

UNIVERSIDAD DE JAÉN

**Escuela Politécnica Superior de Jaén
Departamento de Informática**



**Modelo de Evaluación Sensorial para el Aceite de Oliva
basado en una nueva Escala Lingüística no Balanceada**

Trabajo Tutelado de Iniciación a la Investigación

Francisco Javier Estrella Liébana

Jaén, Septiembre de 2013

UNIVERSIDAD DE JAÉN

**Escuela Politécnica Superior de Jaén
Departamento de Informática**



**Modelo de Evaluación Sensorial para el Aceite de Oliva
basado en una nueva Escala Lingüística no Balanceada**

Trabajo Tutelado de Iniciación a la Investigación

Francisco Javier Estrella Liébana

Tutor: Dr. Luis Martínez López

Cotutora: Dr. Macarena Espinilla Estévez

Jaén, Septiembre de 2013

Índice general

Índice de figuras	v
Índice de tablas	vii
1. Introducción	1
1.1. Motivación	1
1.2. Objetivos	5
1.3. Estructura de la memoria	6
2. Evaluación Sensorial y Teoría de Decisión. Evaluación Sensorial del AOV	9
2.1. Análisis de la Decisión y Evaluación	10
2.1.1. Análisis de Decisión y Procesos de Evaluación	10
2.1.2. Toma de Decisiones	12
2.1.2.1. Clasificación del Problema de Toma de Decisiones	13
2.1.2.2. Modelado de Preferencias en Toma de Decisión	16
2.2. Evaluación Sensorial	20
2.2.1. Los Sentidos como Herramienta de Análisis	20
2.2.2. Factores de Influencia	21

2.2.3.	Jueces	22
2.2.4.	Modelo Básico de Evaluación Sensorial Multiexperto Multicriterio . .	23
2.2.4.1.	Marco de Evaluación	24
2.2.4.2.	Recopilación de la Información	25
2.2.4.3.	Valoración de los Objetos	25
2.3.	Evaluación Sensorial del AOV Establecido por COI	26
3.	Modelado Lingüístico Difuso	31
3.1.	Teoría de Conjuntos Difusos	32
3.1.1.	Conjuntos Difusos y Funciones de Pertenencia	35
3.1.2.	Definiciones Básicas	37
3.2.	El Enfoque Lingüístico Difuso	37
3.2.1.	Sintaxis del Conjunto de Términos Lingüísticos	40
3.2.2.	Semántica Asociada a Cada Término Lingüístico	41
3.2.3.	Modelos Computacionales Lingüísticos	42
3.3.	Modelo Lingüístico 2-tuplas	43
3.3.1.	Modelo de Representación Lingüístico 2-tuplas	43
3.3.2.	Modelo de Computación Lingüístico 2-tuplas	45
3.4.	Modelo Lingüístico No Balanceado	46
3.4.1.	Modelo de Representación	46
3.4.1.1.	Modelado de los Subconjuntos	49
3.4.2.	Modelo de Computación	54
3.4.2.1.	Proceso de unificación	55
3.4.2.2.	Proceso de agregación	55
3.4.2.3.	Proceso de retraslación	55

4. Modelo de Evaluación Sensorial para el AOV Basado en una Nueva Escala Lingüística No Balanceada	57
4.1. Nueva Escala No Balanceada para la Evaluación Sensorial	58
4.2. Modelo de Evaluación Sensorial para el AOV Basado en una Nueva Escala Lingüística No Balanceada	61
4.2.1. Marco de Evaluación	62
4.2.2. Recopilación de la Información Sensorial	64
4.2.3. Valoración de las Muestras	64
4.2.3.1. Unificación de la Información	64
4.2.3.2. Agregación de la Información	66
4.3. Caso de Estudio para la Validación de la Clasificación Realizada con el Modelo de Evaluación Sensorial	68
4.4. Ejemplo de Clasificación de una Muestra de AOV	70
4.4.1. Marco de Evaluación	71
4.4.2. Recopilación de la Información Sensorial	71
4.4.3. Valoración de las Muestras	73
4.4.3.1. Unificación de la Información	73
4.4.3.2. Agregación de la Información	74
5. Prototipo Software del Modelo de Evaluación Sensorial del AOV con Escalas Lingüísticas No Balanceadas	77
5.1. Arquitectura del Prototipo	77
5.2. Tecnologías Empleadas en su Desarrollo	80
5.3. Funcionalidad del Prototipo	81

5.3.1. Definición del Marco de Evaluación	82
5.3.1.1. Definición del Panel de Cata	83
5.3.1.2. Definición de las Muestras	83
5.3.1.3. Definición de los Atributos Sensoriales	84
5.3.1.4. Definición de las Escalas	85
5.3.1.5. Funcionalidad Adicional	89
5.3.2. Recopilación de la Información Sensorial	91
5.3.2.1. Recopilación de la Información Sensorial Mediante Hojas de Cálculo	93
5.3.3. Valoración de las Muestras	96
6. Conclusiones y Trabajos Futuros	101
6.1. Propuestas y Resultados Obtenidos	101
6.2. Trabajos Futuros	103
6.3. Publicaciones Derivadas	104
Bibliografía	105

Índice de figuras

2.1. Esquema de un proceso de toma de decisión.	11
2.2. Fases del modelo básico de evaluación sensorial.	23
2.3. Hoja de perfil de aceite de oliva virgen.	28
3.1. Clasificación con lógica clásica.	33
3.2. Clasificación con lógica difusa.	34
3.3. Funciones de pertenencia para el conjunto \tilde{B} del ejemplo 2.	36
3.4. Proceso general de computación con palabras.	42
3.5. Jerarquía lingüística de 3, 5 y 9 etiquetas.	48
3.6. Escala no balanceada.	52
3.7. Semántica de la escala no balanceada.	54
3.8. Modelo de computación en el modelo lingüístico no balanceado.	54
4.1. Semántica de la escala no balanceada inicial.	59
4.2. Semántica de la nueva escala no balanceada.	61
4.3. Modelo de evaluación sensorial para el AOV.	62
4.4. Escala no balanceada de 7 términos lingüísticos.	63
4.5. Hoja de perfil propuesta.	65

4.6. Proceso de validación realizado	68
4.7. Hoja de perfil completada por el catador e_1	72
5.1. Componentes del prototipo.	80
5.2. Marco de evaluación.	82
5.3. Definición del panel de cata.	83
5.4. Definición de las muestras de aceite de oliva virgen a evaluar.	83
5.5. Definición de los atributos sensoriales.	84
5.6. Definición de las escalas.	85
5.7. Definición de la escala no balanceada.	86
5.8. Definición de la semántica de la escala.	88
5.9. Visualización de la etiqueta Casi Inapreciable.	89
5.10. Visualización de la etiqueta Medio.	90
5.11. Fase de valoración de las muestras desactivada.	90
5.12. Barra de título mostrando archivo abierto.	91
5.13. Recopilación de la información sensorial.	91
5.14. Filtrado en la recopilación de la información sensorial.	92
5.15. Realización de una evaluación.	93
5.16. Recopilación de la información sensorial mediante una hoja de cálculo.	94
5.17. Ayuda en la evaluación mediante hoja de cálculo.	95
5.18. Realización de una evaluación mediante hoja de cálculo	95
5.19. Valoración de las muestras.	96
5.20. Visualización de la etiqueta correspondiente.	98
5.21. Valoración de la muestra VE1.	99

Índice de tablas

2.1. Rangos de referencia para clasificación de AOV según COI	29
4.1. Rangos de referencia para clasificación con modelo lingüístico no balanceado	67
4.2. Vectores de utilidad dados por el panel de catadores	73
4.3. Vectores de utilidad transformados a 2-tupla	74
4.4. Vectores de utilidad transformados a 2-tupla en t_{CBTL}	74
4.5. Medianas 2-tupla en t_{CBTL}	75
4.6. Medianas 2-tupla en escala lingüística no balanceada	75
4.7. Evaluaciones colectivas 2-tupla en escala lingüística no balanceada	75

Introducción

1.1. Motivación

La *evaluación* es un proceso de especial interés en múltiples campos como la industria, la justicia, el mundo empresarial, la alimentación, la política o la salud entre otros, existiendo múltiples disciplinas basadas en ella tales como la evaluación sensorial [2, 26, 71, 88, 96], la evaluación de la calidad [19, 22, 91], la evaluación del desempeño [79, 84, 93] o la evaluación del aprendizaje [8].

En este trabajo nos centramos en un tipo de evaluación determinado, la *evaluación sensorial*. La evaluación sensorial [2, 26, 71, 88, 96] comprende un conjunto de técnicas que intentan describir y medir las propiedades sensoriales que presentan los productos para proporcionar información útil de los mismos [62]. El perfil sensorial o huella sensorial es clave en multitud de sectores como la industria audiovisual, el marketing, el control de la calidad o la alimentación [95, 97, 107]. Así, la evaluación sensorial está directamente relacionada con la calidad percibida por los consumidores, la relación precio-calidad o la detección de sustitución de las materias primas empleadas en el desarrollo de un producto [3, 92, 121].

Una de las principales dificultades con la que se encuentra la evaluación sensorial es la naturaleza de la información que se evalúa, ya que se trata de evaluaciones realizadas mediante la información que se obtiene a través de los sentidos humanos. Dicha información es fuertemente subjetiva, vaga y con un alto grado de incertidumbre, por lo que, consecuentemente, es difícil de valorar de forma precisa.

Los procesos de evaluación, entre los que se encuadra la evaluación sensorial, son procesos complejos, que implican la realización de varias tareas como, la identificación de los elementos a evaluar, el establecimiento del marco en el que evaluar, la recopilación de información, la agregación de la información recopilada y la obtención de una valoración global para cada producto evaluado. En todo proceso de evaluación se realiza un análisis de las características o indicadores del elemento que es objeto de evaluación de modo similar al que se lleva a cabo en los problemas de toma de decisiones sobre las alternativas a considerar. Por tanto, el conjunto de métodos que brinda la toma de decisiones es una herramienta muy útil para modelar procesos de evaluación.

En esta memoria centramos nuestro trabajo en el proceso de *evaluación sensorial del aceite de oliva virgen* (AOV). El aceite de oliva es el zumo del fruto del olivo, la oliva o aceituna. Un aceite de oliva, recibe la denominación de *virgen*, cuando es obtenido exclusivamente por procesos físicos como la presión, la decantación o la centrifugación. Como comentamos, nuestro trabajo se centra en el proceso de evaluación sensorial de este tipo de aceite de oliva, por lo que, en adelante, nos referiremos en exclusiva a él como AOV.

El proceso de evaluación sensorial del AOV se realiza siguiendo las directrices fijadas por el Consejo Oleícola Internacional (COI)¹ de modo que se realice de forma estandarizada en cualquier lugar del mundo. Este proceso de evaluación sensorial nos permite llevar a cabo una clasificación comercial del AOV, la cual resulta de gran interés para su comercialización al tener influencia directa en el precio de venta y en la relación precio-calidad percibida por los consumidores. Las directrices establecidas por el COI marcan la clasificación comercial del AOV, así una muestra de AOV puede ser clasificada como virgen extra, virgen, virgen ordinario o virgen lampante.

Esta clasificación, es llevada a cabo midiendo la intensidad de determinados atributos sensoriales, establecidos y categorizados en negativos y positivos, siendo las intensidades bajas las que determinan la clasificación comercial de cada muestra de AOV. Para medir la intensidad de los atributos sensoriales, cada uno de los catadores que forman parte en el

¹<http://www.internationaloliveoil.org/>

proceso de evaluación sensorial dispone de una hoja de perfil en la cual indica la intensidad percibida para cada atributo sensorial estableciendo una marca en una escala no estructurada de 10 centímetros de longitud. Esta marca es medida posteriormente para asignar a cada atributo sensorial un valor numérico concreto.

Las intensidades proporcionadas de una muestra de AOV son agregadas para llevar a cabo la clasificación comercial de la misma, empleando para ello los rangos de referencia indicados en la normativa del COI. Para tratar la incertidumbre asociada al valorar las intensidades de los atributos sensoriales, el COI utiliza un tratamiento probabilístico en el que se emplea la mediana de las valoraciones. Sin embargo, la incertidumbre generada por la utilización de los sentidos sensoriales como una herramienta de análisis no tiene carácter probabilístico, sino que dicha incertidumbre está asociada a los juicios vagos e imprecisos realizados por los catadores al valorar los atributos sensoriales.

Para tratar convenientemente este tipo de incertidumbre el uso del enfoque lingüístico difuso, el cual se basa en la aproximación lingüística difusa [118] y la lógica difusa [117], ha demostrado proporcionar buenos resultados [17] en diversas áreas de aplicación [4, 6, 51, 54, 73, 111].

Dado que la clasificación se basa en la detección de intensidades bajas, en [72] fue propuesto un modelo lingüístico de evaluación sensorial para el AOV que utiliza el enfoque lingüístico difuso y la lógica difusa. Dicho modelo propone una escala lingüística no balanceada para valorar las intensidades de los atributos sensoriales de una muestra y un proceso de valoración donde se clasifican las muestras evaluadas en función de las valoraciones lingüísticas proporcionadas por los catadores. Para ello, dicho modelo hace uso de la metodología presentada en [40] para representar la escala lingüísticas no balanceada a través del enfoque lingüístico difuso y realizar los procesos de computación sobre los términos de dicha escala para obtener la clasificación del AOV.

Junto a este modelo, fue propuesto un software para la evaluación sensorial del AOV que desarrolla el modelo presentado en [72] y define la escala lingüística no balanceada utilizada. Dicho software permite introducir las intensidades proporcionadas por los catadores de un

muestra de AOV en la escala lingüística no balanceada definida y llevar a cabo la clasificación de dicha muestra. Así, el software desarrollado se encuentra ligado a la escala definida en el modelo propuesto, no siendo posible emplear una escala lingüística no balanceada diferente.

La investigación que se presenta en esta memoria de investigación nace de la validación del modelo de evaluación sensorial para el AOV presentado en [72], la cual ha sido llevada a cabo bajo el proyecto de investigación *Desarrollo de Sistemas Instrumentales de Análisis y Modelización mediante la Lógica Difusa aplicados a la Caracterización Sensorial del Aceite de Oliva Virgen Extra*².

En una fase temprana de la validación del modelo lingüístico de evaluación sensorial para el AOV fue puesto de manifiesto que dicho modelo realizaba una clasificación errónea de algunas muestras de AOV dudosas entre dos categorías. Este hecho se debe a que la escala lingüística no balanceada inicialmente empleada carecía de un número insuficiente de etiquetas en la parte en la que se concentran los valores en los que se basa la clasificación del AOV según la normativa establecida por el COI.

Así, la investigación que se plantea en esta memoria se centra en la propuesta de un nuevo modelo de evaluación sensorial para el AOV, derivado del modelo inicial propuesto en [72], con una nueva escala lingüística no balanceada que permita recoger de forma adecuada las intensidades de los catadores con el fin de clasificar correctamente aquellas muestras de AOV dudosas entre dos categorías, las cuales el modelo inicial no clasificaba correctamente.

Finalmente, se pretende llevar a cabo el desarrollo de un prototipo software que implemente el nuevo modelo lingüístico de evaluación sensorial del AOV y que permita, a partir de las valoraciones expresadas en la nueva escala lingüística no balanceada, obtener la clasificación comercial de una muestra de AOV siguiendo los rangos de referencia establecidos por el COI expresados en la nueva escala. Además, este software pretende vencer la limitación del software anterior, por lo que no debe quedar ligado a la escala concreta propuesta, si no que debe permitir emplear diferentes escalas lingüísticas no balanceadas para el proceso de evaluación sensorial del AOV. Por ello, el software implementará la metodología presentada

²Ref: AGR-6487

en [40] para representar una escala lingüística no balanceada y operar sobre la información expresada en ella.

1.2. Objetivos

El propósito de este trabajo es la definición de un nuevo modelo de evaluación sensorial para el AOV que empleé una nueva escala lingüística no balanceada y que permita clasificar correctamente muestras de AOV.

Para alcanzar nuestro propósito, hemos fijado los siguientes objetivos:

- Estudiar el uso de la aproximación lingüística difusa para abordar el proceso de la evaluación sensorial del AOV.
 - Proponer una nueva escala lingüística no balanceada que cuente con un mayor número de etiquetas en la zona baja de la misma y, por tanto, al ser esta la zona en la que se concentran los rangos de referencia empleados para realizar la clasificación de una muestra de AOV según se define en la normativa del COI, permita mejorar la clasificación del AOV en aquellos casos en los que una muestra esté dudosa entre dos categorías.
 - Adaptar el modelo lingüístico de evaluación sensorial inicial para la clasificación comercial del AOV a la nueva escala lingüística no balanceada definida.
 - Realizar un caso de estudio para validar la clasificación obtenida empleando el nuevo modelo lingüístico de evaluación sensorial del AOV.
 - Implementar un prototipo software que desarrolle el nuevo modelo y que permita, a partir de las valoraciones expresadas en la nueva escala lingüística no balanceada, calcular la clasificación comercial de una muestra de AOV.
 - Desarrollar el el prototipo software la metodología para representar una escala lingüística no balanceada y operar sobre la información expresada en ella con el fin de permitir
-

el uso de diferentes escalas lingüísticas no balanceadas y así evitar que el prototipo quede ligado a una escala lingüística no balanceada concreta.

1.3. Estructura de la memoria

A continuación, se hará una breve introducción de los capítulos en los que se ha estructurado esta memoria:

- **Capítulo 1:** Pretende ser una introducción general mediante la cual conocer la problemática que nos atañe, el propósito del presente trabajo de investigación y los objetivos que perseguimos.
 - **Capítulo 2:** Hace una introducción a uno de los fundamentos teóricos sobre los que se estructura este trabajo, la evaluación sensorial. En primer lugar se abordará la evaluación y el análisis de la decisión. Seguidamente se revisarán de forma general los procesos de evaluación sensorial. Por último se revisará el proceso de clasificación establecido por el COI para la clasificación de AOV.
 - **Capítulo 3:** Expone los conceptos teóricos que empleamos en nuestra propuesta para el modelado y tratamiento de la información, el modelo lingüístico difuso. Se revisará el modelo de representación y el modelo computacional basado en 2-tupla lingüística y la metodología para representar información lingüística no balanceada y operar sobre ella, ya que esta metodología será la que emplearemos en nuestro modelo para la clasificación comercial del AOV.
 - **Capítulo 4:** Lleva a cabo la definición del nuevo modelo de evaluación sensorial para la clasificación comercial del AOV. En este capítulo proponemos el nuevo modelo de evaluación sensorial para la clasificación del AOV y se presenta un caso de estudio para validar la clasificación realizada empleando el modelo propuesta. Para finalizar se presenta la evaluación sensorial de una muestra de AOV del caso de estudio empleando para ello el nuevo modelo propuesto.
-

- **Capítulo 5:** Recoge el desarrollo del prototipo software que implementa el modelo lingüístico de evaluación sensorial del AOV definido en el Capítulo 4 y que permite obtener la clasificación comercial de una muestra de AOV a partir de las valoraciones expresadas por los catadores en la nueva escala lingüística no balanceada. Así, revisaremos la arquitectura de dicho prototipo, las diferentes tecnologías utilizadas para su implementación y, por último, se describe el proceso de clasificación de una muestra de AOV paso a paso a través del prototipo desarrollado.
 - **Capítulo 6:** Expone las conclusiones finales extraídas en esta investigación así como algunas propuestas para futuros trabajos y las publicaciones derivadas a partir de la misma.
-

Evaluación Sensorial y Teoría de Decisión. Evaluación Sensorial del AOV

Nuestro propósito en esta memoria se centra en el proceso de evaluación sensorial para el AOV. Los procesos de evaluación, entre los que se encuadran los procesos de evaluación sensorial, son procesos complejos, que implican la realización de varias tareas como la identificación de los elementos a evaluar, el establecimiento del marco en el que evaluar, la recopilación de información, la agregación de la información recopilada y la obtención de una valoración global para cada producto evaluado [71].

En todo proceso de evaluación se lleva a cabo un análisis de las características o indicadores del elemento que es objeto de evaluación de modo similar al que se lleva a cabo en los problemas de toma de decisiones. Por ello, el conjunto de métodos de decisión que brinda la toma de decisiones pueden ser una herramienta útil para llevar a cabo los procesos de evaluación.

En este capítulo revisaremos los fundamentos teóricos relacionados con los procesos de evaluación sensorial que emplearemos para desarrollar nuestra propuesta. Para ello, en primer lugar revisamos unas nociones básicas sobre el análisis de la decisión y la evaluación que utilizaremos para, posteriormente, introducir los principales conceptos relacionados con la

evaluación sensorial así como el modelo básico de evaluación sensorial basado en el análisis de la decisión. Por último, revisaremos el proceso de evaluación sensorial que se lleva a cabo para la clasificación comercial del AOV según define la normativa establecida por el COI.

2.1. Análisis de la Decisión y Evaluación

Uno de los casos en los que la evaluación resulta más compleja de realizar es cuando entran en juego las percepciones realizadas a través de los sentidos, ya que la información es vaga y aumenta la sensación de incertidumbre. Esta problemática es de vital interés en determinados sectores como en la industria audiovisual, el marketing o el sector de la alimentación [95, 97, 107]. Para el propósito de nuestro trabajo, el estudio de las evaluaciones tiene gran interés, siendo necesario para llevar a cabo con éxito un proceso de evaluación sensorial tener claros los conceptos relacionados con la evaluación y el análisis de la decisión.

En esta sección llevaremos a cabo una revisión de los conceptos y características básicas de los problemas de toma de decisiones. Esta revisión nos servirá como base para poder introducir, posteriormente, las nociones fundamentales de la evaluación sensorial.

2.1.1. Análisis de Decisión y Procesos de Evaluación

La toma de decisión es empleada por los individuos para tomar decisiones difíciles y complejas de una forma racional [20]. Para ello es necesario contar con métodos y modelos que permitan representar cada problema y analizar las diferentes alternativas con criterios objetivos.

Sin embargo, no todo problema de decisión puede ser resuelto mediante un proceso totalmente racional y objetivo, ya que es habitual que existan múltiples factores externos y subjetivos que afecten al problema [5, 55].

Podemos descomponer el esquema de resolución de un problema de toma de decisión en 8 fases. Estas 8 fases se muestran en la Figura 2.1.

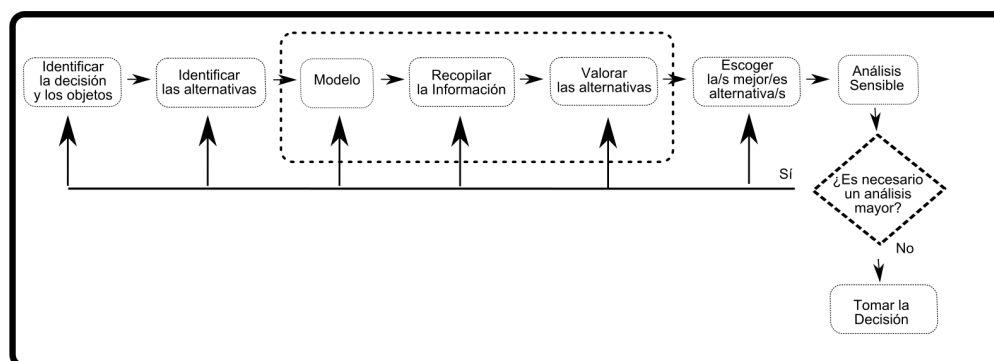


Figura 2.1: Esquema de un proceso de toma de decisión.

Las 7 primeras fases del esquema de resolución mostrado en la Figura 2.1 es lo que denominamos como *Proceso de Análisis de Decisión*.

El proceso de análisis de decisión constituye la parte racional del proceso de toma de decisión y es en el que centran sus esfuerzos los procesos de *evaluación*. Extraer del proceso de toma de decisión la parte racional del mismo nos permite realizar un estudio metódico y analítico que facilite a los expertos la labor de la evaluación.

La evaluación es un proceso cognitivo complejo que implica diversos mecanismos en los cuales es necesario identificar los elementos que van a ser evaluados, fijar el marco en el que se va a realizar la evaluación, recopilar la información necesaria y, finalmente, obtener una valoración de los elementos evaluados [71]. El objetivo de cualquier proceso de evaluación es obtener una valoración de un artículo para así poder mejorarlo o compararlo con otros artículos similares. En la literatura, podemos encontrar cómo el uso de técnicas de análisis de decisión [1, 14, 58, 68] ha producido buenos resultados en la resolución de procesos de evaluación.

El modelo de evaluación que proponemos en esta memoria para el proceso de evaluación sensorial del AOV se basa en las fases de análisis de decisión [20]. En concreto, el modelo se basa en las fases que aparecen enmarcadas en el rectángulo central de la Figura 2.1. Por lo que llevaremos a continuación una revisión de los principales conceptos de la toma de decisiones.

2.1.2. Toma de Decisiones

Podemos definir la toma de decisiones como el proceso mediante el cual seleccionamos la mejor alternativa de entre un conjunto dado [18]. Si bien la definición anterior recoge el concepto genérico de lo que entendemos por toma de decisiones, ésta definición es demasiado vaga y abarca un abanico muy amplio de casos. Se hace necesario por tanto fijar de algún modo ante qué tipo de problema de toma de decisiones nos estamos enfrentando para así conocer cual es la mejor forma de abordar su resolución.

Podemos delimitar significativamente el tipo de un problema de toma de decisiones considerando cuales son las características básicas de los elementos que lo conforman. De forma general, es posible distinguir los siguientes elementos básicos en un problema de toma de decisiones [18]:

1. Uno o varios objetivos por resolver.
2. Un conjunto de alternativas o decisiones posibles para alcanzar dichos objetivos.
3. Un conjunto de factores o estados de la naturaleza que definen el contexto en el que se plantea el problema de decisión.
4. Un conjunto de valores de utilidad o consecuencias asociados a los pares formados por cada alternativa y estado de la naturaleza.

Una vez establecidos los elementos básicos del problema de toma de decisiones podemos realizar una clasificación del mismo haciendo uso de la teoría de la decisión [29, 105], la cual nos proporciona una serie de criterios que nos permiten llevar a cabo diferentes clasificaciones atendiendo a:

1. El número de criterios a valorar.
 2. El ambiente de decisión en el que se toman las decisiones.
-

3. El número de expertos que participan en el proceso.

En los siguientes apartados revisamos estas posibles clasificaciones así como el proceso de modelado de preferencias en toma de decisión.

2.1.2.1. Clasificación del Problema de Toma de Decisiones

Como hemos introducido en la Sección 2.1.2, es posible realizar una clasificación del problema de toma de decisiones apoyándonos en los aspectos fijados por la teoría de la decisión. En los siguientes puntos veremos cuales son las posibles clasificaciones que podemos llevar a cabo a partir de estos aspectos.

A) Número de criterios

El número de criterios evaluados en un problema de toma de decisiones nos permite realizar una primera clasificación, pudiendo dividir los problemas de toma de decisiones en dos tipos [31, 33, 58, 64, 67]:

1. *Monocriterio*: Existe un único criterio a evaluar para cada alternativa. La valoración de la alternativa se corresponde con el valor dado a este criterio. La solución al problema se corresponde con aquella alternativa que presente una mejor valoración para este criterio.
2. *Multicriterio*: Existen dos o más criterios a evaluar para cada alternativa. La valoración de la alternativa se corresponde con el valor combinado de las valoraciones dadas a todos los criterios. Normalmente, la solución al problema se corresponde con aquella alternativa que presente una mejor valoración considerando todos los criterios.

En base a la definición dada, podemos resaltar las siguientes características de los problemas monocriterio [31, 33, 58, 64, 67]:

- Usualmente se corresponden con una visión sesgada de la realidad.
-

- Son, en general, más sencillos de resolver ya que únicamente debemos considerar un criterio.
- En muchos casos los resultados obtenidos son peores que los que podemos obtener con un problema multicriterio.

Por contraposición, los problemas multicriterio se caracterizan por:

- La mayoría de los problemas actuales son abordados desde una perspectiva multicriterio.
- Permiten una mejor aproximación a la realidad concreta del problema a tratar.
- Son más complejos de resolver al depender la valoración de cada alternativa de la evaluación dada a cada uno de los criterios de la misma.
- En general, los resultados obtenidos son iguales o mejores a los obtenidos con un problema monocriterio.
- En ocasiones los criterios considerados pueden resultar contradictorios lo cual complica la resolución del problema.

B) Ambiente de decisión

También podemos clasificar el problema de toma de decisiones en función de las características del contexto en el que se realice la toma de decisión. El problema puede encontrarse en los siguientes contextos [29, 105]:

1. *Ambiente de certidumbre*: Un problema de toma de decisión está definido en un ambiente de certidumbre cuando son conocidos con exactitud todos los elementos o factores que intervienen en el mismo.
-

2. *Ambiente de incertidumbre*: Un problema de decisión está definido en un ambiente de incertidumbre cuando no son conocidos con exactitud todos los elementos o factores que intervienen en el problema, disponiendo de una información incompleta, vaga o imprecisa sobre las distintas alternativas que implica que la utilidad asignada a cada alternativa tenga que ser valorada de forma cualitativa.
3. *Ambiente de riesgo*: Un problema de decisión está definido en un ambiente de riesgo cuando al menos uno de los elementos o factores que intervienen en el problema dependen del azar.

C) Número de expertos

Atendiendo al número de expertos que intervengan en el proceso de toma de decisiones es posible realizar una clasificación del tipo de problema. Podremos tener problemas de alguno de los dos tipos que se exponen a continuación [43, 48, 47, 49, 51, 59, 85, 106, 109, 112]:

1. *Monoexperto*: La evaluación es realizada por un único experto. La valoración de cada alternativa se corresponde con el valor dado por el experto. La solución al problema viene dada por las valoraciones dadas por el experto para las diversas alternativas.
2. *Multiexperto o grupo*: La evaluación es realizada por dos o más expertos. La valoración de cada alternativa se corresponde con el valor combinado de las evaluaciones dadas por todos los expertos para la misma. La solución al problema se corresponde con aquella alternativa que presente una mejor valoración considerando las evaluaciones de todos los expertos.

Los problemas monoexperto se caracterizan por [43, 48, 47, 49, 51, 59, 85, 106, 109, 112]:

- Son más sencillos de resolver.
 - El resultado obtenido es la mejor alternativa según el punto de vista del experto que realiza la evaluación, pudiendo coincidir o no con la mejor solución para el problema.
-

- Las evaluaciones realizadas por el experto no se ven influenciadas por las evaluaciones realizadas por otros expertos.

En el caso opuesto, los problemas multiexperto presentan las siguientes características:

- Son más complejos de resolver al depender la valoración de cada alternativa de la evaluación dada por todos los expertos.
- El número de expertos se asume que es finito.
- Al considerarse diferentes opiniones para la evaluación de una misma alternativa es posible obtener una solución más satisfactoria al problema.
- Las evaluaciones de un experto pueden verse condicionadas por las evaluaciones del resto de expertos.

A partir de los tres tipos de clasificaciones expuestos, podemos clasificar el proceso de evaluación sensorial del AOV como un problema de toma de decisiones:

- Multicriterio, debiendo valorar varios atributos sensoriales para cada muestra de AOV evaluada.
- Definido en un ambiente de incertidumbre debido a la imprecisión propia del comportamiento humano.
- Multiexperto, realizando la evaluación de cada muestra el conjunto de catadores que conforman el panel de cata.

2.1.2.2. Modelado de Preferencias en Toma de Decisión

Entendemos por modelado de las preferencias el proceso mediante el cual llevamos a cabo la definición de una representación concreta con la cual los expertos expresan sus valoraciones en un problema de toma de decisiones [87].

Es uno de los aspectos fundamentales al abordar un problema de toma de decisiones, ya que un modelado inadecuado dificulta la labor de los expertos y complica la obtención de la solución.

Aspectos como el conocimiento de los expertos acerca del problema, sus experiencias o sus creencias deben ser tenidos en consideración para optimizar el modelado realizado. Igualmente, factores como la naturaleza de una alternativa o los criterios que la definen tienen que ser tomados en cuenta al realizar el proceso de modelado, influyendo en la forma en que este proceso se lleva a cabo.

Como vemos, el modelado de las preferencias está fuertemente determinado por el contexto propio de cada problema de toma de decisiones, así como por los expertos que deben evaluar las diferentes alternativas. Por este motivo, es difícil obtener un proceso general que nos garantice la obtención del modelado más adecuado.

Usualmente, el modelado de las preferencias es llevado a cabo empleando diferentes puntos de vista que atienden a elementos concretos del problema. En las siguientes secciones realizaremos una breve revisión de dos puntos de vista para la realización del modelado, concretamente:

1. *El dominio de expresión.* Realizamos el modelado atendiendo a los valores que pueden emplear los expertos para expresar sus valoraciones.
2. *Estructura de la representación.* En este caso el modelado se realiza prestando atención a la estructura utilizada para almacenar las valoraciones.

A) Dominios de Expresión

En un problema de toma de decisiones, un dominio de expresión es el conjunto de valores que pueden emplear los expertos para expresar sus valoraciones, también conocido como el universo del discurso.

La elección de un dominio de expresión concreto puede deberse a varios motivos:

1. *Naturaleza de los criterios.* Criterios de naturaleza cuantitativa se adecúan mejor a valoraciones de tipo numérico mientras que criterios de naturaleza cualitativa como sensaciones o percepciones subjetivas se adaptan mejor a valoraciones mediante palabras o términos lingüísticos.
2. *Área de conocimiento de los expertos.* En función del área de conocimiento de un experto estará más familiarizado a expresar sus valoraciones sobre una alternativa concreta empleando un tipo determinado de información. Expertos pertenecientes a áreas técnicas preferirán el uso de valoraciones numéricas mientras que los pertenecientes a áreas sociales se decantarán por valoraciones no numéricas como las lingüísticas.
3. *Grado de conocimiento del problema por parte de los expertos.* Variaciones en el conocimiento de los expertos acerca del problema o en la experiencia en la resolución de problemas similares se ven reflejadas en las preferencias de los mismos en el momento de seleccionar un dominio de expresión. A medida que aumenta el grado de conocimiento del problema se prefieren dominios de expresión que permitan una mayor diferenciación y, por tanto, realizar valoraciones más precisas. En el caso contrario, conforme disminuye el grado de conocimiento del problema, son preferidos dominios de menor grano en los que la capacidad de diferenciación es más reducida.

La realización del modelado de las preferencias se debe llevar a cabo tomando en consideración todos los motivos anteriormente mencionados, de modo que todos los expertos involucrados en el problema de toma de decisiones se sientan lo más cómodos y seguros posibles al realizar sus valoraciones.

Si atendemos nuevamente a los motivos citados, vemos como un factor clave que influye en la adecuación del dominio de expresión a los expertos que deben realizar las evaluaciones es el tipo del dominio. Existen diferentes tipos de dominios que podemos emplear en un problema de toma de decisiones, siendo los más usuales los dominios *numéricos* [29, 89, 86], *intervalares* [7, 16, 44, 61, 110] y *lingüísticos* [17, 39, 36, 100, 109, 112].

La propuesta que realizamos en esta memoria se centra en los procesos de evaluación sensorial del AOV. En este proceso, las valoraciones de los expertos son vagas e imprecisas

al ser percibidas a través de los órganos sensoriales, por lo que es difícil que un experto pueda sentirse cómodo si se le solicita una precisión demasiado alta. Por ello, es preferible el uso de dominios más flexibles como los lingüísticos o los intervalares frente a dominios que requieren de una mayor precisión como son los dominios numéricos. Adicionalmente a esto, al tratarse de atributos de naturaleza cualitativa, los expertos se sentirán más seguros al expresarse empleando valoraciones lingüísticas que si deben realizar valoraciones numéricas o intervalares, ya que estos dominios están más próximos a la forma en la que normalmente los expertos expresan sus opiniones.

En el Capítulo 3, *Modelado Lingüístico Difuso*, revisaremos en detalle el enfoque lingüístico difuso [118], el cual hemos empleado para modelar la información.

B) Estructuras de Representación

En esta sección nos centramos en las estructuras empleadas para representar las valoraciones de los expertos.

En la literatura nos encontramos con diversas estructuras que pueden ser empleadas para la representación de las valoraciones, siendo las más comunes las siguientes:

1. *Vectores de utilidad* [27, 66, 71, 102]. Se emplea un vector en el cual, cada elemento indica la valoración de cada alternativa.
2. *Órdenes de preferencia* [80, 90, 101]. Se basan en el uso de un raking que indicará un orden de idoneidad para cada alternativa según el punto de vista de cada experto.
3. *Relaciones de preferencia* [87]. En este caso, se hará uso de relaciones de preferencia binarias entre pares de alternativas, las cuales se interpretarán como la intensidad o el grado de preferencia de una alternativa frente a la otra.

El proceso de evaluación sensorial del AOV según marca la normativa del COI, se realiza recogiendo para cada muestra las valoraciones de los diferentes atributos sensoriales expresadas por cada uno de los catadores. Por ello, en nuestro caso hacemos uso de *vectores de*

utilidad para el proceso de evaluación sensorial del AOV, recogiendo cada vector de utilidad las valoraciones expresadas por cada uno de los catadores para una muestra dada. Esto es lo habitual en los procesos de evaluación sensorial descriptivos ya que, comúnmente, la forma de realizar la evaluación en estos casos es valorando cada uno de los atributos sensoriales que definen un producto.

2.2. Evaluación Sensorial

La evaluación sensorial [2, 26, 71, 88, 96] comprende un conjunto de técnicas que intentan describir y medir las propiedades sensoriales que presentan los productos para proporcionar información útil de los mismos [62]. El perfil sensorial o huella sensorial es muy útil en sectores como la industria audiovisual, el marketing, el control de la calidad o la alimentación, estando directamente relacionado con la calidad percibida por los consumidores [95, 97, 107]. Debe ser considerado para la optimización de la relación precio-calidad de un producto, pudiendo ser necesario para ello realizar cambios en las materias primas empleadas, en los procesos de producción y distribución, etc [3, 92, 121].

Se define como un método científico utilizado para evocar, medir, analizar e interpretar las respuestas a los productos según la percepción a través de los sentidos de la vista, el olfato, el tacto, el gusto y el oído de un conjunto de individuos [97].

En esta sección llevaremos a cabo una revisión de algunos de los aspectos de especial relevancia para los procesos de evaluación sensorial tales como las particularidades del uso de los sentidos como herramientas de análisis, los factores que pueden influir en la evaluación sensorial o los tipos de jueces que participan en el proceso. Una vez revisados estos aspectos describiremos el modelo básico de evaluación sensorial basado en el análisis de la decisión.

2.2.1. Los Sentidos como Herramienta de Análisis

Los sentidos humanos están formados por un conjunto de receptores que son activados al recibir un estímulo que sobrepase un umbral dado.

Al considerar los sentidos humanos como una herramienta para la captura de información nos encontramos con la problemática de que un mismo estímulo es interpretado de diferente modo dependiendo de la persona que reciba este estímulo así como del resto de estímulos que acompañen a este.

Esto se debe a que los estímulos no son interpretados de forma aislada por los sentidos, sino que son transmitidos hasta el cerebro donde son integrados con el resto de estímulos recibidos e interpretados en forma de percepciones.

Esto hace que se establezcan asociaciones entre diferentes estímulos como el gusto y el olor, el sonido y el color [108], etc. Un claro ejemplo de estas asociaciones se ve al considerar el sabor de los alimentos. Un alimento crujiente nos parecerá más apetitoso, así como un producto con mal olor nos producirá la percepción de un mal sabor. Igualmente, la disposición del alimento o su color producirán percepciones sobre su sabor antes incluso de ser consumido.

Por este motivo, las técnicas empleadas en la evaluación sensorial se basan más en el estudio y análisis de las percepciones que en los estímulos aislados recibidos por los sentidos.

Una percepción estará conformada por diferentes *atributos sensoriales*, los cuales son la base que empleamos para la realización de los procesos de evaluación sensorial. Si bien es posible realizar múltiples divisiones de atributos sensoriales, se suelen considerar fundamentalmente la *apariencia*, el *gusto*, la *textura*, el *aroma* y el *sonido* [2, 32, 75, 98, 108].

2.2.2. Factores de Influencia

Las percepciones recibidas a través de los sentidos pueden ser afectadas por múltiples factores, los cuales deben ser tomados en consideración en el proceso de evaluación sensorial de cara a obtener los mejores resultados posibles.

Podemos clasificar los factores de influencia atendiendo a 3 criterios [30]:

1. *Ambientales*. Aspectos relacionados con el ambiente en el cual se lleva a cabo la evaluación sensorial. Destacan principalmente la climatización, la iluminación, el color de las
-

paredes y la privacidad. El ambiente debe ser lo más neutro posible para la obtención de mejores resultados [77].

2. *Prácticos*. Aspectos relacionados con las muestras empleadas para las pruebas. Las muestras proporcionadas a los expertos deben ser lo más uniformes posibles, además de emplear cantidades suficientes y debidamente codificadas para evitar posibles errores. En el caso de que la evaluación sensorial se realice sobre alimentos estos deben ser servidos a la temperatura habitual de consumo [107, 108].
3. *Humanos*. Aspectos relacionados con las personas. Los jueces deben ser seleccionados tomando en consideración múltiples factores como la edad, el estado fisiológico, la sensibilidad individual, el uso de medicamentos, la existencia de prejuicios o expectativas, el cansancio físico o la saturación [75, 108].

2.2.3. Jueces

Un aspecto crítico del proceso de evaluación sensorial es el conjunto de jueces que lo llevan a cabo. Es necesario considerar múltiples aspectos para la selección del conjunto más adecuado de jueces:

- ¿Cuántos jueces participan en el proceso?
- ¿Cuál es el rol de cada uno de ellos?
- ¿Qué indicaciones les deben ser transmitidas?
- ¿Qué tipo de entrenamiento deben recibir?

Un error al determinar cualquiera de estos aspectos puede marcar la diferencia entre el éxito y el fracaso del proceso de evaluación sensorial. Además, en ocasiones nos encontramos con situaciones en las que, para que los resultados tengan validez, se deben cumplir una serie de normas estipuladas al respecto [2, 23, 30, 107, 108].

Generalmente, en cualquier proceso de evaluación sensorial se distinguen dos roles para los jueces:

- Juez analítico. Es un individuo que, entre un grupo de candidatos, ha demostrado una sensibilidad sensorial específica para uno o varios productos [75]. Los jueces analíticos deben ser formados en el proceso concreto de evaluación sensorial en el que participan.
- Juez afectivo. Son individuos que no tienen que ser seleccionados ni adiestrados, siendo consumidores escogidos al azar representativos de la población a la cual está dirigido el producto que se evalúa. Las pruebas realizadas con este tipo de jueces nos permiten conocer la opinión que estas personas tienen del producto evaluado.

2.2.4. Modelo Básico de Evaluación Sensorial Multiexperto Multicriterio

Nuestra propuesta en este trabajo es un nuevo modelo de evaluación sensorial del AOV empleando una nueva escala lingüística no balanceada que permita recoger de un modo apropiado las percepciones y así llevar a cabo la clasificación comercial del AOV. Esta propuesta se basa en un modelo básico que revisaremos en esta sección.

La propuesta inicial para realizar el proceso de evaluación sensorial se propone en la Figura 2.2 [71], la cual se deriva del esquema de resolución de un problema de toma de decisión multiexperto multicriterio presentado en la Figura 2.1.

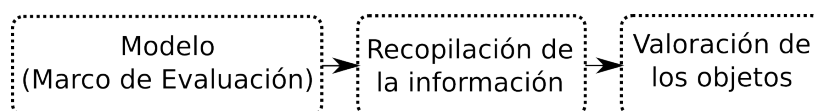


Figura 2.2: Fases del modelo básico de evaluación sensorial.

Los procesos de evaluación sensorial se caracterizan por la participación de varios jueces que deben evaluar los múltiples atributos sensoriales de un producto. Por ello, el modelo

inicial propuesto se basa en un esquema de problema de toma de decisión multiexperto multicriterio.

Revisamos brevemente a continuación cada una de las fases del modelo propuesto en la Figura 2.2:

- *Definición del marco de evaluación.* Se define un marco de evaluación siguiendo la estructura de un problema de toma de decisión multiexperto multicriterio. La definición del marco de evaluación abarca la definición de: los jueces que participan en el proceso de evaluación sensorial, los objetos a evaluar, los atributos sensoriales empleados para la evaluación y el dominio de expresión utilizado por los jueces para expresar sus opiniones.
- *Recopilación de la información.* Los jueces que participan en el proceso valorarán los atributos sensoriales de cada uno de los objetos identificados en la primera fase haciendo uso de vectores de utilidad.
- *Valoración de los objetos.* Las evaluaciones son agregadas para obtener una valoración global de cada objeto.

En las siguientes secciones profundizaremos en estas fases.

2.2.4.1. Marco de Evaluación

En esta fase definimos el esquema del proceso de evaluación sensorial y los descriptores que son utilizados para la recopilación de la información.

Empleamos la siguiente notación:

- Sea $E = \{e_1, \dots, e_m\}$ el conjunto de jueces que participan en el proceso de evaluación sensorial.
 - Sea $X = \{x_1, \dots, x_m\}$ el conjunto de productos que son objeto de evaluación.
 - Sea $F = \{f_1, \dots, f_h\}$ el conjunto de atributos sensoriales que definen los objetos que van a ser evaluados.
-

2.2.4.2. Recopilación de la Información

En esta fase los jueces proporcionan su valoración para cada uno de los atributos sensoriales de los objetos a evaluar mediante vectores de utilidad.

El juez, e_i , proporciona sus preferencias por medio de un vector de utilidad, u^i :

$$u^i = \{u_{11}^i, \dots, u_{1h}^i, u_{21}^i, \dots, u_{2h}^i, \dots, u_{n1}^i, \dots, u_{nh}^i\},$$

donde u_{jk}^i es la evaluación del indicador, f_k , para el objeto, x_j , proporcionada por el juez, e_i .

2.2.4.3. Valoración de los Objetos

En esta fase, los vectores de utilidad, u^i , proporcionados por los jueces son utilizados para obtener una valoración global de los objetos evaluados. Para ello, las valoraciones deben ser agregadas empleando los operadores de agregación adecuados.

El proceso de valoración de los objetos consiste en dos etapas, aunque puede variar según el proceso de evaluación sensorial.

1. *Evaluación colectiva para cada atributo sensorial.* Se calcula un valor colectivo, u_{jk} , para cada atributo sensorial, f_k , usando un operador de agregación, OA_1 , sobre las evaluaciones proporcionadas por los jueces, u_{jk}^i :

$$u_{jk} = OA_1(u_{jk}^1, \dots, u_{jk}^n)$$

2. *Evaluación colectiva para cada objeto.* Se obtiene una valoración para cada objeto de acuerdo a las valoraciones de todos los jueces. Para ello se agregan las valoraciones colectivas de los atributos sensoriales de cada objeto usando un operador de agregación, OA_2 :

$$u_j = OA_2(u_{j1}, \dots, u_{jh})$$

En función del proceso de evaluación sensorial concreto que estemos realizando así como del objetivo del mismo variarán los operadores de agregación tanto en número como en tipo.

2.3. Evaluación Sensorial del AOV Establecido por COI

En esta memoria, nos centramos en el proceso de evaluación sensorial del AOV, por lo que en este apartado estudiaremos las características principales de la metodología que se emplea actualmente para llevar a cabo su evaluación sensorial, que nos servirá de base para el desarrollo de nuestra propuesta en el Capítulo 4.

A diferencia de otros alimentos, la caracterización y evaluación del AOV debe ser llevada a cabo según se define en la normativa fijada por el Consejo Oleícola Internacional (COI). La normativa fijada por el COI establece como debe ser el análisis del AOV tanto desde un punto de vista químico como sensorial. Los resultados de estos dos análisis sirven para establecer una clasificación del AOV en sus diferentes categorías comerciales.

A nivel comercial, el AOV se clasifica en 4 categorías: virgen extra, virgen, virgen ordinario y virgen lampante, correspondiéndose cada categoría a unos parámetros físico-químicos y sensoriales concretos.

El análisis químico del AOV mide la cantidad de ácidos grasos libres expresados en ácido oleico, lo que se denomina comúnmente como *grado de acidez*.

El análisis sensorial consiste en la valoración de las diferentes cualidades organolépticas de este. En el análisis se consideran siempre seis atributos negativos del aceite: avinado, moho, atrojado, rancio, metálico y otros¹, relacionados tanto con la mala calidad del fruto como con la extracción y conservación. Complementariamente a los atributos negativos se analizan tres atributos positivos (frutado de aceituna, amargo y picante), aunque en el caso concreto del AOV únicamente se considera el atributo de frutado de aceituna.

El análisis sensorial debe llevarse a cabo empleando un panel de catadores seleccionados y entrenados para este propósito. La norma establecida por el COI establece el procedimiento que se debe llevar a cabo para realizar la selección y formación de estos catadores de modo

¹En caso de que existan otros defectos se indican con este atributo, siempre y cuando estén recogidos entre los permitidos por la norma.

que, el conjunto de catadores seleccionado, proporcione unas evaluaciones lo suficientemente fiables para constituir un panel de cata ².

Los paneles de cata están formados por entre ocho y doce catadores y un jefe de panel. Para el análisis, cada uno de los catadores que conforman el panel debe oler y probar el AOV sometido a examen con el fin de analizar las percepciones olfativas, gustativas y táctiles. Los catadores deben indicar en la hoja de perfil que les habrá sido suministrada previamente, la intensidad a la que percibe cada uno de los atributos sensoriales.

La norma fijada por el COI establece un modelo oficial de hoja de perfil³ (Véase Figura 2.3) para la realización de un análisis de clasificación comercial común a todos los paneles oficiales del mundo.

En dicha hoja, se recoge la intensidad de cada atributo sensorial sobre una escala no estructurada de 10 cm de longitud anclada en su origen. Una vez los catadores han realizado la evaluación sensorial y cumplimentado su hoja de perfil, los resultados son puestos a disposición del jefe de panel, el cual, haciendo uso de una regla, asignará a cada valoración un valor numérico concreto en el intervalo $[0, 10]$. Para tratar estos valores, el jefe de panel emplea los siguientes estimadores estadísticos:

- Mediana.
- Desviación típica sólida.
- Coeficiente de variación sólido.
- Intervalos de confianza al 95 por ciento sobre la mediana.

Del análisis realizado por el jefe de panel se obtiene la clasificación comercial del AOV.

Desde el punto de vista de la clasificación comercial del AOV, las diferentes categorías se establecen según unos límites fijados en la norma del COI⁴, tanto para la mediana del

²COI/T.20/Doc.nº14/Rev.2/Septiembre de 2007

³COI/T.20/Doc.nº15/Rev.2/Pag.11/Septiembre de 2007

⁴COI/T.20/Doc.nº15/Rev.2/Pag.10/Septiembre de 2007

COI/T.20/Doc. n° 15/Rev. 2
página 11

Figura 1

HOJA DE PERFIL DE ACEITE DE OLIVA VIRGEN

INTENSIDAD DE PERCEPCIÓN DE LOS DEFECTOS

Atrojado/Borras	----->
Moho-Humedad-Tierra	----->
Avinado-Avinagrado-Acido-Agrio	----->
Metálico	----->
Rancio	----->
Otros (cuáles)	----->

INTENSIDAD DE PERCEPCIÓN DE LOS ATRIBUTOS POSITIVOS:

Frutado	----->
Amargo	-----> verde maduro
Picante	----->

Nombre del catador:

Código de la muestra:

Fecha:

Observaciones

Figura 2.3: Hoja de perfil de aceite de oliva virgen.

frutado, que como se ha mencionado, es el único de los atributos sensoriales positivos que se consideran en este caso, como para la mediana de los defectos, la cual es la mediana más alta de entre todas las medianas de los defectos.

A partir de los límites establecidos podemos clasificar comercialmente el AOV según se muestra en la Tabla 2.1.

	Mediana de los defectos (Med-n)	Mediana del frutado (Med-f)
Extra Virgen	Med-n = 0	Med-f > 0
Virgen	Med-n = 0	Med-f = 0
Virgen	$0 < \text{Med-n} \leq 3.5$	
Virgen Ordinario	$3.5 < \text{Med-n} \leq 6$	
Virgen Lampante	$6 < \text{Med-n}$	

Tabla 2.1: Rangos de referencia para clasificación de AOV según COI

Si bien el modo de realizar la clasificación según se define en la normativa del COI permite una correcta clasificación del AOV, presenta una seria limitación en cuanto al tratamiento de la incertidumbre derivada del tipo de información con la que se trabaja, que al ser recibida mediante los órganos sensoriales humanos será vaga e imprecisa.

Para tratar la incertidumbre asociada al valorar las muestras, el COI utiliza un tratamiento probabilístico en el que las valoraciones de los atributos sensoriales son tratadas mediante la mediana. Sin embargo, la incertidumbre generada por la utilización de los sentidos sensoriales no tiene carácter probabilístico, si no que está asociada a los juicios vagos e imprecisos realizados por los catadores al valorar los atributos sensoriales.

Un enfoque adecuado, que permite manejar correctamente la vaguedad e incertidumbre de este tipo de información es el enfoque lingüístico difuso, el cual se revisará en el siguiente capítulo.

Modelado Lingüístico Difuso

Los procesos de evaluación sensorial están caracterizados, entre otros factores, por la imprecisión e incertidumbre de las evaluaciones, ya que estas dependen de las percepciones de un grupo de individuos y, consecuentemente, son fuertemente subjetivas y difíciles de cuantificar.

El uso de la *lógica difusa* y concretamente del *enfoque lingüístico difuso* [118] nos permite tratar convenientemente información como la descrita, ya que ha demostrado proporcionar buenos resultados al ser empleado para trabajar con este tipo de información en diferentes ámbitos como toma de decisión [4, 6, 51, 54, 73, 111], evaluación sensorial [71, 73, 88], servicios electrónicos inteligentes [65, 69, 70], evaluación de la calidad de documentos Web [52, 53, 54, 103], modelos de recuperación de información [11, 12, 45, 46, 49, 50], diagnósticos clásicos [24], teoría de sistemas [15, 82], bases de datos [13, 116], operadores de agregación [35, 104, 111], etc. Por este motivo, será el enfoque lingüístico difuso el que emplearemos para realizar el modelado de la información en la evaluación sensorial del AOV.

Al abordar la evaluación sensorial del AOV según se define en la normativa del COI, es necesario hacer uso de una escala que permita una mayor discriminación en la zona inferior de la misma, ya que es aquí donde se concentran los rangos de referencia en los que está basada la clasificación. Las escalas lingüísticas no balanceadas nos permiten realizar justamente esto, pudiendo dotar a la escala de un mayor número de etiquetas en aquellas zonas de la misma en las que se requiere un mayor detalle. Por ello, serán las escalas lingüísticas no balanceadas

las que empleamos para la definición del modelo de evaluación sensorial que proponemos en esta memoria.

A lo largo de este capítulo revisaremos los principales conceptos del modelado lingüístico difuso que emplearemos para el proceso de evaluación sensorial del AOV. Veremos algunos conceptos básicos de la teoría de conjuntos difusos para, seguidamente, describir el enfoque lingüístico difuso clásico y el basado en 2-tuplas. Por último, nos centraremos en el modelo lingüístico no balanceado, ya que este será el enfoque sobre el que desarrollaremos nuestra propuesta.

3.1. Teoría de Conjuntos Difusos

En 1965, Lofti Zadeh sentó las bases de la teoría de conjuntos difusos en el artículo *Fuzzy Sets* publicado en la revista *Information and Control* [117].

Si bien inicialmente la lógica difusa generó cierta controversia, cerca de seis décadas después, más de 30000 citas y una cantidad superior a las 50000 patentes avalan la teoría propuesta por Zadeh.

La lógica difusa es una lógica alternativa a la lógica clásica que permite una mejor adaptación en múltiples problemas del mundo real.

La idea central de la misma es el concepto de *conjunto difuso*. Un conjunto difuso es un conjunto cuya frontera no es precisa y en los que la pertenencia viene determinada por un grado [117]. La concepción de un conjunto con dichas características permite dotar a la lógica construida a partir de estos conjuntos de una mayor expresividad que a la lógica clásica y abordar situaciones en las que el conocimiento pueda ser incierto o impreciso por naturaleza.

Ejemplo 1 Un ejemplo típico en el que podemos observar claramente la diferencia entre la lógica clásica y la lógica difusa y a través del que podemos entender claramente las ventajas que aporta ésta última para tratar con determinados tipos de problemas es cuando intentamos clasificar a un grupo de personas en función de su estatura, dividiéndolas entre personas altas y bajas.

Evidentemente, la consideración de una persona como alta o baja estará fuertemente determinada por el contexto en el que nos movamos, ya que diferencias en el sexo, edad o nacionalidad influirán significativamente en la clasificación que realicemos (una persona de 10 años y 150 centímetros de estatura es alta mientras que una persona de idéntica estatura y 18 años de edad sería baja).

Sin entrar a considerar el contexto en el que nos movemos podríamos definir, de modo general, que una persona es alta cuando mide más que el promedio de la población y baja cuando el valor de su estatura sea inferior o igual al promedio.

Según el enfoque de la lógica clásica, el valor promedio sería un umbral que delimitaría lo que consideramos alto y bajo e implicaría que una persona que únicamente mida un centímetro menos que este umbral sea tratada igual que una persona que mida veinte centímetros menos cuando, evidentemente, la segunda es mucho más baja que la primera. Esto se debe a que las fronteras de los conjuntos son precisas y, por tanto, un individuo únicamente puede pertenecer o no a un conjunto dado. La Figura 3.1 ilustra el caso descrito.

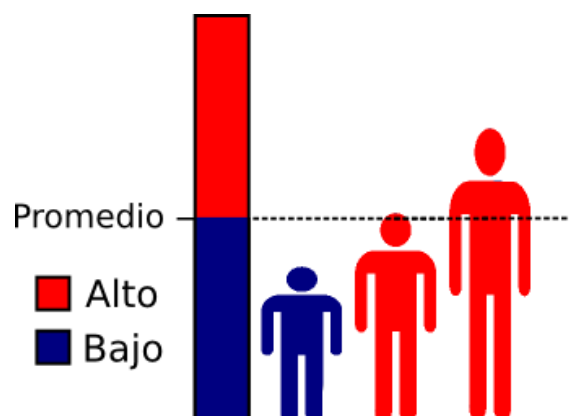


Figura 3.1: Clasificación con lógica clásica.

Aplicar la lógica difusa al problema anterior nos permitiría medir el grado en que una persona pertenece a un conjunto y, de esta forma, realizar una clasificación más real. Así, podríamos decir que la persona que mide un centímetro menos del promedio

es un poco baja y la que mide veinte centímetros menos es bastante baja. Igualmente podríamos decir que la primera es poco alta mientras que la segunda es muy poco alta.

La Figura 3.2 muestra como sería la clasificación de las mismas personas que las mostradas en la Figura 3.1 pero aplicando la lógica difusa en lugar de la lógica clásica.

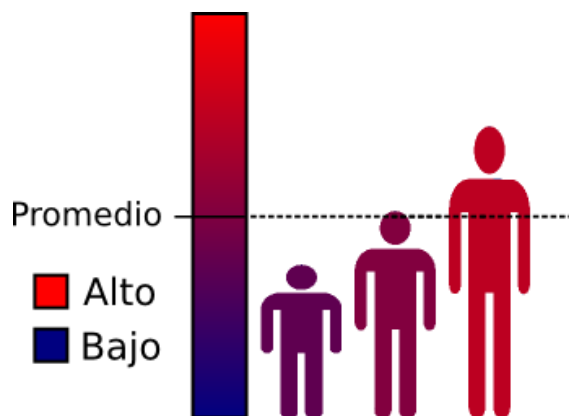


Figura 3.2: Clasificación con lógica difusa.

Un gran número de investigadores han prestado atención a la teoría de conjuntos difusos desde que ésta fue propuesta en la década de los 60, centrando sus investigaciones principalmente en dos vertientes [83]:

1. Como teoría matemática formal [63, 78]. Los conceptos de la lógica difusa se han aplicado con éxito en áreas tales como el álgebra, la teoría de grafos, la topología, etc.
2. Como herramienta para tratar situaciones del mundo real en las que aparece incertidumbre. La mayor expresividad de esta lógica facilita su adaptación en múltiples problemas y contextos, demostrando su utilidad en áreas como la toma de decisiones, la evaluación sensorial o los servicios electrónicos inteligentes entre otros muchos [4, 6, 51, 54, 65, 69, 70, 71, 73, 88, 111].

A continuación, revisaremos brevemente los conceptos básicos que emplearemos en esta memoria. Para profundizar en estos conceptos véase [60].

3.1.1. Conjuntos Difusos y Funciones de Pertenencia

Un *conjunto*, según se concibe en la lógica clásica, es una agrupación de objetos de cualquier tipo que es considerada como un objeto en sí. Los conjuntos responden a la necesidad humana de clasificar lo que es conocido a partir de la abstracción de sus características.

Los conjuntos pueden ser definidos de varios modos:

- A partir de un listado de sus elementos.
- Mediante una función de pertenencia μ que tendrá dos posibles valores, 1 en caso de que un elemento pertenezca a un conjunto o 0 en el caso opuesto.
- Proporcionando una característica que determine los elementos que lo conforman.

En un *conjunto difuso*, tal y como es definido en [117], la función de pertenencia de un elemento a un conjunto permite cualquier valor comprendido en el intervalo $[0, 1]$, indicando el valor 0 la exclusión total y el 1 la pertenencia total. Valores intermedios en éste intervalo indican diferentes grados de pertenencia al conjunto. Formalmente, podemos definir un conjunto difuso como sigue.

Definición 1 *Un conjunto difuso \tilde{A} sobre un dominio o universo de discurso U está caracterizado por una función de pertenencia que asocia a cada elemento del conjunto el grado de pertenencia a dicho conjunto, asignándole un valor en el intervalo $[0, 1]$:*

$$\mu_{\tilde{A}}: U \rightarrow [0, 1]$$

De este modo, un conjunto difuso \tilde{A} en U puede representarse como un conjunto de pares ordenados de un elemento genérico u , $u \in U$, y su grado de pertenencia $\mu_{\tilde{A}}(u)$:

$$\tilde{A} = \{(u, \mu_{\tilde{A}}(u)) / u \in U, \mu_{\tilde{A}}(u) \in [0, 1]\}.$$

Ejemplo 2 Retomemos el Ejemplo 1 donde se realizaba una clasificación de personas según su altura en altos, conjunto \tilde{A} , y bajos, conjunto \tilde{B} . Según definimos este ejemplo,

consideramos que una persona es baja cuando su estatura es menor o igual al promedio P y alta si la estatura supera el promedio.

Centrándonos exclusivamente en el conjunto de personas que pertenecerían al conjunto de personas bajas \tilde{B} , según se define dicho conjunto de forma clásica su función de pertenencia sería como sigue:

$$\mu_{\tilde{B}}(u) = \begin{cases} 1, & u \leq P \\ 0, & u > P \end{cases}$$

Si abordamos el mismo problema desde una perspectiva difusa, podríamos considerar que una persona es definitivamente baja y, por tanto, pertenece totalmente al conjunto \tilde{B} , cuando su estatura es un diez por ciento inferior a la estatura promedio (L_I). Igualmente, diríamos que la persona deja de ser baja por completo cuando su estatura es un diez por ciento superior a la estatura promedio (L_S). Siguiendo esta definición para el conjunto \tilde{B} , la función de pertenencia al mismo sería del siguiente modo:

$$\mu_{\tilde{B}}(u) = \begin{cases} 1, & u \leq L_I \\ 1 - \frac{u-L_I}{L_S-L_I}, & u \in (L_I, L_S) \\ 0, & u \geq L_S \end{cases}$$

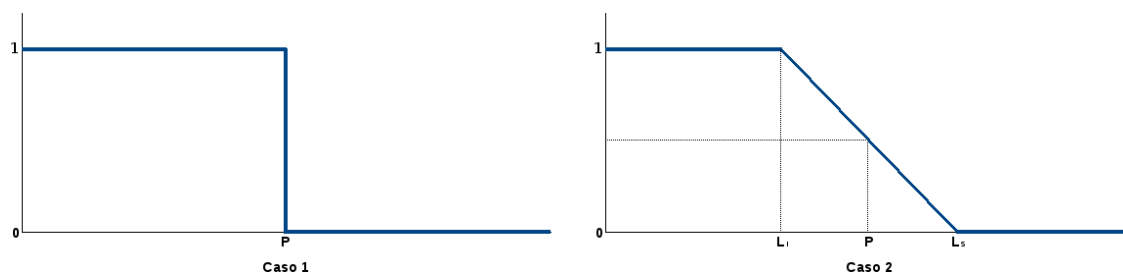


Figura 3.3: Funciones de pertenencia para el conjunto \tilde{B} del ejemplo 2.

En la Figura 3.3 se muestra como son las gráficas de las funciones de pertenencia en ambos casos. En ellas se puede apreciar como, en el primer caso, se trata de una gráfica escalonada en la que el valor P constituye un punto de salto. En el segundo

caso nos encontramos con una gráfica continua en la que el valor va disminuyendo progresivamente desde L_I hasta L_S . En el punto P el valor sería igual a 0.5.

3.1.2. Definiciones Básicas

A continuación, introducimos algunos conceptos básicos que emplearemos a la hora de trabajar con conjuntos difusos: el *soporte*, la *altura*, el *conjunto de niveles* y el α -*corte* de un conjunto difuso.

Definición 2 El *soporte* de un conjunto difuso \tilde{A} en el universo U , $\text{supp}(\tilde{A})$, se define como el conjunto formado por todos los elementos de U cuyo grado de pertenencia a \tilde{A} sea mayor que 0.

$$\text{supp}(\tilde{A}) = \{\mu_{\tilde{A}}(u) > 0 \mid u \in U\}$$

Definición 3 La *altura* de un conjunto difuso \tilde{A} , $h(\tilde{A})$, se define como el mayor grado de pertenencia de todos los elementos de dicho conjunto.

$$h(\tilde{A}) = \max\{\mu_{\tilde{A}}(u) \mid u \in U\}$$

Definición 4 El *conjunto de niveles* de un conjunto difuso \tilde{A} , $L(\tilde{A})$, se define como el conjunto de grados de pertenencia de sus elementos.

$$L(\tilde{A}) = \{a \mid \mu_{\tilde{A}}(u) = a, u \in U\}$$

Definición 5 El α -*corte* de un conjunto difuso \tilde{A} , $\alpha_{\tilde{A}}$, se define como el conjunto formado por todos los elementos del universo U cuyos grados de pertenencia en \tilde{A} son mayores o iguales que el valor de corte $\alpha \in [0, 1]$.

$$\alpha_{\tilde{A}} = \{\mu_{\tilde{A}}(u) \geq \alpha \mid u \in U\}$$

3.2. El Enfoque Lingüístico Difuso

En el mundo real, la mayoría de los problemas que nos encontramos presentan múltiples aspectos de diversa naturaleza. Si cada uno de estos aspectos puede ser fácilmente cuanti-

ficado a través de valores numéricos más o menos aproximados no existirá mayor problema para su resolución. Sin embargo, esta situación no se cumple en algunas ocasiones, siendo necesario aplicar un enfoque diferente al tratar con este tipo de problemas.

Usualmente, cuando la naturaleza de un determinado aspecto de un problema no sea cuantitativa sino cualitativa o cuando la información de la que disponemos sea incierta, vaga o imprecisa, la mayor expresividad de un enfoque lingüístico nos permitirá obtener mejores resultados que si aplicamos un enfoque numérico.

Un claro ejemplo de lo anterior es cuando la evaluación viene determinada por la percepción que se tiene sobre lo que se evalúa. Cuando lo que intentamos medir son conceptos tales como la belleza, el sabor, el dolor o el aroma, es más común emplear palabras del lenguaje natural como agradable, intenso, fuerte, picante y similares, antes que valores numéricos.

En casos como los descritos, un modelado lingüístico de las preferencias suele ser más apropiado. Existen varios factores que pueden explicar esta circunstancia [109, 120]:

- La información es vaga o imprecisa.
- No es posible realizar una medición. En algunas ocasiones resulta imposible o excesivamente costoso tomar una medida precisa y es necesario emplear un valor aproximado. Por ejemplo, es posible evaluar la temperatura de una estancia sin disponer de un termómetro empleando nuestras propias percepciones. Usando términos lingüísticos como caldeada o helada puede ser suficiente en caso de que la precisión necesaria no sea muy alta.
- La información no puede ser cuantificada. En determinados casos, como la belleza o el dolor, únicamente es posible realizar una valoración empleando términos como mucho, medio, bastante o poco.

Una de las formas más apropiadas de abordar el tratamiento de valoraciones cualitativas es la aplicación de un enfoque lingüístico difuso. El enfoque lingüístico difuso se vale de

la teoría de conjuntos difusos para representar los aspectos cualitativos mediante valores lingüísticos empleando para ello *variables lingüísticas* [118].

Una variable lingüística se caracteriza por dos valores:

- *Valor sintáctico*. El valor sintáctico, denominado comúnmente como *etiqueta*, es una palabra o frase perteneciente a un conjunto de términos lingüísticos.
- *Valor semántico*. El valor semántico, también denominado como *significado*, es un subconjunto difuso en un universo de discurso.

La mayor expresividad permitida por las palabras hace que las variables lingüísticas sean menos precisas que las variables numéricas y que, consecuentemente, se adecuen mejor a la evaluación de aspectos cualitativos.

Formalmente, una variable lingüística se define del siguiente modo [118]:

Definición 6 *Una variable lingüística está caracterizada por una quintupla de elementos, $(H, T(H), U, G, M)$, en la que:*

- H es el nombre de la variable.
- $T(H)$ es el conjunto de valores lingüísticos o etiquetas lingüísticas.
- U es el universo de discurso de la variable.
- G es una regla sintáctica (que normalmente toma forma de gramática) para generar los valores de $T(H)$.
- M es una regla semántica que asocia a cada elemento de $T(H)$ su significado. Para cada valor $L \in T(H)$, $M(L)$ es un subconjunto difuso de U .

Cuando pretendamos resolver un problema aplicando un enfoque lingüístico difuso necesitaremos llevar a cabo dos operaciones que abordaremos en las siguientes secciones:

1. Elegir la sintaxis del conjunto de términos lingüísticos.
 2. Definir la semántica asociada a cada término lingüístico.
-

3.2.1. Sintaxis del Conjunto de Términos Lingüísticos

La elección de la sintaxis del conjunto de términos lingüísticos es una tarea que debemos llevar a cabo con sumo cuidado.

En primer lugar, deberemos valorar el número de etiquetas lingüísticas a emplear, lo que se denomina como *la granularidad de la incertidumbre* [42] o *cardinalidad*. Emplear un número reducido de etiquetas, granularidad baja, puede suponer una simplificación excesiva del problema y, consecuentemente, una pérdida de expresividad y de información. Por otra parte, la elección de un número demasiado elevado de etiquetas, granularidad alta, puede frustrar a los evaluadores al intentar seleccionar la etiqueta que mejor se adecua para realizar una evaluación concreta.

La cardinalidad depende en gran medida del conocimiento del problema, siendo habitual emplear cardinalidades impares de 7 o 9 en las que la etiqueta central representa el valor de la indiferencia. Esto parece estar en la línea de lo apuntado por Miller [76] acerca de la capacidad humana para manejar y recordar razonablemente alrededor de siete términos diferentes.

Para el propósito de este trabajo la granularidad de la incertidumbre es de vital importancia puesto que, para clasificar correctamente una muestra de AOV que esta dudosa entre dos categorías, es necesario que la escala lingüística empleada para evaluar las muestras cuente con la cardinalidad adecuada.

En este trabajo proponemos y validamos una nueva escala lingüística para la evaluación sensorial del AOV que cuenta con un mayor número de etiquetas. Al aumentar el número de etiquetas permitimos una mayor distinción en aquellos casos en los que algunas muestras están dudosas entre dos categorías, mejorando así los resultados de la clasificación.

Adicionalmente al número de etiquetas a emplear, otro aspecto de gran importancia a analizar es quienes son los evaluadores y cual es su conocimiento acerca del problema. Las etiquetas elegidas deben estar en concordancia con este conocimiento, facilitando así que las valoraciones realizadas sean lo más similares posibles a la forma en la que comúnmente se expresan acerca del problema.

Una vez hemos considerado los dos aspectos indicados previamente, podemos proceder a la generación de la sintaxis de los términos lingüísticos. Para ello podemos aplicar dos enfoques [9, 10, 11, 36, 115, 118, 119], la definición de los términos lingüísticos a partir de la aplicación de una gramática libre de contexto o la utilización de una escala con un orden total definido. En este trabajo empleamos el segundo de los enfoques, por lo que lo analizaremos brevemente a continuación.

La utilización de una escala con un orden total definido es una alternativa que permite reducir la complejidad de la definición de una gramática libre de contexto (según se debe hacer si seguimos el primer enfoque).

Consiste en proporcionar directamente un conjunto de términos distribuidos sobre una escala con un orden total definido [37, 81, 115]. Un ejemplo de ello podría ser el siguiente conjunto $T(H) = \{N, MB, B, M, A, MA, P\}$:

$$\begin{array}{lll} s_0 = N = Nada & s_1 = MB = Muy bajo & s_2 = B = Bajo \\ s_3 = M = Medio & s_4 = A = Alto & s_5 = MA = Muy alto \\ s_6 = P = Perfecto & & \end{array}$$

donde $s_i < s_j$ si y sólo si $i < j$.

Adicionalmente a lo anterior, es necesario que existan operadores de negación, minimización y maximización para que el conjunto de términos sea válido [114].

3.2.2. Semántica Asociada a Cada Término Lingüístico

Para la definición de la semántica del conjunto de etiquetas empleamos el enfoque basado en funciones de pertenencia [56]. Este enfoque define la semántica del conjunto de términos lingüísticos utilizando números difusos en el intervalo $[0, 1]$, estando cada número difuso descrito por una función de pertenencia.

La aplicación de este enfoque implica establecer las funciones de pertenencia asociadas a cada etiqueta. La principal dificultad con la que nos encontramos es como determinar

los parámetros más adecuados para las funciones de pertenencia asociadas a cada término lingüístico, puesto que es poco frecuente que todos los puntos de vista de las fuentes de información tengan el mismo criterio.

Por ello, puede darse el caso de términos lingüísticos con una sintaxis similar pero con diferente semántica [39], principalmente en problemas con múltiples conjuntos de términos lingüísticos con igual sintaxis pero diferente semántica o problemas con múltiples criterios.

3.2.3. Modelos Computacionales Lingüísticos

Emplear variables lingüísticas para la evaluación hace necesario llevar a cabo procesos de computación con palabras como la comparación, la negación o la agregación de variables lingüísticas.

El esquema genérico de los procesos de computación con palabras se muestra en la Figura 3.4.

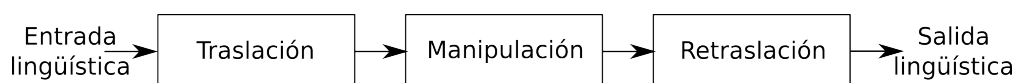


Figura 3.4: Proceso general de computación con palabras.

Como se aprecia en esta figura, el proceso general se lleva a cabo en varias fases:

1. *Traslación*. Transformación de las variables lingüísticas de entrada al tipo concreto de variables con el que vayamos a a trabajar.
2. *Manipulación*. Operar sobre las valoraciones obtenidas en la fase anterior para la obtención de las valoraciones colectivas.
3. *Retraslación*. Transformación de las valoraciones colectivas al tipo de variables que se empleará para la salida, no teniendo por que ser el mismo que el dominio inicial.

Existen diferentes modelos que podemos emplear para llevar a cabo los procesos de computación con palabras:

- *Modelo basado en el principio de extensión* [24]. Las operaciones se realizan utilizando la aritmética difusa [28] sobre los números difusos que soportan la semántica de las etiquetas lingüísticas. Los resultados obtenidos son números difusos.
- *Modelo simbólico* [25]. Las operaciones se realizan sobre los índices de las etiquetas lingüísticas. Los resultados obtenidos son valores numéricos.
- *Modelo basado en la representación 2-tuplas* [41, 113]. Las operaciones se realizan sobre información lingüística expresada mediante 2-tuplas, permitiendo trabajar en un dominio de expresión lingüístico, pero tratándolo como un universo continuo. Los resultados obtenidos son valores lingüísticos 2-tuplas.

El modelo de representación lingüístico 2-tuplas, al considerar el dominio de expresión lingüístico como un universo continuo, no presenta pérdida de precisión al abordar problemas definidos en contextos complejos. Esto ha permitido extender el modelo en contextos de decisión con marcos complejos, como heterogéneos, multigranulares o no balanceados [38, 40, 42].

3.3. Modelo Lingüístico 2-tuplas

El uso de variables lingüísticas implica llevar a cabo procesos de computación con palabras. Como hemos visto en la Sección 3.2.3, existen diferentes modelos para llevar a cabo estos procesos.

El modelo de evaluación sensorial que proponemos en este trabajo utiliza el modelo de representación lingüístico 2-tuplas. A continuación revisaremos los conceptos básicos de 2-tuplas para, posteriormente, introducir el modelo lingüístico no balanceado.

3.3.1. Modelo de Representación Lingüístico 2-tuplas

El modelo de representación lingüístico 2-tuplas se basa en el concepto de traslación simbólica [41].

Definición 7 Sea $S = \{s_0, \dots, s_g\}$ un conjunto de términos lingüísticos y $\beta \in [0, g]$ un valor en el intervalo de granularidad de S . La traslación simbólica de un término lingüístico s_i es un número valorado en el intervalo $[-.5, .5)$ que expresa la diferencia de información entre una cantidad de información expresada por el valor $\beta \in [0, g]$ obtenido en una operación simbólica y el valor entero más próximo, $i \in \{0, \dots, g\}$, que indica el índice de la etiqueta lingüística (s_i) más cercana en S .

En este modelo la representación de la información se realiza mediante un par de valores denominado 2-tupla, (s_i, α_i) , donde $s_i \in S$ es el índice de la etiqueta lingüística y $\alpha_i \in [-.5, .5)$ la traslación simbólica de la misma.

El modelo define un conjunto de funciones que permite operar sobre 2-tuplas sin pérdida de información.

Definición 8 Sea $S = \{s_0, \dots, s_g\}$ un conjunto de términos lingüísticos y $\beta \in [0, g]$ un valor que representa el resultado de una operación simbólica. El conjunto de 2-tupla asociado a S es definido como $\langle S \rangle = S \times [-0.5, 0.5)$ y la función $\Delta_S : [0, g] \rightarrow \langle S \rangle$ es dada por:

$$\Delta_S(\beta) = (s_i, \alpha), \quad \text{con} \quad \begin{cases} i = \text{round}(\beta), \\ \alpha = \beta - i, \end{cases}$$

donde round es un operador de redondeo, s_i es la etiqueta con índice más cercano a β y α es el valor de la traslación simbólica.

Definición 9 Sea $S = \{s_0, \dots, s_g\}$ un conjunto de términos lingüísticos y (s_i, α) una 2-tupla. Se define la función Δ_S^{-1} , tal que aplicada sobre una 2-tupla (s_i, α) devuelve su valor numérico $\beta \in [0, g]$.

$$\Delta_S^{-1}: \langle S \rangle \rightarrow [0, g]$$

$$\Delta_S^{-1}(s_i, \alpha) = i + \alpha = \beta$$

Comentario 1 La conversión de un término lingüístico en una 2-tupla lingüística consiste en añadir el valor cero como traslación simbólica [41]:

$$s_i \in S \rightarrow (s_i, 0)$$

3.3.2. Modelo de Computación Lingüístico 2-tuplas

El modelo de representación basado en 2-tuplas lingüísticas define un modelo computacional asociado en el que se definen [41]:

1. *Operador de comparación de 2-tupla.* La comparación de información lingüística representada por medio de 2-tupla se realiza de acuerdo a un orden lexicográfico. Consideremos dos 2-tuplas (s_k, α_1) y (s_l, α_2) que representan cantidades de información:

- Si $k < l$, entonces (s_k, α_1) es menor que (s_l, α_2) .
- Si $k = l$, entonces
 - Si $\alpha_1 = \alpha_2$, entonces (s_k, α_1) y (s_l, α_2) representan la misma información.
 - Si $\alpha_1 < \alpha_2$, entonces (s_k, α_1) es menor que (s_l, α_2) .
 - Si $\alpha_1 > \alpha_2$, entonces (s_k, α_1) es mayor que (s_l, α_2) .

2. *Operador de negación de 2-tupla.* El operador de negación sobre una 2-tupla se define como:

$$\text{Neg}(s_i, \alpha) = \Delta_S(g - (\Delta_S^{-1}(s_i, \alpha))),$$

siendo $g + 1$ la cardinalidad del conjunto de etiquetas S .

3. *Operador de agregación de 2-tupla.* La agregación de información consiste en obtener un valor que resuma un conjunto de valores. En la literatura, podemos encontrar numerosos operadores de agregación que nos permiten combinar la información de acuerdo a distintos criterios. Cualquiera de estos operadores puede ser fácilmente extendido para trabajar con 2-tuplas usando funciones Δ_S y Δ_S^{-1} , que transforman valores numéricos en 2-tuplas y viceversa sin pérdida de información. Un operador de agregación definido para trabajar con 2-tuplas toma como valores de entrada 2-tuplas y su resultado es otra 2-tupla. Algunos ejemplos de estos operadores son los siguientes:

Definición 10 Media aritmética [41]. Siendo $X = \{(s_1, \alpha_1), \dots, (s_n, \alpha_n)\}$ un conjunto de 2-tuplas lingüísticas, la 2-tupla que simboliza la media aritmética, \bar{x}^e , se calcula

de la siguiente forma:

$$\bar{x}^e[(s_1, \alpha_1), \dots, (s_n, \alpha_n)] = \Delta_S \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{n} \Delta_S^{-1}(s_i, \alpha_i) \right) = \Delta_S \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \beta_i \right)$$

Definición 11 Mediana [72]. Sea $X = \{(s_1, \alpha_1)_1, \dots, (s_n, \alpha_n)_n\}$, $s_j \in S = \{s_0, \dots, s_g\}$ un conjunto ordenado de 2-tuplas, siendo $(s_j, \alpha_j)_k$ el k -ésimo elemento mayor del conjunto X , la 2-tupla que simboliza la mediana, $Me(X)$, se define de la siguiente forma:

$$Me(X) = \begin{cases} Me(X) = (s_j, \alpha_j)_{\frac{n+1}{2}} & \text{si } n \text{ es impar} \\ Me(X) = (s_j, \alpha_j)_{\frac{n}{2}} & \text{si } n \text{ es par} \end{cases}$$

Cuando n es par, el valor de la mediana no es único, $Me(X) \in [(s_j, \alpha_j)_{\frac{n}{2}}, (s_j, \alpha_j)_{\frac{n+1}{2}}]$.

Generalizando:

$$Me(X) = \Delta_S \left(\frac{\Delta_S^{-1}(s_j, \alpha_j)_{\frac{n}{2}} + \Delta_S^{-1}(s_j, \alpha_j)_{\frac{n+1}{2}}}{2} \right)$$

Concretamente, será el operador de la mediana el que emplearemos en nuestra propuesta para la clasificación del AOV.

3.4. Modelo Lingüístico No Balanceado

El propósito central de esta memoria es la definición de un nuevo modelo de evaluación sensorial para el AOV que empleé una nueva escala lingüística no balanceada y que mejore los resultados obtenidos. Para modelar y operar sobre dicha escala se hará uso de la metodología basada en 2-tupla presentada en [40] que hace uso de jerarquías lingüísticas [42].

La metodología presentada en [40] permite modelar la información lingüística no balanceada y operar con ella de forma precisa. A continuación se revisa el modelo de representación y el modelo de computación definidos en [40] para esta metodología.

3.4.1. Modelo de Representación

Un conjunto de términos lingüísticos no balanceado, S , está caracterizado por una etiqueta central, una etiqueta mínima, una etiqueta máxima, y un conjunto adicional de etiquetas que están distribuidas de forma no uniforme ni simétrica alrededor de la etiqueta central.

El enfoque presentado en [40] para el modelado de la información lingüística no balanceada introdujo una metodología para llevar a cabo la construcción de la semántica de un conjunto de términos lingüísticos no balanceado, S , mediante una jerarquía lingüística, LH [42]. Una jerarquía lingüística estará compuesta de un conjunto de niveles, siendo cada uno de ellos un conjunto de términos lingüísticos con una granularidad diferente del resto de niveles de la jerarquía lingüística [21].

Cada nivel de la jerarquía se nota como $l(t, n(t))$ siendo t el nivel de la jerarquía y $n(t)$ la granularidad del nivel t . Los niveles de la jerarquía lingüística están ordenados de menor a mayor granularidad.

Formalmente, una jerarquía lingüística, LH se define como la unión de todos los niveles que la conforman:

$$LH = \bigcup_t l(t, n(t))$$

Siendo $S^{(t)} = \{s_0^{n(t)}, \dots, s_{n(t)-1}^{n(t)}\}$ el conjunto de términos lingüísticos definido para el nivel t de la jerarquía.

La granularidad de cada conjunto de términos lingüísticos del nivel $t + 1$ puede obtenerse a partir del nivel anterior t siguiendo la siguiente función:

$$l(t, n(t)) \rightarrow l(t + 1, 2 \cdot n(t) - 1)$$

Un ejemplo gráfico de una jerarquía lingüística compuesta de 3 niveles de 3, 5 y 9 etiquetas puede observarse en la Figura 3.5.

En [42] se define una función de transformación entre etiquetas de diferentes niveles de una jerarquía.

Definición 12 [42] Sea $LH = \bigcup_t l(t, n(t))$ una jerarquía lingüística cuyos conjuntos de términos notaremos como $S^{(t)} = \{s_0^{n(t)}, \dots, s_{n(t)-1}^{n(t)}\}$. La función de transformación de un término del nivel t a uno del nivel t' se define como:

$$TF_{t'}^t(s_i^{n(t)}, \alpha^{n(t)}) = \Delta_S \left(\frac{\Delta_S^{-1}(s_i^{n(t)}, \alpha^{n(t)}) \cdot (n(t') - 1)}{n(t) - 1} \right)$$

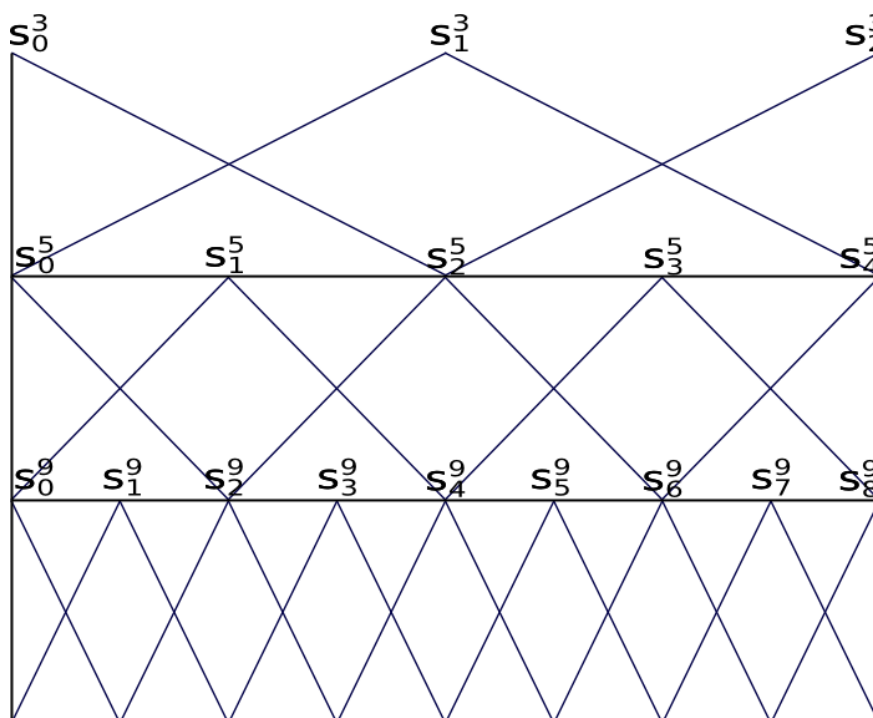


Figura 3.5: Jerarquía lingüística de 3, 5 y 9 etiquetas.

La metodología presentada en [40] utiliza diferentes niveles de una jerarquía lingüística para llevar a cabo la representación de la semántica de los términos lingüísticos de la escala no balanceada, permitiendo así dotar a la escala no balanceada de un mayor grado de discriminación en determinadas zonas de la misma. En caso de que en una zona dada sea necesario un mayor nivel de discriminación se emplearán los términos lingüísticos de los niveles de la jerarquía con mayor granularidad. En el caso opuesto se utilizarán los términos lingüísticos de los niveles de la jerarquía lingüística con menor granularidad.

Para realizar el modelado de un conjunto lingüístico no balanceado es necesario abordar de forma separada el modelado de cada una de las partes del mismo. Para ello dividimos el conjunto en 3 subconjuntos, $S = S_L \cup S_C \cup S_R$. El conjunto S_C contiene la etiqueta central, mientras que los conjuntos S_L y S_R contienen las etiquetas situadas a la izquierda y a la derecha del término central respectivamente.

3.4.1.1. Modelado de los Subconjuntos

El modelado de la información lingüística no balanceada se lleva a cabo abordando de forma separada el modelado de cada una de las partes del mismo [40].

Para llevar a cabo el modelado de la información lingüística no balanceada nos centraremos en la representación del subconjunto derecho, S_R , siendo la representación de S_L simétricamente análoga.

En la representación del subconjunto S_R se distinguen dos posibilidades:

- Representación usando un nivel de la jerarquía lingüística.
- Representación usando dos niveles de la jerarquía lingüística.

En las siguientes secciones describiremos ambas posibilidades.

A) Representación Usando un Nivel de la Jerarquía

Para representar el subconjunto S_R empleando un nivel de la jerarquía lingüística debe existir un nivel en la jerarquía que cuente con un número de etiquetas en el lado derecho igual a la cardinalidad del subconjunto S_R , verificándose la siguiente ecuación:

$$\exists t \in LH, \frac{n(t) - 1}{2} = \#(S_R), \quad (3.1)$$

siendo $\#(S_R)$ el número de etiquetas que contiene el subconjunto S_R y t el nivel de la jerarquía lingüística que empleamos para realizar la representación de este subconjunto.

En caso de que la función anterior se cumpla asignamos la semántica de las etiquetas del nivel t a las etiquetas del subconjunto S_R . Para ello realizamos el siguiente procedimiento:

- Se asignan las etiquetas de forma que $S_R \leftarrow S_R^{n(t)}$.
- La semántica de la etiqueta central, s_C , es asignada solamente por la parte derecha de la función de pertenencia de la etiqueta central de $S^{n(t)}$, $\underline{s_C} \leftarrow \underline{s_C}^{n(t)}$. La semántica de la parte izquierda es asignada cuando se asigne el subconjunto S_L .

B) Representación Usando Dos Niveles de la Jerarquía

Si el subconjunto S_R no puede ser representado mediante un único nivel de la jerarquía su representación se realiza empleando dos niveles.

En este caso, la representación depende de la distribución de la escala S , la cual se define mediante 5 valores:

$$\{(\#S_L), \text{densidad}_{S_L}, \#(S_C), (\#(S_R), \text{densidad}_{S_R})\}, \quad (3.2)$$

siendo:

- $\#(S_L)$ la cardinalidad del subconjunto izquierdo.
- $\#(S_C)$ la cardinalidad del subconjunto central.
- $\#(S_R)$ la cardinalidad del subconjunto derecho.
- densidad_{S_L} la densidad del subconjunto izquierdo.
- densidad_{S_R} la densidad del subconjunto derecho.

La densidad de un subconjunto es una variable simbólica que toma valores en el conjunto $\{\text{centrada}, \text{extrema}\}$. La densidad indica si la máxima granularidad del subconjunto se sitúa cercana al centro o al extremo.

Una vez definida la distribución de la escala S , el procedimiento para representar el subconjunto S_R es el siguiente:

1. Selección de los dos niveles de la jerarquía lingüística

Se seleccionan dos niveles, t y $t + 1$, de la jerarquía lingüística de acuerdo a la ecuación:

$$\frac{n(t) - 1}{2} < \#(S_R) < \frac{n(t + 1) - 1}{2} \quad (3.3)$$

Así, S_R se asigna mediante un subconjunto de etiquetas de la parte derecha de los niveles t y $t + 1$, llamado *conjunto de etiquetas asignables* y notados como $AS_R^{n(t)}$

y $AS_R^{n(t+1)}$ respectivamente. Inicialmente, estos conjuntos están compuestos por las siguientes etiquetas:

$$AS_R^{n(t)} = S_R^{n(t)} = \{s_{\frac{n(t)-1}{2}+1}^{n(t)}, \dots, s_{n(t)-1}^{n(t)}\},$$

$$AS_R^{n(t+1)} = S_R^{n(t+1)} = \{s_{\frac{n(t+1)-1}{2}+1}^{n(t+1)}, \dots, s_{n(t+1)-1}^{n(t+1)}\}$$

Para llevar a cabo la representación de S_R , nos valemos de la variable *densidad* $_{S_R}$ para comenzar a asignar etiquetas por el lado de S_R de mayor granularidad. Las primeras etiquetas que tomamos son las del conjunto $AS^{n(t+1)}$ y, a continuación, las del conjunto $AS^{n(t)}$. Una vez una etiqueta ha sido asignada debe ser eliminada del conjunto de etiquetas asignables en el que estuviese contenida.

Para realizar la asignación, S_R es dividido en dos subconjuntos $S_R = S_{RC} \cup S_{RE}$.

- S_{RE} : Etiquetas de S_R cercanas al extremo derecho de S .
- S_{RC} : Etiquetas de S_R cercanas al centro de S .

Así, si la densidad de S_R es *extrema*, son las etiquetas de $AS^{n(t+1)}$ las que empleamos para la asignación de las etiquetas de S_R cercanas al extremo derecho de S , S_{RE} , y las etiquetas de $AS^{n(t)}$ para la asignación de las etiquetas de S_{RC} . En el caso de que la densidad de S_R sea *centrada* las etiquetas de $AS^{n(t+1)}$ se utilizan para la asignación de las etiquetas de S_{RC} , mientras que las etiquetas de $AS^{n(t)}$ se usan para la asignación de S_{RE} .

2. Representación de S_R

Calculados los conjuntos de etiquetas asignables y establecido el orden de asignación procedemos a realizar la representación del subconjunto. Para ello:

- 2.1. Asignamos lab_{t+1} etiquetas del conjunto $AS^{n(t+1)}$ al subconjunto de S_R de mayor granularidad.
- 2.2. Eliminamos las etiquetas de $AS^{n(t)}$ asociadas a las etiquetas de $AS^{n(t+1)}$ que han sido asignadas.

2.3. El conjunto de etiquetas restantes de $AS_n(t)$ se asignan al subconjunto de S_R con menor granularidad.

Siendo lab_{t+1} el número de etiquetas a asignar del conjunto de etiquetas $AS^{n(t+1)}$ y calculado a partir de la siguiente ecuación:

$$lab_{t+1} = \frac{n(t+1) - 1}{2} - \#(S_R)$$

3. Representación de la etiqueta central

La etiqueta central se representa en función de la densidad S_R , empleándose para ello:

- El lado derecho de la etiqueta central del nivel de mayor granularidad si la densidad es *centrada*.
- El lado derecho de la etiqueta central del nivel de menor granularidad si la densidad es *extrema*.

Una vez realizado el procedimiento, obtenemos la semántica de la escala lingüística no balanceada, S , por medio de la jerarquía lingüística, $LH(\langle S \rangle) = \{(s_{I(i)}^{G(i)}, \alpha), i = \{0, \dots, g\}, (s_{I(i)}^{G(i)} \in S)\}$, siendo $I(i)$ la función que asigna el índice de la etiqueta que representa su semántica en la jerarquía lingüística y $G(i)$ la función que asigna a cada etiqueta la granularidad del nivel en el que está representada. Además, obtenemos una función booleana $Puente : S \rightarrow \{Falso, Verdad\}$ para cada $s_i \in S$ que indica si la semántica está representada por dos niveles de la jerarquía lingüística.

Ejemplo 3 En este ejemplo mostraremos como se realiza la obtención de la semántica de la escala no balanceada mostrada en la Figura 3.6.



Figura 3.6: Escala no balanceada.

En primer lugar, dividimos la escala en los subconjuntos S_L , S_C y S_R :

- $S_L = \{Deficiente(D)\}$
- $S_C = \{Aceptable(A)\}$
- $S_R = \{Bueno(B), Muy Bueno(MB), Óptimo(O)\}$

Utilizando la jerarquía lingüística mostrada en la Figura 3.5 el subconjunto S_L es representado en el nivel $t = 1$, ya que cumple la Ecuación 3.1. La parte izquierda de la etiqueta central será asignada también por el nivel $t = 1$.

El subconjunto S_R no puede ser representado utilizando un único nivel. Por tanto, debe ser representado por dos niveles que cumplan la Ecuación 3.3, estos niveles son $t = 2$ y $t = 3$.

A continuación, debemos calcular la distribución para la escala S que es

$$\{(1, extrema), 1, (3, extrema)\}$$

y además, los subconjuntos de S_R que son: $S_{RE} = \{MB, O\}$ y $S_{RC} = \{B\}$,

$$AS_R^5 = \{s_2^5, s_3^5, s_4^5\},$$

$$AS_R^9 = \{s_5^9, s_6^9, s_7^9, s_8^9\}.$$

El conjunto de etiquetas asignables son: AS_R^5 y AS_R^9 . Como S_{RE} es el subconjunto de S_R de mayor granularidad, le son asignadas las etiquetas del conjunto AS_R^5 . Las etiquetas del conjunto S_{RC} son asignadas a partir de las del conjunto AS_R^5 . El número de etiquetas que se utiliza de cada conjunto es el siguiente: $lab_2 = \frac{9-1}{2} - 3 = 1$ y $lab_3 = 3 - 1 = 2$. Realizando el procedimiento descrito anteriormente, la representación de la escala no balanceada sería la mostrada en la Figura 3.7. Además, dicha figura muestra la función *Puente* que indica las etiquetas cuya semántica es representada mediante dos niveles de la jerarquía lingüística.

S	$LH(S)$	$Puente(S)$
$s_0 = Deficiente$	$s_{I(0)}^{G(0)} = s_0^3$	Falso
$s_1 = Aceptable$	$s_{I(1)}^{G(1)} = s_1^3$	Verdad
$s_2 = Bueno$	$s_{I(2)}^{G(2)} = s_3^5$	Verdad
$s_3 = MuyBueno$	$s_{I(3)}^{G(3)} = s_7^9$	Falso
$s_4 = \acute{O}ptimo$	$s_{I(4)}^{G(4)} = s_8^9$	Falso

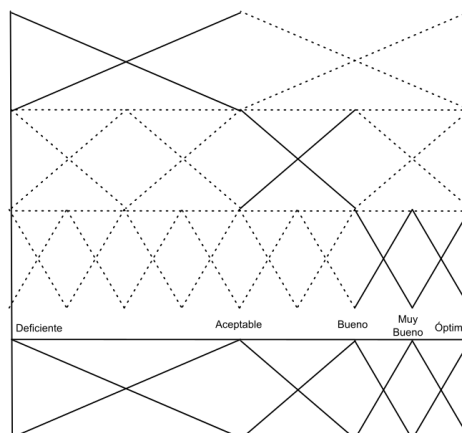


Figura 3.7: Semántica de la escala no balanceada.

3.4.2. Modelo de Computación

El modelo de computación para el modelo lingüístico no balanceado sigue el esquema de la Figura 3.8, siendo necesario realizar las fases de unificación, manipulación y retraslación. Al basarnos en el modelo de representación lingüístico 2-tuplas, estas fases serán llevadas a cabo sin pérdida de información.

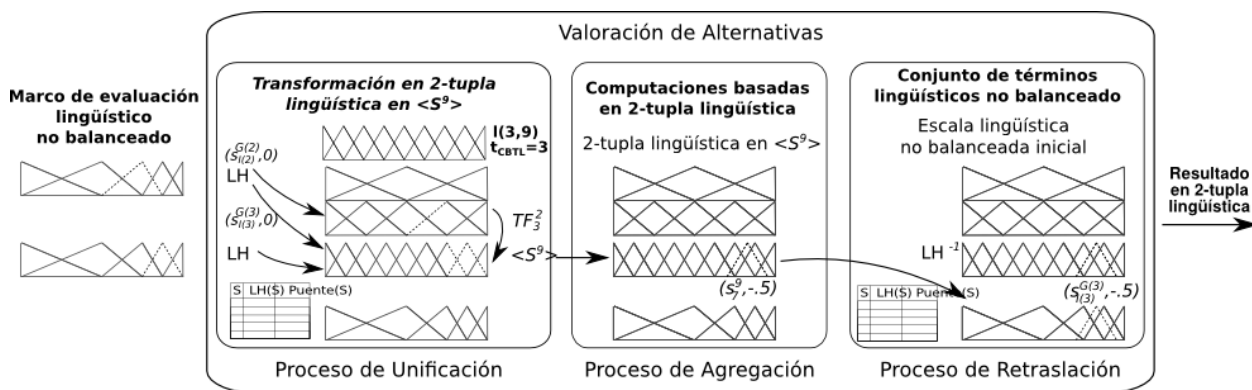


Figura 3.8: Modelo de computación en el modelo lingüístico no balanceado.

3.4.2.1. Proceso de unificación

En esta fase, la información expresada en la escala lingüística no balanceada es unificada al nivel t_{CBTL} de la jerarquía, que será aquel que cuente con una mayor granularidad. Para llevar a cabo esta unificación es necesario realizar un proceso de dos pasos:

1. Cada término no balanceado, $S_{I(i)}^{G(i)}$, es transformado en una 2-tupla lingüística mediante la función de transformación $\mathfrak{L}\mathfrak{H} : \langle S \rangle \rightarrow LH(\langle S \rangle)$ definida como:

$$\forall (s_i, \alpha) \in (S \times [-0.5, 0.5]) \Rightarrow \mathfrak{L}\mathfrak{H} : (s_i, \alpha) = (s_{I(i)}^{G(i)}, \alpha) \quad (3.4)$$

2. Los términos lingüísticos expresados en niveles de la jerarquía lingüística diferentes al nivel t_{CBTL} son unificados en este nivel empleando la función de transformación $TF'_{t_{CBTL}}$ definida en [42].

3.4.2.2. Proceso de agregación

En esta fase, el modelo de computación de 2-tuplas lingüísticas es llevado a cabo [41], obteniendo como resultado valoraciones expresadas en $\langle S^{(n(t_{CBTL}))} \rangle$.

3.4.2.3. Proceso de retraslación

En esta fase, las valoraciones obtenidas en el proceso de agregación son transformadas a la escala lingüística no balanceada inicial empleando la función de transformación $\mathfrak{L}\mathfrak{H}^{-1}$:

$$\mathfrak{L}\mathfrak{H}^{-1} : \langle S^{t_{CBTL}} \rangle \rightarrow \langle S \rangle \quad (3.5)$$

La función de transformación anterior es definida en [40] y esta basada en la satisfacción de las condiciones impuestas para la jerarquía lingüística empleada para la representación de la semántica, LH , y en la función booleana $Puente(S)$.

Modelo de Evaluación Sensorial para el AOV Basado en una Nueva Escala Lingüística No Balanceada

En este capítulo llevamos a cabo la propuesta de un nuevo modelo de evaluación sensorial para el AOV basado en una nueva escala lingüística no balanceada, el cual es el propósito principal de este trabajo.

Los procesos de evaluación sensorial en general, y el proceso de evaluación sensorial del AOV en particular, están caracterizados por un tipo de información vaga e imprecisa debido a su obtención a través de percepciones recibidas usando los órganos sensoriales humanos.

Para tratar de la forma adecuada este tipo de información es necesario emplear un enfoque que nos permita manejar apropiadamente la incertidumbre derivada de la vaguedad e imprecisión comentadas. Empleamos el enfoque lingüístico difuso, el cual revisamos en el Capítulo 3, para modelar este tipo de información, ya que como vimos en dicho capítulo, las variables lingüísticas, al ser más flexibles que otro tipo de variables como pueden ser las numéricas o las intervalares, permiten realizar la evaluación de aspectos cualitativos de un modo mucho más adecuado.

Otro factor importante que debemos considerar para la definición del modelo de evaluación sensorial para el AOV que planteamos en este capítulo, es la granularidad de la escala

que emplean los catadores para expresar sus valoraciones sobre la intensidad de un determinado atributo sensorial. Como se mencionó en el Capítulo 2 cuando se revisó el proceso de evaluación sensorial para el AOV según las directrices del COI, la clasificación comercial que se lleva a cabo en este caso está basada en los valores de intensidad bajos. Por ello, es deseable que, para evitar posibles errores de clasificación, la escala empleada permita una mayor discriminación en la zona en la cual se concentran estos valores. El modelado y manejo de una escala lingüística no balanceada, las cuales revisamos en el Capítulo 3, nos permitirán dotar a la escala de una mayor discriminación en aquellas zonas en las que sea necesario, por lo que son las que utilizamos para la construcción de nuestro modelo.

En las siguientes secciones llevaremos a cabo la definición del nuevo modelo de evaluación sensorial para el AOV. Para ello, en primer lugar analizaremos las limitaciones encontradas en el anterior modelo de evaluación sensorial para el AOV basado en escalas lingüísticas no balanceadas introducido en [72] y plantearemos una nueva escala no balanceada que permita superar las limitaciones detectadas. En la siguiente sección llevaremos a cabo la definición del nuevo modelo de evaluación sensorial para el AOV que proponemos en esta memoria. Una vez definido el nuevo modelo se describirá el caso de estudio realizado para validar su funcionamiento. Por último, mostraremos un ejemplo concreto de evaluación sensorial de AOV en el que mostraremos el funcionamiento del modelo propuesto.

4.1. Nueva Escala No Balanceada para la Evaluación Sensorial

El objetivo de esta sección es proponer una escala lingüística no balanceada adecuada para medir las valoraciones de los catadores y que permita clasificar correctamente el AOV cuando una muestra este dudosa entre dos categorías.

En [72], se propuso una escala lingüística no balanceada inicial para este proceso de evaluación sensorial. Esta escala se muestra en la Figura 4.1.

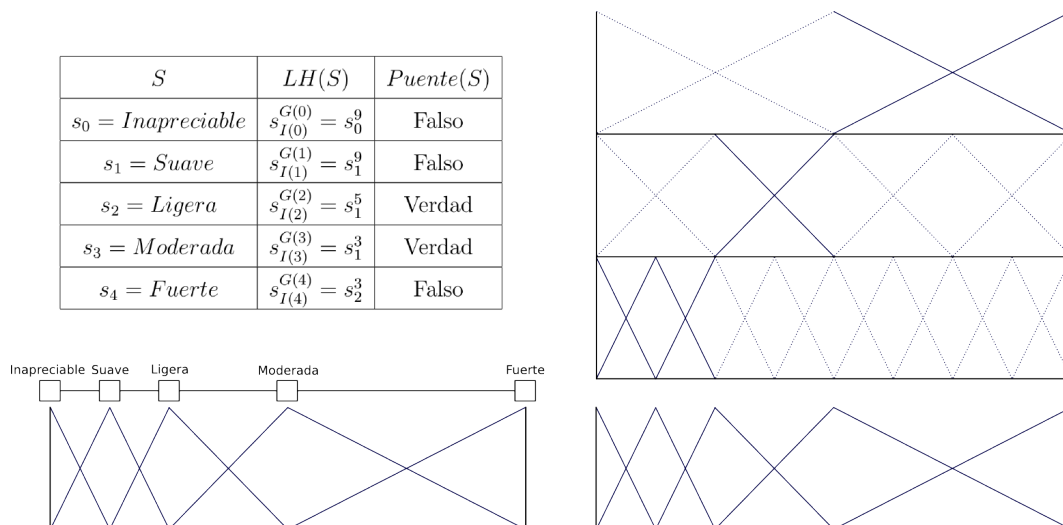


Figura 4.1: Semántica de la escala no balanceada inicial.

Esta escala está compuesta por 5 etiquetas lingüísticas y tiene la sintaxis siguiente: $S = \{Inapreciable, Suave, Ligera, Moderada, Fuerte\}$. Las tres primeras etiquetas, *Inapreciable*, *Suave* y *Ligera*, se sitúan en el lado izquierdo de la escala, mientras que la última de ellas, *Fuerte*, se sitúa en el lado derecho. La etiqueta *Moderada* es la etiqueta central de la escala.

Como se puede apreciar en la Figura 4.1, la semántica del conjunto lingüístico de etiquetas se deriva de una jerarquía lingüística de 3 niveles con 3, 5 y 9 etiquetas.

La escala de 5 etiquetas que se se emplea en el modelo propuesto en [72] no fue validada en su momento. Bajo el proyecto de investigación *Desarrollo de Sistemas Instrumentales de Análisis y Modelización mediante la Lógica Difusa aplicados a la Caracterización Sensorial del Aceite de Oliva Virgen Extra*¹ que fue realizado posteriormente a la presentación del modelo, fue llevado a cabo un estudio con catadores con el objetivo de validar este modelo.

El estudio fue realizado en octubre de 2011 en la empresa CM-Europa de Martos². En el estudio participaron 2 paneles de catadores formados por un total de 2 jefes de panel y 24 catadores, todos ellos hombres y mujeres de edades comprendidas entre los 25 y los 55 años.

De este estudio se obtuvieron las siguientes conclusiones:

¹Ref: AGR-6487

²<http://www.cmeuropa.com/>

- Una escala lingüística no balanceada es una buena opción para llevar a cabo el proceso de evaluación sensorial del aceite de oliva ya que, el lado izquierdo de la escala marca la diferencia entre una muestra de AOV clasificada como *Virgen Extra*, *Virgen*, *Virgen Ordinario* y *Virgen Lampante* y en la escala no balanceada medimos en el lado izquierdo la ausencia de un atributo sensorial así como intensidades ligeras y suaves. El lado derecho mide las intensidades fuertes, lo que queda recogido en la escala no balanceada con el valor fuerte. En el proceso de evaluación sensorial para el AOV es necesaria una mayor distinción en el lado izquierdo de la escala que en el derecho, y una escala no balanceada permite hacer justamente esto.
- El número de etiquetas de la escala es escaso, siendo necesario un mayor número de etiquetas para medir de forma adecuada las percepciones de los catadores, ya que las muestras de AOV se pueden clasificar incorrectamente cuando están dudosas entre dos categorías.

Para evitar clasificaciones incorrectas debido a la escala utilizada para medir las percepciones de los catadores, los paneles de catadores propusieron incluir dos nuevas etiquetas, una a cada lado de la escala. Por lo tanto, la nueva escala lingüística no balanceada tendrá 7 etiquetas. La nueva escala permitirá medir adecuadamente las percepciones de los catadores para así clasificar correctamente las muestras de AOV dudosas entre dos categorías. La sintaxis proporcionada por el panel de catadores para esta nueva escala es la siguiente: $S = \{Ausencia, Casi Inapreciable, Muy Suave, Suave, Medio, Grande, Extrema\}$.

Una vez los catadores propusieron la sintaxis para la nueva escala, era necesario calcular la semántica de cada término lingüístico de la misma a fin de obtener la nueva escala lingüística no balanceada. Para ello se empleó el algoritmo para la construcción de semánticas para conjuntos no balanceados de etiquetas, utilizando una jerarquía lingüística [40]. La semántica de la nueva escala no balanceada y su representación se muestra en la Figura 4.2. Además, en dicha figura se muestra la función *Puente*, la cual indica la semántica de qué etiquetas es representada mediante dos niveles de la jerarquía.

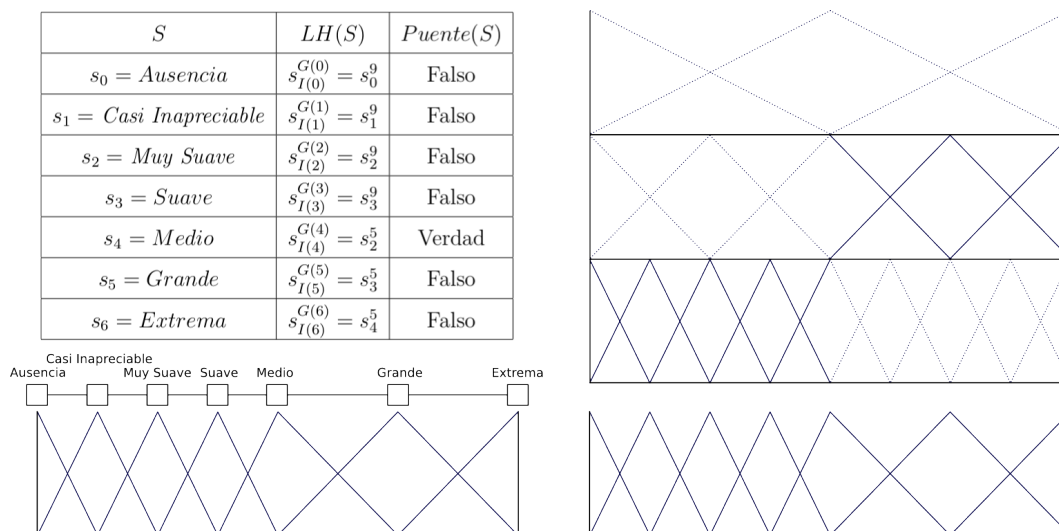


Figura 4.2: Semántica de la nueva escala no balanceada.

4.2. Modelo de Evaluación Sensorial para el AOV Basado en una Nueva Escala Lingüística No Balanceada

A partir de la nueva escala lingüística no balanceada propuesta por los catadores llevaremos a cabo la definición del nuevo modelo de evaluación sensorial para el AOV con escalas lingüísticas no balanceadas.

El modelo estará basado en el modelo básico de evaluación sensorial revisado en el Capítulo 2.

El nuevo modelo ofrece un marco de evaluación en el cual, los catadores pueden expresar sus percepciones haciendo uso de la nueva escala lingüística no balanceada propuesta. Para conseguir esto debemos llevar a cabo la modificación de cada una de las fases del modelo básico de evaluación sensorial a fin de adaptar dicho modelo a nuestras necesidades.

En la Figura 4.3 ilustramos las fases generales del modelo, siendo las principales:

1. *Definición del marco de evaluación.* Establecemos el panel de catadores, el conjunto de



Figura 4.3: Modelo de evaluación sensorial para el AOV.

muestras a evaluar, los atributos sensoriales que empleamos y la escala lingüística no balanceada que emplean los catadores para expresar sus valoraciones.

2. *Recopilación de información sensorial.* El panel de catadores proporciona la información sobre las percepciones sensoriales percibidas para cada muestra de AOV.
3. *Valoración de las muestras.* A partir de las valoraciones recogidas en la fase anterior calculamos la valoración global para cada muestra de AOV evaluada.

En los siguientes apartados veremos como se realiza cada una de las principales fases del modelo, esto es, la definición del marco de evaluación, la recopilación de información y la valoración de las muestras.

4.2.1. Marco de Evaluación

En esta fase definimos el marco de evaluación en el que los catadores expresan las percepciones sensoriales percibidas para cada muestra de AOV a clasificar.

Para la definición del marco de evaluación es necesario establecer los diferentes descriptores que empleamos para la recopilación de la información sensorial.

Empleamos la siguiente terminología para notar los diferentes descriptores utilizados para la definición del marco de evaluación:

- Sea $E = \{e_1, \dots, e_m\}$ el conjunto de catadores que conforman el panel de cata.
- Sea $X = \{x_1, \dots, x_m\}$ el conjunto de muestras de AOV a evaluar
- Sea $F = \{f_1, \dots, f_h\}$ el conjunto de atributos sensoriales que se emplean para evaluar las muestras.
- Sea $S = \{s_0, \dots, s_g\}$ el conjunto de términos lingüísticos de la escala no balanceada que utiliza el panel de cata para expresar sus percepciones sobre las muestras.

Cada catador, e_i , utiliza una etiqueta del conjunto de términos lingüísticos no balanceado, S , que indica la valoración de la muestra, x_j , respecto al atributo sensorial, f_k .

El conjunto de términos lingüísticos de la escala no balanceada se corresponde con el visto en la Sección 4.1, el cual comentamos ha sido definido en colaboración con diferentes paneles de cata de cara a la correcta clasificación de las muestras de AOV dudosas entre dos categorías.

La escala está formada por 7 etiquetas, siendo su sintaxis la siguiente: $S = \{Ausencia, Casi Inapreciable, Muy Suave, Suave, Medio, Grande, Extrema\}$ (ver Figura 4.4).

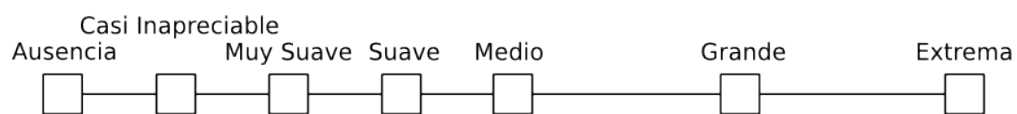


Figura 4.4: Escala no balanceada de 7 términos lingüísticos.

Según vimos en la Sección 4.1 al abordar la definición de la escala, el cálculo de la semántica de cada término lingüístico de la misma se realiza empleando el algoritmo para la construcción de semánticas para conjuntos no balanceados de etiquetas, empleando una jerarquía lingüística [40]. La notación, sintaxis y semántica de los conjuntos lingüísticos de etiquetas puede verse en la Figura 4.2.

4.2.2. Recopilación de la Información Sensorial

En esta fase, cada uno de los catadores que forman el panel de cata proporciona la información sobre las percepciones sensoriales percibidas para cada muestra de AOV evaluada. Para ello se emplean vectores de utilidad que contienen la evaluación lingüística para cada atributo sensorial de la muestra de AOV evaluada.

El catador, e_i , proporciona sus percepciones en el conjunto de términos lingüísticos no balanceado, S , por medio del vector de utilidad:

$$U^i = \{u_{11}^i, \dots, u_{1h}^i, u_{21}^i, \dots, u_{2h}^i, \dots, u_{n1}^i, \dots, u_{nh}^i\},$$

donde u_{jk}^i es la evaluación en S del indicador f_k para la muestra x_j dada por el catador e_i .

Para que los catadores expresen sus percepciones sensoriales les será proporcionada una hoja de perfil como la propuesta en la Figura 4.5.

4.2.3. Valoración de las Muestras

En esta fase, los vectores de utilidad obtenidos en la fase anterior son agregados para obtener la clasificación de las muestras de AOV evaluadas. En este punto, nos encontramos con que la información está expresada en diferentes niveles de la jerarquía lingüística empleada para representar la semántica de la escala lingüística no balanceada. Para poder tratar con esta información seguiremos el modelo de computación no balanceado [40] que fue revisado en la Sección 3.4. Así, llevaremos a cabo los pasos que se exponen a continuación.

4.2.3.1. Unificación de la Información

A partir de las valoraciones recogidas en las hojas de perfil suministradas a los catadores podemos obtener los valores en 2-tupla lingüísticas. La conversión de un término lingüístico en una 2-tupla lingüística se realiza empleando la función indicada en el Comentario 1 revisada en la Sección 3.3.1.

HOJA DE PERFIL DE ACEITE DE OLIVA VIRGEN

INTENSIDAD DE PERCEPCIÓN DE LOS ATRIBUTOS NEGATIVOS

	Ausencia	Casi Inapreciable	Muy Suave	Suave	Medio	Grande	Extrema
Atrajado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Moho	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Avinado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Metálico	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rancio	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Otros(cuáles)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

INTENSIDAD DE PERCEPCIÓN DEL ATRIBUTO POSITIVO

Frutado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
---------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

Nombre del catador:

Código de la muestra:

Fecha:

Observaciones:

Figura 4.5: Hoja de perfil propuesta.

Una vez todas las valoraciones han sido convertidas en valoraciones lingüísticas 2-tupla deben ser transformadas a una 2-tupla lingüística en la jerarquía lingüística asociada a la escala lingüística no balanceada, $LH(S)$, empleando la función de transformación $\mathfrak{L}\mathfrak{H}$.

A fin de poder operar con las valoraciones, todas ellas deben estar unificadas en un único nivel de la jerarquía lingüística, el cual denominamos *Conjunto Básico de Términos Lingüísticos (CBTL)* y notamos como t_{CBTL} . Para llevar a cabo la unificación usamos la función de transformación entre niveles de una jerarquía lingüística, $TF_{t_{CBTL}}^t$

Una vez todas la información ha sido unificada en el nivel t_{CBTL} de la jerarquía lingüística $LH(S)$ podemos abordar el siguiente paso de esta fase, la agregación de la información.

4.2.3.2. Agregación de la Información

Partiendo de la información unificada en el nivel t_{CBTL} de la jerarquía lingüística $LH(S)$, procedemos a realizar la agregación de la misma a fin de obtener los valores colectivos para cada muestra de AOV evaluada.

La agregación de la información para el proceso de evaluación sensorial del AOV según el modelo propuesto se lleva a cabo en dos pasos:

1. *Evaluación colectiva de cada atributo sensorial.* Obtenemos la valoración colectiva para cada atributo sensorial fijado en la normativa para la evaluación sensorial del AOV por el COI. La agregación se realiza empleando el operador de la mediana para 2-tupla lingüística, el cual revisamos en la Sección 3.3.2. Los resultados obtenidos al aplicar el operador de la *Mediana* son valores lingüísticos 2-tupla en el nivel t_{CBTL} de la jerarquía lingüística $LH(S)$. Para transformar estos valores a valores lingüísticos en la escala lingüística no balanceada empleamos la función de transformación $\mathfrak{L}\mathfrak{H}^{-1}$ (ver Ecuación 3.5 descrita en la Sección 3.4). Los resultados obtenidos al aplicar la función de transformación $\mathfrak{L}\mathfrak{H}^{-1}$ son valores en la escala lingüística no balanceada que empleamos para realizar la clasificación de cada muestra de AOV evaluada.
-

2. *Evaluación colectiva para cada muestra.* Partiendo de los valores colectivos de cada atributo calculamos la evaluación colectiva para cada muestra que nos servirá para realizar su clasificación comercial según la normativa fijada por el COI. Esta consiste en la mayor valoración colectiva de los atributos sensoriales negativos, $Med-n$, y en la valoración colectiva del atributo sensorial positivo de frutado, $Med-f$. Los resultados obtenidos son valores lingüísticos 2-tupla en la escala lingüística no balanceada que utilizamos para realizar la clasificación de las muestras de AOV. Como la clasificación vigente fija los rangos de referencia empleando valores numéricos discretos, es necesario realizar una conversión de dichos rangos a la escala lingüística no balanceada. Esta clasificación se muestra en la Tabla 4.1.

Categoría	Mediana de los defectos (Med-n)	Mediana del frutado (Med-f)
Extra Virgen	$Med-n=(Ausencia, 0)$	$Med-f > (Ausencia, 0)$
Virgen	$Med-n=(Ausencia, 0)$	$Med-f=(Ausencia, 0)$
Virgen	$(Ausencia, 0) < Med-n \leq (Suave, -0.2)$	
Virgen Ordinario	$(Suave, -0.2) < Med-n \leq (Medio, 0.4)$	
Virgen Lampante	$(Medio, 0.4) < Med-n$	

Tabla 4.1: Rangos de referencia para clasificación con modelo lingüístico no balanceado

Empleando la clasificación mostrada en la Tabla 4.1 y los valores obtenidos al aplicar la función de transformación $\mathcal{L}\mathfrak{H}^{-1}$ podemos clasificar comercialmente las muestras de AOV evaluadas.

4.3. Caso de Estudio para la Validación de la Clasificación Realizada con el Modelo de Evaluación Sensorial

En esta sección describiremos el caso de estudio que ha sido llevado a cabo para validar las clasificaciones obtenidas usando el modelo de evaluación sensorial para el AOV que se ha propuesto en la Sección 4.2.

El caso de estudio consistió en la evaluación sensorial de un conjunto de muestras de AOV y fue realizado en cuatro fases. En la Figura 4.6 se resumen los principales datos del caso de estudio.

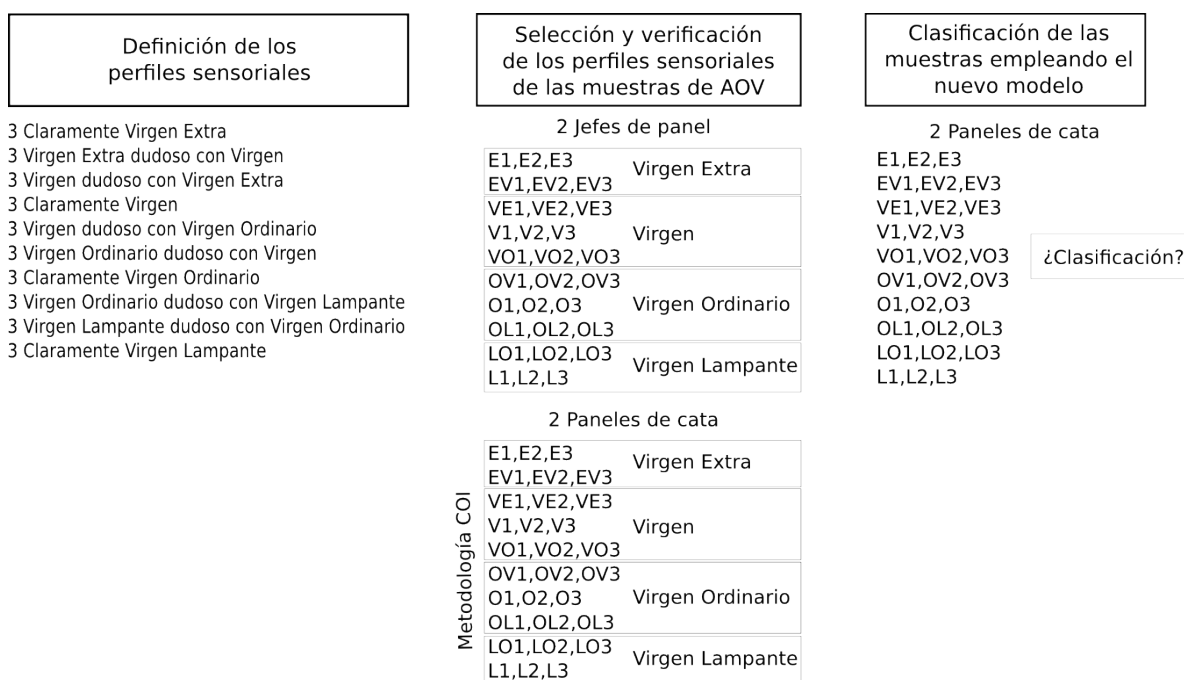


Figura 4.6: Proceso de validación realizado

A continuación revisamos las tareas realizadas en cada una de las cuatro fases del caso de estudio.

A) Definición de los perfiles sensoriales

Para realizar el caso de estudio fueron definidos diferentes perfiles sensoriales, los cuales incluyen muestras claramente clasificadas en una categoría y muestras dudosas entre dos categorías. Así, fueron definidos un total de diez perfiles sensoriales (ver columna izquierda de Figura 4.6).

B) Búsqueda de las muestras de AOV para cada perfil sensorial

En esta fase fueron buscadas tres muestras para cada perfil sensorial definido en la fase anterior³.

La búsqueda de las muestras fue realizada en la campaña de aceituna de 2012 de la provincia de Jaén por los jefes de panel. Esta búsqueda se prolongó durante 5 meses, ya que fue muy difícil localizar las muestras asociadas a ciertos perfiles sensoriales.

En la columna central de la Figura 4.6 pueden verse los identificadores empleados para cada una de las muestras. En los identificadores empleados, la primera letra indica la clasificación de la misma mientras que la segunda letra, si existe, indica la clasificación con la que la muestra presenta dudas. De este modo, la muestra *VE1* es una muestra de categoría *Virgen* que presenta dudas con *Virgen Extra*. En cambio, la muestra *E1* es una muestra claramente *Virgen Extra*.

C) Cata de las muestras

Para verificar que la selección realizada por los jefes de panel de acuerdo a los perfiles sensoriales definidos había sido correcta y así evitar un impacto negativo en el proceso de validación del nuevo modelo, fue necesario realizar la clasificación de dichas muestras empleando el método de clasificación definido por el COI, el cual revisamos en la Sección 2.3. El proceso de clasificación empleando el método definido por el COI fue realizado por dos paneles de cata autorizados y permitió asegurar que las muestras seleccionadas tenían el perfil sensorial esperado.

³Un total de 30 muestras.

Una vez el perfil sensorial de cada muestra de AOV había sido verificado, el conjunto de muestras de AOV fueron clasificadas empleando el nuevo modelo para la evaluación sensorial del AOV basado en una nueva escala lingüística no balanceada, el cual presentamos en la Sección 4.2.

Para ello, fue definida la hoja de perfil para recopilar la información sensorial que fue mostrada en la Sección 4.2 (ver Figura 4.5). Además, como la clasificación vigente para la clasificación del AOV fija los rangos de referencia empleando valores numéricos discretos, fue necesario realizar una conversión de dichos rangos a la escala lingüística no balanceada. Esta clasificación se muestra en la Tabla 4.1.

Durante dos meses, dos paneles de cata independientes fueron formados en el nuevo modelo de evaluación sensorial empleando para ello la nueva hoja de perfil propuesta (Figura 4.5). Finalizada la formación, el conjunto de 30 muestras de AOV fueron evaluadas por los dos paneles de cata en un proceso ciego en el que se empleó el nuevo modelo de evaluación sensorial para el AOV basado en una nueva escala lingüística no balanceada.

D) Validación de la clasificación realizada

Para cada muestra de AOV evaluada con el nuevo modelo se obtuvo la misma clasificación que la obtenida empleando el método definido por el COI e indicada por los dos jefes de panel.

Por tanto, los resultados obtenidos en el caso de estudio fueron plenamente satisfactorios, confirmando que el nuevo modelo de evaluación sensorial para el AOV basado en una nueva escala lingüística no balanceada permite clasificar correctamente las muestras de AOV, incluso cuando estas muestras están dudosas entre dos categorías, el cual, como mencionamos en el Capítulo 1, es el motivo principal que nos ha llevado a proponer este nuevo modelo.

4.4. Ejemplo de Clasificación de una Muestra de AOV

En esta sección mostraremos un ejemplo concreto de un proceso de evaluación sensorial para el AOV empleando el modelo propuesto en la Sección 4.2 con la nueva escala lingüística

no balanceada.

En las siguientes apartados veremos como es llevada a cabo cada una de las fases del modelo a fin de realizar la clasificación comercial de una de las muestras de AOV vistas en la Sección 4.3, *VE1*, la cual se corresponde con una muestra de AOV dudosa entre las categorías *Virgen* y *Virgen Extra*.

4.4.1. Marco de Evaluación

Supondremos un panel de cata formado por 8 catadores que someterán a evaluación la muestra *VE1*.

Por tanto, el marco de evaluación está conformado por los siguientes elementos:

- $E = \{e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, e_6, e_7, e_8\}$ es el panel de cata.
- $X = \{x_1\}$ es el conjunto de muestras de AOV a evaluar. x_1 se corresponde con *VE1*.
- $F = \{f_1, f_2, f_3, f_4, f_5, f_6, f_7\}$ es el conjunto de atributos sensoriales a emplear para la evaluación de las muestras, correspondiéndose cada atributo sensorial con *Atrojado*, *Moho*, *Avinado*, *Metálico*, *Rancio*, *Otros* y *Frutado* respectivamente.
- $S = \{Ausencia, Casi Inapreciable, Muy Suave, Suave, Medio, Grande, Extrema\}$ es el conjunto de términos lingüísticos de la escala no balanceada.

La semántica de la escala formada con el conjunto de términos lingüísticos, S , es la mostrada en la Figura 4.2.

4.4.2. Recopilación de la Información Sensorial

En esta fase, la muestra de AOV, x_1^4 , es evaluada por los 8 catadores que conforman el panel de cata empleando la hoja de perfil propuesta en la Figura 4.5.

HOJA DE PERFIL DE ACEITE DE OLIVA VIRGEN

INTENSIDAD DE PERCEPCIÓN DE LOS ATRIBUTOS NEGATIVOS

	Ausencia	Casi Inapreciable	Muy Suave	Suave	Medio	Grande	Extrema
Atrojado	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Moho	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Avinado	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Metálico	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rancio	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Otros(cuáles)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

INTENSIDAD DE PERCEPCIÓN DEL ATRIBUTO POSITIVO

Frutado	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
---------	--------------------------	-------------------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

Nombre del catador: e1
Código de la muestra: VE1
Fecha: 13/06/2013
Observaciones: ninguna

Figura 4.7: Hoja de perfil completada por el catador e_1

En la Figura 4.7 puede visualizarse como sería la hoja de perfil que ha completado el catador e_1 .

De las diferentes hojas de perfil completadas por los catadores obtenemos los valores que se muestran en la Tabla 4.2.

Atributos	Atributos negativos						Atributos positivos
	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7
Catadores	Atrojado	Moho	Avinado	Metálico	Rancio	Otros	Frutado
e_1	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Casi Inapr.
e_2	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Muy Suave
e_3	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Muy Suave
e_4	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Muy Suave
e_5	Casi Inapr.	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Muy Suave
e_6	Casi Inapr.	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Muy Suave
e_7	Casi Inapr.	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Muy Suave
e_8	Muy Suave	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Muy Suave

Tabla 4.2: Vectores de utilidad dados por el panel de catadores

4.4.3. Valoración de las Muestras

Llevaremos a cabo la valoración de las muestras empleando los vectores de utilidad obtenidos en la fase anterior.

A continuación mostramos los pasos realizados para completar esta fase.

4.4.3.1. Unificación de la Información

Una vez hemos recogido las intensidades percibidas para los diferentes atributos sensoriales llevamos a cabo la transformación de estas intensidades a 2-tupla lingüísticas, resultando de este proceso los valores de la Tabla 4.3.

⁴En este ejemplo únicamente consideramos una muestra de AOV

	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7
e_1	$(s_0, 0)$	$(s_0, 0)$	$(s_0, 0)$	$(s_0, 0)$	$(s_0, 0)$	$(s_0, 0)$	$(s_1, 0)$
e_2	$(s_0, 0)$	$(s_0, 0)$	$(s_0, 0)$	$(s_0, 0)$	$(s_0, 0)$	$(s_0, 0)$	$(s_2, 0)$
e_3	$(s_0, 0)$	$(s_0, 0)$	$(s_0, 0)$	$(s_0, 0)$	$(s_0, 0)$	$(s_0, 0)$	$(s_2, 0)$
e_4	$(s_0, 0)$	$(s_0, 0)$	$(s_0, 0)$	$(s_0, 0)$	$(s_0, 0)$	$(s_0, 0)$	$(s_2, 0)$
e_5	$(s_1, 0)$	$(s_0, 0)$	$(s_0, 0)$	$(s_0, 0)$	$(s_0, 0)$	$(s_0, 0)$	$(s_2, 0)$
e_6	$(s_1, 0)$	$(s_0, 0)$	$(s_0, 0)$	$(s_0, 0)$	$(s_0, 0)$	$(s_0, 0)$	$(s_2, 0)$
e_7	$(s_1, 0)$	$(s_0, 0)$	$(s_0, 0)$	$(s_0, 0)$	$(s_0, 0)$	$(s_0, 0)$	$(s_2, 0)$
e_8	$(s_2, 0)$	$(s_0, 0)$	$(s_0, 0)$	$(s_0, 0)$	$(s_0, 0)$	$(s_0, 0)$	$(s_2, 0)$

Tabla 4.3: Vectores de utilidad transformados a 2-tupla

Estos valores son unificados en el nivel t_{CBTL} de la jerarquía lingüística haciendo uso de la función $TF_{t_{CBTL}}^t$. Tomamos como nivel t_{CBTL} el de mayor granularidad, en nuestro caso $l(3, 9)$.

Los resultados obtenidos al realizar la unificación se muestran en la Tabla 4.4.

	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7
e_1	$(s_0^9, 0)$	$(s_0^9, 0)$	$(s_0^9, 0)$	$(s_0^9, 0)$	$(s_0^9, 0)$	$(s_0^9, 0)$	$(s_1^9, 0)$
e_2	$(s_0^9, 0)$	$(s_0^9, 0)$	$(s_0^9, 0)$	$(s_0^9, 0)$	$(s_0^9, 0)$	$(s_0^9, 0)$	$(s_2^9, 0)$
e_3	$(s_0^9, 0)$	$(s_0^9, 0)$	$(s_0^9, 0)$	$(s_0^9, 0)$	$(s_0^9, 0)$	$(s_0^9, 0)$	$(s_2^9, 0)$
e_4	$(s_0^9, 0)$	$(s_0^9, 0)$	$(s_0^9, 0)$	$(s_0^9, 0)$	$(s_0^9, 0)$	$(s_0^9, 0)$	$(s_2^9, 0)$
e_5	$(s_1^9, 0)$	$(s_0^9, 0)$	$(s_0^9, 0)$	$(s_0^9, 0)$	$(s_0^9, 0)$	$(s_0^9, 0)$	$(s_2^9, 0)$
e_6	$(s_1^9, 0)$	$(s_0^9, 0)$	$(s_0^9, 0)$	$(s_0^9, 0)$	$(s_0^9, 0)$	$(s_0^9, 0)$	$(s_2^9, 0)$
e_7	$(s_1^9, 0)$	$(s_0^9, 0)$	$(s_0^9, 0)$	$(s_0^9, 0)$	$(s_0^9, 0)$	$(s_0^9, 0)$	$(s_2^9, 0)$
e_8	$(s_2^9, 0)$	$(s_0^9, 0)$	$(s_0^9, 0)$	$(s_0^9, 0)$	$(s_0^9, 0)$	$(s_0^9, 0)$	$(s_2^9, 0)$

Tabla 4.4: Vectores de utilidad transformados a 2-tupla en t_{CBTL}

4.4.3.2. Agregación de la Información

Partiendo de la información unificada en el nivel t_{CBTL} de la jerarquía lingüística $LH(S)$, procedemos a realizar la agregación de la misma a fin de obtener los valores colectivos para

cada muestra de AOV.

La agregación se lleva a cabo mediante dos pasos:

1. *Evaluación colectiva de cada atributo sensorial.* Aplicamos la *Mediana* para la obtención de las valoraciones colectivas de cada atributo sensorial, siendo los valores obtenidos los mostrados en la Tabla 4.5. Dichos valores colectivos son valores lingüísticos 2-tupla en el nivel t_{CBTL} de la jerarquía lingüística $LH(S)$.

f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7
$(s_1^9, -0.5)$	$(s_0^9, 0)$	$(s_0^9, 0)$	$(s_0^9, 0)$	$(s_0^9, 0)$	$(s_0^9, 0)$	$(s_2^9, 0)$

Tabla 4.5: Medianas 2-tupla en t_{CBTL}

Para transformar estos valores a valores lingüísticos en la escala lingüística no balanceada empleamos la función de transformación $\mathfrak{L}\mathfrak{H}^{-1}$, siendo los resultados obtenidos los de la Tabla 4.6.

f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7
$(Casi\ Inaprr., -0.5)$	$(Aus., 0)$	$(Aus., 0)$	$(Aus., 0)$	$(Aus., 0)$	$(Aus., 0)$	$(Muy\ Suave, 0)$

Tabla 4.6: Medianas 2-tupla en escala lingüística no balanceada

2. *Evaluación colectiva para cada muestra.* A partir de los valores de la Tabla 4.6 computamos la evaluación colectiva para cada muestra, la cual consistirá en la mayor valoración colectiva de los atributos sensoriales negativos, $Med-n$, y en la valoración colectiva del atributo sensorial positivo de frutado, $Med-f$. Los resultados obtenidos son valores 2-tupla en la escala lingüística no balanceada. Los resultados de este paso se muestran en la Tabla 4.7.

$Med-n$	$Med-f$
$(Casi\ Inapreciable, -0.5)$	$(Muy\ Suave, 0)$

Tabla 4.7: Evaluaciones colectivas 2-tupla en escala lingüística no balanceada

Una vez calculada la evaluación colectiva para cada muestra en la escala empleamos la clasificación indicada en la Tabla 4.1 para realizar la clasificación comercial de la muestra de AOV que estamos evaluando.

Según la clasificación, la muestra de AOV de nuestro ejemplo recibirá la clasificación comercial de *Virgen*, ya que la mediana de los defectos, $Med-n$, con el valor (*Casi Inapreciable*, -0.5), está comprendida en el intervalo $(Ausencia, 0) < Med-n \leq (Suave, -0.2)$.

Prototipo Software del Modelo de Evaluación Sensorial del AOV con Escalas Lingüísticas No Balanceadas

En este capítulo se presenta el prototipo software que desarrolla el modelo de evaluación sensorial para el AOV basado en la nueva escala lingüística no balanceada. Dicho prototipo implementa la metodología para representar una escala lingüística no balanceada y operar sobre la información expresada en ella con el fin de permitir el uso de diferentes escalas lingüísticas no balanceadas y así evitar que el prototipo quede ligado a una escala lingüística no balanceada concreta.

Para ello, en primer lugar describiremos la arquitectura del prototipo. A continuación revisaremos brevemente las diferentes tecnologías empleadas para su desarrollo. Por último mostraremos paso a paso el funcionamiento del prototipo siguiendo el caso de ejemplo presentado en el Capítulo 4.

5.1. Arquitectura del Prototipo

El prototipo es una aplicación Rich Client Platform (RCP) que se ha desarrollado haciendo uso de una *arquitectura basada en componentes*.

Una arquitectura basada en componentes intenta paliar algunos de los problemas más comunes en el desarrollo del software como son la reutilización, el mantenimiento, la ampliación o la modificación [94].

Para ello, las distintas partes funcionales que conforman una aplicación son divididas en componentes. Un componente, según lo define Szyperski [99] es una unidad de composición con interfaces especificadas contractualmente y dependencias de contexto explícitas únicamente. Un componente software puede ser desplegado de forma independiente y está sujeto a la composición por terceras partes.

El desarrollo de una aplicación empleando una arquitectura basada en componentes conlleva realizar un proceso de ingeniería del software basado en componentes, el cual, se fundamenta en los siguientes principios [94]:

- Los componentes deben ser independientes, siendo clara la separación entre la interfaz de un componente y su implementación.
- Se debe definir un componente de integración que permita que componentes independientes y distribuidos trabajen juntos.
- El proceso de desarrollo deberá estar adaptado al desarrollo y reutilización de componentes.
- Se debe definir un estándar de componentes que facilite la integración de componentes.

Los tres primeros principios son dependientes del software concreto que desarrollemos, mientras que el cuarto, la definición del estándar de componentes, estará determinado por múltiples factores. Por ejemplo, si para el desarrollo de una aplicación vamos a emplear un subconjunto de componentes ya desarrollados, para la definición del estándar deberemos basarnos en el estándar en que estos componentes han sido desarrollados.

La definición de un estándar de componentes tendrá como resultado la obtención de un *modelo de componentes*, el cual es utilizado por los desarrolladores de componentes para asegurar que los componentes puedan interoperar [94].

Se han propuesto varios modelos de componentes, siendo algunos de los más extendidos el modelo CORBA de OMG, el modelo EJB de Sun, el modelo COM+ de Microsoft y el modelo OSGi de OSGi Alliance [34, 74]. El modelo de componentes OSGi es el que nosotros empleamos para el desarrollo del prototipo.

Como hemos comentado anteriormente, la definición del modelo viene determinada por varios factores, en nuestro caso, la elección del modelo OSGi se debe al uso de *Eclipse RCP* como plataforma para el desarrollo de aplicaciones RCP, ya que es este el modelo de componentes que se emplea en esta plataforma.

Eclipse RCP es una plataforma para el desarrollo de aplicaciones ricas de escritorio creada por IBM y mantenida por la comunidad Eclipse. Permite el desarrollo de aplicaciones de escritorio basadas en componentes que puedan ser ampliadas, modificadas y reutilizadas con facilidad [57].

Para el desarrollo del prototipo se han desarrollado varios componentes (ver Figura 5.1), los cuales pueden ser agrupados en los siguientes tipos básicos:

- *Bibliotecas*: Componentes que dan soporte a la evaluación sensorial.
- *GUI*: Componentes que forman la interfaz gráfica.
- *Operadores*: Componentes que implementan operadores de agregación.
- *Métodos*: Componentes para llevar a cabo los procesos de evaluación sensorial.

En nuestro caso, únicamente ha sido desarrollado un operador y un método, concretamente el operador de la mediana y el método para llevar a cabo el proceso de evaluación sensorial del AOV según nuestro modelo.

La interfaz gráfica de la aplicación se divide en 3 perspectivas Eclipse RCP siguiendo las diferentes fases del modelo de evaluación sensorial que vamos a llevar a cabo.

- Definición del marco de evaluación.
 - Recopilación de la información sensorial.
 - Valoración de las muestras.
-

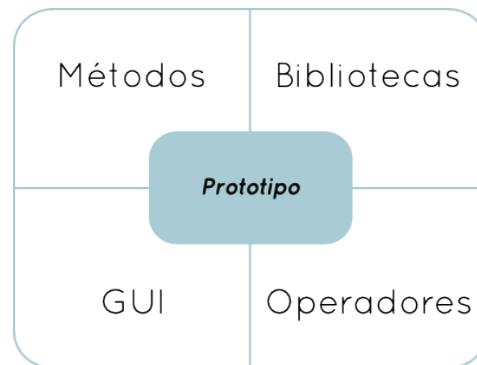


Figura 5.1: Componentes del prototipo.

5.2. Tecnologías Empleadas en su Desarrollo

Para el desarrollo del prototipo se han empleado diferentes tecnologías que vamos a revisar brevemente en esta sección.

- *Eclipse RCP*¹ como plataforma para el desarrollo del prototipo. Como hemos comentado en la sección precedente, empleamos Eclipse RCP como plataforma de desarrollo de aplicaciones de escritorio orientadas a componentes.
- *Java*² como lenguaje de programación. Java es un lenguaje de programación orientado a objetos multiplataforma. Si bien el uso de Java nos viene impuesto por Eclipse RCP al ser el lenguaje de programación que se utiliza en esta plataforma, esto, más que una restricción, nos proporciona toda una serie de ventajas:
 - Lenguaje de desarrollo simple.
 - Orientación a objetos.
 - Independencia de la plataforma.
 - Gran cantidad de documentación disponible.

¹<http://www.eclipse.org/home/categories/rcp.php>

²<http://www.java.com/>

- Amplia biblioteca nativa de funciones.
 - Disponible para el desarrollo de aplicaciones de escritorio, aplicaciones web y aplicaciones móviles.
 - En continuo proceso de desarrollo y mejora.
- *jExcelApi*³ como biblioteca para la generación y lectura de hojas de cálculo Excel. Como veremos en la siguiente sección, el prototipo permite llevar a cabo la recopilación de la información sensorial empleando para ello una hoja de cálculo. Empleamos *jExcelApi* para la generación y la lectura de estas hojas de cálculo. *jExcelApi* tiene licencia LGPL lo que nos permite hacer uso de ella en nuestro prototipo.
- *jFreeChart*⁴ como biblioteca para la generación de gráficas. En el prototipo se hace uso de diferentes gráficas para la representación de la escala no balanceada, la jerarquía lingüística que se emplea para su semántica y las medianas *Med-n* y *Med-f*. Utilizamos *jFreeChart* para la construcción de estas gráficas. Al igual que *jExcelApi*, *jFreeChart* tiene licencia LGPL por lo que podemos hacer uso de ella para el desarrollo del prototipo.

5.3. Funcionalidad del Prototipo

En este apartado describiremos la funcionalidad del prototipo desarrollado empleando para ello el caso de ejemplo visto en el Capítulo 4, el cual consiste en la evaluación sensorial de la muestra de AOV *VE1* mediante un panel de cata formado por 8 catadores.

Las siguientes secciones muestran como es llevado el proceso de evaluación sensorial para esta muestra, el cual, sigue las fases mostradas en la Figura 4.3 vista en la Sección 4.2.

³<http://jexcelapi.sourceforge.net/>

⁴<http://www.jfree.org/jfreechart/>

5.3.1. Definición del Marco de Evaluación

La primera perspectiva que nos encontramos al iniciar el prototipo es *Marco de evaluación*. Esta perspectiva se corresponde con la primera fase que llevamos a cabo en el proceso de evaluación sensorial, la definición del marco de evaluación.

En esta perspectiva definimos los diversos elementos del marco de evaluación del proceso de evaluación sensorial (Figura 5.2).

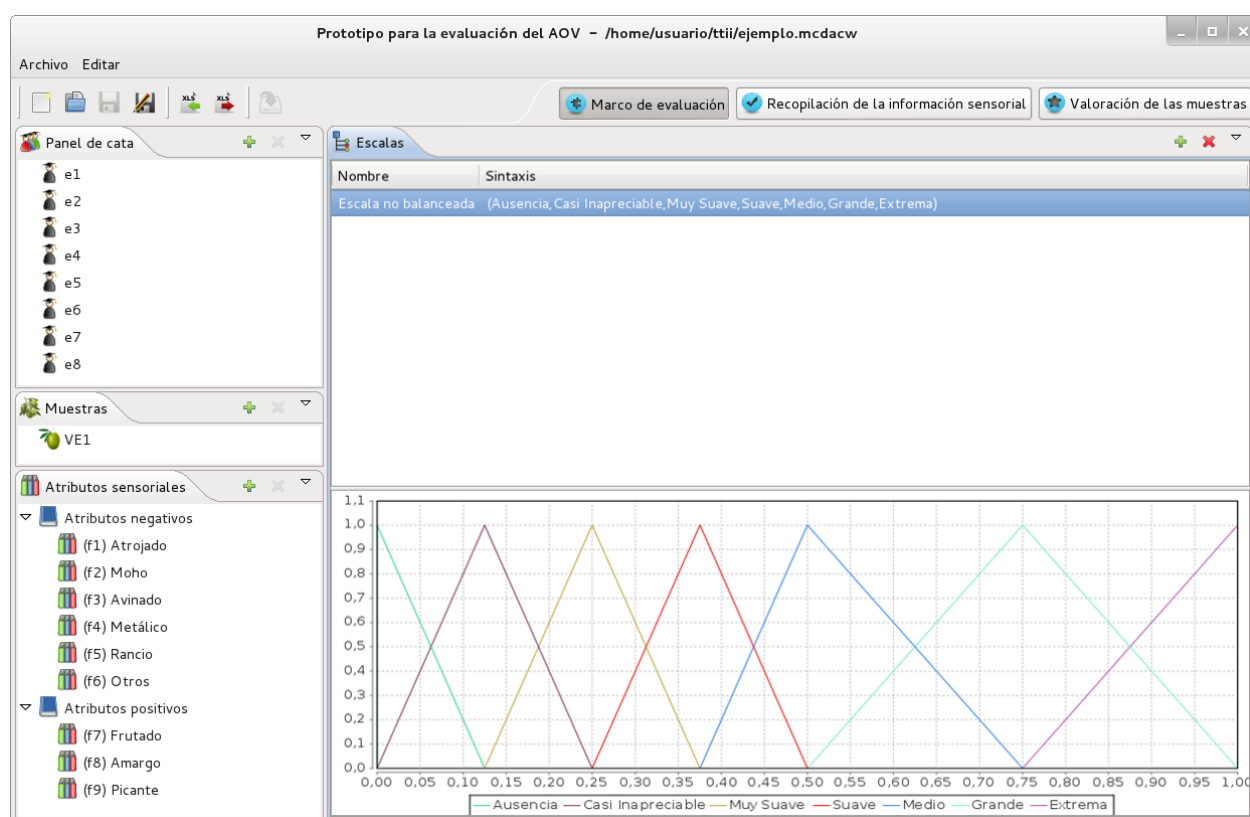


Figura 5.2: Marco de evaluación.

Como apreciamos en la Figura 5.2, la perspectiva se subdivide en cuatro ventanas. Estas ventanas reciben el nombre de visores y están destinadas a la gestión y visualización de un aspecto concreto.

La perspectiva *Marco de evaluación* del prototipo cuenta con cuatro visores, los cuales empleamos para la gestión y visualización de los elementos que forman el marco de evaluación.

5.3.1.1. Definición del Panel de Cata

En el visor de *Panel de cata* (Figura 5.3) introducimos los catadores que forman el panel de cata. Para ello seleccionamos el botón de añadir que aparece en la esquina superior derecha del visor e introducimos el identificador del catador.



Figura 5.3: Definición del panel de cata.

Al seleccionar cualquier catador es posible eliminarlo o modificar su identificador.

5.3.1.2. Definición de las Muestras

Haciendo uso del visor de *Muestras* (Figura 5.4) definimos las diferentes muestras de AOV que clasificaremos en el proceso de evaluación sensorial.



Figura 5.4: Definición de las muestras de aceite de oliva virgen a evaluar.

La definición de una muestra se lleva a cabo de modo idéntico a la definición de un catador, seleccionando el botón de añadir que aparece en la esquina superior derecha del visor e introduciendo el identificador con el que denominamos a la muestra.

Igual que antes, si seleccionamos una muestra podremos modificar su identificador o eliminarla.

5.3.1.3. Definición de los Atributos Sensoriales

El visor de *Atributos sensoriales* (Figura 5.5) nos permite definir los diferentes atributos sensoriales que empleamos en el proceso de evaluación sensorial.



Figura 5.5: Definición de los atributos sensoriales.

Este visor dispone de la misma funcionalidad que los dos anteriores visores, siendo posible añadir un atributo sensorial, modificar su identificador o eliminarlo.

Además, cuenta con la funcionalidad añadida de la anidación de atributos, siendo posible definir un atributo como perteneciente a un grupo de atributos dado. Para definir un atributo

como perteneciente a un grupo de atributos debemos añadir en primer lugar el grupo de atributos y, posteriormente, añadir el nuevo atributo habiendo seleccionado previamente el grupo.

En nuestro caso tenemos dos grupos de atributos en función de la naturaleza de estos, *Atributos negativos* y *Atributos positivos*. Dentro de estos grupos definimos el conjunto de atributos sensoriales que consideramos en el proceso de evaluación sensorial.

5.3.1.4. Definición de las Escalas

El último visor de la perspectiva *Marco de evaluación* es *Definición de las escalas* (Figura 5.6). En él realizamos la definición de la escala no balanceada que empleamos para el proceso de evaluación sensorial para el AOV.

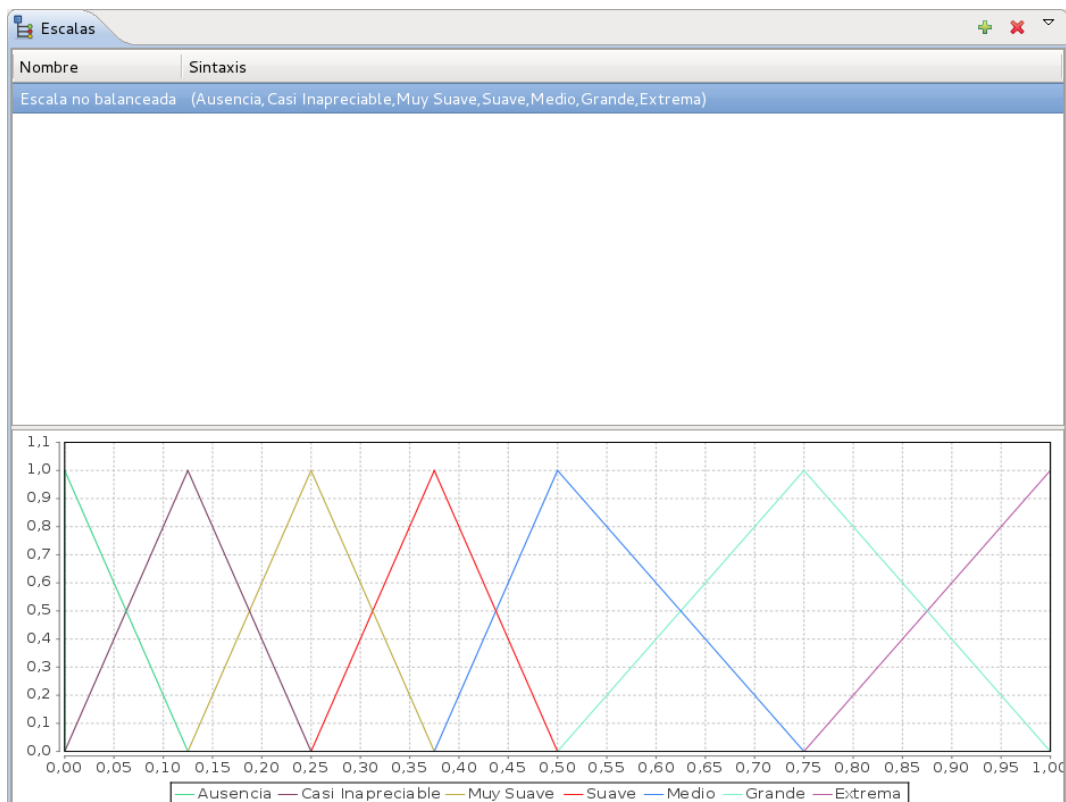


Figura 5.6: Definición de las escalas.

El prototipo nos permite utilizar cualquier escala lingüística no balanceada para llevar a cabo el proceso de evaluación sensorial del AOV, siendo los rangos de referencia empleados para la clasificación del AOV calculados de forma automatizada en función de la escala definida. Esto evita que el prototipo quede ligado a una escala lingüística no balanceada concreta, como ocurre en el software presentado en el anterior modelo de evaluación sensorial para el AOV basado en una escala lingüística no balanceada [72].

Para la definición de la escala seleccionamos el botón de añadir que se encuentra en la esquina superior derecha del visor y nos aparecerá una ventana similar a la mostrada en la Figura 5.7 mediante la cual llevamos a cabo la definición de la escala no balanceada.

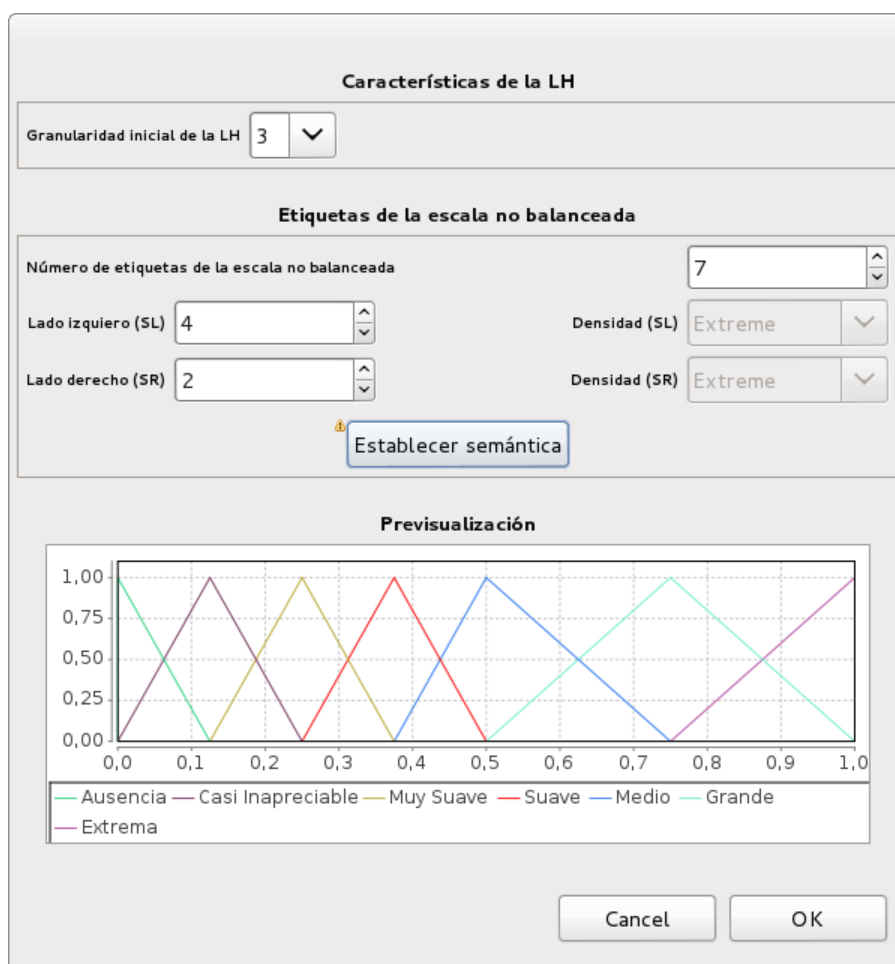


Figura 5.7: Definición de la escala no balanceada.

La ventana de definición de la escala cuenta con varios campos:

- *Granularidad inicial de la LH*. Indica el número de etiquetas que tendrá el primer nivel de la jerarquía lingüística que empleamos para la representación de la semántica de la escala no balanceada, el cual puede tomar los valores 3 y 7.
- *Número de etiquetas de la escala no balanceada*.
- *Lado izquierdo (SL)*. Número de etiquetas en el lado izquierdo de la escala no balanceada, S_L .
- *Densidad (SL)*. Densidad del lado izquierdo de la escala no balanceada. Este campo únicamente estará habilitado cuando el lado izquierdo deba ser representado con dos niveles de la jerarquía lingüística, $\#(S_L)$.
- *Lado derecho (SR)*. Número de etiquetas en el lado derecho de la escala no balanceada, S_R .
- *Densidad (SR)*. Densidad del lado derecho de la escala no balanceada. Igual que antes, únicamente estará habilitado cuando el lado derecho de la escala no balanceada deba ser representado con dos niveles de la jerarquía lingüística, $\#(S_R)$.

Una vez hemos introducido los valores anteriores pulsamos el botón *Establecer semántica* para realizar dicha tarea. Este botón desplegará una ventana similar a la de la Figura 5.8, la cual contiene:

- Una lista con las diferentes etiquetas de la escala, donde cada entrada indica:
 - El color empleado para la representación de la etiqueta en la gráfica.
 - El nombre que damos a la etiqueta.
 - La etiqueta de la jerarquía que empleamos para la representación de la semántica de la etiqueta en la escala no balanceada. Por ejemplo, en la etiqueta *Muy Suave*, el valor $s_2 \ l(3,9)$ indica que se emplea la etiqueta s_2 del nivel de la jerarquía $l(3,9)$, el cual es el tercer nivel de la jerarquía y tiene nueve etiquetas.
-

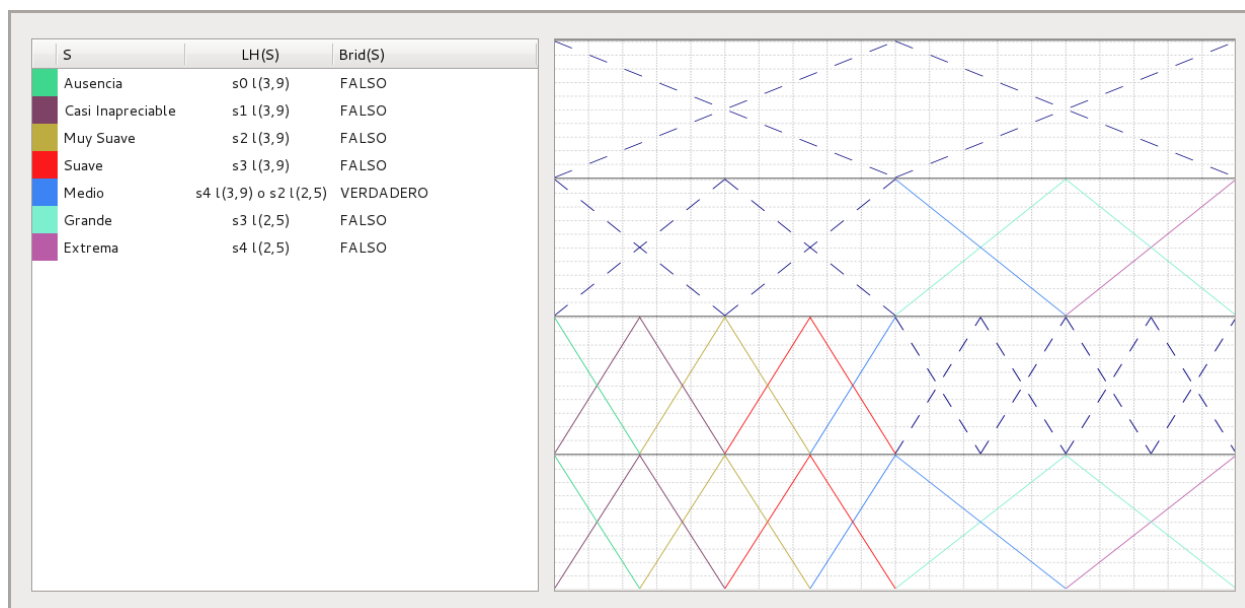


Figura 5.8: Definición de la semántica de la escala.

- Si la etiqueta es un puente o no.
- Una gráfica que muestra la jerarquía lingüística empleada para la representación de la semántica así como la escala no balanceada resultante. En la gráfica se emplean varias convecciones visuales:
 - Una línea discontinua indica que la etiqueta no se emplea para la representación de la semántica de la escala no balanceada.
 - Una línea continua indica que la etiqueta se emplea para la representación de la semántica de la escala no balanceada.
 - Un color idéntico al empleado en la lista de etiquetas indica que se trata de la misma etiqueta referenciada en esta lista.

Para mejorar la visualización de las etiquetas de la jerarquía lingüística empleadas para la representación de la semántica de la escala no balanceada podemos seleccionar cualquier entrada de la lista de etiquetas. Al seleccionar una entrada dada las etiqueta correspondiente en la escala no balanceada así como la empleada para la representación de su semántica en

la jerarquía serán representadas con una línea de mayor grosor en la gráfica. En la Figura 5.9 podemos observar cual sería el resultado al seleccionar la etiqueta *Casi Inapreciable*.

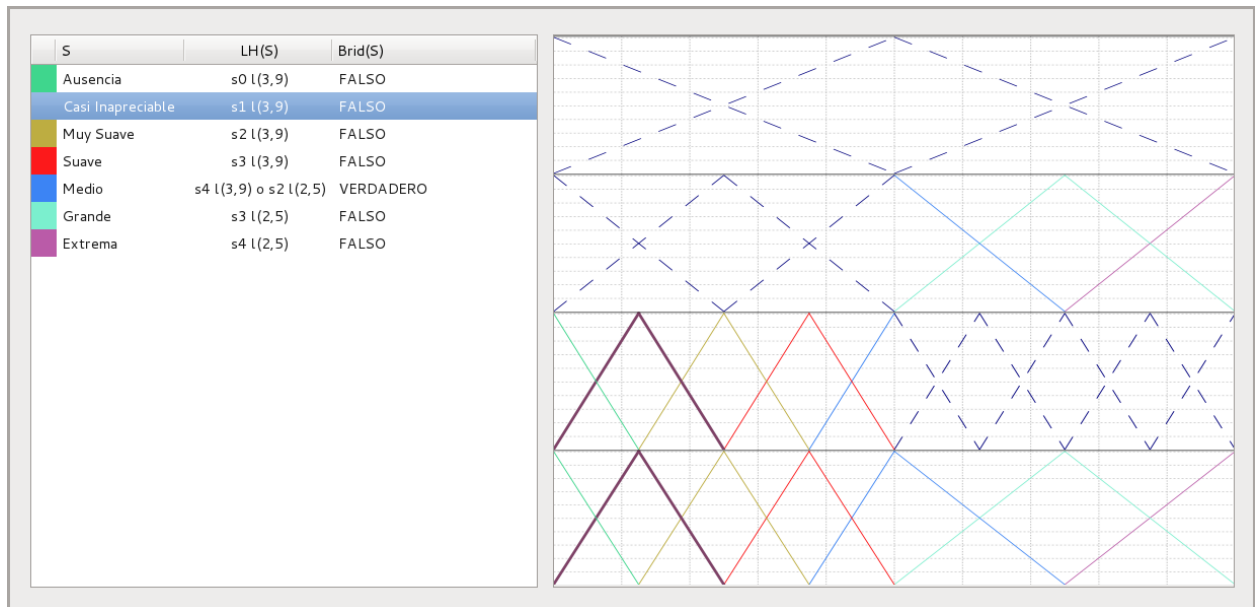


Figura 5.9: Visualización de la etiqueta *Casi Inapreciable*.

En caso de que la etiqueta se trate de un puente se resaltarán los lados correspondientes de las dos etiquetas empleadas en la jerarquía lingüística así como la etiqueta de la escala no balanceada (Figura 5.10).

Una vez definida la escala no balanceada que empleamos en el proceso de evaluación sensorial concluye el proceso de definición del marco de evaluación.

5.3.1.5. Funcionalidad Adicional

A) Activación de Perspectivas al Completar la Fase

Al definir el marco de evaluación se activará el siguiente paso del proceso de evaluación, la *Recopilación de la información sensorial*. El prototipo no nos permite realizar una fase hasta que ha concluido la fase anterior. Por ejemplo, si atendemos a la Figura 5.11, podemos apreciar como el botón *Valoración de las muestras* está desactivado. En este punto de la

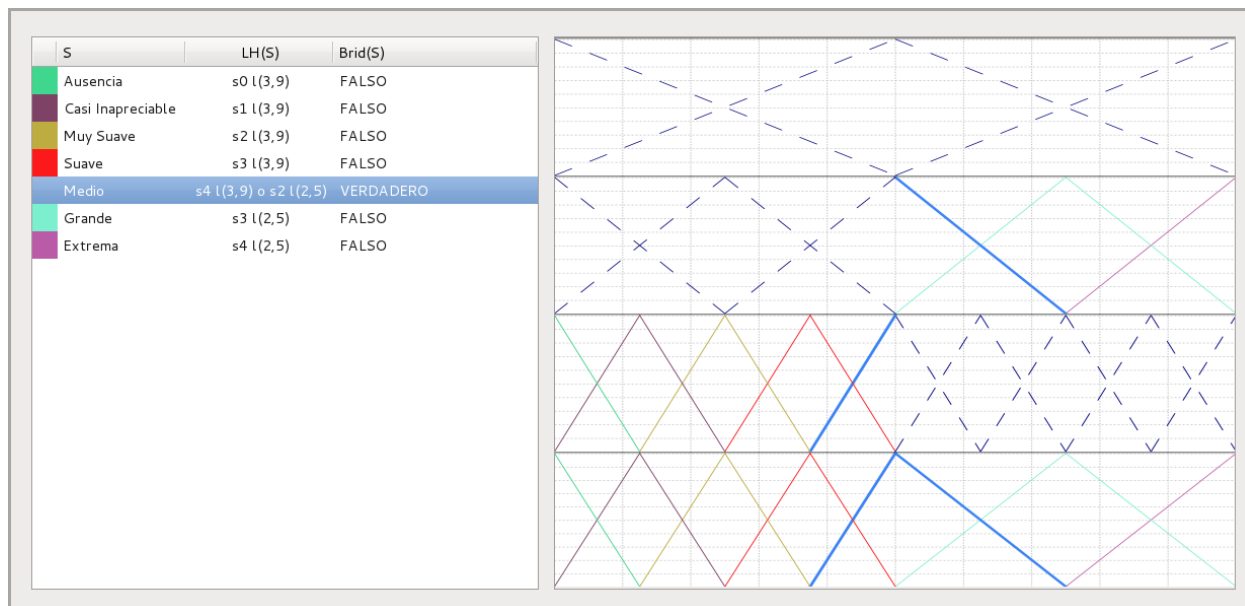


Figura 5.10: Visualización de la etiqueta Medio.

aplicación se habrá definido el marco de evaluación pero no se habrá completado la recopilación de la información sensorial. Este botón permanecerá desactivado hasta que no se realice la recopilación de la información sensorial.



Figura 5.11: Fase de valoración de las muestras desactivada.

B) Almacenamiento de un Proceso de Evaluación Sensorial

El prototipo permite almacenar tanto el marco de evaluación definido como la información sensorial recopilada en archivos externos que podrán ser cargados posteriormente.

Así, si almacenamos el proceso de evaluación en este punto tendremos un archivo que podremos emplear posteriormente para recuperar el marco de trabajo que acabamos de definir.

Si almacenamos un proceso de evaluación o abrimos uno ya existente su nombre se visualizará en la barra de título de la aplicación (Figura 5.12).



Figura 5.12: Barra de título mostrando archivo abierto.

5.3.2. Recopilación de la Información Sensorial

Al seleccionar *Recopilación de la información sensorial* en el selector de perspectivas del prototipo pasamos a la siguiente fase del proceso (Figura 5.13).

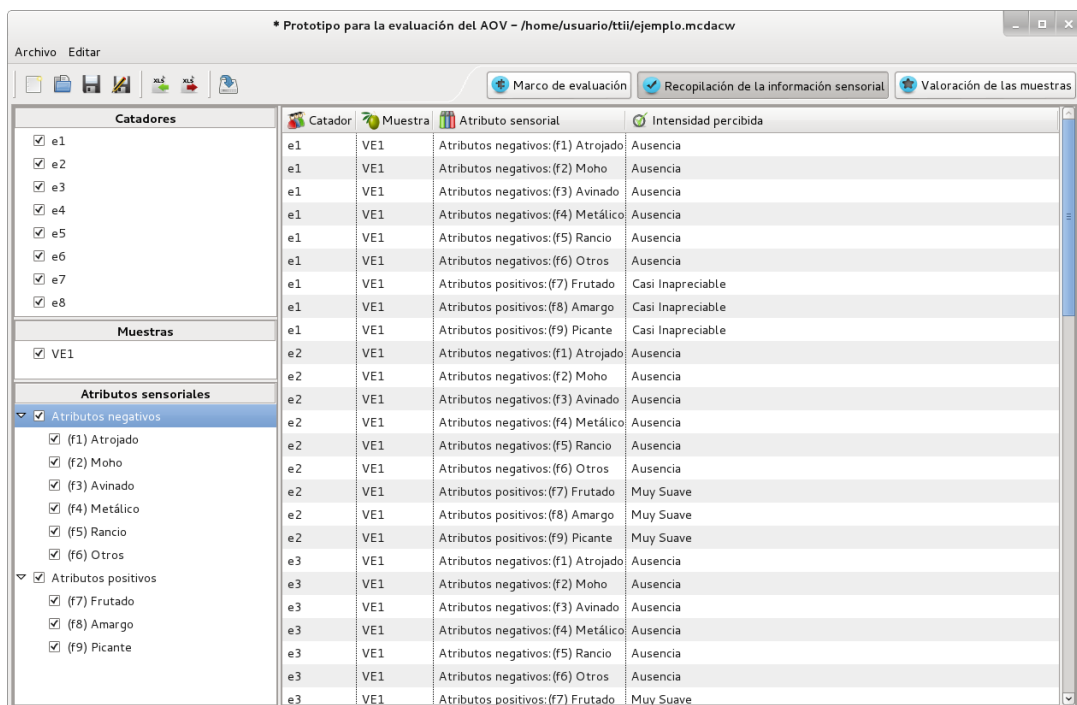


Figura 5.13: Recopilación de la información sensorial.

La perspectiva se divide en dos columnas:

- La columna de la izquierda está destinada al *filtrado de la información*. Los elementos no seleccionados en los filtros son ocultados de la lista mostrada a la derecha. En la Figura 5.14 podemos observar como, si deseccionamos todos los atributos sensoriales y dejamos seleccionado únicamente el atributo sensorial (f7) *Frutado*, el listado de la derecha solo contiene las evaluaciones relacionadas con este atributo.

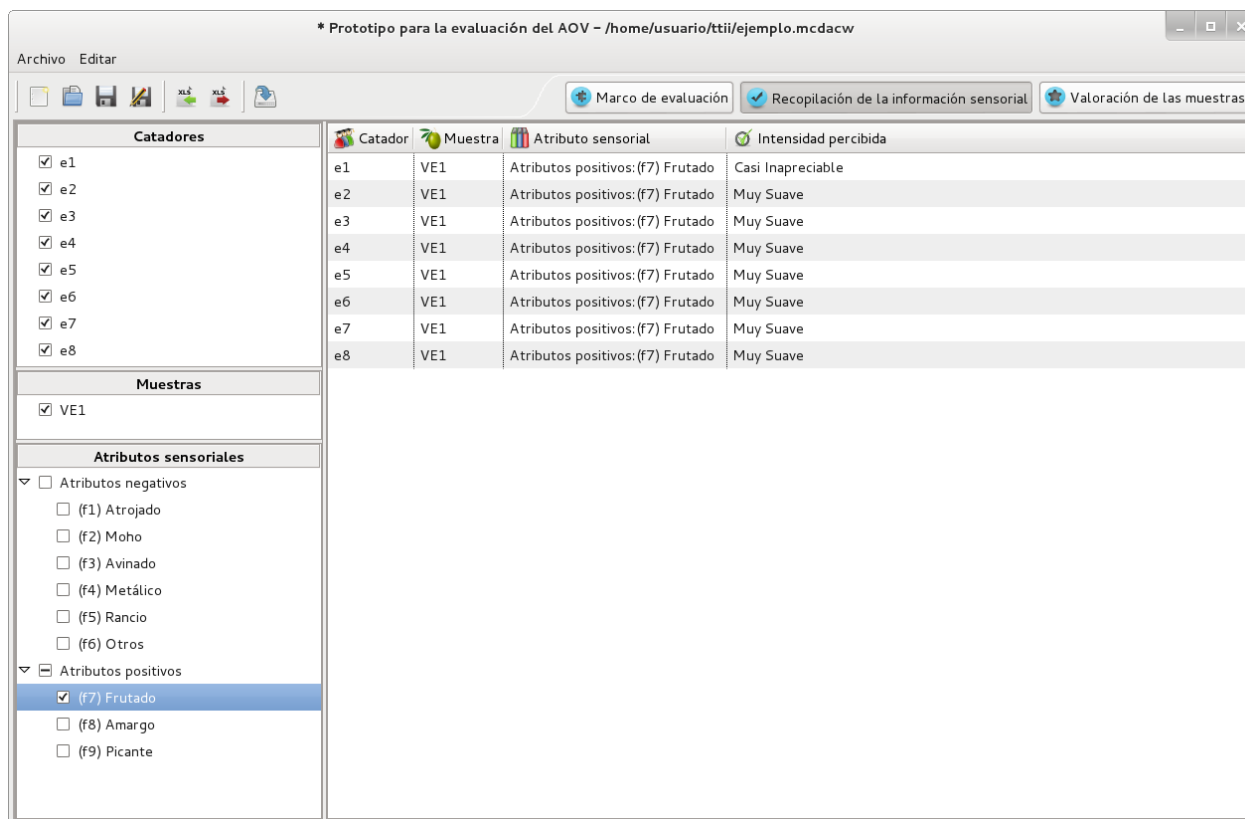


Figura 5.14: Filtrado en la recopilación de la información sensorial.

- La columna de la derecha es un listado de las distintas evaluaciones realizadas por los catadores. Cada entrada de este listado contiene la siguiente información:
 - Catador que realiza la evaluación.
 - Muestra de AOV evaluada.
 - Atributo sensorial que se evalúa.
 - Intensidad percibida.

Para introducir una evaluación concreta debemos seleccionar la entrada correspondiente en el listado de evaluaciones. Al seleccionar una entrada aparece un panel de evaluación en el que debemos introducir el valor de la intensidad percibida (Figura 5.15). En este panel se visualiza la representación de la intensidad en la escala no balanceada empleada resaltando con una línea de mayor grosor la etiqueta correspondiente a la intensidad percibida.

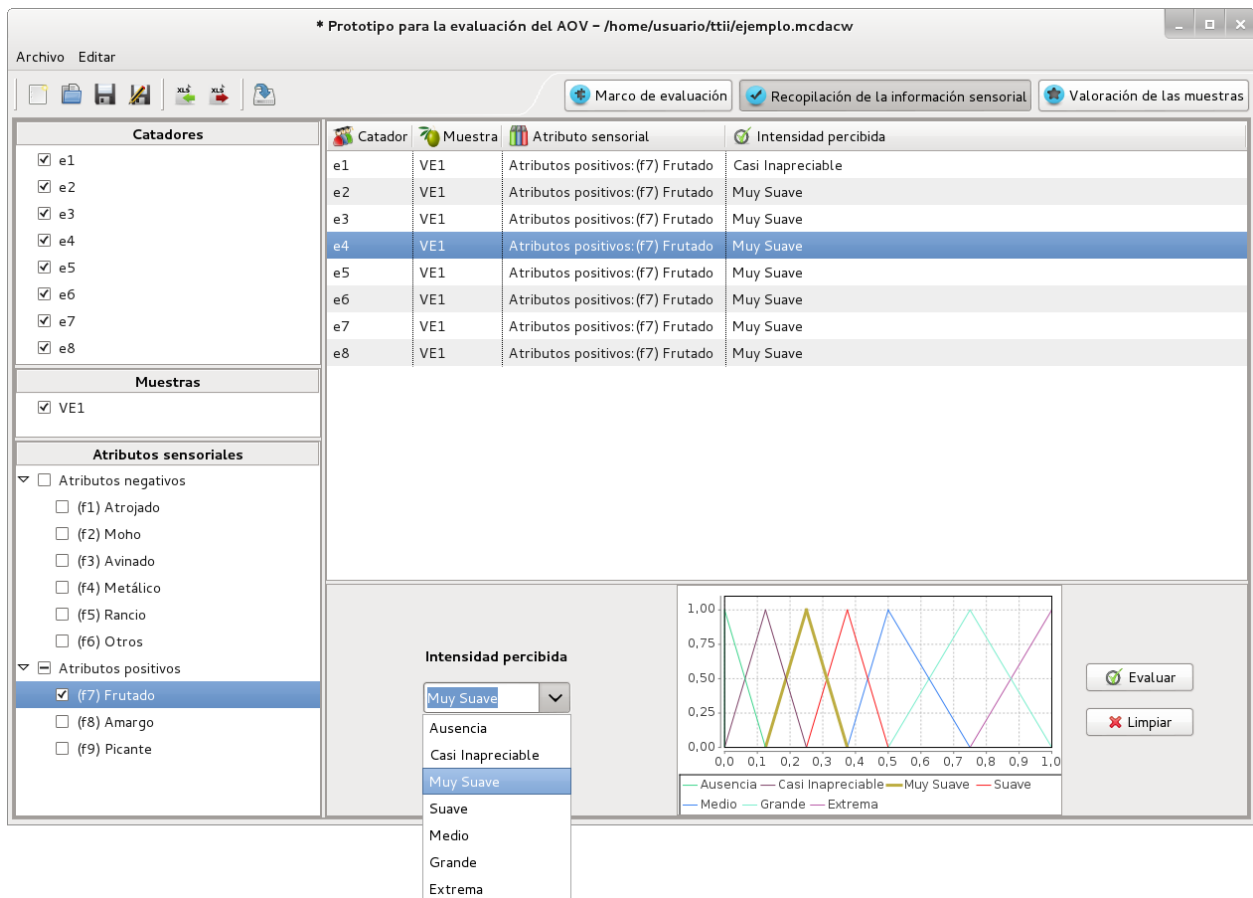


Figura 5.15: Realización de una evaluación.

Al introducir todas las evaluaciones se activará la siguiente fase del proceso de evaluación sensorial, la *valoración de las muestras*.

5.3.2.1. Recopilación de la Información Sensorial Mediante Hojas de Cálculo

Es posible realizar la recopilación de la información sensorial haciendo uso de una hoja de cálculo. Para ello, una vez definido el marco de evaluación deberemos seleccionar en el menú *Editar* del prototipo la opción de *Generar una hoja de cálculo*.

La hoja de cálculo generada tendrá una apariencia similar a la mostrada en la Figura 5.16.

La hoja de cálculo contendrá una hoja para recopilar las evaluaciones realizadas por cada

	A	B	C	D	E
1					
2		CATADOR	e2		
3					
4		ATRIBUTO SENSORIAL		MUESTRAS	
5		Naturaleza	Atributo	VE1	
6		Atributos negativos			
7			Atributos negativos:(f1) Atrojado	Ausencia	
8			Atributos negativos:(f2) Moho	Ausencia	
9			Atributos negativos:(f3) Avinado	Ausencia	
10			Atributos negativos:(f4) Metálico	Ausencia	
11			Atributos negativos:(f5) Rancio	Ausencia	
12			Atributos negativos:(f6) Otros	Ausencia	
13		Atributos positivos			
14			Atributos positivos:(f7) Frutado	Muy Suave	
15			Atributos positivos:(f8) Amargo	Muy Suave	
16			Atributos positivos:(f9) Picante	Muy Suave	
17					
18					

Figura 5.16: Recopilación de la información sensorial mediante una hoja de cálculo.

catador del panel de cata y, en cada hoja, una columna con las evaluaciones a realizar para cada muestra.

Para facilitar el uso de la hoja de cálculo, esta cuenta con varios mecanismos de ayuda:

- Cada hoja contiene en el campo *CATADOR* el identificador del catador al que se corresponde la hoja.
- Cada evaluación viene etiquetada junto con el nombre del atributo sensorial que se evalúa.

- Todas las celdas de la hoja de cálculo, a excepción de las destinadas a recoger las evaluaciones, están bloqueadas para impedir su modificación.
- Al situar el ratón sobre una celda de evaluación aparece un diálogo contextual que ofrece información sobre los valores permitidos en la celda (Figura 5.17).

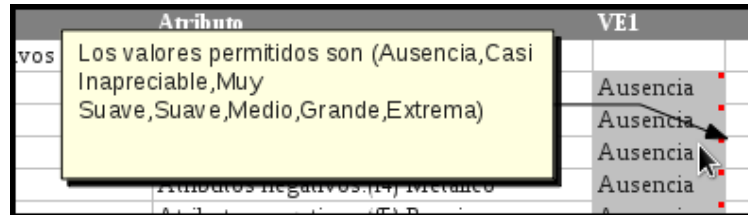


Figura 5.17: Ayuda en la evaluación mediante hoja de cálculo.

- Al seleccionar en el lado derecho de una celda de evaluación se desplegará un menú con el que podemos seleccionar el valor concreto a emplear para la valoración (Figura 5.18).

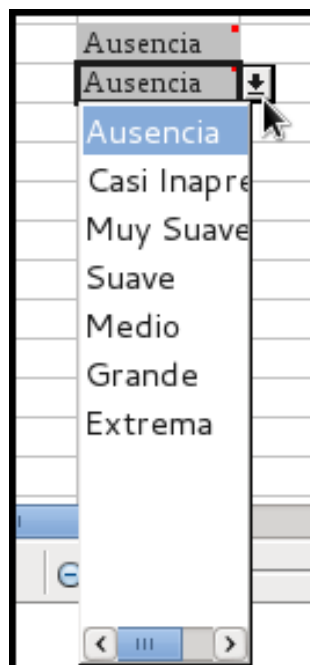


Figura 5.18: Realización de una evaluación mediante hoja de cálculo

- Si en lugar de utilizar el menú de valores permitidos introducimos manualmente el valor de la evaluación y este valor no está entre los valores permitidos se lanzará un mensaje de error y se eliminará el valor introducido.

Si seleccionamos en el prototipo la opción de *Importar hoja de cálculo* del menú *Editar* y proporcionamos una hoja de cálculo en la que hemos recopilado la información sensorial, automáticamente se definirá el mismo marco de evaluación que se empleó para generar la hoja de cálculo y se establecerán las mismas evaluaciones que se han recopilado en la hoja de cálculo.

5.3.3. Valoración de las Muestras

Al seleccionar *Valoración de las muestras* en el selector de perspectivas del prototipo pasamos a la fase final del proceso (Figura 5.19).

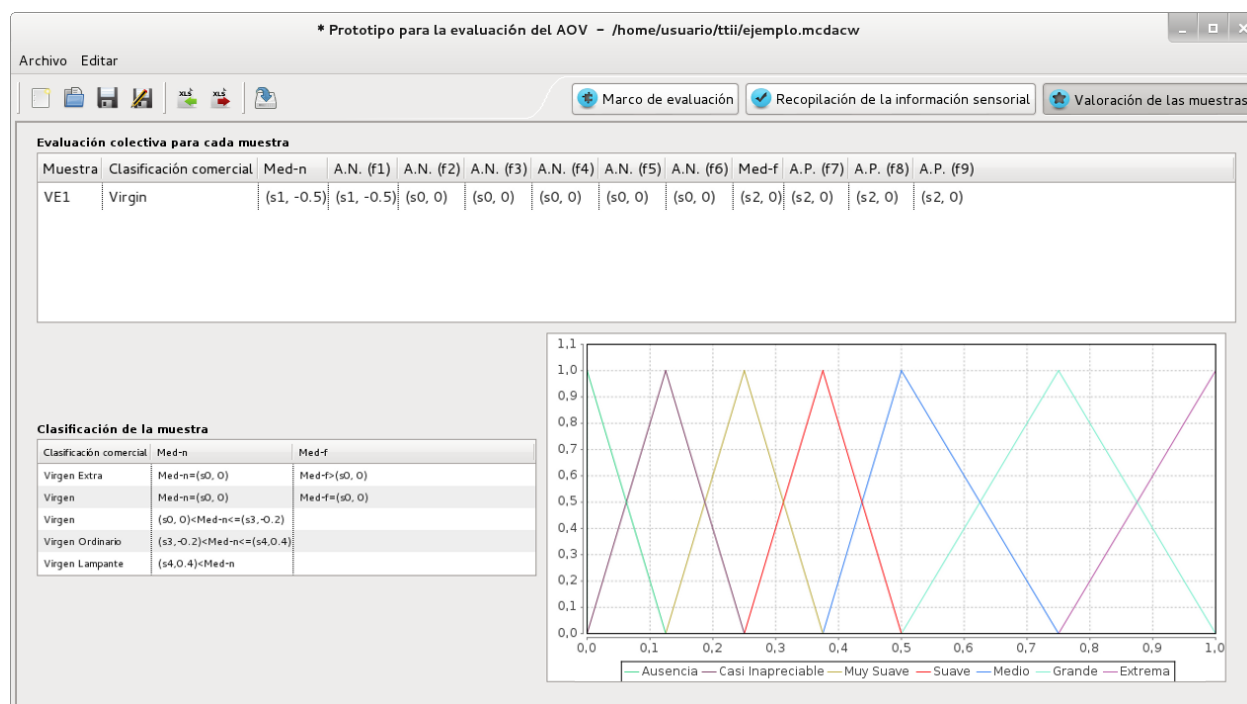


Figura 5.19: Valoración de las muestras.

Como se aprecia en la Figura 5.19. Esta perspectiva se divide en varios elementos:

- *Evaluación colectiva para cada muestra.* Es un listado con la evaluación colectiva para cada muestra de AOV evaluada. Cada entrada del listado contiene la siguiente información:
 - *Muestra:* Muestra de AOV.
 - *Clasificación comercial:* Clasificación comercial de la muestra de AOV.
 - *Med-n:* Máximo valor de la mediana de los atributos sensoriales negativos.
 - *A.N. (f1):* Mediana del atributo sensorial negativo *Atrojado*.
 - *A.N. (f2):* Mediana del atributo sensorial negativo *Moho*.
 - *A.N. (f3):* Mediana del atributo sensorial negativo *Avinado*.
 - *A.N. (f4):* Mediana del atributo sensorial negativo *Metálico*.
 - *A.N. (f5):* Mediana del atributo sensorial negativo *Rancio*.
 - *A.N. (f6):* Mediana del atributo sensorial negativo *Otros*.
 - *Med-f:* Mediana del atributo sensorial positivo *Frutado*.
 - *A.P. (f7):* Mediana del atributo sensorial positivo *Frutado*.
 - *A.P. (f8):* Mediana del atributo sensorial amargo *Amargo*.
 - *A.P. (f9):* Mediana del atributo sensorial picante *Picante*.
- *Clasificación de la muestra:* Valores que se emplean para la clasificación de las muestras. Los valores de clasificación son generados automáticamente a partir de los rangos de referencia establecidos en la normativa del COI y la semántica de la escala no balanceada definida en el marco de evaluación.
- *Escala de evaluación:* Representación visual de la escala empleada en el proceso de evaluación sensorial de las muestras de AOV.

Por motivos de visualización, los valores del listado *Evaluación colectiva para cada muestra* abrevian los nombres de las etiquetas de la escala no balanceada por los valores s_i , siendo

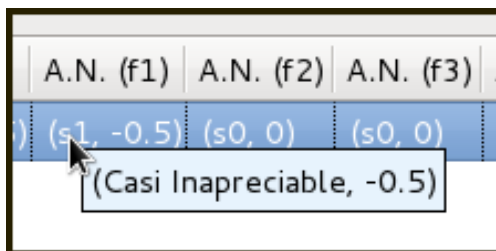


Figura 5.20: Visualización de la etiqueta correspondiente.

i el índice de la etiqueta que representan. Es posible visualizar el nombre concreto de una etiqueta situando el ratón sobre cualquier evaluación (Figura 5.20).

Al seleccionar cualquier muestra de AOV evaluada en el listado de *Evaluación colectiva para cada muestra* podremos visualizar:

- En la tabla de *Clasificación de la muestra*, qué condiciones se han cumplido para que haya sido asignada una clasificación comercial concreta.
- En la *Escala de evaluación*, los valores de $Med-n$ y $Med-f$ para la muestra seleccionada. Estos valores se representarán en el mismo color que el de la etiqueta a la cual representan en la escala no balanceada.

En la Figura 5.21 se observa el caso de la muestra *VE1*, para la cual se ha obtenido el valor *Virgen* al cumplir la tercera de las condiciones incluidas en la tabla de *Clasificación de la muestra*. En la *Escala de evaluación* se aprecia como el valor de $Med-n$ se corresponde con el de la etiqueta *Casi Inapreciable* con una translación negativa y como el valor de $Med-f$ se corresponde con el de la etiqueta *Muy Suave* sin ninguna translación.

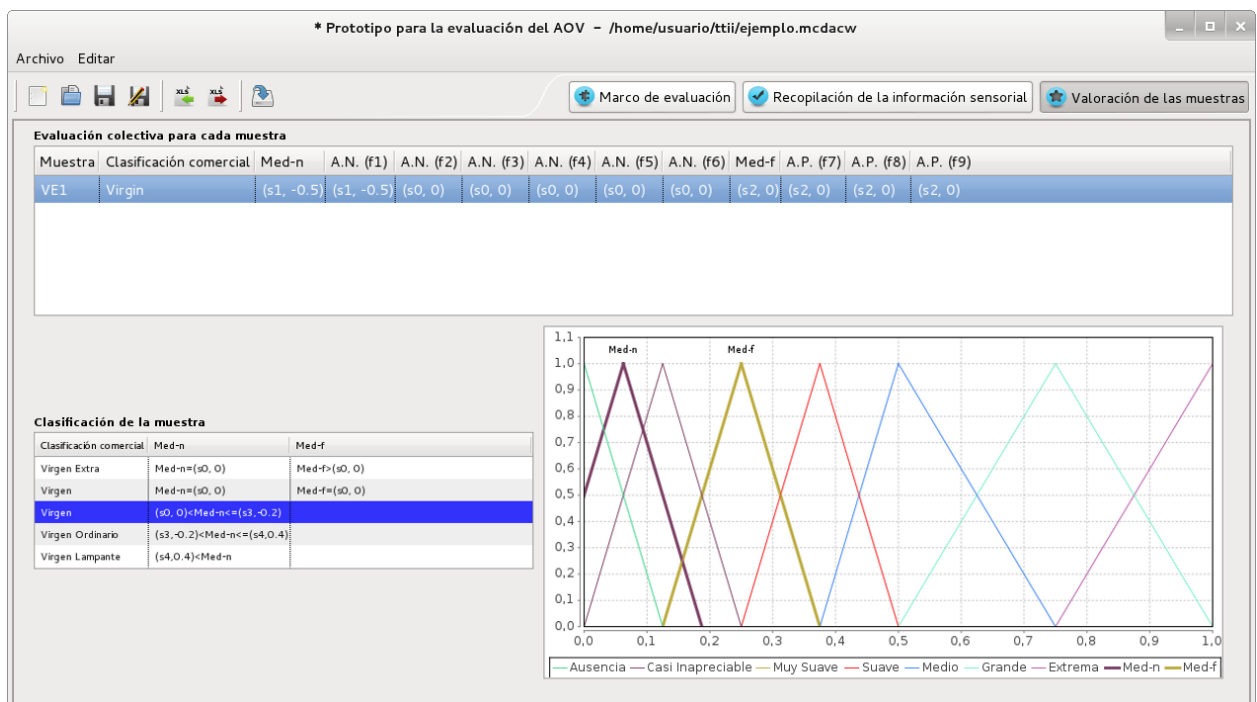


Figura 5.21: Valoración de la muestra VE1.

Conclusiones y Trabajos Futuros

Este capítulo cierra esta memoria exponiendo las principales conclusiones extraídas de la misma así como los resultados que han sido obtenidos. Además, esboza unas ideas generales sobre diversos trabajos futuros que sería posible realizar partiendo de estos resultados. Por último, presentamos una lista de publicaciones derivadas de la investigación realizada en este trabajo.

6.1. Propuestas y Resultados Obtenidos

El propósito principal de esta memoria de investigación era dar solución a una problemática detectada, el modelo de evaluación sensorial para el AOV basado en escalas lingüísticas no balanceadas que había sido presentado con anterioridad no era capaz de realizar una clasificación correcta cuando las muestras estaban dudosas entre dos categorías.

Para ello, nos propusimos la definición de un nuevo modelo de evaluación sensorial para el AOV basado en una nueva escala lingüística no balanceada que permitiese clasificar correctamente las muestras de AOV cuando estas estuviesen dudosas entre dos categorías. Centrado el propósito de nuestro trabajo era necesario profundizar en todos los conceptos que necesitábamos conocer para la realización de nuestra propuesta.

En primer lugar, considerando que nos encontramos ante un proceso de evaluación sensorial, realizamos un estudio de los conceptos teóricos básicos de estos procesos que son de

interés para nuestra investigación. Al analizar los procesos de evaluación sensorial vemos como, en estos procesos, las percepciones de los jueces son percibidas a través de sus órganos sensoriales, por lo que su modelado se adapta mejor al uso de valoraciones lingüísticas en lugar de valoraciones numéricas. Además, centrándonos en el caso de la evaluación sensorial del AOV, podemos comprobar como, para realizar una clasificación correcta, es necesario realizar un modelado que nos permita una mayor precisión en un lado de la escala.

Una vez revisados los conceptos generales de evaluación sensorial y el caso concreto del proceso de evaluación sensorial que es llevado a cabo para la evaluación del AOV profundizamos en el enfoque lingüístico difuso, ya que este es el modelo que empleamos en nuestra propuesta para modelar una información con incertidumbre como es la información obtenida mediante los sentidos humanos.

Sin embargo, no cualquier modelo definido para trabajar con información lingüística sirve para la evaluación sensorial del AOV, si no que es necesario emplear un modelo que nos permita trabajar con la información sensorial sin pérdida de información y que ofrezca la posibilidad de contar con un mayor número de etiquetas en aquellas zonas en las que las valoraciones realizadas deben ser más precisas. En vista de lo anterior, empleamos el modelo lingüístico no balanceado para llevar a cabo el proceso de evaluación sensorial del AOV, ya que, este modelo, nos permite llevar a cabo los procesos de computación con palabras sin pérdida de información al estar basado en el modelo de representación 2-tupla y, además, posibilita el uso de un mayor número de etiquetas en aquellas zonas de la escala donde la precisión de las valoraciones es más importante para la clasificación.

Conocido el proceso de evaluación a realizar y el modelo a emplear en este proceso definimos el nuevo modelo de evaluación sensorial para el AOV. Este nuevo modelo debe paliar el problema de clasificación detectado al tratar con muestras de AOV que se encuentran dudosas entre dos categorías. Para ello, en el nuevo modelo se define una escala lingüística no balanceada que cuenta con un mayor número de etiquetas en el lado izquierdo de la misma, ya que es en este lado en el que se concentran los rangos de referencia empleados para realizar la clasificación comercial de una muestra de AOV. Al contar con un mayor número de etiquetas en este lado, los catadores pueden realizar valoraciones más precisas,

las cuales permiten mejorar la clasificación del modelo lingüístico inicial.

Utilizando la nueva escala lingüística no balanceada llevamos a cabo la definición del nuevo modelo de evaluación sensorial para el AOV basado en esta escala y que nos permite clasificar correctamente las muestras de AOV evaluadas. Para constatar que el nuevo modelo cumple con su cometido, fue llevado a cabo un caso de estudio a fin de validar que las clasificaciones realizadas por el modelo lingüístico propuesto coinciden con las clasificaciones obtenidas a través del modelo establecido por el COI, prestándose especial interés en este caso de estudio a aquellas muestras que en el modelo lingüístico inicial son clasificadas erróneamente. Los resultados del caso de estudio fueron plenamente satisfactorios.

El nuevo modelo de evaluación sensorial para el AOV ha sido implementado en un prototipo software que permite, a partir de las valoraciones expresadas en la nueva escala lingüística no balanceada, calcular la clasificación comercial de una muestra de AOV. El prototipo nos permite utilizar cualquier escala lingüística no balanceada para llevar a cabo el proceso de evaluación sensorial del AOV, siendo los rangos de referencia empleados para la clasificación del AOV calculados de forma automatizada en función de la escala definida. Esto evita que el prototipo quede ligado a una escala lingüística no balanceada concreta, como ocurre en el software presentado en el anterior modelo de evaluación sensorial para el AOV basado en una escala lingüística no balanceada [72].

Como podemos observar, todos los objetivos que perseguíamos al inicio de nuestra investigación han sido alcanzados a través de las propuestas presentadas en esta memoria de investigación.

6.2. Trabajos Futuros

En base a la investigación realizada en esta memoria y los resultados obtenidos, proponemos a continuación unas ideas generales sobre los posibles trabajos futuros que pueden derivarse de este trabajo de investigación:

- Implementar el prototipo software de cara a la obtención de un aplicación final que pueda ser empleada por los paneles de cata para llevar a cabo la clasificación comercial de las muestras.
- Generalizar el prototipo para permitir realizar diversos procesos de evaluación sensorial diferentes al del AOV como, por ejemplo, los procesos de evaluación sensorial que son llevamos a cabo para la evaluación del vino, el café, el té, etc.
- Ampliar el prototipo para soportar procesos de evaluación sensorial en contextos complejos como puede ser el uso de múltiples escalas lingüísticas.

6.3. Publicaciones Derivadas

Para finalizar, presentamos la lista de publicaciones que han derivado de los resultados presentados en esta memoria:

- Aceptados:
 - F. J. Estrella, M. Espinilla, L. Martínez. Fuzzy Linguistic Olive Oil Sensory Evaluation Model based on Unbalanced Linguistic Scales. *Journal of Multiple-Valued Logic and Soft Computing*.
 - En Congresos Internacionales:
 - M. Espinilla, F. J. Estrella, L. Martínez, A New Unbalanced Linguistic Scale for the Classification of Olive Oil based on the Fuzzy Linguistic Approach. 7th International Conference on Intelligent Systems and Knowledge Engineering (ISKE 2012). *Advances in Intelligent and Soft Computing*, Beijing (China), December 15-17th, 2012.
-

Bibliografía

- [1] J. Antes, L. Campen, U. Derigs, C Titze, and G.D. Wolle. A model-based decision support system for the evaluation of flight schedules for cargo airlines. *Decision Support Systems*, 22(4):307–323, 1998.
- [2] A. Anzaldúa-Morales. *La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica*. Acribia, Zaragoza. España, 1994.
- [3] K.B. Monroe A.R. Rao. The effect of price, brand name, and store name on buyers' perceptions of product quality: an integrative review. *Journal of marketing Research*, pages 351–357, 1989.
- [4] B. Arfi. Fuzzy decision making in politics: a linguistic fuzzy-set approach (LFSA). *Political Analysis*, 13(1):23–56, 2005.
- [5] A. Bechara, D. Tranel, and H. Damasio. Characterization of the decision-making deficit of patients with ventromedial prefrontal cortex lesions. *Brain*, 123:2189–2202, 2005.
- [6] D. Ben-Arieh and Z. Chen. Linguistic-labels aggregation and consensus measure for autocratic decision making using group recommendations. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. Part A: Systems and Humans*, 36(3):558–568, 2006.
- [7] T. Bilgiç. Interval-valued preference structures. *European Journal of Operational Research*, 105(1):162–183, 1998.
- [8] B. Bloom. Handbook on formative and summative evaluation of student learning. 1971.

-
- [9] P.P. Bonissone. *A fuzzy sets based linguistic approach: Theory and applications*, pages 329–339. Approximate Reasoning in Decision Analysis, North-Holland, 1982.
- [10] G. Bordogna, M. Fedrizzi, and G. Pasi. A linguistic modeling of consensus in group decision making based on OWA operators. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. Part A: Systems and Humans*, 27(1):126–133, 1997.
- [11] G. Bordogna and G. Pasi. A fuzzy linguistic approach generalizing boolean information retrieval: a model and its evaluation. *Journal of the American Society for Information Science*, 44(2):70–82, 1993.
- [12] G. Bordogna and G. Pasi. An ordinal information retrieval model. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 9(Suppl):63–76, 2001.
- [13] P. Bosc, D. Kraft, and F. Petry. Fuzzy sets in database and information systems: status and opportunities. *Fuzzy Sets and Systems*, 156(3):418–426, 2005.
- [14] D. Bouyssou, T. Marchant, M. Pirlot, P. Perny, and A. Tsoukia's. *Evaluation and Decision Models: A critical perspective*. Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [15] Z. Bubnicki. *Analysis and decision making in uncertain systems*. Springer-Verlag, Berlín/London/New York, 2004.
- [16] H. Bustince and P. Burillo. Mathematical analysis of interval-valued fuzzy relations: application to approximate reasoning. *Fuzzy Sets and Systems*, 113(2):205–219, 2000.
- [17] C.H. Cheng and Y. Lin. Evaluating the best main battle tank using fuzzy decision theory with linguistic criteria evaluation. *European Journal of Operational Research*, 142(1):174–186, 2002.
- [18] H. Chernoff. *Elementary decision theory*. Dover Publications, New York, 1987.
- [19] D.W. Sun C.J. Du. Recent developments in the applications of image processing techniques for food quality evaluation. *Trends in Food Science & Technology*, 15(5):230–249, 2004.
-

-
- [20] R.T. Clemen. *Making Hard Decisions. An Introduction to Decision Analysis*. Duxbury Press, 1995.
- [21] O. Cordón, F. Herrera, and I. Zwir. Linguistic modeling by hierarchical systems of linguistic rules. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 10(1):2–20, 2001.
- [22] W.B. Crummett D. MacDougall. Guidelines for data acquisition and data quality evaluation in environmental chemistry. *Analytical Chemistry*, 52(14):2242–2249, 1980.
- [23] M. H. Damasio and Costell E. Análisis sensorial descriptivo. generación de descriptores y selección de catadores. *Agroquímica y Tecnología de alimentos*, 31(2), 1991.
- [24] R. Degani and G. Bortolan. The problem of linguistic approximation in clinical decision making. *International Journal of Approximate reasoning*, 2(2):143–162, 1988.
- [25] M. Delgado, J.L. Verdegay, and M.A. Vila. Linguistic decision making models. *International Journal of Intelligent Systems*, 7(5):479–492, 1992.
- [26] G.B. Dijksterhuis. *Multivariate Data Analysis in Sensory and Consumer Science, Food and Nutrition*. Press Inc. Trumbull, Connecticut, USA, 1997.
- [27] J. Dombi. *Fuzzy logic and soft computing*, chapter A general framework for the utility-based and outranking methods, pages 202–208. In: B.B. Bouchon (Ed.). World Scientific, London, 1995.
- [28] D. Dubois and H. Prade. *Fuzzy sets and systems: theory and applications*. Academic Press, New York, 1980.
- [29] R. Duncan and H. Raiffa. *Games and decision. Introduction and critical survey*. Dover Publications, New York, 1985.
- [30] J.M. Espinosa. *Evaluación Sensorial de los Alimentos*. Universitaria, La Habana, 2007.
- [31] J. Fodor and M. Roubens. *Fuzzy preference modelling and multicriteria decision support*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1994.
-

-
- [32] L.V. Garita and A. Manresa. *Caracterización de la textura sensorial e instrumental del camarón de cultivo *Litopenaeus vannamei* en la camaronera de Tunas de Zaza*. PhD thesis, Universidad de la Habana, 2008.
- [33] R.A. Gheorghe, A. Bufardi, and P. Xirouchakis. Fuzzy multicriteria decision aid method for conceptual design. *Cirp Annals-Manufacturing Technology*, 54(1):151–154, 2005.
- [34] G.T. Heineman. *Component-Based Software Engineering: Putting the Pieces Together*. Addison-Wesley, 2001.
- [35] F. Herrera and E. Herrera-Viedma. Aggregation operators for linguistic weighted information. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. Part A: Systems and Humans*, 27(5):646–656, 1997.
- [36] F. Herrera and E. Herrera-Viedma. Linguistic decision analysis: steps for solving decision problems under linguistic information. *Fuzzy Sets and Systems*, 115(1):67–82, 2000.
- [37] F. Herrera and E. Herrera-Viedma. Linguistic decision analysis: Steps for solving decision problems under linguistic information. *Fuzzy Sets and Systems*, 115:67–82, 2000.
- [38] F. Herrera, E. Herrera-Viedma, L. Martínez, F. Mata, and P.J. Sanchez. *A Multi-Granular Linguistic Decision Model for Evaluating the Quality of Network Services*. Intelligent Sensory Evaluation: Methodologies and Applications. Springer, Ruan Da, Zeng Xianyi (Eds.), 2004.
- [39] F. Herrera, E. Herrera-Viedma, and L. Martínez. A fusion approach for managing multi-granularity linguistic term sets in decision making. *Fuzzy Sets and Systems*, 114(1):43–58, 2000.
-

-
- [40] F. Herrera, E. Herrera-Viedma, and L. Martínez. A fuzzy linguistic methodology to deal with unbalanced linguistic term sets. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 16(2):354–370, 2008.
- [41] F. Herrera and L. Martínez. A 2-tuple fuzzy linguistic representation model for computing with words. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 8(6):746–752, 2000.
- [42] F. Herrera and L. Martínez. A model based on linguistic 2-tuples for dealing with multigranularity hierarchical linguistic contexts in multiexpert decision-making. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. Part B: Cybernetics*, 31(2):227–234, 2001.
- [43] F. Herrera, L. Martínez, and P.J. Sánchez. Managing non-homogeneous information in group decision making. *Technical Report DECSAI-02706, Dept. of Computer Science and A.I., University of Granada*. <http://wwwdi.ujaen.es/martin/epublic.html>, 2002.
- [44] F. Herrera, L. Martínez, and P.J. Sánchez. Managing non-homogeneous information in group decision making. *European Journal of Operational Research*, 166(1):115–132, 2005.
- [45] E. Herrera-Viedma. An information retrieval system with ordinal linguistic weighted queries based on two weighting elements. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 9(Supplement 1):77–88, 2001.
- [46] E. Herrera-Viedma. Modeling the retrieval process of an information retrieval system using an ordinal fuzzy linguistic approach. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 52(6):460–475, 2001.
- [47] E. Herrera-Viedma, F. Chiclana, F. Herrera, and S. Alonso. A group decision-making model with incomplete fuzzy preference relations based on additive consistency. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. Part B: Cybernetics*, 37(1):176–189, 2007.
-

-
- [48] E. Herrera-Viedma, F. Herrera, and F. Chiclana. A consensus model for multiperson decision making with different preference structures. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. Part A: Systems and Humans*, 32(3):394–402, 2002.
- [49] E. Herrera-Viedma and A.G. López-Herrera. A model of information retrieval system with unbalanced fuzzy linguistic information. *International Journal of Intelligent Systems*, 22(11):1197–1214, 2007.
- [50] E. Herrera-Viedma, A.G. López-Herrera, and C. Porcel. Tuning the matching function for a threshold weighting semantics in a linguistic information retrieval system. *International Journal of Intelligent Systems*, 20(9):921–937, 2005.
- [51] E. Herrera-Viedma, L. Martínez, F. Mata, and F. Chiclana. A consensus support system model for group decision-making problems with multi-granular linguistic preference relations. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 13(5):644–658, 2005.
- [52] E. Herrera-Viedma, G. Pasi, A.G. López-Herrera, and C. Porcel. Evaluating the information quality of web sites: a methodology based on fuzzy computing with words. *Journal of American Society for Information Science and Technology*, 57(4):538–549, 2006.
- [53] E. Herrera-Viedma and E. Peis. Evaluating the informative quality of documents in sgml-format using fuzzy linguistic techniques based on computing with words. *Information Processing & Management*, 39(2):195–213, 2003.
- [54] E. Herrera-Viedma, E. Peis, J.M. Morales del Castillo, S. Alonso, and E.K. Anaya. A fuzzy linguistic model to evaluate the quality of web sites that store xml documents. *International Journal of Approximate Reasoning*, 46(1):226–253, 2007.
- [55] M. Hsu, M. Baht, R. Adolfs, D. Tranel, and C.F. Camarero. Neural systems responding to degrees of uncertainty in human decision-making. *Science*, 310:1680–1683, 2005.
-

-
- [56] V.N. Huynh and Y. Nakamori. A satisfactory-oriented approach to multiexpert decision-making with linguistic assessments. *IEEE Transactions On Systems Man And Cybernetics Part B-Cybernetics*, 35(2):184–196, 2005.
- [57] C. Aniszczyk J. McAffer, J.M. Lemieux. *Eclipse Rich Client Platform, 2nd Edition*. Addison-Wesley, 2010.
- [58] A. Jiménez, S. Ríos-Insúa, and A. Mateos. A decision support system for multiattribute utility evaluation based on imprecise assignments. *Decision Support Systems*, 36(1):65–79, 2003.
- [59] J. Kacprzyk and M. Fedrizzi. *Multiperson decision making models using fuzzy sets and possibility theory*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1990.
- [60] G.J. Klir and B. Yuan. *Fuzzy sets and fuzzy logic: theory and applications*. Prentice-Hall PTR, New Jersey, 1995.
- [61] S. Kundu. Min-transitivity of fuzzy leftness relationship and its application to decision making. *Fuzzy Sets and Systems*, 86:357–367, 1997.
- [62] H.T. Lawless and H. Heymann, editors. *Sensory Evaluation of Food. Principles and Practices. Second Edition*. Springer Science+Business Media, New York, 2010.
- [63] H.M. Lee. Applying fuzzy sets theory for evaluating the rate of aggregative risk in software development. *Fuzzy Sets and Systems*, 79(3):323–336, 1996.
- [64] J. Lu, G. Zhang, and D. Ruan. Intelligent multi-criteria fuzzy group decision-making for situation assessments. *Soft Computing*, 12(3):289–299, 2008.
- [65] J. Lu, G. Zhang, and F. Wu. Team situation awareness using web-based fuzzy group decision support systems. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 1(1):50–59, 2008.
-

-
- [66] R.D. Luce and P. Suppes. *Handbook of mathematical psychology*, chapter Preferences, utility and subject probability, pages 249–410. In: R.D. Luce et al. (Eds.). Wiley, New York, 1965.
- [67] J. Ma, D. Ruan, Y. Xu, and G. Zhang. A fuzzy-set approach to treat determinacy and consistency of linguistic terms in multi-criteria decision making. *International Journal of Approximate Reasoning*, 44(2):165–181, 2007.
- [68] A.C. Marquez and C. Blanchar. A decision support system for evaluating operations investments in high-technology business. *Decision Support Systems*, 41(2):472–487, 2006.
- [69] L. Martínez, M. Barranco, L. G. Pérez, and M. Espinilla. A knowledge based recommender system with multigranular linguistic information. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 1(3):225–236, 2008.
- [70] L. Martínez, L.G. Pérez, and M. Barranco. A multi-granular linguistic based-content recommendation model. *International Journal of Intelligent Systems*, 22(5):419–434, 2007.
- [71] L. Martínez. Sensory evaluation based on linguistic decision analysis. *International Journal of Approximated Reasoning*, 44(2):148–164, 2007.
- [72] L. Martínez, M. Espinilla, J. Liu, L.G. Pérez, and P.J. Sánchez. An evaluation model with unbalanced linguistic information applied to olive oil sensory evaluation. *Journal of Multiple-Valued Logic and Soft Computing*, 15(2-3):229–251, 2009.
- [73] L. Martínez, M. Espinilla, and L. G. Pérez. A linguistic multigranular sensory evaluation model for olive oil. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 1(2):148–158, 2008.
- [74] J. McAffer. *OSGi and Equinox: Creating Highly Modular Java Systems*. Addison-Wesley, 2010.
-

-
- [75] M. Meilgaard, G. Civille, and B. Carr. *Sensory evaluation techniques*. CRC Press, Florida,USA, 1999.
- [76] G.A. Miller. The magical number seven plus or minus two: some limits on our capacity of processing information. *Psychological Review*, 63(2):81–97, 1956.
- [77] R.K. Miller, D.M. Kinsman, A.W. Kotula, and B.C. Breidste. *Muscle Foods*. Chapman and Hall, New York, 1994.
- [78] J.N. Moderson and P.S. Nair. *Fuzzy mathematics*. Physica-Verlag, New York, 1998.
- [79] I.A. Montenegro. *Evaluación del Desempeño Docente: Fundamentos, Modelos e Instrumentos*. Cooperativa Editorial Magisterio, 2007.
- [80] G. Norris, J.R. Hurley, and et al. *E-Business and ERP. Transforming the Enterprise*. John Wiley & Sons Inc., 2000.
- [81] S.A. Orlovski. Decision-making with fuzzy preference relations. *Fuzzy Sets and Systems*, 1(3):155–167, 1978.
- [82] W. Pedrycz. *Fuzzy modeling: Paradigms and practice*. Kluwer Academic, 1996.
- [83] W. Pedrycz and F. Gomide. *An introduction to fuzzy sets*. The MIT Press, 1998.
- [84] P. Reis. *Evaluación de Desempeño*. Verlag Dashöfer Ediciones Profesionales S.L.U., 2007.
- [85] R.A. Ribeiro. Fuzzy multiple attribute decision making: A review and new preference elicitation techniques. *Fuzzy Sets and Systems*, 78(2):155–181, 1996.
- [86] C. Romero. *Teoría de la decisión multicriterio: conceptos, técnicas y aplicaciones*. Alianza Universidad, Madrid, 1993.
- [87] M. Roubens and Ph. Vincke. *Preference modelling*. Springer-Verlag, Berlín/Heidelberg, 1985.
-

-
- [88] D. Ruan and X. Zeng (Eds.). *Sensory Evaluation: Methodologies and Applications*. Springer, 2004.
- [89] S. Ríos, C. Bielza, and A. Mateos. *Fundamentos de los Sistemas de Ayuda a la Decisión*. Ra-Ma, Madrid, 2002.
- [90] S. Seo and M. Sakawa. Fuzzy multiattribute utility analysis for collective choice. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 15(1):45–53, 1985.
- [91] C.H. Yen S.H. Tsaur, Y.T. Chang. The evaluation of airline service quality by fuzzy mcdm. *Tourism Management*, 23(2):107–112, 2002.
- [92] S.M. Shugan. Price-quality relationships. *Advances in Consumer Research*, 11:627–632, 1984.
- [93] M. Miyakawa S.J. Schvaneveldt, T. Enkawa. Consumer evaluation perspectives of service quality: evaluation factors and two-way model of quality. *Total Quality Management*, 2(2):149–162, 2006.
- [94] I. Sommerville. *Software Engineering (9th Edition)*. Addison-Wesley, 2011.
- [95] H. Stone and J. L Sidel. Strategic applications for the sensory evaluation in the global market. *Food Techonology*, 48(2):80–89, 1995.
- [96] H. Stone and J.L. Sidel. *Sensory Evaluation Practice*. Academic Press Inc., San Diego, CA, 1993.
- [97] H. Stone and J.L. Sidel, editors. *Sensory Evaluation Practices. Third Edition*. Elsevier Academic Press, San Diego, 2004.
- [98] A.S. Szczesniak. Sensory texture profiling. historical and scientific perspective. *Food Technology*, 52(8), 1998.
- [99] C. Szyperski. *Component Software: Beyond Object-Oriented Programming, 2nd Edition*. Addison-Wesley, 2002.
-

-
- [100] Y. Tang. A collective decision model involving vague concepts and linguistic expressions. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. Part B: Cybernetics*, 38(2):421–428, 2008.
- [101] T. Tanino. Fuzzy preference orderings in group decision making. *Fuzzy Sets and Systems*, 12(2):117–131, 1984.
- [102] T. Tanino. *On group decision making under fuzzy preferences*, pages 172–185. in: J. Kacprzyk and M. Fedrizzi, Eds., *Multiperson Decision Making Using Fuzzy Sets and Possibility Theory*. Kluwer Academic Publishers, 1990.
- [103] H. Tirri. Search in vain: Challenges for internet search. *IEEE Computer*, 36(1):115–116, 2003.
- [104] V. Torra. Aggregation of linguistic labels when semantics is based on antonyms. *International Journal of Intelligent Systems*, 16(4):513–524, 2001.
- [105] E. Triantaphyllou. *Multi-criteria decision making methods: a comparative study*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London, 2000.
- [106] R.C. Wang and S.J. Chuu. Group decision-making using a fuzzy linguistic approach for evaluating the flexibility in a manufacturing system. *European Journal of Operational Research*, 153(3):563–572, 2004.
- [107] B.M. Watts, G.L. Ylimayi, L.E. Jeffery, and L.G. Elias. *Basic sensory methods for Food Evaluation*. International Development Research Center, Ottawa, Canada, 1992.
- [108] E. Wittin-Penna. *Evaluación Sensorial: una Metodología Actual para Tecnología de Alimentos*. USACH, Santiago, Chile, 1980.
- [109] Z.S. Xu. A method based on linguistic aggregation operators for group decision making with linguistic preference relations. *Information Sciences*, 166(1–4):19–30, 2004.
- [110] Z.S. Xu. On compatibility of interval fuzzy preference relations. *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 3(3):217–225, 2004.
-

-
- [111] Z.S. Xu. An approach based on the uncertain LOWG and induced uncertain LOWG operators to group decision making with uncertain multiplicative linguistic preference relations. *Decision Support Systems*, 41(6):488–499, 2006.
- [112] Z.S. Xu. Group decision making based on multiple types of linguistic preference relations. *Information Sciences*, 178(2):452–467, 2008.
- [113] F. Herrera y L. Martínez. The 2-tuple linguistic computational model. advantages of its linguistic description, accuracy and consistency. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 9(5):33–48, 2001.
- [114] R.R. Yager. Aggregation operators and fuzzy system modelling. *Fuzzy Sets and Systems*, 67(2):129–145, 1993.
- [115] R.R. Yager. An approach to ordinal decision making. *International Journal of Approximate Reasoning*, 12(3–4):237–261, 1995.
- [116] A. Yazici and R. George. *Fuzzy database modeling*. Physica-Verlag, New York, 1999.
- [117] L.A. Zadeh. Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3):338–353, 1965.
- [118] L.A. Zadeh. The concept of a linguistic variable and its applications to approximate reasoning. *Information Sciences, Part I, II, III*, 8,8,9:199–249,301–357,43–80, 1975.
- [119] L.A. Zadeh. A computational approach to fuzzy quantifiers in natural languages. *Computer & Mathematics with Applications*, 9(1):149–184, 1983.
- [120] L.A. Zadeh. Fuzzy logic = computing with words. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 4(2):103–111, 1996.
- [121] V.A. Zeithaml. Consumer perceptions of price, quality, and value: a means-end model and synthesis of evidence. *The Journal of Marketing*, pages 2–22, 1988.
-