceso de resolución en sí, y un tercero que tiene por finalidad recoger en lenguaje Prolog el problema o argumento que se pretende analizar. Este último recibe el nombre de “base de conocimientos local” y se diferencia de la base de conocimientos en que los hechos y reglas aquí definidos solo se consideran válidos dentro de los parámetros del problema sobre el que se está realizando la consulta, mientras que las relaciones especificadas en la base de conocimientos son extensivas a cualquier otra expresión vaga de ese mismo lenguaje e igualmente válidas en todos los razonamientos donde se apliquen.

El programa, al hacer uso de un proceso de resolución de estas características, debe comprobar que la consulta o entrada del usuario sea válida, sin operaciones aritméticas ni listas para las cuales no tendría sentido realizar un análisis semántico, sino solo una serie de hechos, reglas o átomos.

Una vez recibido el *input*, para evitar que la unificación entre dos términos (el término A introducido por el usuario y un término hipotético B de la base de conocimientos local) sea rechazada por la mera desigualdad ortográfica, se modifican los mecanismos propios de un Prolog Clásico mediante el uso de metapredicados. Así se criban los predicados de los que dispone Prolog, eliminando aquellos que no procedan directamente de la base de conocimientos local (es decir, que hayan sido importados de otro fichero o que estén definidos por defecto), y se procede a analizar cada predicado B resultante. En caso de que B no se presente en forma negada, se continúa con el algoritmo de resolución. En caso contrario (es decir, si B viene precedido por el predicado `no\1`), se aplica la negación de tipo complementario propuesta en el capítulo seis: se busca la posición directamente contraria a B en la escala de polaridad opuesta a la de B en la base de conocimientos, y se elige uno de los términos B' que la ocupan, sustituyendo B por B' en los subsiguientes pasos del algoritmo de resolución.

Una vez se ha alcanzado este punto se procede a analizar la posible unificación entre A y B . Según la estructura de ambos términos, se pueden dar dos casos:

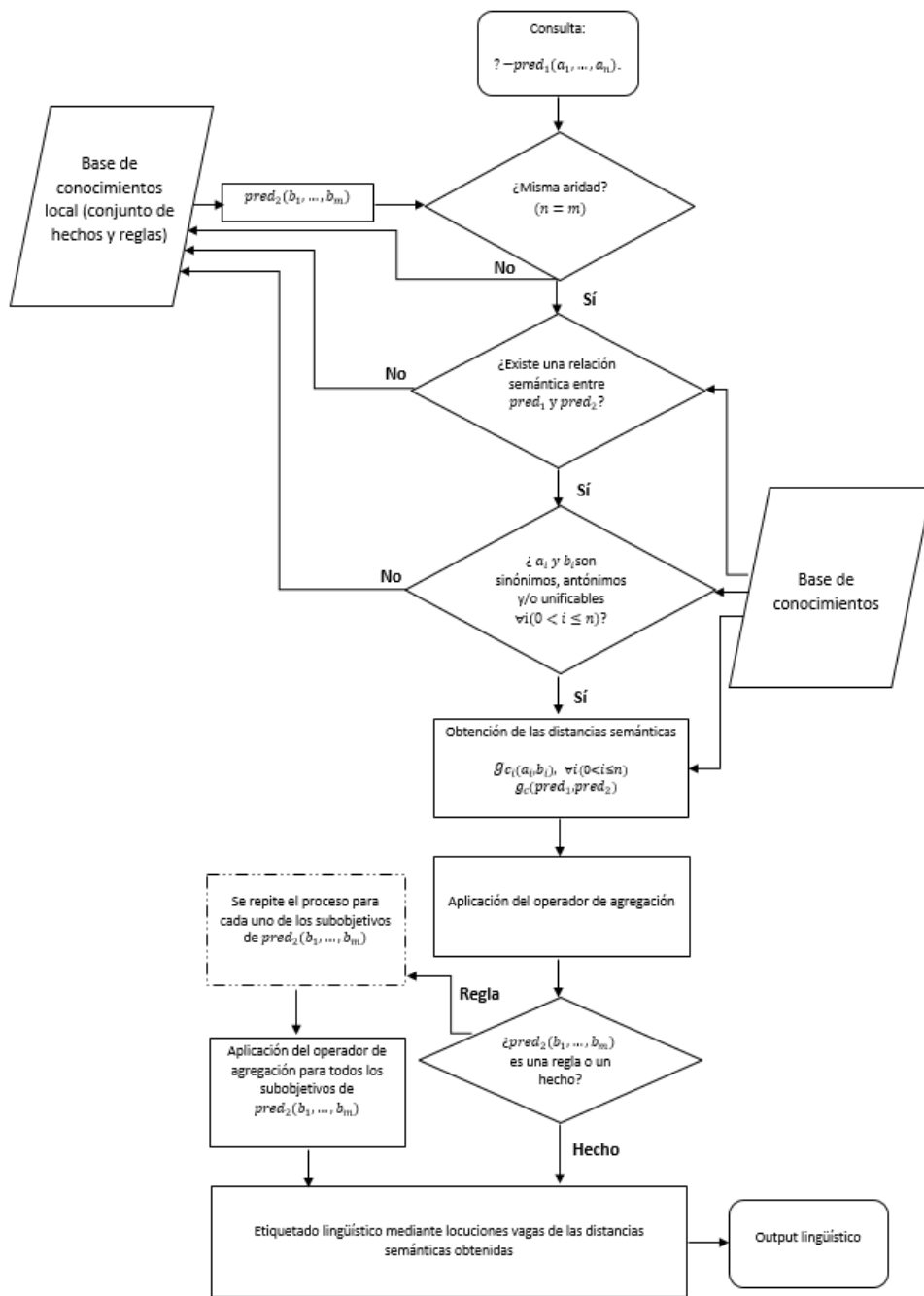


Figura 1: Algoritmo de resolución basado en las relaciones semánticas existentes entre términos

- 1) Los dos elementos son átomos (predicados de aridad cero). En este caso se pasa a comprobar la distancia semántica existente entre ambos (si es que ambos elementos están relacionados semánticamente).
- 2) Los dos elementos son predicados de una aridad distinta de cero. En este punto se comprueba si los funtores están relacionados semánticamente, se obtiene de cada término su aridad y se compone la lista ordenada de sus argumentos. Entonces se procede a comprobar dos cosas: primero, que la aridad sea la misma en ambos casos (requisito imprescindible para la unificación en Prolog), y segundo, que entre

cada uno de los elementos de cada pareja n -ésima de las dos listas ordenadas de argumentos se produce una de las tres situaciones siguientes:

- Existe una relación semántica entre ambos (calculando en este caso su distancia semántica).
- Están relacionados desde una perspectiva sintáctica.
- Uno de los dos elementos es una variable o ambos lo son; en cualquier caso, se produce la unificación entre ambos (las variables siempre se pueden instanciar con cualquier término, o la una con la otra dado que estas siempre pueden instanciarse uniformemente de tal manera que los términos resultantes sean iguales).

En nuestra aproximación la distancia semántica se resuelve de manera sencilla una vez los adjetivos relevantes para el problema han sido registrados y agrupados en subescalas lingüísticas dentro de la base de conocimientos. Cada escala viene acompañada de dos parámetros característicos que la hacen inequívoca: su dimensión (el concepto al que hacen referencia los adjetivos contenidos en ella) y la polaridad de esos adjetivos (recordemos que en total hay dos polaridades, una positiva que versa sobre la existencia afirmativa de la dimensión, y otra negativa que hace justo lo contrario). Siguiendo este esquema, si dos elementos se encuentran en la misma subescala, ambos son considerados sinónimos; si ambos se encuentran en subescalas de igual dimensión pero polaridad opuesta, son antónimos (imprescindibles por otro lado para el tratamiento lingüístico de la negación aquí aplicado). De acuerdo con los resultados y conclusiones empíricos del apartado 7.3 sobre la simplificación estructural de las escalas sinonímicas y antonímicas, cada subescala se compone de tres posiciones no equidistantes, donde los elementos que ocupan una misma posición son sinónimos cognitivos. Partiendo de esta organización, la primera posición la ocupan adjetivos considerados extremos (*helado*), la segunda posición la ocupan adjetivos intermedios (*frío*) y la tercera y última posición, que colinda con la tercera posición de la subescala de polaridad opuesta, la ocupan adjetivos considerados suaves (*fresco*). La no equidistancia también se ha establecido de manera empírica, no siendo igual la separación entre la primera y la segunda posición que entre la segunda y la tercera (de acuerdo a los experimentos llevados a cabo, la del primer caso sería menor que la del segundo). El programa se dedica, pues, a determinar la posición de cada elemento de la unificación y establecer la distancia total entre ambos.

Durante cada proceso de unificación se genera una n -tupla (siendo n el número total de unificaciones, sintácticas o semánticas, realizadas) que especifica cuáles han sido los términos unificados durante el razonamiento, la distancia semántica entre cada par de términos y el tipo de término B que ha intervenido en la unificación (es decir, si B es una regla o un hecho o una versión negada de alguna de estas dos opciones). Además, si B es una regla, el algoritmo repite el proceso para cada uno de los subobjetivos. Por último, una vez analizado todo el razonamiento y obtenido un resultado coherente (que no necesariamente válido), se aplica el operador de agregación máximo en el conjunto de distancias con el fin de obtener el valor máximo o, lo que es lo mismo, calcular cuál ha sido la unificación más débil del razonamiento (la cual determina el grado de validez de la conclusión).

Con todos estos datos se procede a componer la traza (el *output*) y las conclusiones puramente lingüísticas que se presentan al usuario mediante una serie de algoritmos de

apoyo. A modo de ejemplo, y con el fin de simplificar la explicación, aquí hacemos referencia a la versión de nuestro programa que se aplica únicamente a los razonamientos silogísticos.

De acuerdo a la estructura especificada en el capítulo seis, el primer paso consiste en calcular el número de premisas generales y particulares que han intervenido en el razonamiento y, mediante una serie de procesos de traducción, expresar en lenguaje natural tanto las reglas y hechos que las conforman como la pregunta del usuario. Acto seguido se realiza un análisis de la información recogida en la n -tupla con el fin de enumerar (también en lenguaje natural) los pasos realizados. Además, a cada paso en el que interviene una unificación semántica se le asigna una etiqueta lingüística procedente de una escala de Likert de siete puntos (véase la página 117 para más información) y que advierte de cuál es su grado de validez/invalidéz. La asignación de las etiquetas lingüísticas se fundamenta a su vez en datos empíricos, tal y como se explica con detalle en el capítulo séptimo. Esta valoración individual (acompañada a su vez de ayudas visuales en forma de palabras resaltadas y etiquetas marcadas en distintas gamas cromáticas de acuerdo a su validez) permite al usuario identificar fácilmente en qué punto del razonamiento se ha tenido en cuenta el contenido semántico de los términos implicados, y de qué forma han influido en el resultado final. Además, gracias a ciertos patrones seguidos por Prolog al resolver los razonamientos silogísticos y que son recogidos en la n -tupla final, se puede expresar de manera automática el método lógico realizado en ciertos puntos (como, por ejemplo, la reducción al absurdo) especificando qué pasos se abarcan o se utilizan en dicho método.

A su vez la conclusión se compone de dos partes bien diferenciadas: la etiqueta lingüística y una justificación resumida de la misma. La primera se obtiene de acuerdo a la distancia máxima dada por el operador de agregación, y por una serie de metapredicados que advierten de si en el razonamiento se ha realizado algún paso considerado inválido. La segunda, sin embargo, reviste de una mayor complejidad en cuanto a que se debe componer un párrafo en lenguaje natural que depende del número de emparejamientos de cada tipo presentes en el razonamiento y que da lugar a una gama de respuestas bastante amplia y abierta a variaciones. Para hacerlo se ha optado por clasificar todos los pares unificados de acuerdo a sus etiquetas lingüísticas, utilizando la información para componer una justificación fácil de entender y que deje claro cuáles han sido los puntos a favor y en contra de la valoración ofrecida en la conclusión.

El algoritmo de resolución general (esquemático en la Figura 1) puede describirse como sigue:

INICIO

1. Escribir consulta A .
2. Si A es una lista o un número, imprimir que A no es un valor de entrada válido. FIN.
3. Si A es un átomo, un hecho o una regla, proceder al paso siguiente.
4. Buscar mediante el uso de metapredicados un elemento B de la base local que no haya sido importado de otro módulo ni forme parte de la librería de predicados incorporados a Prolog de manera predefinida.

5. Extraer el functor y la aridad de B .
6. Si B no aparece en forma negada, proceder directamente al paso 12.
7. Si B aparece en forma negada, buscar en la base de conocimientos la subescala E_n^i a la que pertenece el functor de B .
8. Seleccionar la subescala $E_n^{i'}$ de polaridad opuesta pero igual dimensión que E_n^i .
9. Seleccionar un elemento de la posición de $E_n^{i'}$ equivalente a la posición que ocupa el functor de B en E_n^i .
10. Recomponer un nuevo predicado B' mediante la aridad de B y el elemento seleccionado en el paso anterior, que pasa a convertirse en el functor de dicho predicado.
11. Sustituir B' por B en los pasos subsiguientes.
12. Proceder al *matching* o emparejamiento entre A y B .
13. Si A y B son átomos, establecer la distancia semántica entre ambos (dependiente de la posición que ocupen tanto A como B en la escala) y pasar directamente al paso 25.
14. Si A y B son términos compuestos (elementos con una aridad distinta de cero), comprobar que la aridad de A y B es la misma.
15. Si la aridad de A y B no es la misma, volver al paso 4 en busca de otro elemento B , repitiendo el proceso.
16. Si la aridad de A y B es la misma, buscar en la base de conocimientos una escala que contenga tanto el functor de A como el functor de B .
17. Si dicha escala no existe, volver al paso 4 en busca de otro elemento B , repitiendo el proceso.
18. Si dicha escala existe, establecer la distancia semántica entre el functor de A y el functor de B .
19. Obtener una lista de los argumentos de A y una lista de los argumentos de B .
20. Comprobar si se establece un emparejamiento entre los elementos n -ésimos de ambas listas, ya sean estos variables o átomos (en cuyo caso se produce un emparejamiento sintáctico o se pasa a establecer la distancia semántica entre ambos).
21. Si no hay emparejamiento entre todas las parejas de argumentos del paso anterior, volver al paso 4 en busca de otro elemento B , repitiendo el proceso.

22. Si se produce un emparejamiento entre cada una de las pareja de argumentos, construir una n-tupla que contenga toda la información relevante de los emparejamientos (sintácticos o semánticos) producidos entre A y B . Es decir, los dos términos implicados, el tipo de elemento que son (argumentos, hechos, reglas o una versión negada de alguno de ellos) y la distancia semántica entre ellos.
23. Si B es una regla, repetir el proceso desde 4 para cada uno de los subobjetivos de B .
24. Si B es un hecho, continuar al punto siguiente.
25. Aplicar el operador de agregación máximo al conjunto de las distancias semánticas calculadas en los pasos anteriores, obteniendo la distancia máxima d_{max} ¹.
26. Imprimir la traza del razonamiento llevado a cabo por el proceso de resolución.
27. Imprimir la conclusión final y su correspondiente juicio valorativo en función del valor obtenido d_{max} .

FIN

Para entenderlo, veamos un ejemplo sencillo con una premisa general y una particular como es:

$no(interessante(X)) :- anodino(X).$

$banal(novela).$

lo cual puede traducirse como "Nada que sea anodino puede ser interesante" y "La novela es banal". Si el usuario ahora pregunta $?-tedioso(novela)$ (es decir, "¿La novela es tediosa?"), $tedioso(novela)$ es una entrada o *input* válido, y al no ser una concatenación de

¹En el caso del algoritmo especializado en el tratamiento de silogismos, la traza a partir de este punto sería la siguiente:

26. Imprimir un bloque de texto donde se especifica el número de premisas generales y particulares implicadas y el índice de siglas y abreviaturas que se van a utilizar en la traza.
27. Imprimir dichas premisas traducidas a lenguaje natural.
28. Imprimir la pregunta hecha por el usuario, también expresadas en lenguaje natural.
29. Realizar un juicio valorativo de cada uno de los emparejamiento semántico llevados a cabo, utilizando etiquetas lingüísticas propias de una escala Likert.
30. Imprimir la traza del razonamiento llevado a cabo por el proceso de resolución, indicando el método lógico y los pasos numerados anteriores que se han utilizado en cada momento.
31. Imprimir la conclusión final y su correspondiente juicio valorativo en función del valor obtenido d_{max} .
32. Clasificar los emparejamientos de acuerdo al juicio valorativo recibido durante la impresión de la traza.
33. Imprimir una explicación abreviada y lingüística de la conclusión en función de la clasificación realizada en el punto anterior.

FIN

hechos, reglas o átomos, el algoritmo pasa a buscar una equivalencia sintáctica o semántica en la base de conocimientos local. El primer término encontrado es $no(interessante(X))$. Al estar expresado en forma negada, se aplica la negación de tipo complementario, para lo cual se accede a la base de conocimientos y se busca la escala E_n que contenga el término *interesante*. Entonces se selecciona la posición directamente contraria a la que ocupa este término. Es decir, si *interesante* ocupase la segunda posición de una subescala con polaridad positiva E_n^{pos} , el término obtenido sería *aburrido*, aquel que ocupa la segunda posición de la subescala asociada a la misma dimensión pero con una polaridad negativa E_n^{neg} .

Una vez llegado a este punto, se analiza la posible relación existente entre *tedioso* y *aburrido*. Tanto *tedioso*(novela) como *aburrido*(X) son predicados de igual aridez, la cual además se distinta de cero. Y puesto que solo hay un argumento en cada uno, siendo uno de ellos una variable, X se inicializa con “novela” (en caso de que los dos argumentos fueran términos lingüísticos, el algoritmo se centraría en comprobar si existe una escala en la base de conocimientos que contenga a ambos, y en caso afirmativo calcularía su distancia semántica). A continuación, el programa determina que *tedioso* también es un elemento de E_n , por lo que llega a la conclusión de que la unificación es posible (al menos desde un punto de vista coherente) y solo queda medir la distancia semántica que separa a *tedioso* de *aburrido*.

En este caso concreto *tedioso* no solo forma parte de E_n , sino de la subescala de polaridad negativa E_n^{neg} . Más concretamente, de la primera posición de E_n^{neg} , reservada a aquellos términos lingüísticos considerados “extremos” desde una perspectiva gradual. De acuerdo a los datos empíricos del capítulo séptimo, que tienen en cuenta la distribución asimétrica obtenida en estos casos, la etiqueta lingüística utilizada como juicio valorativo sería la de “bastante de acuerdo”.

Para finalizar, tanto esta distancia semántica como la de los argumentos implicados se incluyen en una n-tupla, acompañadas por todos los términos lingüísticos que han influido en el proceso².

Por otro lado, *aburrido*(X) forma parte de una premisa general y su validez está asociada a la validez de *anodino*(X), su primer y único subobjetivo. El proceso se repite entonces con *anodino*(novela), buscando en la base de conocimientos local un término que se relacione con él desde un punto de vista lingüístico. En este ejemplo el elemento encontrado es *banal*(novela), por lo que se repite el cálculo realizado entre *tedioso*(novela) y $no(interessante(X))$ exceptuando dos puntos, a saber: que al no estar *banal*(novela) en forma negada la unificación se intentará entre los términos *anodino* y *banal* y no entre *anodino* y un antónimo de *banal*, y que ahora el argumento de *banal* no es una variable

²Dado que aquí solo hay una relación semántica (aquella existente entre *tedioso* y *aburrido*), la n-tupla obtenida en este punto del algoritmo será:

[*tedioso*, [*interesante*, *aburrido*], *regla_neg*, 1, *novela*, *novela*, *argumento_inicializacion*, 0]

Es decir, hay dos funtores implicados, *tedioso* e *interesante*, de los cuales *interesante* pertenece a una regla negada y, por tanto, ha sido sustituido por el término *aburrido*, que a su vez se encuentra a una distancia determinada de *tedioso* (“1” no es un valor preciso, simplemente es la etiqueta elegida para indicar aquellas distancias semánticas que, desde una perspectiva empírica, corresponden a la distancia existente entre un término extremo y un término medio). A su vez, “novela” es un argumento que ha inicializado la variable de *aburrido*, y al no ser un emparejamiento semántico no hay distancia semántica entre ellos

sino el término lingüístico *novela*. Como en este punto el argumento de *anodino* ya se ha inicializado con este mismo término, ambos argumentos coinciden y solo es necesario calcular la distancia semántica entre estos dos funtores. En este ejemplo se considera que *banal* y *anodino* ocupan la misma posición en su escala correspondiente (es decir, son sinónimos cognitivos), por lo que entre ellos se producirá un emparejamiento con el que el algoritmo está “totalmente de acuerdo”.

?- *tedioso(novela).

Análisis semántico de un razonamiento conformado por 1 premisa general y una premisa particular

Índice de siglas y abreviaturas:

MT = Modus tollendo tollens o negación del consecuente.

Sup. = Supuesto.

Conj. = Conjunción.

RA = Reducción al absurdo.

Paso 1: (Premisa general): Ningún elemento relacionado con la propiedad **anodino** está relacionado con la propiedad **interesante**
(Nota: En los siguientes pasos se considerará que si un elemento no está relacionado con **interesante**, eso implica a su vez que sí lo está con **aburrido**).

Paso 2: (Premisa particular): **novela** está relacionado con la propiedad **banal**

Paso 3: (Consulta) ¿Está **novela** relacionado con la propiedad **tedioso**?

Paso 4: (Sup.) **novela** no está relacionado con la propiedad **tedioso**.

Paso 5: Se establece un emparejamiento semántico entre **tedioso** y **aburrido** (con el cual este programa está **bastante de acuerdo**).

Paso 6: De acuerdo al emparejamiento realizado, **novela** tampoco está relacionado con esta última propiedad.

Paso 7: (MT, 4.1) **novela** no está relacionado con la propiedad **anodino**

Paso 8: Se establece un emparejamiento semántico entre **anodino** y **banal** (con el cual este programa está **totalmente de acuerdo**).

Paso 9: Se establece un emparejamiento sintáctico entre **novela** y **novela**

Paso 10: (Conj. 2.7) Contradicción: **novela** no está relacionado con la propiedad **anodino** en un contexto donde "**novela** está relacionado con la propiedad **banal**" es una premisa particular válida.

Paso 11: (RA, 4-10) **novela** está relacionado con la propiedad **tedioso**.

En conclusión, este programa está **bastante de acuerdo** con este resultado porque, aunque **anodino** y **banal** son sinónimos cognitivos, **tedioso** y **aburrido** no lo son (sin embargo, sí pertenecen a la clase de sinónimos próximos que hacen referencia a un grado similar de intensidad).

true :
false.

Figura 2: *Output* lingüístico a la consulta *?-tedioso(novela)*

Al concluir el proceso de resolución, las dos n-tuplas se unifican hasta formar una lista de términos y valores con los que componer una traza legible para el usuario (Figura 2). Como se está utilizando el algoritmo especializado en el tratamiento de silogismos, la conclusión se subdivide en cuatro partes, siendo la primera la presentación del problema, donde se indica el número de premisas particulares y generales que intervienen en el razonamiento (una de cada en este caso, aunque en razonamientos más complejos el algoritmo puede evaluar tantas premisas generales como sean necesarias), además de las premisas expresadas en lenguaje natural de acuerdo a las reglas, hechos y formas negadas que formen parte del silogismo. En un segundo punto, y siguiendo la n-tupla final, se establecen los pasos seguidos por Prolog en el proceso de resolución. A continuación se expresa la conclusión final (aquí, el operador de agregación máximo determina que el algoritmo debe mostrarse “bastante de acuerdo” con el resultado, a causa del emparejamiento más débil realizado), y se procede a escribir, en una o dos frases, los motivos por los que se ha llegado a ella. Con este fin se establecen nuevas n-tuplas donde se clasifican las relaciones semánticas que han tenido lugar (en este caso solo un emparejamiento entre dos elementos situados en la misma posición y un emparejamiento entre un término extremo y uno medio) y se construye un discurso puramente lingüístico, breve y concreto,

que permita entender de manera general la respuesta sin necesidad de entender todos los pasos exhibidos en la traza (“En conclusión, este programa está bastante de acuerdo con este resultado porque, aunque anodino y banal son sinónimos cognitivos, tedioso y aburrido no lo son (sin embargo, sí pertenecen a la clase de sinónimos próximos que hacen referencia a un grado similar de intensidad).”).





Referencias

- [1] Atanassov, K. y Georgiev, C. (1993). Intuitionistic Fuzzy prolog. *Fuzzy Sets and Systems*, 53(2), 121-128.
- [2] Baldwin, J. F (1981). Fuzzy logic and fuzzy reasoning. En E. H. Mamdani and B. R. Gaines (Eds.), *Fuzzy Reasoning and its Applications*. Academic Press, London, 133-148.
- [3] Bale, A. C. (2008). A universal scale of comparison. *Linguistics and Philosophy*, 31(1), 1-55.
- [4] Bale, A. C. (2011). Scales and comparison classes. *Natural Language Semantics*, 19(2), 169-190.
- [5] Beg, I. y Ashraf, S. (2009). Similarity measures for fuzzy sets. *Applied and Computational Mathematics*, 8(2), 192-202.
- [6] Bolinger, D. (1968). Aspects of language. Nueva York, Harcourt, Bracc and World.
- [7] Brants, T. y Franz, A. (2006). The Google Web 1T 5-gram corpus version 1.1. *LDC2006T13, Linguistic Data Consortium, Philadelphia*.
- [8] Broome, J. y Rabinowicz, W. (1999). Backwards induction in the centipede game. *Analysis*, 59(4), 237-242.
- [9] Budescu, D. V. y Wallsten, T. S. (1985). Consistency in interpretation of probabilistic phrases. *Organizational behavior and human decision processes*, 36(3), 391-405.
- [10] Bundy, A. (1985). Incidence calculus: a mechanism for probabilistic reasoning. *Journal of Automated Reasoning*, 1, 263-283.
- [11] Burge, T. (1991). Frege on Sense and Linguistic Meaning. En Bell, D. and Cooper, N. (Eds.). *The Analytic Tradition*. Oxford: Basil Blackwell, 30-60.
- [12] Burns, L. (1991). Vagueness. Kluwer, Dordrecht.
- [13] Burns, L. (1995). Something to do with Vagueness. *The Southern journal of philosophy*, 33(Suplemento), 23-47.
- [14] Burns, A. C., Bush, R. F. y Nash, J. (2008). Basic marketing research: using Microsoft Excel data analysis. Pearson Prentice Hall.

- [15] Campbell, R. (1974). The Sorites Paradox. *Philosophical Studies*, 26, 175-191.
- [16] Carnap, R. (1952). Meaning postulates. *Philosophical studies*, 3(5), 65-73.
- [17] Carnap, R. (1956). *Meaning and Necessity* Phoenix Books. University of Chicago Press, Chicago y Londres.
- [18] Chalmers, D. J. (1996). Minds, machines, and mathematics. *Psyche*, 2(9).
- [19] Chomsky, N. (1965). *Aspects of the Theory of Syntax*. MIT Press, Cambridge, MA.
- [20] Cocos, A., Wharton, V., Pavlick, E., Apidianaki, M. y Callison-Burch, C. (2018). Learning Scalar Adjective Intensity from Paraphrases. En *Proceedings of the 2018 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing*, 1752-1762.
- [21] Collins, J. y Varzi A. C. (2002). Unsharpenable vagueness. En *Philosophical Topics*, 28(1), 1-10.
- [22] Cresswell, M.J. (1977). The semantics of degree. En B. Partee (Ed.), *Montague grammar*. Nueva York: Academic Press, 261-292.
- [23] Cruse, D. A. (1986). *Lexical semantics*. Cambridge University Press.
- [24] Davidov, D. y Rappoport, A. (2008). Unsupervised discovery of generic relationships using pattern clusters and its evaluation by automatically generated sat analogy questions. En *Proceedings of ACL-08: HLT*, 692-700.
- [25] de Melo, G. y Bansal, M. (2013). Good, great, excellent: Global inference of semantic intensities. *Transactions of the Association for Computational Linguistics*, 1, 279-290.
- [26] Dixon, R. M. (1982). *Where have all the adjectives gone?: and other essays in semantics and syntax*. Walter de Gruyter.
- [27] Dummett, M. (1975). Wang's Paradox. *Synthese*, 30, 301-324.
- [28] Dummett, M. (1978). *Truth and Other Enigmas*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- [29] Escalada-Imaz, G., Serres, F. M., y Sobrino, A. (1996). Principios de programación lógica con información incierta. Descripción de algunos de los sistemas más relevantes (Principles of Logic Programming with Uncertain Information. Description of Some of the Most Relevant Systems). *Theoria: An International Journal for Theory, History and Foundations of Science*, 11(27), 123-148.
- [30] Edgington, D. (1997). Vagueness by degrees. En R. Keefe y P. Smith (eds.), *Vagueness: a reader*, cap. 16. MIT Press.
- [31] Evans, G. (1978). Can there be vague objects. *Analysis*, 38(4), 208.
- [32] Farzindar, A. y Lapalme, G. (2004). Letsum, an automatic legal text summarizing system. *Legal knowledge and information systems, JURIX*, 11-18.

- [33] Feferman, S. (1995). Penrose's Gödelian argument. *Psyche*, 2(1).
- [34] Fellbaum, C. (1998). WordNet: An electronic lexical database Cambridge, MA: MIT Press.
- [35] Fine, K. (1975). Vagueness, Truth and Logic. *Synthese*, 30, 265–300. Reimpreso en Rosanna Keefe and Peter Smith (Eds.), *Vagueness: A Reader*. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1996, 119–150.
- [36] Fodor, J. A. y Lepore, E. (1996). What Cannot Be Evaluated Cannot Be Evaluated and It Cannot Be Supervalued Either. *Journal of Philosophy* 93(10), 516–535.
- [37] Frege, G. (1953). The Foundations of Arithmetic a Logico-Mathematical Enquiry Into the Concept of Number. Traducido por J. L. Austin. Oxford: Blackwell
- [38] Frege, G. (1972). Conceptual Notation and related articles. Traducido por Terrel Ward Bynum. Oxford, Clarendon Press.
- [39] Frege, G. (1979). Posthumous Writings. H. Hermes, F. Kambartel, F. Kaulbach (Eds.). Traducido por Peter Long Roger White. Oxford, Basil Blackwell
- [40] Frege, G. (1980). Translations from the Philosophical Writings of GotlobFrege. Traducido por P. Geach y Max Black. Oxford, Basil Blackwell, (3^a ed.).
- [41] Frege, G. (1984). Collected Papers on Mathematics, Logic and Philosophy. Max Black et al. (Eds. y trad.). Oxford: Basil Blackwell.
- [42] Frege, G. (1997). Grundgesetze der Arithmetik, Volume II: Selections. *The Frege Reader*. Blackwell Publishers, Oxford.
- [43] French, S. y Krause, D. (2003). Quantum vagueness. *Erkenntnis*, 59(1), 97-124.
- [44] Ganitkevitch, J., Van Durme, B. y Callison-Burch, C. (2013). PPDB: The paraphrase database. En *Proceedings of the 2013 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies (NAACL HLT)*. Atlanta, Georgia, 758–764.
- [45] Gonzalez, A. y Perez, R. (1998). Completeness and consistency conditions for learning fuzzy rules. *Fuzzy Sets and Systems*, 96(1), 37-51.
- [46] Gottwald, S. (2001). A treatise on many-valued logics. London: research studies press.
- [47] Gottwald, S. (2015). Many Valued Logic. The Stanford encyclopedia of Philosophy. <http://plato.stanford.edu/entries/logic-manyvalued/> [Consulta: 16-04-2017].
- [48] Graff, D. (2000). Shifting sands: An interest-relative theory of vagueness. *Philosophical Topics*, 20, 45-81.
- [49] Grimsgaard, M. (2014). Vagueness and Precifications (tesis de máster). University of Oslo.

- [50] Guadarrama, S., Muñoz, S. y Vaucheret, C. (2004). Fuzzy Prolog: A new approach using soft constraints propagation. *Fuzzy Sets and Systems*, 144 (1), 127-150.
- [51] Haack, S. (1974). Deviant logic: Some philosophical issues. CUP Archive.
- [52] Hatzivassiloglou, V. y McKeown, K. R. (1993). Towards the automatic identification of adjectival scales: Clustering adjectives according to meaning. En *Proceedings of the 31st annual meeting on Association for Computational Linguistics*. Association for Computational Linguistics, 172-182.
- [53] Hatzivassiloglou, V. y Wiebe, J. (2000). Effects of adjective orientation and gradability on sentence subjectivity. En *Proceedings of the 18th Conference on Computational Linguistics, volume 1*. Association for Computational Linguistics, 299-305.
- [54] Hawley, K. (2001). How things persist. Clarendon Press.
- [55] Heck, R. G. (1998). That there might be vague objects (so far as concerns logic). *The Monist*, 81(2), 274-296.
- [56] Hellendoorn, H. y Thomas, C. (1993). Defuzzification in fuzzy controllers. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 1 (2), 109-123
- [57] Hermenegildo, M. V., Bueno, F., Carro, M., López-García, P., Mera, E., Morales, J. F. y Puebla, G. (2012). An overview of Ciao and its design philosophy. *Theory and Practice of Logic Programming*, 12(1-2), 219-252.
- [58] Horn, L. R. (1976). On the Semantic Properties of Logical Operators in English. Indiana University Linguistics Club.
- [59] Hjelmslev, L. (1963). Omkring Sprogteoriens Grundlæggelse. Prolegomena to a Theory of Language. Traducido por Francis J. Whitfield (Edición revisada. Segunda edición). University of Wisconsin Press.
- [60] Hyde, D. (2011). The sorites paradox. En *Vagueness: A guide*. Springer, Dordrecht, 1-17.
- [61] Ishibuchi, H., Nozaki, K. y Tanaka, H. (1992). Distributed representation of fuzzy rules and its application to pattern classification. *Fuzzy sets and systems*, 52(1), 21-32.
- [62] Ishizuka, M. y Kanai, N. (1985). Prolog-ELF incorporating fuzzy logic. *New Generation Computing*, 3(4), 479-486.
- [63] Jaccard, P. (1901). Distribution de la flore alpine dans le bassin des Dranses et dans quelques régions voisines. *Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles*, 37, 241-272.
- [64] Julián-Iranzo, P., Rubio-Manzano, C. y Gallardo-Casero, J. (2009). Bousi Prolog: a Prolog extension language for flexible query answering. *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*, 248, 131-147.

- [65] Kamp, H. (1975). Two theories about adjectives. En Edward L. Keenan (Eds.), *Formal semantics of natural language: Papers from a colloquium sponsored by the King's College Research Centre, Cambridge*. Cambridge, U.K., Cambridge University Press, 123-155.
- [66] Kamp, H. (1981). The paradox of the heap. En U. Mönnich (Ed.), *Aspects of Philosophical Logic*, Springer, Netherlands, 225-277.
- [67] Keefe, R. (2000). *Theories of Vagueness*. Cambridge: Cambridge University Press.
- [68] Kemp, G. (1996). Frege's Sharpness Requirement. *The Philosophical Quarterly*, 46(183), 168-184.
- [69] Kennedy, C. (1999). Projecting the adjective: The syntax and semantics of gradability and comparison. New York: Garland. (tesis doctoral, UCSC, 1997).
- [70] Kennedy, C. (2007). Vagueness and grammar: The semantics of relative and absolute gradable adjectives. *Linguistics and philosophy*, 30(1), 1-45.
- [71] Kennedy, C. y McNally, L. (2005). Scale structure and the semantic typology of gradable predicates. *Language*, 81(2), 345-381.
- [72] Kilgarriff, A. (2007). Googleology is bad science. *Computational Linguistics*, 33(1).
- [73] Kim, J. K. y de Marneffe, M. C. (2013). Deriving adjectival scales from continuous space word representations. En *Proceedings of the 2013 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing*, 1625-1630.
- [74] Klein, E. (1980). A semantics for positive and comparative adjectives. *Linguistics and Philosophy*, 4, 1-45.
- [75] Klein, E. (1991). Comparatives. En Arnim von Stechow y Dieter Wunderlich (Eds.), *Semantics: An International handbook of Contemporary Research*, Berlin: de Gruyter, 673-691.
- [76] Kowalski, R. (1974). Predicate logic as programming language. *IFIP congress 74*, 569-574.
- [77] Kyburg, H.E. (1961). *Probability and the Logic of Rational Belief*. Middletown, CT: Wesleyan University Press.
- [78] Lange, L. (1886). Die geschichtliche Entwicklung des Bewegungsbegriffs und ihr voraussichtliches Endergebnis, Schluss. En *Philosophische Studien III*. Hrsg. W. Wundt, 643-691.
- [79] Lasersohn, P. (1999). Pragmatic halos. *Language*, 75(3), 522-551.
- [80] Lassiter, D. (2011). *Measurement and modality: the scalar basis of modal semantics*. Disertación doctoral, New York University.
- [81] Lee, R. C. T. (1972). Fuzzy Logic and the resolution principle. *Journal of the association for computing machinery*, 19(1), 109-119.

- [82] Lewis, D. (1988). Vague identity: Evans misunderstood. *Analysis*, 48(3), 128-130.
- [83] Li, D. y Liu, D. (1990). A fuzzy Prolog database system. Research studies press y John Wiley and Sons.
- [84] Likert, R. (1932). A technique for the measurement of attitudes. *Archives of psychology*, 140, 1-55.
- [85] López, C. S. (2006). El grado de adjetivos y adverbios. Arco Libros.
- [86] Lord Kelvin, W. T. (1883). Electrical Units of Measurement. *Nature*, 28(708).
- [87] Lowe, E. J. (1994). Vague identity and quantum indeterminacy. *Analysis*, 54(2), 110-114.
- [88] Lowe, E. J. (1997). Reply to Noonan on vague identity. *Analysis*, 57(1), 88-91.
- [89] Ludwig, G. (1961). Gelöste und ungelöste Probleme des Meßprozesses in der Quantenmechanik. En *Werner Heisenberg und die Physik unserer Zeit*, Brwunshweig, 150-181.
- [90] Lukasiewicz, J. (1920). On three-valued logic. *Ruch filozoficzny*, 5, 170-171.
- [91] Lyons, J. (1968). Introduction to theoretical linguistics. Cambridge university press.
- [92] Lyons, J. (1995). Linguistic semantics: An introduction. Cambridge University Press.
- [93] Machina, K. (1972). Vague Predicates. *American Philosophical Quarterly*, 9(3), 225-233.
- [94] Mamdani, E. H. y Assilian, S. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International journal of man-machine studies*, 7(1), 1-13.
- [95] Mandal, D. P., Murthy, C. A. y Pal, S. K. (1992). Formulation of a multivalued recognition system. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 22(4), 607-620.
- [96] Maudlin, T. (1995). Between the Motion and the Act. *Psyche*, 2(2).
- [97] McCullough, D. (1995). Can humans escape Gödel? *Psyche*, 2(4).
- [98] McDermott, D. (1996). [Star] Penrose is wrong. *Psyche*, 2(17).
- [99] Mikolov, T., Povey, D., Burget, L., y Cernocky, J. (2011). Strategies for training large scale neural network language models. En *Proceedings of ASRU*, 196–201.
- [100] Mikolov, T., Yih, W. y Zweig, G. (2013). Linguistic regularities in continuous space word representations. En *Proceedings of NAACL-HLT*, 746–751.
- [101] Morzycki, M. (2013). Vagueness, Degrees, and Gradable Predicates. Cambridge University Press.
- [102] Noonan, H. W. (1995). EJ Lowe on vague identity and quantum indeterminacy. *Analysis*, 55(1), 14-19.

- [103] Palmer, F. R. (1976). *Semantics: a new introduction*. Cambridge University Press.
- [104] Palmer, F. R. (1995). Negation and the modals of possibility and necessity. En J. L. Bybee and S. Fleischman (Eds.), *Modality in grammar and discourse*. Amsterdam and Philadelphia: John Benjamins, 453–471.
- [105] Pavlick, E., Rastogi, P., Ganitkevitch, J., Van Durme, B. y Callison-Burch, C. (2015). PPDB 2.0: Better paraphrase ranking, finegrained entailment relations, word embeddings, and style classification. En *Proceedings of the 53rd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics and the 7th International Joint Conference on Natural Language Processing (ACL) (Volume 2: Short Papers)*, Pekín, China, 425–430.
- [106] Pelletier, F. J. (1989). Another argument against vague objects. *The Journal of philosophy*, 86(9), 481-492.
- [107] Penrose, R. (1994). *Shadows of the Mind*. Oxford: Oxford University Press.
- [108] Pereira, F. C. y Shieber, S. M. (2002). *Prolog and natural-language analysis*. Microtome Publishing.
- [109] Pereira-Fariña, M., Sobrino, A. y Bugarín, A. (2013). A proposal of fuzzy chained syllogism based on the concept of synonymy. En *2013 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE)*, 1-8
- [110] Post, H. (1963). Individuality and Physics. *The Listener*, 70, 534–537.
- [111] Puryear, S. (2013). Frege on Vagueness and Ordinary Language. En *The Philosophical Quarterly*, 63(250), 120–140.
- [112] Quine, W. V. (1981). What price bivalence? *The Journal of Philosophy*, 78(2), 90-95.
- [113] Raffman, D. (2005). Borderline cases and Bivalence. *Philosophical Review*, 114, 1–31.
- [114] Ramsey, F. P. (1926). Truth and probability. En *Readings in Formal Epistemology*. Springer, Cham, 21-45.
- [115] Reid, T. (1969). *Essays on the Intellectual Powers of Man*, introduction by B. Brody. Baruch A. Brody (Ed.). Cambridge, Massachusetts.
- [116] Rill, S., Drescher, J., Reinel, D., Scheidt, J., Schuetz, O., Wogenstein, F. y Simon, D. (2012). A Generic Approach to Generate Opinion Lists of Phrases for Opinion Mining Applications. En *Proceedings of the KDD-Workshop on Issues of Sentiment Discovery and Opinion Mining (WISDOM)*, Pekín, China.
- [117] Robinson, J. A. (1965). A machine-oriented logic based on the resolution principle. *Journal of the ACM*, 12(1), 23-41.
- [118] Romney, A. K., Weller, S. C., y Batchelder, W. H. (1986). Culture as consensus: A theory of culture and informant accuracy. *American Anthropologist*, 88(2), 313–338.

- [119] Rotstein, C. y Winter, Y. (2004). Total adjectives vs. partial adjectives: Scale structure and higher-order modifiers. *Natural Language Semantics*, 12(3), 259-288.
- [120] Ruffino, M. (2003). Frege's View on Vagueness. *Manuscrito: Revista Internacional de Filosofía, Caminas*, 26(2), 253-277.
- [121] Ruppenhofer, J., Wiegand, M. y Brandes, J. (2014). Comparing methods for deriving intensity scores for adjectives. En *Proceedings of the 14th Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics, volume 2: Short Papers*, 117-122.
- [122] Ruppenhofer, J., Brandes, J., Steiner, P. y Wiegand, M. (2015). Ordering adverbs by their scaling effect on adjective intensity. En *Proceedings of Recent Advances in Natural Language Processing (RANLP)*, Hissar, Bulgaria, 545-554.
- [123] Russell, B. (1923). Vagueness. *The Australasian Journal of Psychology and Philosophy*, 1(2), 84-92.
- [124] Sanford, D. H. (1975). Borderline Logic. *American Philosophical Quarterly*, 12, 29-40.
- [125] Sanford, D. H. (1976). Competing Semantics of Vagueness; Many Values Versus Supertruth. *Synthese*, 33, 195-210.
- [126] Sapir, E. (1921). *Language*. Nueva York: Harcourt Brace.
- [127] Saussure, F. de (1915). *Cours de linguistique générale*. C. Bally y A. Sechehaye (Eds.), con la colaboración de A. Riedlinger, Lausanne and Paris: Payot; trad. W. Baskin, *Course in General Linguistics*, Glasgow: Fontana/Collins, 1977.
- [128] Searle, J. R. (1980). Minds, brains, and programs. *Behavioral and brain sciences*, 3(3), 417-424.
- [129] Sessa, M. I. (2002). Approximate reasoning by similarity-based SLD resolution. *Theoretical Computer Science*, 275(1-2), 389-426.
- [130] Sheinman, V. y Tokunaga, T. (2009a). Adjscales: Visualizing differences between adjectives for language learners. *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems*, 92(8), 1542-1550.
- [131] Sheinman, V. y Tokunaga, T. (2009b). AdjScales: Differentiating between Similar Adjectives for Language Learners. En *CSEdu*, 1, 229-235.
- [132] Sheinman, V., Fellbaum, C., Julien, I., Schulam, P. y Tokunaga, T. (2013). Large, huge or gigantic? Identifying and encoding intensity relations among adjectives in WordNet. *Language resources and evaluation*, 47(3), 797-816.
- [133] Shinichiro, T. (2015). Synonyms in Legal Discourse: A Corpus-based Approach to a New Legal English Dictionary. *Language, culture, and communication: journal of the College of Intercultural Communication*, 7, 37-63.

- [134] Sobrino-Cerdeirina, A., Fernández-Lanza, S. y Grana-Gil, J. (2006). Access to a large dictionary of Spanish synonyms: A tool for fuzzy information retrieval. En E. Herrera, G. Pasi, F. Crestani (Eds.), *Soft Computing in Web Information Retrieval: Models and Applications*. Springer Berlin Heidelberg, 229-316.
- [135] Sobrino, A. (2012). The Role of Synonymy and Antonymy in Natural Fuzzy Prolog. En R. Seising, V. Sanz (Eds.), *Soft Computing in Humanities and Social Sciences*. Springer Berlin Heidelberg, 209-236.
- [136] Solt, S. y Gotzner, N. (2012). Experimenting with degree. En Anca Chereches (Ed.), *Proceedings of Semantics and Linguistic Theory, 22*. Ithaca, NY: CLC Publications, 166-187.
- [137] Sorensen, R. A. (1988). Vagueness, measurement, and blurriness. *Synthese*, 75(1), 45-82.
- [138] Sorensen, R. A. (2001). *Vagueness and Contradiction*. Nueva York: Oxford University Press.
- [139] Sorensen, R. (2012). Vagueness. The Stanford Encyclopedia of Philosophy. E. N. Zalta (Ed.), <http://plato.stanford.edu/entries/vagueness/> [Consulta: 20-08-2018].
- [140] Spärck, K. (1986). *Synonymy and Semantic Classification*. Edinburg University Press.
- [141] Sprouse, J. (2011). A validation of Amazon Mechanical Turk for the collection of acceptability judgments in linguistic theory. *Behavior research methods*, 43(1), 155-167.
- [142] Sugeno, M. (1985). *Industrial applications of fuzzy control*. Elsevier Science Inc.
- [143] Teigen, K. H. y Brun, W. (2003). Verbal expressions of uncertainty and probability. En D. Hardman, L. Macchi (Eds.), *Thinking: Psychological perspectives on reasoning, judgment and decision making*, John Willey and Sons, Nueva York, 125-145.
- [144] Trillas, E., Moraga, C., Guadarrama, S., Cubillo, S. y Castiñeira, E. (2007). Computing with antonyms. En *Forging New Frontiers: Fuzzy Pioneers I*. Springer, Berlín, Heidelberg, 133-153.
- [145] Trillas, E. y García-Honrado, I. (2013). A layperson reflection on sorites. En *Fuzziness and Medicine: Philosophical Reflections and Application Systems in Health Care*. Springer, Berlín, Heidelberg, 217-231.
- [146] Turing, A. M. (1937). On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem. *Proceedings of the London mathematical society*, 2(1), 230-265.
- [147] Turing, A. M. (1950). Computing machinery and intelligence. *Mind*, 59, 433-60.
- [148] Uebele, V., Abe, S. y Lan, M. S. (1995). A neural-network-based fuzzy classifier. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 25(2), 353-361.

- [149] Ullmann, S. (1957). *The Principles of Semantics*. 2^a ed. Glasgow: Jackson and Oxford: Blackwell.
- [150] Unger, P. (1979). There Are No Ordinary Things. *Synthese*, 41(2), 117–154.
- [151] van Heijenoort, J. (1986). Frege on Vagueness. En L. Haaparanta and J. Hintikka (Eds.), *Synthesized*. Dordrecht: Reidel Publishing Co., 31-45.
- [152] van Inwagen, P. (1990). *Material Beings*. Ithaca: Cornell University.
- [153] van Rooij, R. (2011). Vagueness and linguistics. En G. Ronzitti (Ed.), *Vagueness: A guide*. Nueva York: Springer, 123-170.
- [154] Velasco, G., Bugarin, A. y Sobrino, A. (2018). Estudio empírico sobre el tratamiento de la sinonimia en los razonamientos vagos. En *XIX Congreso Español sobre Tecnologías y Lógica Fuzzy (ESTYLF 2018)*, dentro de la *XVIII Conferencia de la Asociación Española para la Inteligencia Artificial (CAEPIA 2018)*, 335-340.
- [155] von Stechow, A. (1984). Comparing semantic theories of comparison. *Journal of Semantics*, 3, 1-77.
- [156] Weigert, T. J., Tsai, J. P. y Liu, X. (1993). Fuzzy operator logic and fuzzy resolution. *Journal of Automated Reasoning*, 10(1), 59-78.
- [157] Weiner, J. (1990). *Frege in Perspective* Cornell University Press, Ithaca and London.
- [158] Weller, S. C. y Romney, A. K. (1988). *Systematic data collection*. Sage.
- [159] Weller, S. C. (2007). Cultural consensus theory: Applications and frequently asked questions. *Field methods*, 19(4), 339–368.
- [160] Wigner, E. P. (1969). Epistemology of quantum mechanics. *Contemporary Physics*, vol. II. Atomic Energy Agency, Vienna, 431-437.
- [161] Wilkinson, B. (2015). Initial Steps for Building a Lexicon of Adjectives with Scale-mates. En *Proceedings of the 2015 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Student Research Workshop*, 57-63.
- [162] Wilkinson, B. y Oates, T. (2016). A Gold Standard for Scalar Adjectives. En *Proceedings of the 10th International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC)*.
- [163] Williamson, T (1994). *Vagueness*. Rout Ledge, London.
- [164] Wright, C. (1975). On the coherence of vague predicates. *Synthese*, 30(3), 325-365.
- [165] Wright, C. (2010). The illusion of higher-order vagueness. *Cuts and Clouds: Vagueness, Its Nature, and Its Logic*, 523-549.
- [166] Yoon, Y. (1996). Total and partial predicates and the weak and strong interpretations. *Natural Language Semantics*, 4, 217-236.

- [167] Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy sets. *Information and control*, 8, 338-353.
- [168] Zadeh, L. A. (1968). Probability measures of fuzzy events. *Journal of mathematical analysis and applications*, 23(2), 421-427.
- [169] Zadeh, L. A. (1975). Fuzzy Logic and Approximate Reasoning. *Synthese*, 30(3-4), 407-428.
- [170] Zadeh, L. A. (1978). PRUF—a meaning representation language for natural languages. *International Journal of man-machine studies*, 10(4), 395-460.
- [171] Zadeh, L. A. (1979). Fuzzy sets and information granularity. *Advances in fuzzy set theory and applications*, 11, 3-18.
- [172] Zadeh, L. A. (1985). Syllogistic reasoning in fuzzy logic and its application to usability and reasoning with dispositions. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 6, 754-763.
- [173] Zadeh, L. A. (1996). Fuzzy Logic = Computing with Words. *IEEE transactions of fuzzy systems*, 4(2), 103-111.
- [174] Zadeh, L. A. (1999). From computing with numbers to computing with words. *From manipulation of measurements to manipulation of perceptions. Circuits and systems I: Fundamental theory and applications, IEEE*, 46(1), 105-119.
- [175] Zadeh, L. A. (2008). Is there a need for fuzzy logic? *Information sciences*, 178(13), 2751-2779.



Índice alfabético

A		Extension gap	38
AdjScales	135		
Ambigüedad	18	F	
Aproximación de grado	29	Forma canónica	78
Adjetivos absolutos	34	Fuzzification	45
Adjetivos relativos	34, 89	G	
Estándar de comparación	31	Governing View	66
Grado	30, 31	H	
Morfema pos	30–33, 37	Halos pragmáticos	37
Aproximación de Klein	38	Hiperonimia (e Hiponimia)	97
Adjetivos lineales	38–41		
Proceso de reaplicación	39–40	I	
Argumento de Evans	21–22	Imprecisión	19
B		J	
Bedeutung	49	Juego del Ciempiés	62
C		L	
Casos de frontera	17	Lógica Difusa	43
Coefficiente de determinación	134	Números borrosos	43–44
Compatibilidad (e incompatibilidad)	99	Lenguaje ideal	47, 48
Computación con palabras	71	M	
Gránulos	77	Método Meanstar	138
PRUF	74	Meronimia (y Holonimia)	100
Variable lingüística	72	O	
Condición de accesibilidad pública	62	Objetos vagos	19, 21
Conexiones de penumbra	56	Oposición de significado	101
Crisp judgments	32	Antonimia	102
D		Complementariedad	101
Decoherencia cuántica	25–26	Reciprocidad	104
Defuzzification	45	Oraciones de identidad vaga	21
E		P	
Escala Likert	117	Paradoja de la Lotería	65
Escalas	33		
de medida	130		
ordinales	130		

Paradoja sorites	26–27	absoluta	92
Patrones de Horn	135	cognitiva	92
Precisificación	51	próxima o Plesionimia	93
Principio de incompatibilidad	71	Sistemas de Inferencia Difusa	120
Problema de la medida	26	Supervaluacionismo	55–57
Programación Lógica Borrosa	110		
Prolog	107	T	
Backtracking	109	Teoría de Consenso Cultural	140
Unificación	109	Teoría Semántica de Campos	99
Punto de especificación	57		
		V	
S		Vaguedad	17, 52
Sinonimia	89	Verdades de penumbra	56



