

# UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

Faculté d'informatique

Département d'ingénierie du logiciel et de l'intelligence artificielle (DISIA)



**Projet Fin de Master en Sistemas Inteligentes**

Master en Investigación en Informática

## **Determinación taxonómica inteligente de Flora Ibérica mediante lógica Fuzzy.**

Diana Diaz Agrela

*Réalisateur:*

Dr D. Luis Garmendia Salvador

*Codirecteur:*

Dr D. Alfonso Garmendia Salvador

Universidad Politécnica de Valencia, Espagne.

Instituto Agroforestal Mediterráneo

Madrid (Espagne), 2009



La abajo firmante, matriculada en el Máster en Investigación en Informática de la Facultad de Informática, autoriza a la Universidad Complutense de Madrid (UCM) a difundir y utilizar con fines académicos, no comerciales y mencionando expresamente a su autor el presente Trabajo Fin de Máster : "Determinación taxonómica inteligente de Flora Ibérica mediante lógica Fuzzy", réalisé durant le cursus universitaire 2008-2009 dans la direction du Dr D. Luis Garmendia Salvador avec la collaboration externe de la direction du Dr D. Alfonso Garmendia Salvador dans le département de Ingeniería del Software e Inteligencia Artificial (DISIA), ya la Biblioteca de la UCM a depositarlo en el Archivo Institucional E-Prints Complutense con el objeto de incrementar la difusión, uso e impacto del trabajo in Internet y garantizar su preservación y acceso a largo place.

Madrid, septembre 2009

Fmdo: Diana Díaz Agrela



## CV

Ante la dificultad qu'existe para la correcta determinación de un ejemplar concreto de cualquiera de las múltiples especies de plantas existentes, se ha investigado la utilización de un instrumento novedoso, la teoría de conjuntos borrosos y el razonamiento aproximado. La información de las características de los distintos taxones se representa mediante conjuntos borrosos. Dichos atributos son las entradas de un sistema inteligente de inferencia, siendo las salidas un grado de pertenencia para cada posible taxón al que puede pertenecer el ejemplar a determinar, incluso en casos con información incompleta o falta de datos requeridos.

El estudio previo pretende encontrar una representación del conocimiento recogido en las claves y descripciones de Flora Ibérica. A partir de las características y taxones, se procede a un análisis de la información y su posterior estructuración en categorías de características, detección de asociaciones entre ellas y evaluación numérica de sus relaciones con los taxones.

Previamente al diseño del sistema borroso, se implementa un sistema nítido que establece los requisitos para cualquier sistema genérico de determinación taxonómica.

Un requisito destacable es dotar al sistema de flexibilidad, de tal manera que su conocimiento es auto-actualizable, las modificaciones surten efecto inmediato in the interface gráfica presentada. Así mismo se calculan nuevos conjuntos borrosos de forma automática y se modifican las reglas de inferencia de cada taxón.

## Abstrait

La détermination taxonomique est un domaine ouvert à l'amélioration par la recherche car sa difficulté, la logique floue et le raisonnement approximatif sont des outils appropriés et innovants.

La présente étude a utilisé la logique floue pour mettre en œuvre un système intelligent d'identification des spécimens de *Flora Ibérica*. Les ensembles flous représentent diverses caractéristiques taxonomiques, qui sont des entrées d'un moteur d'inférence intelligent utilisant des règles d'inférence floues pour déterminer le spécimen, même dans les cas où les informations requises sont absentes ou incomplètes.

L'étude préalable vise à trouver une représentation des connaissances contenues dans les clés et les descriptions de *Flora Ibérica*. À partir des caractéristiques et des taxons, nous procédons à une analyse de l'information et à sa structure ultérieure en catégories de caractéristiques, à la détection des associations entre elles et à l'évaluation numérique de ses relations avec le taxons.

Avant la conception du système flou, nous mettons en œuvre un système clair qui fixe les exigences pour tout système générique de détermination taxonomique. Une exigence remarquable est de concevoir un système flexible avec une auto-mise à jour des connaissances, puis tout changement prend effet immédiatement dans l'interface graphique soumise. De plus, de nouveaux ensembles flous sont calculés automatiquement et les règles d'inférence de chaque taxon sont mises à jour.



## Indice général

<b>1. Introduction</b>	<hr/> 1
<b>2. État de l'art</b>	<hr/> 5
<b>2.1. Description de la flore et des claves</b>	<hr/> 5
<b>2.2. Clave dicotómica</b>	<hr/> 7
<b>2.3. Algunos sistemas de determinación</b>	<hr/> 9
<b>2.4. Estudio précédent. Prímulas</b>	<hr/> 11
<b>3. Matériel et méthodes</b>	<hr/> 13
<b>3.1. Lógica borrosa</b>	<hr/> 13
3.1.1. Conjuntos borrosos	<hr/> 13
3.1.2. Lógica borrosa	<hr/> 14
3.1.3. Etiquetas lingüísticas	<hr/> 14
3.1.4. Inferencia y razonamiento aproximado	<hr/> 15
<b>3.2. XFUZZY</b>	<hr/> 15
<b>4. Détermination taxonomique. Consigne</b>	<hr/> 17
<b>4.1. Conocimiento. Flore (Taxones).</b>	<hr/> 19
<b>4.2. Conocimiento. Caractéristiques.</b>	<hr/> 20
4.2.1. Agrupaciones de caractéristiques	<hr/> 20
4.2.2. Caractéristiques Quantitativas	<hr/> 21
4.2.3. Caractéristiques Qualitativas	<hr/> 23

Indice général

---

<b>4.3. Representación numérica del lenguaje científico</b>	<b>28</b>
<b>4.4. Représentation de conocimiento</b>	<b>28</b>
4.4.1. Système adaptatif	28
4.4.2. Introduction de données	29
4.4.3. Traducción a metalenguaje estructurado, XML	37
<b>5. Sistema inteligente nítido de determinación taxonómica</b>	<b>39</b>
5.1. Sélection de réponses	39
5.2. Inférence nítida	44
5.2.1. Premisas a evaluar y valor a asignar a dicha evaluación	44
5.2.2. Ejecución de reglas	48
5.2.3. Algorithmes	49
<b>6. Sistema inteligente borroso de determinación taxonómica</b>	<b>51</b>
6.1. Caractéristiques	52
6.1.1. Caractéristiques Cuantitativas	52
6.1.2. Caractéristiques Cualitativas	60
6.2. Inférence Borrosa	74
6.2.1. Infériorité de l'ensemble flou	74
6.2.2. Fondamentalement de l'ensemble flou	75
6.2.3. Toma de decisions	76
<b>7. Conclusions</b>	<b>77</b>
<b>8. Trabajo Futuro</b>	<b>81</b>
<b>9. Bibliographie</b>	<b>85</b>
<b>10. Appendix 1. Introducción a la lógica borrosa</b>	<b>89</b>
<b>11. Appendix 2. Tabla Excel de conocimiento de determinación taxonómica.</b>	<b>103</b>
<b>12. Annexe 3. Description des exemples XML. Représentation de conocimiento</b>	<b>113</b>

## Index de figurines

<i>Illustration 2y1. Ejemplo de ilustración para la familia Compositae (Asteraceae) [dicotiledóneas].</i>	6
<i>Figure 2y2. Familia, SOLANACEAE. Genre : Datura. Imágenes de izquierda a derecha, flor, fruto, imagen de camp.</i>	7
<i>Figure 2y3. Clave général. Flora Ibérica. Exemple.</i>	8
<i>Figure 2y4. Ejemplo de claves de la pteridoflora de las Islas Canarias.</i>	8
<i>Figure 2y5. Exemple d'illustration. D, extremo de una rama de Selaginella denticulata con microsporangios et mégasporangios</i>	9
<i>Figure 2y6. Exemple d'utilisation de la herramienta en ligne Los macrolíquenes epífitos de España. Un guide interactif.</i>	9
<i>Figure 2y7. Herbario virtual de las Islas Baleares.</i>	dix
<i>Figure 2y8 Pantalla avec l'interface graphique du programme d'identification de Prímulas.</i>	12
<i>Figure 3y1. Exemple de modèle de variables linguistiques</i>	15
<i>Figure 3y2. Flujo de Conception de Xfuzzy 3.0.</i>	16
<i>Figure 4y1. Esquema ilustrativo general de los elementos involucrados en la determinación.</i>	18
<i>Figure 4y2. Proceso generico de sistemas de determinación.</i>	18
<i>Figure 4y3. Esquema jerárquico de la estructuración del conocimiento de Flora Ibérica.</i>	19
<i>Figure 4y4. Graphique de l'association des limites (Min, MinInt, MaxInt, Max) pour une relation Rxx(Tx, Cx).</i>	22
<i>Figure 4y5. Gráfica del conjunto de límites (Med, ES) para una relación Rxx(Tx, Cx).</i>	22
<i>Figure 4y6. Tipos de taxon.</i>	30
<i>Figure 4y7. Jerarquía representada en el ejemplo de la Características</i>	31

## Index de figurines

---

<i>Figure 5y1. Ejemplo de selección de respuesta a una característica cualitativa.</i>	40
<i>Figure 5y2. Exemple de sélection de caractéristiques qualitatives.</i>	41
<i>Figure 5y3. Ejemplo de selección sí, no, no sé de características cualitativas.</i>	42
<i>Figure 5y4. Exemple d'un groupe d'auto-exclusion, solo d'une sélection possible.</i>	43
<i>Figure 5y5. Ejemplo de un grupo de auto-exclusion con selección sí, no, no sé.</i>	43
<i>Figure 5y6. Valores inferidos en intervalos delimitados por límites (Min, MinInt, MaxInt, Max) para una relación Rxx (Tx, Cx). Tres ejemplos (en este orden) con todos los límites, sin un límite, solo con un límite.</i>	45
<i>Figura 5y7 .Valores inferidos en intervalos delimitados por límites (Med, ES).</i>	45
<i>Figure 5y8. Exemple de visualisation dans une implémentation possible.</i>	50
<i>Figure 6y1. Función de pertenencia trapezoidal generica.</i>	54
<i>Figure 6y2. Ejemplo conjunto borroso mf_Abies de la característica t_Altura_m.</i>	55
<i>Figure 6y3. Ejemplo conjunto borroso mf_Abies de la característica t_Longitud_estróbilos_cm.</i>	56
<i>Figure 6y4. Ejemplo conjunto borroso mf_PINACEAE de la característica t_Longitud_estróbilos_cm.</i>	56
<i>Figure 6y5. Intervalle maximum. Ejemplo conjunto borroso mf_Abies de la característica t_Longitud_de_las_hojas_mm.</i>	57
<i>Figure 6y6. Intervalle maximum. Ejemplo conjunto borroso mf_Pinus_halepensis de la característica t_Longitud_de_las_hojas_mm.</i>	57
<i>Figure 6y7. Función de pertenencia trapezoidal generica.</i>	59
<i>Figure 6y8. Intervalle fréquent. Ejemplo conjunto borroso mf_Pinus_halepensis de la característica t_Longitud_de_las_hojas_mm.</i>	59
<i>Figure 6y9. Ejemplo conjuntos borrosos mf_no y mf_si de la característica booleana t_Arbol.</i>	60
<i>Figure 6y10. Ejemplo conjuntos borrosos mf_no_soft de la característica booleana t_Arbol.</i>	63
<i>Figure 6y11. Ejemplo conjuntos borrosos mf_si_soft de la característica booleana t_Arbol.</i>	63
<i>Figure 6y12. Implémentation possible pour les caractéristiques approximatives.</i>	64
<i>Figure 6y13. Ejemplo conjuntos borrosos en características aproximadas.</i>	65
<i>Figure 6y14.Implémentation possible de caractéristiques auto-excluyentes relacionadas aproximadas.</i>	69
<i>Figure 6y15. Conjuntos borrosos trapezoidales clásicos.</i>	70

<i>Figure 6y16. Esquema de características relacionadas aproximadas, y sus áreas de mayor y menor grado de "se da" dichas características.</i>	72
<i>Figure 6y17. Conjuntos borrosos de tres características relacionadas aproximadas.</i>	73
<i>Figure 6y18. Conjuntos borrosos "Extremadamente poco de" para las características Copa redondeada y Copa cónica o piramidal en este orden.</i>	73
<i>Figure 6y19. Función de pertenencia del conjunto borroso fundamentado.</i>	75
<i>Figure 12y1. Exemples XML</i>	113
<i>Figure 12y2. Conocimiento_caracteristicas</i>	114
<i>Figure 12y3. Conocimiento_flora</i>	121



## Index de tablas

<i>Tableau 4y1. Description des limites des caractéristiques quantitatives.</i>	22
<i>Tableau 4y2. Posibilidades positivas asociadas a una relación Rxx(Tx, Cx).</i>	24
<i>Tableau 4y3. Conjunto completo de posibilidades asociadas a una relación Rxx(Tx, Cx).</i>	24
<i>Tabla 4y4 Ejemplo de estructuración de taxones.</i>	30
<i>Tableau 4y5. Reglas a utilizar para establecer la relación jerárquica de taxones.</i>	31
<i>Tableau 4y6. Ejemplo de estructuración de agrupaciones.</i>	31
<i>Tableau 4y7. Ejemplo de agrupaciones ocultas.</i>	32
<i>Tableau 4y8. Representación gráfica de las relaciones para características cualitativas.</i>	33
<i>Tableau 4y9. Representación gráfica de las relaciones para características cuantitativas.</i>	33
<i>Tableau 4y10. Exemple de caractéristiques.</i>	34
<i>Tableau 4y11. Ejemplo de características cualitativas booleanas y aproximadas.</i>	35
<i>Tableau 4y12. Ejemplo características auto-y excluyentes.</i>	36
<i>Tableau 4y13. Ejemplo de características auto-y excluyentes relacionadas aproximadas</i>	37
<i>Tableau 5y1. Caractéristiques non unificadas.</i>	41
<i>Tableau 5y2. Conjunto completo de posibilidades asociadas a una relación Rxx(Tx, Cx) para una característica qualitative.</i>	44
<i>Tableau 5y3. Ejemplo baremos características auto-y excluyentes con respuestas negativas.</i>	47
<i>Tableau 5y4. Ejemplo conjunto de características seleccionadas.</i>	48
<i>Tableau 5y5. Matriz de valores para las relaciones.</i>	48

## Index de tablas

---

<i>Tableau 5y6. Ejemplo conjunto de características con respuestas sí, no, ni sé.</i>	49
<i>Tableau 6y1. Representación gráfica de las relaciones para características cuantitativas.</i>	52
<i>Tableau 6y2. Exemple 1. Altura (m)</i>	54
<i>Tableau 6y3. Points que décrivent le trapézo de cada una de las funciones de pertenencia de los conjuntos borrosos de los taxones Abies y Pinus.</i>	54
<i>Tableau 6y4. Exemple 2. Longitud de los estróbilos (cm)</i>	55
<i>Tableau 6y5. Points que décrivent le trapézo de cada una de las funciones de pertenencia de los conjuntos borrosos de los taxones PINACEAE y Abies.</i>	55
<i>Tableau 6y6. Exemple 3. Longitud de las hojas (mm)</i>	56
<i>Tableau 6y7. Points que décrivent le trapézo de cada una de las funciones de pertenencia de los conjuntos borrosos de los taxones Abies et Pinus halapensis.</i>	57
<i>Tableau 6y8. Description des limites des caractéristiques quantitatives.</i>	58
<i>Tableau 6y9. Intervalle fréquent. Points que décrivent le trapézo de cada una de las funciones de pertenencia de los conjuntos borrosos de los taxones Abies y Pinus halapensis.</i>	59
<i>Tableau 6y10. Ejemplo de característica booleana</i>	61
<i>Tableau 6y11. Conjunto completo de posibilidades asociadas a una relación Rij(Ti , Cj).</i>	66
<i>Tableau 6y12. Ejemplo de característica aproximada, fusiformes.</i>	66
<i>Tableau 6y13. Ejemplo de grupo relacionado aproximado de 2 características.</i>	70

# Chapitre 1

## Introduction

La determinación taxonómica de especímenes es una tarea que siempre ha estado presente en el trabajo de los botánicos. En los últimos tiempos se han desarrollado nuevas disciplinas que necesitan de esta tarea, por ejemplo en la realización de estudios de impacto ambiental cobra especial importancia el inventariado taxonómico de las especies encontradas. Para un botánico, sea cual sea su rama, es muy importante poder realizar determinaciones lo más acertadas posibles, para lo cual se suele recurrir a las claves dicotómicas ya las descripciones técnicas de las especies recogidas en las "floras". En cualquiera de estos casos, es imprescindible poder reconocer las diferentes especies con una eficacia suficiente. Esta tarea puede ser muy dificultosa dado que, aquello que puede resultar relativamente fácil para los profesionales que llevan tiempo trabajando en una determinada área, resulta complicado al cambiar de zona. La difficulté aumenta si para la determinación no se cuenta con un botánico cerca al que realizar la consulta.

La determinación est basada generalmente en los caracteres o atributos morfológicos, que pueden tener tipos muy variados, conteniendo muchos de ellos elementos con incertidumbre o falta de precisión. Las características que el agente determinista tiene que observar, pueden no aparecer claramente a los ojos del observador, lo que puede confundirle y provocar que no sea capaz de emitir un juicio consistente. Tanto las definiciones de las características a observar, como las posibles respuestas que puede inferir el observador, están definidas con lenguaje natural en ocasiones poco preciso. Pour autant, el razonamiento utilizado para la inferencia de la solución está basado en

## Chapitre 1. Introduction

---

unos elementos de partida que contienen cierta incertidumbre, tanto en su definición como en el modo de ser observados. Así mismo, las respuestas emissionidas sufren también de indeterminación. Podemos percibir este razonamiento como razonamiento aproximado. Pensemos, por ejemplo, si la clave separa entre hojas lisas o rugosas, ¿cómo de rugosa tiene que ser la hoja para incluirla en la segunda categoría?.

Los métodos Dicotómicos clásicos émettent una serie de preguntas con únicamente dos posibles respuestas sí o no, cada respuesta enlaza seguidamente con otra nueva pregunta. Nótese que no es posible eludir ninguna de las preguntas del orden preestablecido. En el caso de que el observador no sea capaz de evaluar la pregunta no podrá continuar con la determinación. Estos métodos provocan que sea necesaria bastante experiencia para ser capaz de utilizar las claves con la soltura necesaria, ya que el botánico, sin ser consciente de ello, utiliza técnicas del sentido común o del razonamiento aproximado para tomar sus decisiones.

La lógica borrosa es capaz de modelar y utilizar el conocimiento incompleto, como el que encontramos en el ámbito de la determinación taxonómica. Mediante conjuntos borrosos podemos diseñar funciones de pertenencia para cada característica, que modelen las respuestas imprecisas del lenguaje natural como poco, medio, mucho. Comme mismo, las relaciones exclusyentes entre algunas características y los juicios aproximados pueden convertirse en elementos del sistema, que permitan extraer información adicional sobre la propia característica.

El sistema diseñado intenta paliar otro problema típico de los métodos clásicos dicotómicos. Acabamos de commentar, el modo en que estos métodos tienen un orden preestablecido con varios caminos posibles descritos en todo momento por la respuesta negativa o positiva qu'emita el usuario. En conséquence, el usuario nunca puede eludir una pregunta si la desconoce. Par exemple, si en la clave se pregunta por el número de pétalos o por su color, y el ejemplar que se quiere determinar no tiene flores, es imposible continuar y hay que desistir de la determinación del espécimen o recurrir a la lectura de todas las descripciones en las floras, para todas las especies posibles, lo cual se hace imposible si el conjunto de posibilidades es grande.

De plus, si la personne que desea determinar la especie no es un experto, puede no comprender la pregunta y por tanto desconocer la respuesta, como por ejemplo si se pregunta si la base está bruscamente contraída y no conoce el significado de ser "bruscamente contraída". Para solvable esta problemática el sistema debe permitir al usuario introducir, en el orden deseado por él mismo, las respuestas a las características evaluadas; debe también proporcionar herramientas que le permitan rectificar las respuestas a preguntas ya contestadas o incluso eliminarlas de forma independiente al resto.

La primera dificultad encontrada en la realización de este sistema ha sido la representación del conocimiento de la Flora, como hemos visto, los expertos suelen hacer uso de claves y de descripciones. El objetivo es modelar este conocimiento para que pueda convertirse en la entrada de un sistema de determinación. En este estudio se ha llevado a cabo una normalización de las características encontradas tal que, partiendo de un lenguaje científico (botánico) expresado en lenguaje natural, obtenemos una representación numérica y estructurada del mismo. De esta manera, conseguimos extraer el máximo grado de información tanto de la definición propia de cada característica, como de sus relaciones con otras características y sus posibles valores observables.

Esta normalización del conocimiento taxonómico se ha diseñado con gran flexibilidad, imponiendo sobre el sistema el requisito de ser un sistema adaptativo. El conocimiento vendrá representado in tablas Excel estructuradas donde el experto será capaz in introducir nuevo conocimiento, modificar el previamente introducido y/o eliminar o corregir errores. Con el Empleo de tablas Excel se preténd facilitar el uso a los expertos qu'están fréquemment familiarizados con este tipo de representación. El sistema posteriormente transforma la información a XML, ise metalenguaje no permite un intercambio de información estándar, lo que le proporciona apertura hacia futuras evoluciones.

El sistema es adaptativo, permitiendo adoptar todas las modificaciones de forma automática, tanto en la representación gráfica, la categorización de atributos y taxones, las premisas a evaluar, los conjuntos borrosos diseñados (en el sistema borroso) y las reglas de inferencia para cada taxón . Par exemple, si el usuario introduit una nueva característica con todas sus consecuentes relaciones con los taxones, el sistema es capaz de representar la característica según el tipo que sea y sus relaciones con otras características; generar y evaluar las premisas en las que se puede ver involucrada dicha característica con los distintos taxones y finalmente utilizarla como un elemento más de inferencia. Así mismo si se introduce un nuevo taxón, se generará automáticamente sus reglas de inferencia y podrá formar parte del conjunto solución de la determinación.

Esta flexibilidad proporciona una alimentación inagotable de conocimiento, ya que diferentes expertos podrían incrementar su propia información y además mezclarla con la de otros expertos. Se podría alcanzar una base de información sólida y de gran completitud, disponible para cualquier usuario del sistema, por ejemplo via Web.

La mise en œuvre du système « DetFlora » peut se trouver sur le Web [12] .



## Chapitre 2

### État de l'art

#### 2.1. Description de la flore et des claves

Como se verá en este estudio, la normalización del conocimiento se basa en extraer información de la literatura conocida y en base a los datos recogidos, realizar una representación de su contenido que permita ser utilizada por un sistema inteligente.

Para este trabajo nos hemos centrado principalmente en el apartado *Gimnospermas* del *Tomo I* de Flora Ibérica [10]. Este proyecto se inició en 1980 y con sus propias palabras “*pretende —mediante investigación taxonómica original— poner al día y sintetizar los conocimientos actuales sobre las plantas vasculares que crecen espontáneamente in la Península Iberica e Islas Baleares, territorio de una notable riqueza florística. El objetivo último es publicar una obra —tanto en forma de libro, como en formato electrónico, CD-ROM o incluso distribuido in Internet*“. Esta iniciativa alcanza en estos momentos el 70% de la Flora

Ibérica, según comentan, aproximadamente en 8 ou 10 años podrán concluir con éxito la tarée.

La principal ventaja que obtenemos al utilizar esta base de conocimiento es precisamente la calidad y precisión de los datos aportados. La actualización que han llevado a cabo afecta tanto a novedades taxonómicas como a nuevas nomenclaturas

adoptés. Realizar un trabajo en función del proyecto Flora Ibérica, nos proporciona confianza respecto a la completeitud y adecuación de nuestra representación de dicho conocimiento. El uso de una nomenclatura actualizada, produce un acercamiento mayor a los expertos botánicos que puedan ser futuros usuarios del sistema, al utilizar un lenguaje conocido para ellos.

## Chapitre 2. Estado del arte

Una posible evolución del sistema podría ser incluir, en la medida de lo posible, imágenes que pudieran facilitar la identificación de determinadas características enunciadas al usuario. Los sistemas que incluyen herramientas gráficas flexibilizan su uso a usuarios menos expertos; en ocasiones proporcionando medios gráficos y descripciones literarias, un usuario menos experto puede servirse de estas herramientas para realizar una correcta determinación taxonómica.

Le projet Flora Ibérica contient des informations graphiques, destacamos otros proyectos que podrían ser de utilidad como la Asociación BIGA (Biodiversidad en Galicia) [13], dédié à l'étude du patrimoine naturel de Galice, se centrada sobre todo en trabajos artrópodos y flora vascular. En su site Web dispone del espacio *Plantae* con información sobre flora vascular gallega, en la cual podemos encontrar una galería fotográfica por familia y género muy correcta, así como un conjunto de publicaciones online.

En el Herbario de la Universidad Pública de Navarra [15], podemos encontrar información de la flora arvense principalmente en el área de las malas hierbas, que es también una parte importante de la biodiversidad vegetal de nuestro territorio. L'herbier contient des fiches détaillées par famille et une galerie d'images très intéressantes. Podemos ver un ejemplo en la Figura 2-1.



**Figure 2-1. Ejemplo de ilustración para la familia Compositae (Asteraceae) [dicotiledóneas].**

El Herbario Virtual del Mediterráneo Occidental [16], recoge información y une amplia galería de imágenes de las plantas vasculares de las tierras de la cuenca del Mediterráneo Occidental. Encontramos especial interés en las imágenes, ya que para los distintos géneros proporcionan varias imágenes, como por ejemplo la flor, el fruto y una imagen de campo. Podemos ver un ejemplo en la Figura 2-2.



**Figure 2-2. Família, SOLANACEAE. Genre : *Datura*. Imágenes de izquierda a derecha, flor, fruto, imagen de campo.**

El Proyecto Flora Ibérica "De lo real a lo imaginario", Universidad de Valencia [17], contiene un buscador de flora por división, familia, género, especie y nombre. Otro proyecto muy interesante son las Lecciones Hipertextuales de Botánica [18], este proyecto se inició para facilitar el aprendizaje de la Botánica y recoge la información de una forma muy cómoda y estructurada.

## 2.2. Clave dicotómica

El método adicional de obtención de información son las claves dicotómicas, se han utilizado las comprendidas en Flora Ibérica. Las claves dicotómicas nos permiten extraer información más precisa y de gran relevancia en la determinación. Los métodos dicotómicos pretendían alcanzar la solución siempre por el camino más corto posible.

El problema de estos métodos es que el usuario no puede evadir ninguna pregunta. Se trata de un sistema que realiza preguntas con dos únicas respuestas, sí o no. Si el usuario no conoce la respuesta o bien el espécimen de estudio carece de las premisas para evaluar una pregunta (por ejemplo, preguntar por el color de los pétalos cuando el espécimen no tiene flores), la determinación tiene que finalizar sin éxito. En la Figura 2-3 puede verse un ejemplo de clave.

## Chapitre 2. Estado del arte

**Angiospermae**

Incluye todas las familias de los volúmenes I al VIII, más el X, XIII, XIV, XV, XVIII y XXI, que van numeradas, y la gran mayoría de las familias de los demás volúmenes, aunque puede haber sido omitida alguna de las tan solo representadas por plantas introducidas.

- |       |   |   |
|-------|---|---|
| 1.    | Plantas acuáticas, sumergidas o flotantes, que no enraízan en el substrato .....                          | 2   |
| –     | Plantas terrestres o acuáticas que enraízan en el substrato .....   | 7   |
| 2[1]. | Plantas sin hojas ni tallos claramente diferenciados ...  | <b>CLXXX. Lemnaceae (vol. 18)</b>             |
| –     | Plantas con hojas y tallos claramente diferenciados .....   | 3   |
| 3[2]. | Hojas divididas en numerosos segmentos filiformes .....   | 4   |
| –     | Hojas no divididas en numerosos segmentos filiformes .....  | 5   |
| 4[3]. | Plantas con pequeñas vejigas en las hojas, o tallos aparentemente afilos .....                            | <b>CLIII. Lentibulariaceae p.p. (vol. 14)</b> |
| –     | Plantas sin pequeñas vejigas en las hojas; tallos siempre con hojas verticiladas o semiverticiladas ..... | <b>XXXIV. Ceratophyllaceae p.p. (vol. 1)</b>  |
| 5[3]. | Pecíolos no engrosados y con espacios intercelulares aeríferos .....                                      | <b>Hydrocharitaceae p.p. (vol. 17)</b>        |
| –     | Pecíolos, al menos los de las hojas emergentes, engrosados y con espacios intercelulares aeríferos.....   | 6   |

**Figure 2-3. Clave général. Flora Ibérica. Exemple.**

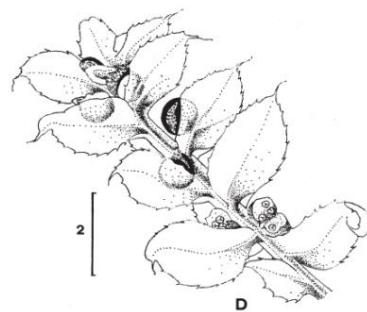
La Clave taxonómica de la pteridoflora de las Islas Canarias [14] encontramos un conjunto típico de claves dicotómicas para la determinación de los diferentes taxones de helechos de las Islas Canarias. Si nos fijamos en la Figura 2-4, el modo de representar las claves es similar al visto anteriormente.

## CLAVE DE FAMILIAS

- |    |  |                        |
|----|--|------------------------|
| 1. | Plantas que producen micrósporas y megásporas .....  | 2                      |
| 1. | Plantas que producen un solo tipo de esporas .....   | 3                      |
| 2. | Plantas subacuáticas, con esporangios reunidos en soros y éstos, a su vez, en esporocarpos .....   | 4                      |
| 2. | Plantas no subacuáticas, de aspecto musgoso. Esporangios solitarios situados en las axilas de los esporófilos. Éstos se reúnen, a su vez, en espigas terminales..... | <b>Selaginellaceae</b> |

**Figure 2-4. Ejemplo de claves de la pteridoflora de las Islas Canarias.**

También se incluyen algunas ilustraciones que representan aspectos morfológicos que se han tenido en cuenta en el trabajo. Estas ilustraciones podrían servirnos para ilustrar características complejas como hemos visto anteriormente, podemos ver un ejemplo en la Figura 2-5.



**Figure 2-5. Exemple d'illustration. D, extremo de una rama de *Selaginella denticulata* con microsporangios y megasporangios**

### 2.3. Algunos sistemas de determinación

El estudio de *Los macrolíquenes epífitos de España. Un guide interactif* [19], comporte avec une implémentation en ligne de la méthode dicotómico clásico. Esta herramienta va realizando preguntas de dos en dos al usuario, el cual debe elegir la respuesta deseada para continuar con la elección. Como apoyo a la decisión, muestra en cada iteración imágenes de especímenes con las características descritas. De plus, muestra en cada paso al usuario cuantas especies quedan en el conjunto posible de soluciones. En tout moment nos da la opción de generar textualmente el conjunto completo de claves y descripciones para las especies posibles en la solución actual, en el ejemplo de la Figura 2-6, vemos como nos da la las opción de ver las claves para 6 especies.

The screenshot shows the homepage of the 'Dryades project' interactive guide. At the top, it features the logo of the University of Trieste (UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRIESTE) and smaTs (Scienze della Terra). Below the logo, the title 'Dryades project' is displayed in large yellow letters, with 'Dryades' in a bold font and 'project' in a smaller script font. To the right is the 'Key to Nature' logo. Navigation links include 'Back' and 'Home'. The main content area is titled 'Los macrolíquenes epífitos de España. Una guía interactiva' and '6 especies que quedan.' A text instruction says 'Pulse aquí para generar la clave de las siguientes 6 especies, o seleccione una de las siguientes opciones.' Below this are two rows of four images each, showing different macrolichen species. The first row has a callout box labeled 'Talo amarillo-limón. K-' pointing to the second image. The second row has a callout box labeled 'Talo desde amarillo hasta naranja, K+ rojo-violáceo (púrpura)' pointing to the third image. At the bottom, a yellow bar contains the copyright notice '© 2009 KeytoNature.'

**Figure 2-6. Exemple d'utilisation de la herramienta en ligne *Los macrolíquenes epífitos de España. Un guide interactif*.**

## Chapitre 2. Estado del arte

El Herbario virtual de las Islas Baleares [21], utiliza una herramienta de introducción de datos en la cual el usuario puede introducir las características observadas en el orden que desee. Así mismo observamos cómo hay detectadas dos tipos de características, aquellas con posibles respuestas sí y no, frente al resto en las que únicamente existe la respuesta sí. En nuestro estudio también se tienen en cuenta estos factores. Podemos observar también, como el aplicativo permite filtrar al usuario por nombre de familia o de especie si lo conoce. Una vez se rellenan los datos deseados, es necesario ejecutar el algoritmo para conseguir la determinación. Este proceso puede resultar pesado al usuario, ya qu'un menudo es deseable ver los "efectos" de nuestras elecciones inmediatamente. Podemos ver un ejemplo en la Figura 2-7. Herbario virtual de las Islas Baleares. Las diferentes características están dispuestas en agrupaciones superiores.

**Herbari virtual de les Illes Balears**  
Laboratori de Botànica | Departament de Biologia  
Universitat de les Illes Balears

**CLAU DE CLASSIFICACIÓ (PROTOTIP, V 2.1)**

Seleccionau les característiques de la planta a classificar i premeu el botó "Executar Cerca", per a començar de nou premeu "Reset Cerca"

**TIPUS DE PLANTA:**

- Planta llenyosa  Sí  No
- Planta herbàcia  Sí  No
- Liana  Sí  No

**MES DE FLORACIÓ:**

Decembre	<input type="checkbox"/> Sí
Gener	<input type="checkbox"/> Sí
Febrer	<input type="checkbox"/> Sí
Mars	<input type="checkbox"/> Sí
Abril	<input type="checkbox"/> Sí
Maig	<input type="checkbox"/> Sí
Juny	<input type="checkbox"/> Sí
Juliol	<input type="checkbox"/> Sí
Agost	<input type="checkbox"/> Sí
Setembre	<input type="checkbox"/> Sí
Octubre	<input type="checkbox"/> Sí
Novembre	<input type="checkbox"/> Sí

**HABITAT:**

1. Aiguamolls i salobrars
2. Camps de conreu, Vores de camins, llocs alterats
3. Costa rocosa
4. Llocs humits no salins (Rambles, basses, torrentes, canals, fonts i sequies)
5. Plantes de jardí
6. Pinars i garrigues amb xiprers i timonedes
7. Marines de bruc, brotells silícioles
8. Pradells terofítics calcícoles
9. Pradells terofítics silícioles
10. Platges i dunes, sòls arenosos
11. Alzinars
12. Brollles xero-silàntiques de muntanya i carreteres
13. Ullastrars i altres garrigues esclerofíles, sabinars
14. Escletxes de roques i penya-segat
15. Petits talussos ombrívols
16. Bardisses
17. Cultivades
18. Superfícies rocoses, parets seques i marges

**COLOR DE LA FLOR:**

Flor Groc a crema	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
Flor Blanca	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
Flor Rosa a morat	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
Flor blava	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
Flor vermella	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
Flor verda	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
Flor marrón	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No

**TIPUS DE FLOR:**

Flor regular	<input type="checkbox"/> Sí
Flor irregular	<input type="checkbox"/> Sí
Flor reduïda	<input type="checkbox"/> Sí
Flor hermafrodita	<input type="checkbox"/> Sí
Flor unisexual	<input type="checkbox"/> Sí

**FORMA I MIDA DELS PÉTALS:**

Pètals evidents	<input type="checkbox"/> Sí
Sense pètals evidents	<input type="checkbox"/> Sí
Mida pètals: 1 a 2mm	<input type="checkbox"/> Sí
de 2 a 5mm	<input type="checkbox"/> Sí
de 5 a 10mm	<input type="checkbox"/> Sí
de 10 a 20mm	<input type="checkbox"/> Sí
Més de 20mm	<input type="checkbox"/> Sí

Pètals: sencers	<input type="checkbox"/> Sí
Pètals escotats	<input type="checkbox"/> Sí
Pètals dentats	<input type="checkbox"/> Sí
Pètals lobulats o laciniatos	<input type="checkbox"/> Sí
Pètals _Tépals lluïres	<input type="checkbox"/> Sí
Pètals _Tépals soldats	<input type="checkbox"/> Sí
Sépals _Tépals lluïres	<input type="checkbox"/> Sí
Sépals _Tépals soldats	<input type="checkbox"/> Sí

Figure 2-7. Herbario virtual de las Islas Baleares.

En *Biologie 211 : Taxonomie des plantes à fleurs. World Wide Flowering Plant Family Identification* [20], encontramos un sistema muy similar al anterior con menor flexibilidad, ya que no tiene ningún medio de filtrado ni diferentes tipos de respuesta por característica.

En *Un système expert pour l'intégration de plusieurs manuels sur la détermination des maladies des plantes dans une base de données unie* [22], se décrit la normalisation de conocimiento existente en los distintos manuales de diagnóstico de enfermedades en plantas. Aunque no es exactamente el mismo tipo de sistema que estamos diseñando. L'idée que persigue es

crear un instrumento universal basado en sistemas expertos, capaz de integrar los datos de varios manuales en una sola base de datos unida. Nuestra preocupación en este estudio ha dado el primer paso en este sentido, cómo representar la información. En un futuro se podría ampliar por medio de ejemplos e incluso sistemas inteligentes que pudieran extraer información de las descripciones.

Dans la documentation révisée hemos podido conocer un estudio *Modelos de representación del conocimiento para la identificación taxonómica y aplicaciones* [23] [24], que utiliza técnicas de inteligencia artificial para abordar las problemáticas de un sistema de determinación. Este estudio sigue unas pautas y preocupaciones similares a las nuestras ya las de cualquier investigación que quiera enfrentarse a la problemática de la determinación taxonómica. Comentaremos a continuación las principales aportaciones detectadas. La autora nos explica la creation de un sistema para la identificación taxonómica a través de un sistema experto. De plus, presta especial interés a la representación taxonómica del conocimiento y la búsqueda de un repository común de información sobre el que trabajar. Enfin, no solo realiza un sistema para la determinación, también desarrolla una herramienta que permite la generación de claves dicotómicas por medio de ejemplos. En el futuro, como veremos, nuestro sistema podría evolucionar y contener aprendizaje con ejemplos.

Este estudio es muy interesante ya que ha podido recoger resultados de experimentos realizados con botánicos. De plus, la thèse reconnaît una amplia documentación a cerca de la determinación taxonómica, diferentes investigaciones realizadas en este ámbito y la descripción de algunos sistemas conocidos de determinación más conocidos que pueden servir de referencia para futuras investigaciones.

## 2.4. Estudio précédent. Prímulas

Auparavant un este estudio, se realizó un pequeño proyecto de determinación de la familia de las Prímulas que pretendía adentrarse en el ámbito de la determinación taxonómica mediante lógica borrosa. De las descriptions y claves conocidas de la familia Prímulas, se determinaron los caracteres o atributos que lo especifican: color de la corola, flores en umbela o aisladas, forma del cáliz, forma y tamaño de las hojas, etc. Para cada uno de ellos se estudió su naturaleza, algunos de ellos se mostraron como atributos medibles y otros no. Los tipos detectados fueron: booleano (o de respuesta nítida), numérico medible en un intervalo conocido, borroso o interpretable cuando aparece falta de nitidez o información. Para cada atributo, se establecieron los distintos valores que podían tomar de la propia literatura de la Flora y se atribuyeron etiquetas lingüísticas para cada atributo y especie. A través de conjuntos borrosos, se procedió al

## Chapitre 2. Estado del arte

desarrollo de reglas borrosas para cada uno de ellos que permitieran definir de forma correcta cuales son las características morfológicas de cada una de las especies.

El estudio fue un primer experimento a fin de validar la utilidad de la lógica borrosa en el campo de la identificación botánica. Las dificultades de este estudio fueron, la dificultad del vocabulario botánico, que se ha superado en esta ocasión gracias a la participación de un experto botánico. Así como, la generalización de características y sus correspondientes conjuntos borrosos.

Dans la figure 2-8, podemos observar las características que fueron modeladas, booleanas, numéricas y borrosas; Identificadas respectivamente por un desplegable con las opciones disponibles, una caja de introducción de texto para las numéricas y una escala para las borrosas. En la partie inférieure aparecen las 8 especies posibles cada una con el grado de pertenencia inferido para cada una de ellas calculado a partir de dos t normas, Mínimo y Producto.

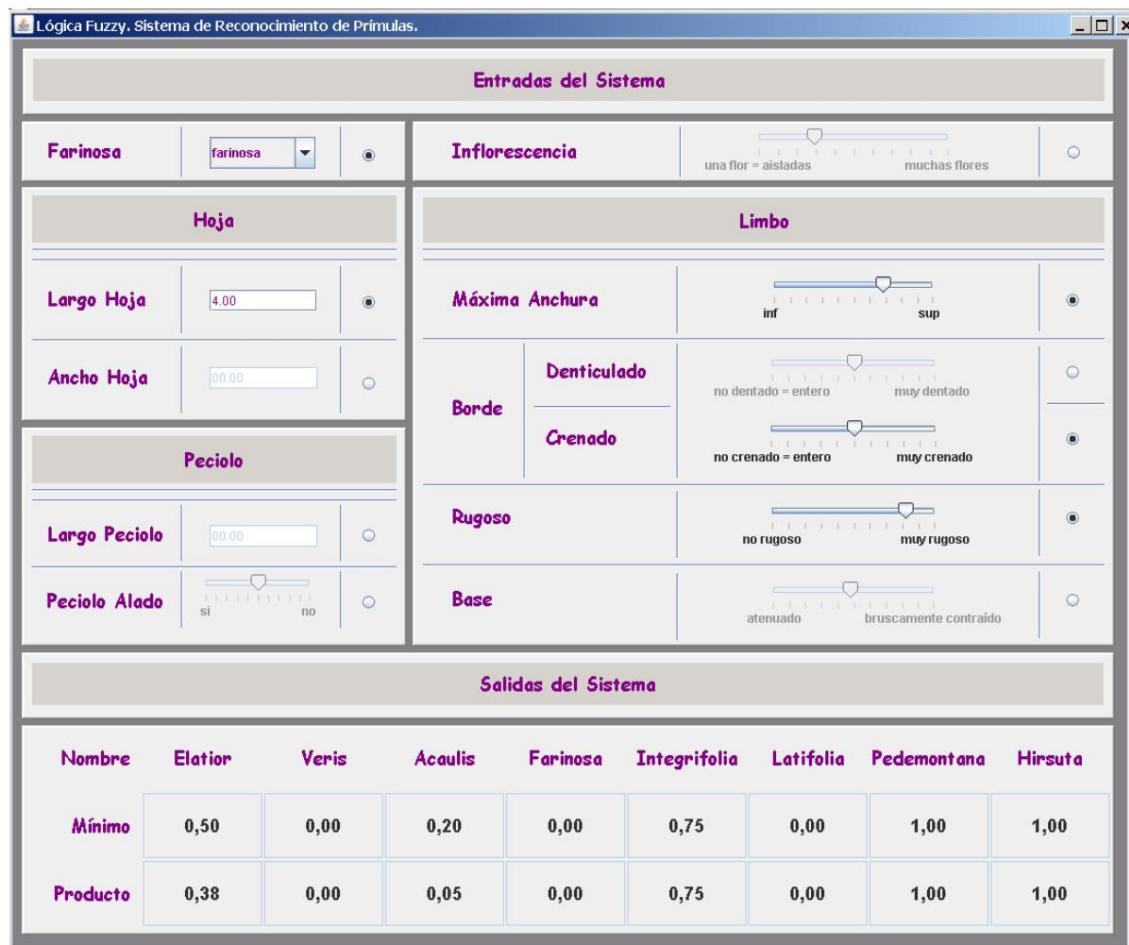


Figure 2-8 Pantalla avec l'interface graphique du programme d'identification de Prímulas.

# Chapitre 3

## Matériel et méthodes

### 3.1. Lógica borrosa

En el Apéndice1 pag 189podemos encontrar una introducción a la lógica borrosa, si bien se detallan en este capítulo algunos conceptos básicos que nos servirán de apoyo para los sistemas borrosos.

#### 3.1.1. Conjuntos borrosos

La théorie de los conjuntos borrosos forma parte del ámbito de la "Inteligencia Artificial". La cual investiga cómo hacer que los ordenadores puedan realizar las mismas tareas que las mentes humanas. La teoría clásica de conjuntos de *Cantor* no es capaz de recoger aquellos fenómenos reales cuyas características son "imprecisas" ou "difusas". En la esfera de los predicados subjetivos, y por tanto imprecisos, la teoría de conjuntos clásica se enfrenta con obstáculos difíciles de superar. La lógica clásica, la teoría de conjuntos clásica o la teoría de probabilidad no siempre resultan adecuadas para tratar la imprecisión, la incertidumbre, la no especificidad, la vaguedad, la inconsistencia y la complejidad del mundo real. Esto motiva la evolución de los conjuntos difusos y las lógicas borrosas y explica su papel en la reestructuración de los fundamentos de las teorías científicas y sus aplicaciones.

*Lotfi A. Zadeh* dans son article «*Ensembles flous*» [6] présente une théorie sobre unos d'objets, los conjuntos difusos, que son conjuntos de frontera no precisa y cuya función de pertenencia indica un grado. En dicho artículo crea la base teórica sobre subconjuntos borrosos y de la que parten todas las investigaciones posteriores sobre el tema.

### Chapitre 3. Matériel et méthodes

---

La teoría de subconjuntos borrosos surge debido a querer trabajar con la imprecisión, la incertidumbre y la vaguedad, pretendiendo eliminar estas limitaciones habituales que encontramos en la teoría clásica de conjuntos, haciendo de esta un caso particular de la anterior. La lógica queda modificada, ya no es una lógica bivalente en la que si algo es cierto su contrario es necesariamente falso.

#### **3.1.2. Lógica borrosa**

El desarrollo de la tecnología computacional ha abierto diversos campos de investigación. Se pretende que una máquina, o sistema de ellas, pueda producir razonamientos o acciones que, si fuesen realizados por una persona, serían considerados inteligentes. El intento de automatizar el razonamiento y el aprendizaje requiere trabajar sobre las lógicas borrosas.

Las lógicas borrosas necesitan generalizar las conectivas entre conjuntos borrosos. Los conectivos lógicos AND, OR y NOT, y las operaciones entre conjuntos intersección, unión y negación, se generalizan respectivamente mediante normas triangulares, conormas triangulares y negaciones.

En este trabajo se han utilizado tres lógicas básicas para los operadores AND y OR, presentes en los antecedentes de las reglas: la t-norma mínimo y t-conorma máximo (de la lógica de Zadeh), t-norma producto y t-conorma suma-producto y t-norma operación y t-conorma operación dual de Lukasiewicz.

#### **3.1.3. Étiquettes linguistiques**

Según LA Zadeh, un aspecto clave de la computación con palabras [8], [9] es que supone una fusión del lenguaje natural y de la computación con variables borrosas.

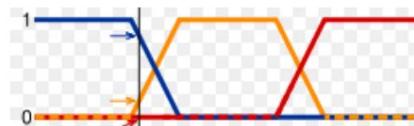
La teoría de los conjuntos borrosos est está implícitamente relacionada con el lenguaje natural mediante el concepto de variable lingüística.

Las variables lingüísticas [7] son variables cuyos valores se representan mediante términos lingüísticos. El significado de estos términos lingüísticos se determina mediante conjuntos difusos.

Es particulièrement notable la capacité de las variables lingüísticas para manipular percepciones (de distancias, tamaños, pesos, color...), necesarias en un problema de determinación de plantas.

La diferencia esencial entre percepciones y medidas resident en que las medidas son nítidas (croustillant) y las percepciones borrosas (floue). Esta es la razón fundamental por lo que el sistema lógico empleado debe ser flou.

Par exemple, dada una característica A, podemos modelar 3 percepciones 'x es poco A', 'x es medianamente A' y 'x es muy A' a partir de una variable sobre x mediante los conjuntos borrosos de la siguiente figura



**Illustration 3-1. Exemple de modèle de variables linguistiques**

Dada una variable lingüística 'x es A', cuyo significado es determinado por un conjunto borroso, es fácil definir otras variables lingüísticas como 'x es poco A', 'x es muy A', 'x es más o menos A', mediante conjuntos borrosos obtenidos à partir de modificadores lingüísticos.

### 3.1.4. Inferencia y razonamiento aproximado

Cuando se pretende utilizar las relaciones borrosas para efectuar inferencias de razonamiento aproximado de la forma

*Six P entonces oui Q*

*x es P'*

---

*oui Q'*

se puede utilizar la regla composicional de inferencia [2] entre un conjunto borroso que represente la etiqueta lingüística P en todos los elementos del universo en discurso y una relación borrosa que representa la regla *Si 'x es P' entonces 'y es Q'*, que puede ser generada por diferentes operadores de implicación [3], como Mandami, implicaciones residuadas, S-implicaciones, QM-implicaciones, etc.

### 3.2. XFUZZY

Il a utilisé le logiciel Xfuzzy pour diverses fonctions.

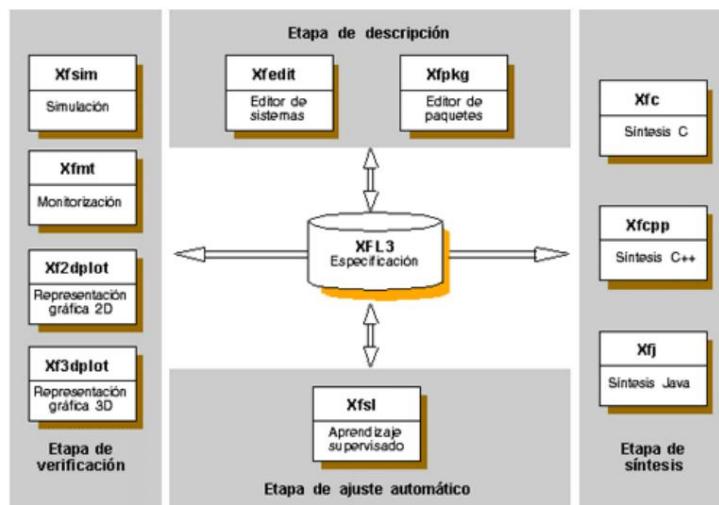
Esta herramienta fue diseñada e implementada en la Universidad de Sevilla, como un entorno de desarrollo de sistemas de inferencia basados en lógica difusa. Está formada por diversas herramientas que cubren las diferentes etapas del proceso de diseño de un sistema de inferencia difuso.

### Chapitre 3. Matériel et méthodes

---

Entre sus características más notorias se encuentran la capacidad para el desarrollo de sistemas complejos y la flexibilidad para extender el conjunto de funciones difusas available in la herramienta. Xfuzzy est également programmé en Java et sous licence GNU.

Xfuzzy est divisé en diferentes herramientas que pueden ser ejecutadas como programas independientes. El entorno las integra bajo una misma interfaz gráfica que facilita a los usuarios el proceso de diseño. En el flujo de diseño de Xfuzzy estas herramientas se encuentran divididas por etapas: (Figura 1).



**Figure 3-2. Flujo de Conception de Xfuzzy 3.0.**

- L'étape de description incluye herramientas gráficas para la definición de sistemas difusos y la definición de paquetes de funciones.
- L'étape de vérification est compuesta por herramientas para la simulation, monitorización y representación gráfica del comportamiento del sistema.
- L'étape d'ajustement facilite l'application d'algorithmes d'apprentissage à tous les systèmes ya diseñados.
- L'étape de synthèse inclut des descriptions générales dans des langues de haut niveau (C, C++ et Java) pour des implémentations logicielles ou matérielles concernant les systèmes d'inférence différents diseñados.

Xfuzzy utilise une langue de spécification qui est commune à tous les herramientas, et qui sirve de nexo entre elles, el XFL (XFuzzy Language). Es un lenguaje flexible y potente, que permite expresar relaciones muy complejas entre variables difusas por medio de bases de reglas jerárquicas y conectivas, modificadores lingüísticos, funciones de pertenencia y métodos de defuzzificación definidos por el usuario.

## Chapitre 4

### **Détermination taxonomique. Consentement**

La determinación taxonómica de especímenes dentro del campo de la botánica se compose d'une série d'observations et d'évaluations réalisées par l'expert, que se convierte en el usuario del sistema de determinación. Illustrativamente podemos ver como el usuario en el método clásico Dicotómico se ve guiado, a través de una serie de preguntas, a observar y lastmente evaluar la respuesta a su juicio más adecuada a esa pregunta. Si el usuario utilizase un sistema genérico cualquiera de determinación seguiría este mismo patrón, que consta de una serie de características apreciables en el objeto de estudio sobre las cuales realizar una valoración subjetiva respecto del conocimiento y visión del usuario sobre las circunstancias concretas del objeto. De esta manera, el experto establece predicados estimados que conducen a una identificación del objeto, estos predicados llevados a cabo a través de la observación son producto de la situación concreta del objeto y la percepción del usuario, por lo que podemos decir que la conclusión obtenida se convierte en una implicación aproximada.

Podemos ver graphiquement en la suite Figura 4-1, cómo interactúan los diferentes elementos hasta derivar in the determinación.

## Chapitre 4. Détermination taxonomique. Consentement

**Illustration 4-1. Esquema ilustrativo general de los elementos involucrados en la determinación.**

El sistema debe proporcionar al usuario una serie de procesos que faciliten la tarea de obtención de la determinación. Cada uno de estos procesos cuenta a modo genérico con tres elementos básicos: observer une caractéristique concrète de l'objet de l'étude, évaluer haciendo uso del conocimiento la característica en el espécimen, établir une conclusion concrète sur la caractéristique.

**Figure 4-2. Proceso genérico de sistemas de determinación.**

El sistema de determinación debe solver varias problemáticas. En primer lugar es necesario definir el conocimiento del que se servirá el sistema para establecer los procesos de reconocimiento. Posteriormente se definen dichos procesos, los cuales guiarán al usuario en la identificación, y se fijarán finalmente los métodos de inferencia que establezcan la conclusión.

El conocimiento se compone de dos grandes componentes, la jerarquización taxonómica de la flora a representar junto con el conjunto de características a evaluar.

El conocimiento debe establecer las relaciones entre ambas componentes. Para cada una de las características que se identifican se establece el modo de representación de las mismas, su naturaleza y los diferentes modelos de evaluación. La relación intrínseca con la jerarquía taxonómica es compleja, no es una simple asociación, estas relaciones forman parte de la evaluación y posterior conclusión de toda identificación.

Los procesos involucrados en las acciones que el usuario realiza al interactuar con el sistema, son aquellos que definen qué características tiene que observar el usuario, cómo debe determinar su evaluación y cómo actúa el sistema cuando recibe la conclusión.

Par exemple, el método Dicotómico clásico, presenta una serie de

características a modo de preguntas, el método de evaluación que proporciona es una respuesta con únicamente dos posibilidades (si o no) y un único camino tras recibir la conclusión.

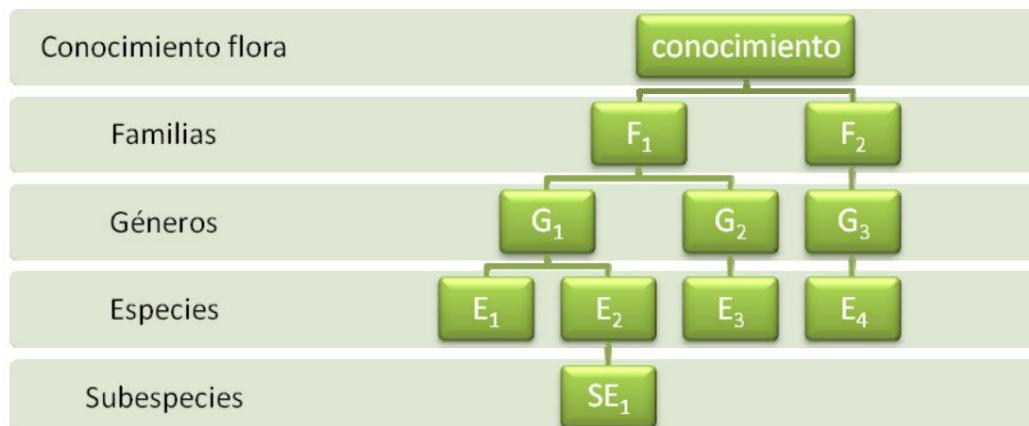
La información que nuestro sistema utiliza como conocimiento no tiene como base repositorios de información conocidos, si no que se ha llevado a cabo una investigación y definición de un modelo propio desarrollado con la información recogida del apartado *Gimnospermas* del Tomo I de Flora Ibérica [10]. L'information se ha extrait parallèlement à partir de l'information contenue dans les claves de Flora Ibérica et dans les descriptions de las fichas de cada uno de los taxones.

La clasificación que se ha realizado incluye un subconjunto de Flora Ibérica, el sistema es adaptativo, como se comentará más adelante en apartado 4.4.1. Está preparado para incluir cualquier modificación y/o añadidura automáticamente sin necesidad de ningún tipo de cambio de código en el programa.

L'evaluación técnica botánica se realiza sobre la documentación mencionada, obteniendo divers elementsos del modelo que nos permitirán diseñar el sistema de inferencia. Se irán comentando en este apartado.

#### **4.1. Conocimiento. Flore (Taxones).**

En primer lugar el conocimiento se compone de la information jerarquizada de los taxones pernecientes a la Flora Ibérica. Cette information consiste en une structuration de los elements atendiendo al tipo de taxón de cada uno y sus taxones "hijo". De tal manera que las familias tendrán una serie de hijos del tipo de taxón Género; los géneros tendrán hijos de tipo de taxón especie y así sucesivamente. Tal y como ilustra in the Figura 4-3.



**Figure 4-3. Esquema jerárquico de la estructuración del conocimiento de Flora Ibérica.**

#### **4.2. Conocimiento. Caractéristiques.**

Del estudio de las características encontradas in la definición de los distintos taxones, se extrae la cualificación de dichas características y sus asociaciones para obtener los elementos de evaluación del sistema.

##### **4.2.1. Agrupaciones de caractéristiques**

Tras un minucioso estudio se seleccionan las características representativas para la identificación y se establece una clasificación las mismas generando **agrupaciones** de características, atendiendo esta clasificación a sus cualidades comunes. Estas agrupaciones reciben un nombre determinado y pasan a ser un elemento más utilizado en la estructuración del conocimiento.

Algunos ejemplos de agrupaciones filsÿ:

- *Plante*
- *Biotype*
- *Forme de la Coupe*
- *Talo*
- *Tronc*
- *Ritidoma (parte exterieur de la corteza, que se desprende)*
- *Ramillas (brotes de l'an)*

Una vez recopiladas las agrupaciones se detecta si existen asociaciones entre agrupaciones y características, distinguiendo aquellas características que tienen que ser evaluadas positivamente para que dicha agrupación tenga sentido. En el ejemplo siguiente vemos dos agrupaciones *Biotipo* y *Forma de la Copa*, no tiene sentido hablar de la forma de la copa si el espécimen de estudio no es un árbol, por lo tanto la agrupación *Forma de la Copa* está intrínsecamente relacionada con la característica *Árbol* (fanerófito).

- 
- Groupementsÿ: *Biotipo*
    - o Características appartenant à l'agrupaciónÿ:
      - ÿ Arbol (fanerófito) ÿ \*1
      - ÿ Arbusto (nanofanerofito)
      - ÿ Matorral bajo (caméfito)

ÿ Hauteur (m)

- Groupementÿ: *Forma de la Cop*  
 \*1      ÿ Dépend de la caractéristique *Árbol (fanerófito)*

o Características appartenant à l'agrupaciónÿ:

- ÿ Coupe conique ou pyramidale
- ÿ Coupe redondée
- ÿ Copa aparasolada, densa.
- ÿ Coupe irrégulièr

A este tipo de agrupaciones les llamamos **agrupaciones ocultas**, si pensamos en estructurar la información de las características en las diferentes agrupaciones detectadas, y mostrar esta información in el sistema al usuarioÿ; no se debe mostrar una agrupación oculta si su característica asociada no ha sido seleccionada o contestada por el usuario. Adicionalmente una misma característica puede estar asociada a más de una agrupación oculta, por lo tanto la relación de agrupación oculta AG(C[1..1], A [1..\*]), se definir mediante la característica con multiplicidad [1 .. 1] y sus agrupaciones multiplicidad [1..\*].

Ce mécanisme nous permet de simplifier et de structurer l'information sollicitée par l'utilisateur dans le processus de détermination.

#### 4.2.2. Caractéristiques Cuantitativas

Si observamos un objeto de estudio para su identificación es fácil detectar características medibles numéricamente, como por ejemplo el número de flores o la altura del especímen. Estas características que el observador es capaz de medir de forma nítida y objetiva con una representación numérica, son denominadas Características Cuantitativas. El comportamiento común de estas características es disponer de uno o varios límites que restringen los posibles valores para esa característica concreta en un taxón concreto. Existen seis límites posibles detectados en Flora Ibérica para las características, estos sonÿ:

## Chapitre 4. Détermination taxonomique. Consentement

**Tableau 4-1. Description des limites des caractéristiques quantitatives.**

Max Maximo
Min Minimo
MaxInt Maximum de l'intervalle de fréquence
MinInt Minimo del intervalo frecuente
Médias méditerranéens
Norme d'erreur

Para cada una de las características es necesario recopilar información sobre cuáles de estos límites son utilizados para describirla en cada una de las relaciones establecidas con los taxones. Hay que tener en cuenta que no tienen porqué coïncidir los límites usados para una misma característica en relación con un taxón llamémosle Tx and otro diferente Ty.

Para cada taxón del que se disponga información relativa a una característica cuantitativa Cx se recopilarán los límites conocidos in la literatura para esta relación, si el taxón seleccionado es Tx hablamos de la relación Rxx(Tx, Cx). De esta manera la relación R1 se autodefine con los valores adoptados para dichos límites y contiene una lista de pares (límite, valor) definida como  $[(L_n, V_n)]$  donde  $n \leq 6$ .

Si realizamos este mismo proceso para cada uno de los taxones Ti relacionados con la característica Cj, podemos extraer el conjunto que incluye todos los límites establecidos en las relaciones como la lista de límites  $[L_n]$  donde  $n \leq 6$  y todo límite perteneciente a la lista (limite, valeur) de cada una de las relaciones Rij de la característica Cj pertenece a la lista  $[L_n]$ .

En cada una de las relaciones las características se determinan utilizando un subconjunto de uno de los siguientes dos grandes conjuntos (Min, MinInt, MaxInt, Max) ou bien (Med, ES). Si tomamos valores mayores que 0, ambos conjuntos pueden verse representados en una gráfica en el orden que muestra la Figura 4-4 y la Figura 4-5.



**Figure 4-4. Graphique de l'association des limites (Min, MinInt, MaxInt, Max) pour une relation Rxx(Tx, Cx).**



**Figure 4-5. Gráfica del conjunto de límites (Med, ES) para una relación Rxx(Tx, Cx).**

#### 4.2.3. Caractéristiques Cualitativas

Las características cualitativas son atributos observables no medibles numéricamente.

Típicamente requieren una respuesta positiva o negativa del usuario, por tanto la enunciación de dichos predicados debe adaptarse a conclusiones booleanas. Podemos observar el siguiente ejemplo perteneciente a la agrupación *Troncoy*:

- Groupe : Tronco
  - o Tronco profondément hendidu
  - o Tronco sólo ramificado en la parte superior
  - o Tronc de couleur pardo rojizo
  - o Tronco tortuoso
  - o Tronco Recto

En los sistemas clásicos l'information que se extrae de la evaluación es limitada, ya que únicamente permite dos posibles conclusiones "si" y "no", es decir "lo es" ou "no lo es". Las características observables en cualquier espécimen pueden ser de muy diversas naturalezas, algunas de ellas pueden resultar triviales o genéricas a la hora de proceder a una identificación taxonómica, mientras que otras son características "claves" cuya observación puede inferir la determinación taxonómica con una certeza superior .

Nuestro modelo refleja un nuevo atributo o calidad asociada a toda relación conocida  $R_{xx}$  entre un taxón y una característica  $R_{xx}(Tx, Cx)$ . Este atributo representa la importancia, en base al grado de posibilidad, de la característica para llevar a cabo una correcta identificación. Nos permite jerarquizar las características relacionadas con un taxón concreto por su nivel de posibilidad y utilizar esta ponderación en la inferencia de la conclusión. Ilustrativamente, si un usuario responde positivamente a cinco características relacionadas con el taxón  $Tx$  y otras cinco características relacionadas, iguales o diferentes, con un taxón diferente  $Ty$ ; gracias al atributo de importancia asignado a cada una de esas relaciones, podemos determinar el taxón con mayor grado de posibilidad, aunque aparentemente ambos taxones son igualmente posibles por tener cinco características satisfactorias. De tal manera que si el conjunto de relaciones de características afirmativas de  $Tx$  contiene aquellas marcadas con importancia superior, mientras que el conjunto de  $Ty$  contiene únicamente características de poca importancia. Podemos concluir que las relaciones afirmativas de  $Tx$  son más fuertes y ordenar los posibles resultados, priorizando los de mayor posibilidad.

## Chapitre 4. Détermination taxonomique. Consentement

Este atributo de importancia o posibilidad se modela asignando un identificador numérico a los diferentes grados obtenidos en el estudio, de tal manera que el 1 se corresponde con el grado lower y 3 con el grado superior. Adicionalmente a esta clasificación numérica, se le asocia un predicado concreto para facilitar al experto botánico la tarea de asignar dichos valores a las relaciones (taxón, característica) a la hora de alimentar el conocimiento del sistema. En la Tabla 4-2 podemos encontrar dichos significados.

**Tableau 4-2. Posibilidades positivas asociadas a una relación Rxx(Tx, Cx).**

	En quelques occasions se da. Es posible, aunque no muy frecuente
1	Souvent, normalement.
2 3	Siempre se da.

Pour autant, toda relación que se detecte entre un taxón y una característica será evaluada por medio del grado de posibilidad de la misma. Esta clasificación formará parte del conocimiento del sistema.

No solo la relación positiva nos proporciona información útil para la determinación, sino también la ausencia de información (no se conoce relación entre taxón y característica) o la información negativa (es impossible qu'existe une relación positiva entre ambas).

Por lo tanto, se marcarán así mismo aquellas parejas (taxón, característica) para las que no dispongamos de información sobre relación alguna entre ambas. Su grado de posibilidad será 0  
- No hay información.

Pour último, como hemos destacado, existen relaciones negativas cuando una característica Cx es impossible que sea observada in un espécimen cualquiera del taxón Tx. Marcaremos en este caso la posibilidad de Rxx(Tx, Cx) igual a -1. De tal manera que si el usuario está observando un especimen y evalúa la característica Cx como positiva, automáticamente rechazaremos el taxón Tx como parte del conjunto de conclusiones inferidas posibles.

Como sumario derivamos que toda relación Rxx(Tx, Cx) tendrá un atributo asociado de posibilidad que se rige por los valores descritos en la Tabla 4-3 junto con sus predicados descriptivos.

**Tableau 4-3. Conjunto completo de posibilidades asociadas a una relación Rxx(Tx, Cx).**

-1 Non	c'est possible. Ese taxón quedaría rechazado si se da la característica
0 Aucune information sur le foin	
1 En occasions se da. Es posible, aunque no muy frecuente	
2 Souvent, normalement.	
3 Siempre se da.	

Le modo en el que el experto botánico identifica estos valores al estudiar las claves y descripciones de los taxones de la Flora Ibérica es el suivant:

- -1 si el hecho de que se de esa característica elimina a la especie en cuestión. • 0 si aucune information de foin sur ces caractéristiques pour ces espèces • 1 si l'espèce en cuestión puede tener ces caractéristiques, pero es poco frecuente que la tenga. En el lenguaje de la publicación corresponde à "En ocasiones", "algunas veces" ou expressions équivalentes.
- 2 si la especie en cuestión normalmente tiene esa característica, aunque en ocasiones puede no tenerla. Equivale a expresiones como "normalmente", "usualmente", "En general".
- 3 cuando la especie siempre tiene (o cumple) esa característica. Se procede a buscar la característica contraria auto-excluyente que deberá tener un -1.

La información extraída de las claves suele ser la más exclusiveyente, ya que Produce gran cantidad de -1 y 3, y pocos 1 y 2. Las descripciones de los taxones son normalmente más difusas y son las que más indeterminación Producen con valores 1 y 2 .

Par exemple, si dans la descripción de una especie encontramos: "Árbol.". Significa inequívocamente que siempre es un árbol, por lo que la característica "Árbol" tendrá un 3 y las características "Arbusto" and "Herbácea" tendrán un -1. Estas tres características son auto-excluyentes, no se pueden dar simultáneamente.

Sans embargo sur la description:

"De porte arbóreo, aunque en ocasiones puede ser arbustivo"

Esto significa que "Árbol" tendrá un 2, "Arbusto" un 1 et "Herbácea" un -1.

#### **4.2.3.1. Características cualitativas booleanas**

Existen características no medibles que tienen como respuesta únicamente *sí o no*, la información que se obtiene es completamente nítida, pues toma grados de pertenencia 0 o 1. Esta es la aproximación que fue sobre diseñada en el estudio preliminar la familia Prímula [11], si bien en este estudio posterior veremos como la nueva representación del conocimiento nos permite extraer información de estas características.

Un ejemplo de estas características es *Árbol (fanerófita)*, solo tiene dos posibles respuestas, un espécimen o es Árbol o no lo es.

#### **4.2.3.2. Características cualitativas aproximadas**

En contraposición con las características cualitativas booleanas se detecta la existencia de características con respuestas aproximadas, se trata de cualidades que el usuario puede observar en mayor o menor grado, o incluso puede servirse de esta aproximación si no está seguro de estar plenamente dicha característica.

Las característica *fusiformes* de l'agrupación *Yemas* es un ejemplo de este tipo, el usuario puede utilizar el lenguaje natural para describir la cualidad observada como *poco*, *medianamente* o *muy fusiforme*.

Estas características cobran especial interés como elementos pertenecientes a sistemas borrosos de inferencia, sin embargo en sistemas nítidos se comportan como características booleanas. Es decir, en un sistema nítido si una característica de este tipo es seleccionada en un grado mayor que 0, donde 0 es el límite mínimo, se toma la respuesta como un sí booleano. Si la réponse se sélectionne en el mínimo se toma como non .

#### **4.2.3.3. Caractéristiques autoëxclusives**

Tras disponer de los diferentes conjuntos de características que componen las agrupaciones detectadas en el estudio, podemos analizar posibles relaciones entre estas características. La principale association qui encontramos es la categorización de **auto excluyentes**. Existen subconjuntos dentro de las agrupaciones que se componen de características auto-excluyentes, es decir solo podrá ser observada en un espécimen simultáneamente una única característica del conjunto.

Una respuesta positiva a alguna de las características de un conjunto de auto excluyentes, conllevará automáticamente a la respuesta negativa del resto de elementos del conjunto.

El experto botánico, en la tarea de conformación del conocimiento del sistema, tendrá que identificar y marcar los conjuntos auto-excluyentes; de esta manera se convierte en un elemento más del sistema, involucrado en la inferencia de la identificación taxonómique.

Podemos ver un ejemplo de estas agrupaciones en el siguiente ejemplo, donde un espécimen podrá ser Árbol, Arbusto o Matorral, pero nunca más de dos de estas caractéristiques à la vez.

- Groupe : *Biotipo*
  - o Subconjunto de características auto-excluyentes:

ÿ Arbol (fanerófito)

ÿ Arbusto (nanofanerofito)

ÿ Matorral bajo (caméfito)

Las características cualitativas pertenecientes a un grupo de exclusión pueden ser booleanas y aproximadas. A continuación vemos un nuevo elemento de determinación investigado.

#### **4.2.3.3.1. Características cualitativas autoëxcluyentes relacionadas approximativement**

En los conjuntos de auto-excluyentes podemos encontrar características relacionadas las cuales tienen una "frontera" en la que ambas cualidades podrían darse y el observador podría no estar seguro de elegir una u otra. Como por ejemplo la agrupación *Color de hojas* tiene dos características dentro del grupo de autoexclusión 22, concrètement *Color verde oscuro* y *Color verde claro*. La diferenciación en ocasiones de ambas características puede hacerse difícil ya que depende de la percepción del usuario.

Si pensamos en poder dar al usuario un modo de aproximarse a estas características aunque no tenga certeza de cuál de ellas escoger como respuesta. Podemos décrit les caractéristiques de la manière suivanteÿ:

- *Couleur verde oscuro* ÿ Extrêmement **muy** verde oscuro
- *Couleur verde claro* ÿ Extrêmement **poco** verde oscuro

Entre el range que construyen ambas descripciones el usuario puede utilizar el lenguaje natural para acercarse más al *poco* o al *muy*. De esta manera dejamos al usuario aproximarse a la característica que aprecia en mayor medida, sin necesidad de obligarle a elegir nítidamente una de ellas.

Al igual que en las características aproximadas no relacionadas que vimos anteriormente en el punto 4.2.3.2, este nuevo elemento descrito es útil en un sistema borroso de determinación taxonómica, pero carece de importancia en sistemas nítidosÿ; los cuales tomarán el acercamiento a una de las características como la respuesta booleana positiva *sí* (1) y para las características alejadas inferirá respuesta negativa *no* (0).

### **4.3. Représentation numérique de la langue scientifique**

Si observamos los elementos estudiados en los dos puntos inmediatamente anteriores, tras el análisis de la información, hemos asignado identificadores y valores numéricos a los elementos detectados como útiles para un sistema de determinación taxonómica.

El conjunto de elementos que hemos obtenido y la posterior representación desarrollada para cada elemento; nos ha permitido, partiendo de un lenguaje científico (botánico) exprimé en lenguaje natural, obtener una representación numérica del mismo.

### **4.4. Représentation de conocimiento**

#### **4.4.1. Système adaptatif**

Para asegurar la utilidad en el tiempo del sistema, se establece como required diseñar la alimentación de conocimiento de tal manera, que sea posible la modificación de datos ya introducidos y la inserción de nuevo conocimiento sin necesidad de modificar el código programático.

El sistema necesita una primera alimentación de conocimiento básico, que actualmente se ha trabajado con un experto botánico. Las ventajas que ofrece la adaptabilidad es que este conocimiento no solo podría ser incrementado por un único experto en propia distribución de software, si no que podría intercambiar su información con otros expertos y convertirse en una retroalimentación continua de conocimiento, pudiendo alcanzar una base de información sólida y de gran completitud. En el futuro se podría diseñar un procedimiento de inserción y comprobación de los datos introducidos por los distintos expertos en una aplicación web, y ofrecer descargas de actualizaciones periódicas de dicho conocimiento, el cual se actualizaría automáticamente en la distribución personal de cada usuario.

L'information contenue dans les tablas est, sera traduite dans un document XML comme se verá plus adelante. Initialmente, l'étude a réalisé une représentation jerárquica type XML pour l'introduction de données par partie de l'expert. Pero tras la toma requisitos con el experto botánico, se desestimó ya que los usuarios habituales pueden no estar familiarizados con este tipo de representaciones.

El sistema debe de adaptar tanto su visualización como su lógica interna a cada nueva incorporación que se realice. Se actualizará la gráfica interface para ser capaz de mostrar la information al usuario, todas las relaciones implicadas en las nuevas

incorporations. L'évaluation de las premisas tendrá también que incluir esta información así como las reglas de inferencia que obtengan el conjunto solución final.

Esta adaptabilidad sin límites, podría evolucionar de tal manera que permitiera generalizar las características para que el sistema pudiera funcionar como un 'determinador universal'. Es decir, el sistema permitiría como entrada cualquier problemática de determinación (plantas, coches, animales...) y, tras la generalización de las reglas de inferencia, conseguiría establecer un conjunto de solución.

#### **4.4.2. Introduction de données**

El objetivo de un sistema adaptativo es permitir al usuario introducir modificaciones y novedades al programa de forma autónoma. Es necesario ofrecer al usuario la representación de la información y los mecanismos necesarios para aumentar el conocimiento del mismo.

Tras realizar un análisis de requisitos con el experto botánico, determinamos el uso de una hoja de cálculo como herramienta inicial de introducción de datos, medio conocido para los usuarios finales. Una futura evolución del sistema podría incluir un asistente gráfico estructurado para proceder a la correcta inserción de la información de una forma más controlada. El método adoptado actualmente no ha supuesto complicaciones reseñables, si bien sería recomendable evolucionar al asistente comentado.

La estructura de la tabla es compleja, esta complejidad bien motivada por tener que contener todos los elementos que intervienen en el conocimiento que hemos comentado.

##### **4.4.2.1. Flore (Taxones)**

En primer lugar disponemos de una lista de taxones, pertenecientes a la Flora Ibérica, que debemos estructurar. Como hemos visto esta estructura se realiza utilizando el tipo de taxón y jerarquizando posteriormente los taxones hijos de cada elemento.

Utilizaremos el siguiente ejemplo reflejado en la  
para explicar la representación elegida.

## Chapitre 4. Détermination taxonomique. Consentement

**Tabla 4-4 Exemple d'estructuración de taxones.**

<b>TIPO DE TAXÓN</b>	12	33	2	33	333	3	344	123								
Numéro de famille	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2 2 2	
Numéro de générique	0	1		1	1	4	4	4	4	4	4	4	0	8	8	
Numéro d'espèce	0	0	2	1	0	1	15	10	9	14	13	12	13	13	0	22

Los taxones se disponen en columnas, como vemos en el ejemplo, introduciendo ordenadamente familia (verde), género (amarillo), especie (couleur du péché), subespecie (azul).

Los tipos de taxón contemplados en el sistema son los reseñados en la Figura 4-6. A cada uno de los tipos estudiados se le ha asignado un identificador numérico, este identificador es el que podemos ver en la primera fila. De esta manera observamos en la Tabla 4-4 dos familias PINACEAE y CUPRESACEAE con valor 1, y tres géneros *Abies*, *Pinus* y *Tetraclinis* con valor 2.

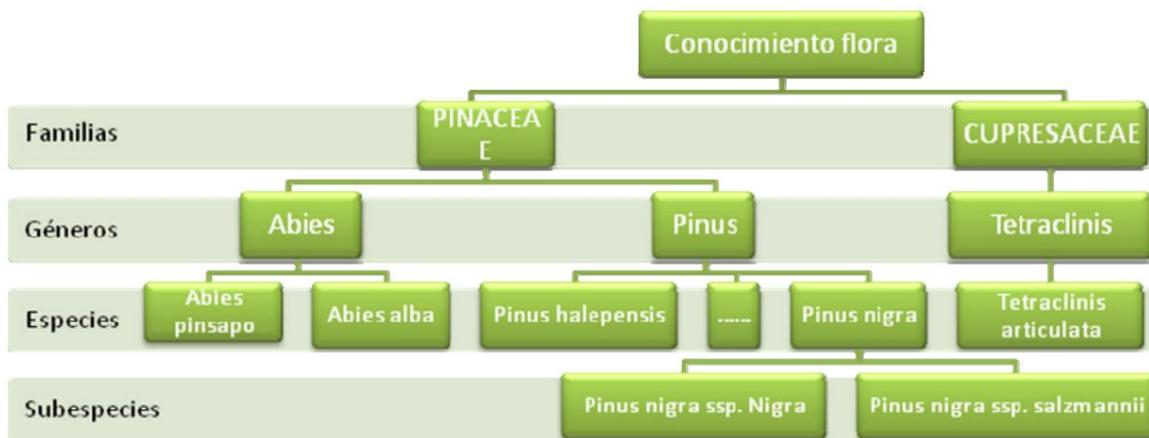
**Figure 4-6. Tipos de taxon.**

Las siguientes 3 filas, número de familia género y especie, representan la relación jerárquica de los taxones mediante la utilización de las reglas recogidas en la

**Tableau 4-5.** Estas reglas no son más que asignar un identificador a cada taxón (excepto subespecies), y utilizar dicho identificador para relacionar los elementos hijos en cada caso particular. La Figura 4-7 muestra a modo de gráfico jerárquico las asociaciones establecidas por los identificadores al representar la estructura.

**Tableau 4-5. Reglas a utilizar para establecer la relación jerárquica de taxones.**

	Famille	Générique	Espèce	Sous-espèce
Numéro de famille	Identifiant de la famille F <sub>i</sub>	Identifiant de la familia F <sub>j</sub> a la que pertenece el género G <sub>j</sub>	Identifiant de la famille F <sub>k</sub> a la que pertenece el género G <sub>k</sub>	Identifiant de la familia F <sub>m</sub> a la que pertenece el género G <sub>m</sub>
Numéro de générique	N/A, valeur 0	Identifiant propio del género G <sub>j</sub>	Identifiant de la género G <sub>k</sub> al que pertenece la especie E <sub>k</sub>	Identificador del género G <sub>m</sub> al que pertenece la especie E <sub>m</sub>
Numéro d'espèce	N/A, valeur 0	N/A, valeur 0	Identifiant de l'espèce E <sub>k</sub>	Identifiant de l'espèce E <sub>m</sub> a la que appartient la subespecie S <sub>Em</sub>

**Figure 4-7. Jerarquía representada en el ejemplo de la Características**

La représentation de las características décrit cada uno de los elementos del conocimiento que se detectaron en la primera fase del estudio.

### Agrupaciones de caractéristiques

Las características utilizarán dos columnas, una primera columna para la agrupación y una segunda columna para la lista de características que componen la agrupación.

**Tableau 4-6. Ejemplo de estructuración de agrupaciones.**

	Caractéristiques
Plante	
	Leñosa
	Herbacea
Forme de la Coupe	
	Coupe conique ou pyramidale
	Coupe redondeada
	Copa aparsolada, densa.
	Coupe irrégulièr

## Chapitre 4. Détermination taxonomique. Consentement

**Agrupaciones ocultas**

Las agrupaciones ocultas son aquellas que dependen de que el usuario evalúe positivamente una característica a la que se asocia la agrupación, como ya comentamos en el punto 4.2.1. La representación de esta cualidad se realiza por medio de un identificador que representa la asociación entre la característica y la agrupación o agrupaciones ocultas. Recordemos que una misma característica puede estar asociada a más de una agrupación. Este identificador se recoge en una nueva columna *Agrupaciones ocultas* en la cual se registre el identificador de la asociación junto al número de la característica y repetido junto al número de cada una de las agrupaciones que están asociadas a la misma.

Observando el ejemplo de la Tabla 4-7 vemos como la característica *Leñosa* tiene el identificador 2 de asociación con preguntas ocultas ya que su vez la agrupación *Biotipo* tiene dicho identificador. Es decir, solo cuando el usuario evalúe positivamente la característica leñosa se le mostrará al usuario la agrupación Biotipo. Del mismo modo la característica *Árbol (fanerófito)* tiene el identificador 1 que asocia dos agrupaciones ocultas *Forma de la Copa y Tronco*

**Tableau 4-7. Ejemplo de agrupaciones ocultas.**

		Caractéristiques		
6		Características de la planta a determinar, cualitativas y cuantitativas		
7	Plante	8		
		Leñosa	2	
9		Herbacea		
10	Biotipo		2	
12	Árbol (fanerófito)	11	1	
		Arbusto (nanofanerófito)		
13		Matorral bajo (caméfito)		
14		Hauteur (m)		
15			Max	
16	Forme de la Coupe	17		1
18	19	Coupe conique ou pyramidale		
		Coupe redondeada		
		Copa aparsolada, densa.		
20		Coupe irrégulière		
26	Tronco		1	
27	Tronco	profondément hendidio		
28	Tronco	sólo ramificado en la parte supérieure		
29		Tronc de couleur pardo rojizo		
30		Tronc tortuoso		
31		Tronc recto		

### Relaciones entre las caractéristiques et les taxons

Las relaciones que describimos anteriormente  $R_{xx}(T_x, C_x)$ , se representan en una tabla, las columnas corresponden a los diferentes taxones y las filas a las características.

En las siguientes dos tablas Tabla 4-8 y Tabla 4-9, podemos ver esquemáticamente la estructura para características cualitativas y cuantitativas respectivamente.

**Tableau 4-8. Representación gráfica de las relaciones para características cualitativas.**

	T1	T2	T3	T4
C1	R11	R12	R13	R14
C2	R21	R22	R23	R24
C3	R31	R32	R33	R34
C4	R41	R42	R43	R44

**Tableau 4-9. Representación gráfica de las relaciones para características cuantitativas.**

	T1	T2	T3	T4
C1	R11	R12	R13	R14
L1	R21	R22	R23	R24
C2	R31	R32	R33	R34
L2	R41	R42	R43	R44
L3	R51	R52	R53	R54
L4				
L5				

Los campos con las relaciones  $R_{ij}$ , podrán estar vacíos considerándose ausencia de información. Si contienen valores estos serán numéricos. Las características cuantitativas

se evaluarán según vimos en la Tabla 4-3 con un valor entre (-1, 0, 1, 2 y 3), mientras que las cuantitativas tendrán un valor numérico mayor que 0, asociado a los límites establecidos. La Tabla 4-9 vista anteriormente describirá los límites  $L_x$  asociados a caractéristiques quantitatives.

A continuación veremos más detalladamente cada uno de los tipos de características junto con ejemplos concretos de cada casuística.

#### Caractéristiques quantitatives

Como vimos en el apartado anterior, las características cuantitativas tienen como atributos los límites utilizados para describir los intervalos de conformidad de dichas

## Chapitre 4. Détermination taxonomique. Consentement

características. Plus tôt 6 valeurs possibles (Max, MaxInt, Min, MinInt, Med, ES). Los límites posibles asociados a una característica cuantitativa se recogerán en una nueva columna junto a la misma (*Tipo dato Cuantitativo*).

Adicionalmente para mayor facilidad, se presentará una nueva columna que marca las características cuantitativas ("c" cuantitativa, "s" cualitativa) con el fin de distinguirlas y realizar

Observando el ejemplo de la Tabla 4-10, tenemos tres características cuantitativas (marcadas en la primera columna con una "c"), dos de ellas *Anchura de las hojas (mm)* y *Número de canales resiníferos* tienen como posibles límites Max y Min, mientras que *Longitud de las hojas (mm)* dispone de tres límites.

**Tableau 4-10. Exemple de caractéristiques.**

## **Caractéristiques qualitatives**

Observando la estructura genérica descrita en la Tabla 4-8 y el ejemplo concreto de la Tabla 4-10, encontramos características cualitativas y cada una de sus relaciones con los taxones seleccionados. El ejemplo presenta una única familia PINACEAE, y una de sus familias *Pinus* con valores (-1, 0, 1, 2 y 3) asignados a las relaciones.

### Características cualitativas booleanas

Las características booleanas por ser las más básicas, en lo que un complejidad de respuestas se refiere, serán identificadas por la ausencia de marca. Son todas aquellas características cualitativas que no dispongan de marca en la columna *Aproximadas*. En los sistemas nítidos que estudiaremos, todas las características cualitativas se comportan como booleanas. La diferenciación es por tanto útil para sistemas de determinación que utilizan lógica borrosa ya que, como veremos, permiten al usuario evaluar las características con cierta aproximación.

### Características cualitativas aproximadas

Las características que se detecten como aproximadas serán marcadas en una nueva columna llamada *Aproximadas* con una s. Dans la Tabla 4-11 podemos observer la représentation de estos dos últimos elementos.

**Tableau 4-11. Ejemplo de características cualitativas booleanas y aproximadas.**

		Caractéristiques					
80	Yemas				s		
83		fusiformes					
86		con escamas recurvadas en la punta					
87		con escamas aplicadas					

### Caractéristiques auto-exclusives

Estas características forman conjuntos de auto-exclusión en los cuales solo una de las características puede ser observada simultáneamente para un espécimen concreto. Para representar estos conjuntos se ha creado un identificador de conjunto de auto exclusión que enlaza todas aquellas características que pertenecen al grupo. En la tabla se representa en una nueva columna en la cual se coloca el identificador del conjunto con cada una de las características incluidas en él. Podemos observar el ejemplo de la Tabla 4-12, el grupo de auto-exclusión número 7 contiene cuatro características.

**Tableau 4-12. Ejemplo características auto-excluyentes.**

### **Características auto-excluyentes relacionadas aproximadas**

Para representar estas características, asociaremos un identificador a la relación aproximada existente entre ellas, este identificador le situamos en la columna *Aproximadas* ya existe.

Las relaciones detectadas pueden tener dos o más elementos en el conjunto de características. Si recuperamos el ejemplo que vimos de la agrupación Yema, si tuviéramos una nueva característica *Color verde entre claro y oscuro*, tendríamos un grado intermedio. La posibilidad de encontrar este tipo de relaciones existe aunque dado el limitado conjunto de características estudiado, no se ha encontrado ningún ejemplo real concreto.

- Couleur verde oscuro ѕ Extrêmement **muy** verde oscuro
  - Couleur verte entre claro y oscuro ѕ **Medianamente** verde oscuro
  - Couleur verde claro ѕ Extremadamente **poco** verde oscuro

Para representar la graduación entre las características de la relación es necesario definir una ordenación de estas características, en la Tabla 4-13 podemos observar como el grupo de auto-excluyentes número 18, tiene dos características que pertenecen

a un conjunto de relación de aproximadas número 3. El orden descrito para estas características conlleva a la siguiente descripción:

- Ordre 2<sup>o</sup>: *obtus*      ÿ Extrêmement **muy** obtusas
- Orden 1: *agudas* ÿ Extremadamente **poco** obtusas

Mientras que el descrito para la relación de aproximadas 4 es:

- Ordre 2<sup>o</sup>: *résineuses*      ÿ Extrêmement **muy** resinosas
- Orden 1: *no resinosas* ÿ Extremadamente **poco** resinosas

**Tableau 4-13. Ejemplo de características auto-excluyentes relacionadas aproximadas**

				Caractéristiques							
80	<b>Yemas</b>										
81		Agudas						18	3	1	
82		obtusas						18	3	2	
83		fusiformes						s		s	
84		résineux						19	4	2	
85		pas de résineux						19	4	1	
86		con escamas recurvadas en la punta con						20			
87		escamas aplicadas						20			

#### 4.4.3. Traducción a metalenguaje estructurado, XML

La herramienta que utiliza el botánico experto, para introducir nuevo conocimiento al sistema, es una tabla Excel a fin de facilitar la tarea al usuario y la adaptación a nuevos sistemas informáticos. Aún así, el sistema no utiliza directamente el Excel para la operativa que realiza. En una primera estancia y siempre que el usuario lo desea, el sistema carga la información de la tabla para transformarla a XML, gracias a los esquemas correspondientes que describen la estructura del conocimiento. De cette façon, l'information queda almacenada dans un référentiel de XMLs. El objetivo es tener una representación final de la información bajo este estándar de intercambio estructurado de datos, que nos permitirá mayor flexibilidad a la hora de evolucionar el sistema, comunicarle con otros sistemas ya fin de divulgar el conocimiento. Dans l'annexe 3. Description des exemples XML.

Representación del conocimiento, se décrit los esquemas XML diseñados.



## Chapitre 5

### **Sistema inteligente nítido de determinación taxonómica**

La representación del conocimiento descrita en el capítulo anterior, no permite confeccionar diferentes sistemas que utilicen los elementos detectados y categorizados, a raíz del estudio de las relaciones entre taxones y características. Como base para la evolución a sistemas inteligentes de determinación, se establece un sistema nítido de determinación taxonómica, capaz de utilizar los elementos nítidos del conocimiento e inferir una solución lo más adecuada posible a la descripción proporcionada por el usuario. Esta solución se llevará a cabo por medio de algoritmos simples que describiremos, de los cuales obtendremos no una única solución, si no el conjunto de posibles taxones que más se asemejan a las observaciones del usuario. Esta lista de taxones tendrá una ordenación priorizada, atendiendo al valor que hayan obtenido en la evaluación realizada (en función de los algoritmos empleados).

#### **5.1. Sélection de réponses**

El sistema presenta una lista de agrupaciones con sus correspondientes características, de tal manera que el usuario pueda evaluar cada una de ellas independientemente. El orden en el que se realiza esta evaluación no es prefijado por el sistema, es el propio usuario el que va escogiendo la siguiente característica a evaluar, pudiendo incluso rectificar juicios ya seleccionados en características previamente evaluadas. Los requisitos esquematizados que deben cumplir cualquiera de nuestros sistemas son los siguientes:

## Chapitre 5. Sistema inteligente nítido de determinación taxonómica

- **REQ1.** Elegir la siguiente característica a observer
  - o **REQ1.1.** Seleccionar una respuesta tras evaluar la característica
  - o **REQ1.2.** No seleccionar ninguna respuesta tras evaluar la característica, es posible que no conozca con certeza la respuesta.
- **REQ2.** Rectificar respuestas ya emitidas.
- **REQ3.** Eliminar una respuesta dada con anterioridad.

Si pensamos en los métodos dicotómicos clásicos los cuales obligan al usuario a seguir una consecución fija de observaciones cuya respuesta es obligatoria, o de lo contrario la determinación no puede continuar. Los sistemas de determinación que estudiaremos tanto nítidos como borrosos, cumplen los requisitos que acabamos de enumerar, presentando una ventaja clara sobre los métodos clásicos.

El modo en el que el sistema permite introducir o seleccionar las respuestas depende del tipo de característica que se quiera enjuiciar.

#### Caractéristiques quantitatives

Estas características medibles resultan las más sencillas a tratar por el sistema, ya que requiere únicamente que el usuario introduzca el valor medido numéricamente en el espécimen de estudio. El sistema para cumplir con los requisitos, debe allowir al usuario la no selección de respuestas, así como la eliminación de una respuesta deseleccionando la característica.

Dans la figure 5-1, des exemples verront une mise en oeuvre possible dans un système de détermination.



**Figure 5-1. Ejemplo de selección de respuesta a una característica cualitativa.**

#### Caractéristiques qualitatives

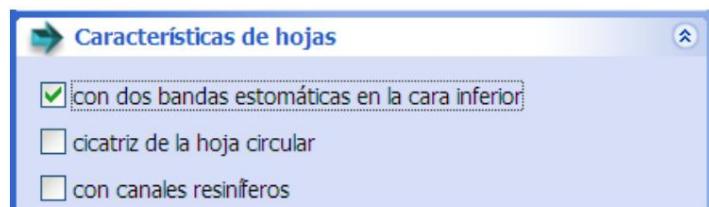
Las características no medibles o cualitativas en los sistemas nítidos son tratadas como características booleanas en todos los casos, es decir, las características con atributo

aproximadas se comportan exactamente igual que las booleanas sin aportar información  
En plus.

Estudiando el modo en el que el usuario puede emitir su respuesta, encontramos dos posibilidades:

- El usuario simplemente selecciona o marca positivamente una característica cuando es observada como tal en el espécimen. Si el usuario no es capaz de evaluar la característica o la evalúa negativamente, entonces esta aparecería deseleccionada. Dans le tableau 5-1, plusieurs exemples de situations et de représentations correspondantes dans une mise en œuvre possible du système dans la figure 5-2.

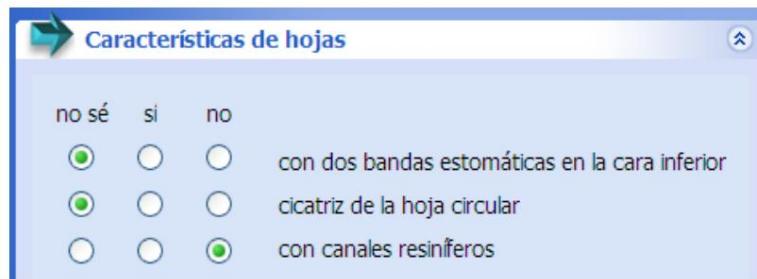
**Tableau 5-1. Caractéristiques non unificadas.**



**Figure 5-2. Exemple de sélection de caractéristiques qualitatives.**

- La segunda posibilidad es permitida al usuario para todas las características que puede responder positivamente o negativamente, si lejos de la mar, una cada una de ellas. Es decir, el usuario tiene tres opciones, *sí*, *no*, *no sé*. Como vemos en el ejemplo de la Figura 5-3. La ventaja de esta opción es que es posible extraer información de las preguntas negativas y diferenciar cuando el usuario no conoce la respuesta frente a cuando la respuesta es negativa. Esta situación no es posible en la anterior aproximación, ya que la ausencia de marca puede significar ambas cosas.

## Chapitre 5. Sistema inteligente nítido de determinación taxonómica



**Figure 5-3. Ejemplo de selección sí, no, no sé de características cualitativas.**

Si recordamos los posibles valores de las características cualitativas, estos podían ser (-1, 0, 1, 2, 3), la definición del valor -1 indicaba *No es posible*. *Ce taxón quedaría rechazado si se da la característica*. Pour autant, si tenemos un taxón que tiene valor -1 para la característica evaluada  $R_{xy}$  ( $T_x, C_y$ ) == -1, sabemos que esa característica nunca podrá darse en ese taxón. Si permitimos al usuario introducir la respuesta *no*, podemos extraer información adicional para la evaluación de la regla de ese taxón, ya que la respuesta negativa concuerda con lo que sabemos de esa relación. La relación tiene valor -1 porque nunca se puede dar, y el usuario ha evaluado negativamente esa característica, por lo tanto se convierte en una premisa con información que puede ayudarnos a inferir la determinación con un grado superior de confianza al tener un mayor número de premisas evaluadas.

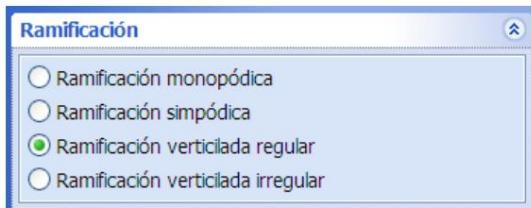
### Caractéristiques auto-exclusives

Estos conjuntos se caracterizan en que no pueden ser observadas simultáneamente dos características del conjunto en un espécimen de estudio. La consecuencia lógica de esta definición es que en el momento en el que el usuario responda positivamente a una de las características del conjunto, se infiere automáticamente una respuesta negativa del resto de características del conjunto.

El modo en el que el usuario émet la réponse vuelve a tener dos posibilidades como en el caso general anterior:

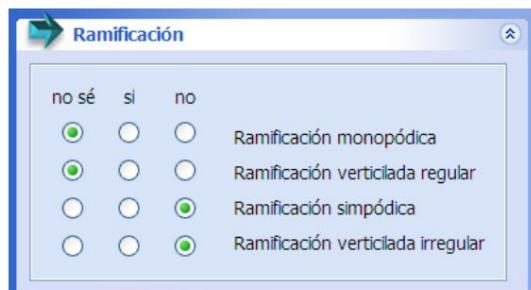
- El usuario únicamente puede seleccionar o deseleccionar una característica del conjunto. En el momento en el que realiza una selección, automáticamente el resto se convierten en no seleccionables, y su respuesta se infiere negativa. Por lo tanto si una característica del grupo está seleccionada, la no selección del resto (forzada por el sistema) implique una respuesta negativa y no desconocimiento como en el caso anterior. Sin embargo, la ausencia de selección positiva representa el desconocimiento sobre si alguna característica del conjunto es positiva, es decir, el usuario no es capaz de emitir un juicio positivo sobre

ninguno de los elementos del grupo de auto-exclusión. Podemos ver une mise en œuvre possible dans la figure 5-4



**Figure 5-4. Exemple d'un groupe d'auto-exclusion, solo d'une sélection possible.**

- De la misma manera que describimos para características cualitativas, en los grupos de auto-exclusión también existe la posibilidad de que el usuario pueda formular su respuesta como *sí*, *no*, *no sé*. La casuística asociada sería la siguiente:
  - o Si el usuario realiza una respuesta positiva sobre alguna de las características del grupo, entonces el resto de elementos del conjunto automáticamente reciben respuesta negativa.
  - o Si el usuario no puede dar con certeza ninguna respuesta positiva puede ser por dos motivos. En primer lugar puede no conocer información de ninguna de las características, por lo que su respuesta final sería *no sé* para todas ellas. Existe una segunda posibilidad y es que aunque no pueda emitir respuesta positiva, si pueda apreciar una o varias respuestas negativas. En ningún caso una respuesta negativa infiere resultados para el resto de características. En el ejemplo de la Figura 5-5 podemos ver esta casuística representada en une mise en œuvre possible.



**Figure 5-5. Ejemplo de un grupo de auto-exclusion con selección *sí*, *no*, *no sé*.**

## 5.2. Inférence nítida

Toda relación entre una característica y un taxón implique que dicha característica pasa a ser una premisa a evaluar en la regla de inferencia que describe al taxón involucrado.

Dans la tabla de relaciones del capítulo anterior, vimos como estas relaciones tienen un valor asignado dependiendo del tipo de característica implicado, e incluso es posible marcar relaciones como desconocidas o ausencia de relación.

El procesamiento de la información contiene en el conocimiento, nos proporciona las premisas de inferencia nítida. Los distintos algoritmos (reglas) nítidos, utilizarán estas premisas para inferir el grado de determinación de cada taxón, de entre el conjunto de posibles taxones que componen la solución.

### 5.2.1. Premisas a evaluar y valor a asignar a dicha evaluación

La continua selección de respuestas por parte del usuario proporciona los valores de las premisas a evaluar en cada regla. A continuación, evaluaremos la interpretación de cada tipo de característica con sus posibles premisas y el tratamiento e inferencia de los valores. Estos valores, serán finalmente utilizados para el cálculo del grado de determinación de cada posible taxón.

#### Caractéristiques quantitatives

Tenemos una relación Rxy (Tx, Cy) entre un taxón y una característica, donde Cy es una característica cuantitativa descrita por una lista de límites [Ln], y la relación con el taxón Tx se compone de una lista de pares límite, valor [ (Ln, Vn) ]. Los intervalos que forman estos límites tendrán un grado de importancia a la hora de evaluar la premisa correspondiente en un sistema nítido. El grado asignado se lleva a cabo utilizando el baremo de las características cualitativas. Recordamos de nuevo la Tabla 4-3 en la

nueva Tabla 5-2 para mayor facilidad.

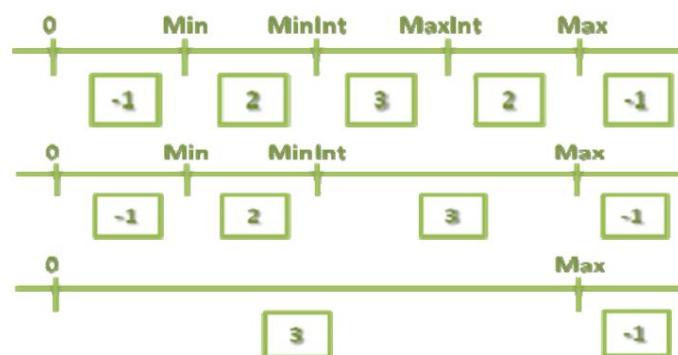
**Tableau 5-2. Conjunto completo de posibilidades asociadas a una relación Rxx(Tx, Cx) para una característica cualitativa.**

-1	Non, c'est possible. Ese taxón quedaría rechazado si se da la característica
0	Aucune information sur le foin
1	En occasions se da. Es posible, aunque no muy frecuente
2	Souvent, normalmente.
3	Siempre se da.

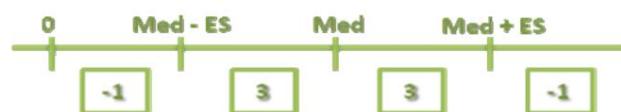
El objetivo es definir una equivalencia entre los intervalos fijados por los límites de las relaciones y el baremo de posibilidad descrito. En primer lugar destacar que no todas las características ni todas las relaciones tienen todos los límites informados en el Conocimiento. Por lo tanto es necesario definir el valor de cada intervalo entre límites

suponiendo que pueden faltar algunos de ellos. Tenemos dos posibles grupo de límites (Min, MinInt, MaxInt, Max) y (Med, ES), estudiemos el primero de ellos. Si la caractéristique y en concreto la relación con el taxón tiene todos los límites posibles, se establece como intervalo más probable el comprendido entre [MinInt, MaxInt], como la posibilidad más fuerte en el baremo es 3, asignamos este valor al intervalo. La premisa que hemos establecido es que si el resultado evaluado por el usuario resident in ese intervalo, tiene una posibilidad de grado 3 para ese taxón ya que es el intervalo más frecuente.

Si observamos el resto de intervalos, podemos ver que todos los valores que no estén comprendidos entre los límites inferirán un valor -1 para la premisa, dado que no corresponde a lo establecido por la relación. Los intervalos más alejados del núcleo central, tendrán como baremo 2, ya que ese trata de un caso frecuente pero no es el etiquetado como intervalo frecuente. La figure 5-6 muestra esta situación. Si observamos el resto de imágenes, veremos cómo los intervalos se fijan en función de los límites de los que disponemos, y siempre podemos identificar un intervalo más frecuente que será el que tenga valor 3. En la Figura 5-7, podemos ver la equivalencia en el grupo (ES, med).



**Figure 5-6. Valores inferidos en intervalos delimitados por límites (Min, MinInt, MaxInt, Max) para una relación Rxx(Tx, Cx). Tres ejemplos (en este orden) con todos los límites, sin un límite, solo con un límite.**



**Figure 5-7 .Valores inferidos en intervalos delimitados por límites (Med, ES).**

#### Caractéristiques qualitatives

Si una característica cualitativa tiene relación positiva con un taxón determinado, esta premisa se convierte en elemento de la regla de inferencia del taxón. Los posibles valores positivos (ver Tabla 5-2) fils 1, 2 et 3. Estos valores serán los que utilice el

## Chapitre 5. Sistema inteligente nítido de determinación taxonómica

---

algoritmo escogido para obtener el grado de determinación. Si la relación tiene valor 0 o no tiene valor, la premisa no participa en la regla, ya que no se dispone de información. El valor -1 representa una premisa excluyente, el modo de utilizar esta premisa ya ha sido comentado con anterioridad; si el usuario selecciona una característica con valor -1 en la relación con un taxón, el taxón se elimina automáticamente del conjunto solución.

Esta inferencia que acabamos de describir se realiza con características que han sido seleccionadas con respuestas positivas. Como vimos en el punto 5.1, existe una primera posibilidad en la cual los algoritmos únicamente utilizan como premisas características con respuesta positiva, el usuario o responde positivamente o no responde nada, no tiene la opción de respuesta negativa.

La relation  $Rij(Ti, Cj)$  est évaluée:

- $Vij == -1$  ÿ Premisa excluyente, el taxón se elimina automáticamente de la solution.
- $Vij == 0$  ÿ Sin information. La caractéristique n'est pas une prémissé.
- $Vij == 1, 2 ou 3$  ÿ Premisa positiva. El valor será el utilizado en la evaluación de la premisa en las reglas.

Si contemplamos la segunda posibilidad en la que el usuario tiene la opción de responder *sí, no, no sé* además de la información que acabamos de concluir para respuestas positivas, tenemos nueva información que podemos modelar. Si el usuario ha respondido negativamente a la característica  $Cj$  (no se da la característica  $Cj$  en el espécimen), para toda relación  $Rij(Ti, Cj)$  entre cualquier taxón  $Ti$  y la característica  $Cj$ ; si el valor de dicha relación es -1, la característica se convierte en premisa positiva, ya que para ese taxón esa característica nunca se da (concuerda con lo observado por el usuario). Au contraire si la relation se évalue avec la valeur positive 3, pasará a ser premisa excluyente evaluada con valor -1, ya que para ese taxón la característica se tiene que dar siempre y el usuario ha emitido una respuesta negativa que indica que no se da en el especimen de estudio.

La relation  $Rij(Ti, Cj)$  est évaluée:

- $Vij == -1$  ÿ Premisa que se convierte en positiva. Nunca se da la característica, el usuario la observa negativa. Se evalua en la regla con el grado máximo 3.
- $Vij == 0$  ÿ Sin information. La caractéristique n'est pas une prémissé.

- $V_{ij} == 1$  → Premisa positiva. No es frecuente que se dé, por lo tanto si el usuario ha respondido negativamente, se está cumpliendo la premisa en un grado alto (aunque menor que el anterior). L'évaluation en la regla se realiza con grado 2.
- $V_{ij} == 2$  → Premisa positiva. Frecuentemente se da, pero es posible que no se dé, por lo tanto se está cumpliendo la premisa pero con un grado mucho menor. Se evalua la regla con grado 1.
- $V_{ij} == 3$  → Premisa excluyente. Se tiene que dar siempre, el usuario ha emitido una respuesta negativa. Se evalua la regla con grado -1. El taxón se elimina automáticamente de la solución.

### Características cuualitativas auto-excluyentes

El comportamiento de la primera posibilidad es equivalente en las respuestas auto excluyentes, aquellas características que hayan sido seleccionadas son las que participan como premisas en las reglas. El valor de la relación se convierte en la evaluación de la premisa tal y como hemos visto.

La deuxième position ne s'applique pas directement aux caractéristiques auto-exclusives, veamos un ejemplo para ilustrar el problema en la Tabla 5-3. En la primera réponse l'usager nos indica que observe la caractéristique C1, la relación con el taxón tiene valor máximo 3, por lo que se evaluará una premisa con valor 3. En la segunda respuesta, si aplicamos directamente las reglas vistas anteriormente, al tener un "no" en dos premisas que el taxón tiene valoradas con -1, tendríamos que evaluar la premisa con un 3, grado máximo. Es decir, que estaríamos obteniendo dos premisas con grado máximo 3. Si comparamos ambos casos, vemos que la inferencia en el segundo caso va a ser siempre mayor que la del primer caso y es un error. La réponse 2 est proporcionando une posibilidad alta de que se dé C1 pero siempre menor que la réponse 1, ya que en esta respuesta es seguro que se da C1.

**Tableau 5-3. Ejemplo baremos características auto-excluyentes con respuestas negativas.**

	Ti	Réponse 1	Réponse 2
C1	3	si => 3	-
C2	-1	-	-
C3	-1	-	non => 3
C4	-1	-	non => 3
	1 premisa valor 3	2 premisas valor 3	Évaluation

Sin embargo, la información que nos proporciona émetir une réponse négative puede ser aprovechada realizando un modelo diferente. Tenemos un conjunto de autoexclusión, si existe un número mayor que 0 de características con respuesta negativa, cuyo valor en la relación con el taxón es para todas -1, podemos inferir cierto grado de posibilidad para que se cumpla la característica C1. Obtenemos una premisa con un único valor, cuya evaluación se realiza en función del porcentaje de variables auto-excluyentes, con valor -1 en la relación, respondidas negativamente del mismo grupo al que pertenece. Hay muchas posibilidades para baremar estos porcentajes como evaluaciones de la premisa. En un posterior estudio, se podrían implementar algunas de estas posibilidades y estudiar los resultados obtenidos para determinar la más adecuada.

### 5.2.2. Ejecución de reglas

Si tenemos un sistema con cinco características de las cuales el usuario ha evaluado 2 Positivamente y 3 desconocidas, tenemos la suite información contenida en la Tabla 5-4, donde el valor 1 indica selección positiva y el valor 0 desconocido. Por otro lado, si nuestro conocimiento contiene tres taxones, con las consecuentes relaciones con nuestras cinco características (ver Tabla 5-5), conocemos el valor de estas relaciones y podemos reunir todas las premisas de la regla junto con su valor evaluado.

**Tableau 5-4. Ejemplo conjunto de características seleccionadas.**

	C1	C2	C3	C4	C5
Sélection positive	S1	S2	S3	S4	S5
Exemple 1010					

**Tableau 5-5. Matriz de valores para las relaciones.**

Rij	C1	C2	C3	C4	C5
T1	V11	V12 V13 V14 V15			
T2 V21		V22 V23 V24 V25			
T3 V31		V32 V33 V34 V35			

Para un taxón  $T_i$  su regla de inferencia tendrá como entrada el conjunto de sus premisas evaluadas seleccionadas  $[(C1 * S1), (C2 * S2), (C3 * S3), (C4 * S4), (C5 * S5)]$ . En el ejemplo, el conjunto de premisas sería  $(C1, C3)$  con valores  $[V_{i1}, V_{i3}]$ . Sobre estos conjuntos aplicamos los algoritmos y obtenemos el valor inferido de determinación para el taxón.

Para la segunda posibilidad plantada, la información proporcionada por el usuario sería por ejemplo la que ilustra la Tabla 5-6, como podemos ver para la característica C4 estamos obteniendo información extra respecto al ejemplo de la Tabla 5-4, en el

ejemplo anterior no existía información diferenciada entre les caractéristiques 2,4 et 5, mientras que en este caso se observa un resultado negativo para C4. El grado de inferencia de la solution se ve aumentado con esta nueva premisa. Para poder profundizar completamente en esta solución sería necesario resolver el problema de las características auto-excluyentes visto anteriormente. Aunque la estimación en porcentajes aporta mucha información, se pospone para un estudio posterior a fin de centrar el que ahora nos ocupa en la creation de sistemas de determinación taxonómica borrosos.

**Tableau 5-6. Ejemplo conjunto de características con respuestas sí, no, ni sé.**

	C1	C2	C3	C4	C5
Sélection positive S1	S2	S3	S4	S5	
Exemple	si	non	si		pas de rez

### 5.2.3. Algorithmes

Las reglas aplicadas en el sistema nítido no son más que algoritmos sencillos qu'interpretan el cálculo del grado de inferencia en la determinación, partiendo de las premisas evaluadas que vimos anteriormente.

Todo algoritmo nítido tiene como norma eliminar un taxón si alguna de sus premisas es evaluada como -1. Tras realizar este primer paso, se procede a calcular el grado de inferencia en función de las premisas evaluadas positivas (valores 1, 2 y/o 3).

- **Algoritmo Suma Valores**

Este algoritmo primeramente elimina aquellos taxones que contienen entre sus premisas alguna con evaluación -1. Procede entonces a sumar todas las premisas evaluadas con valores comprendidos en (1, 2, 3), tanto para características cualitativas, como para cuantitativas. Como vimos en el punto anterior, una característica cuantitativa se barema con los mismos grados qu'una cualitativa, atendiendo al intervalo en el que está comprendido el valor numérico introducido por el usuario al observar dicha característica.

La lista ordenada obtenida, se ordena por suma de valores máxima, es decir el que haya obtenido el mayor número se considera el primero de la lista de soluciones. Esta lista es el conjunto solución inferido

- **Algoritmo "Médallero"**

Cet algorithme, de la misma manera que el anterior, elimina en primera instancia aquellos taxones que contienen entre sus premisas alguna con evaluación -1. La

## Chapitre 5. Sistema inteligente nítido de determinación taxonómica

entrada del algoritmo es una lista de evaluaciones para cada premisa que toman valores 1, 2 y/o 3. En este caso en vez de proceder a la suma de estos baremos, el algoritmo cuenta para cada taxón, el número de premisas evaluadas con máximo grado 3, el número de grado 2 y el de grado 1. Una vez dispone de las tres cantidades para cada taxón no eliminado, los ordena primero por el mayor número de evaluaciones de grado 3. A igualdad de cantidad se procede a ordenar por el mayor número de grado 2 y finalmente si es necesario por el grado 1.

La lista ordenada obtenida (número de treses, número de doses, número de unos), es el conjunto solución inferido, ordenado por el que ha obtenido un grado de determinación mayor.

Podemos ver en la Figura 5-8 une mise en œuvre possible du système nítido avec las dos possibles soluciones derivadas del uso de ambos algoritmos.

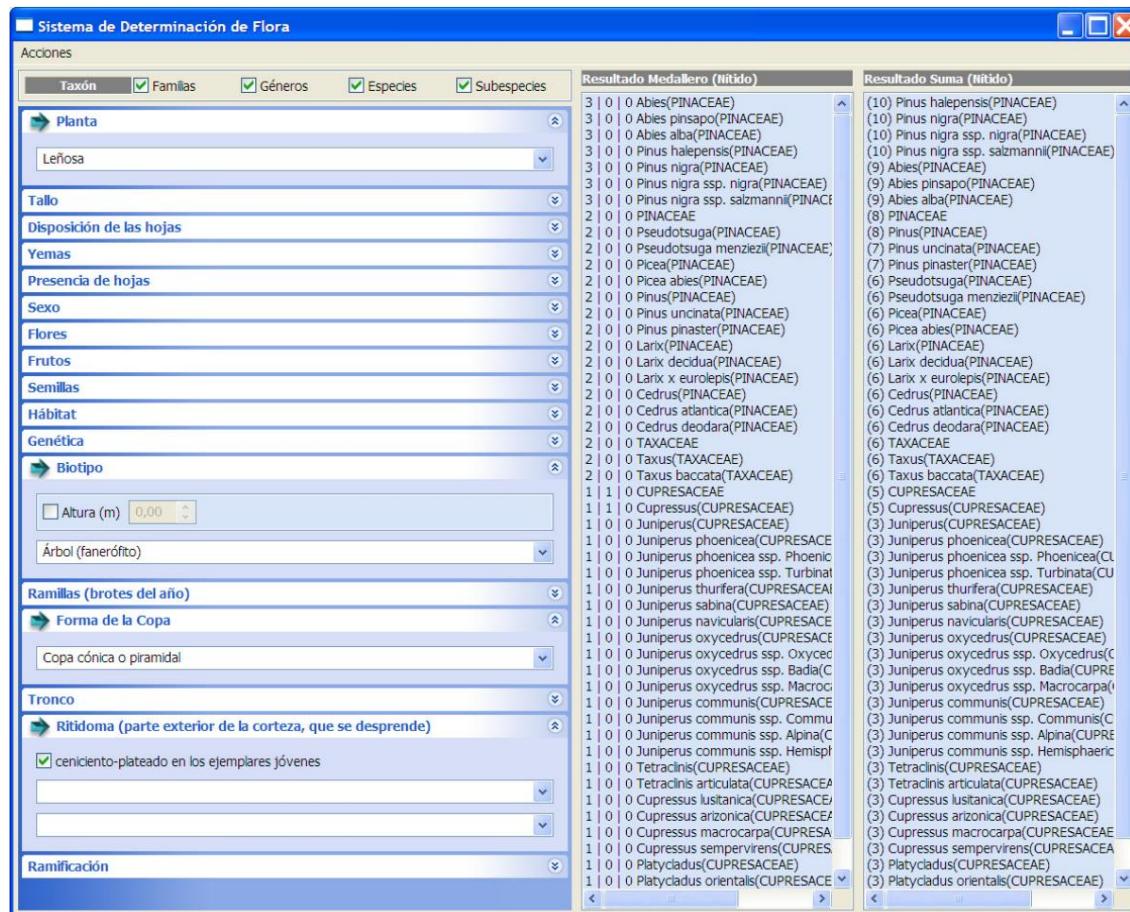


Figure 5-8. Exemple de visualisation dans une implémentation possible.

## Chapitre 6

### **Sistema inteligente borroso de determinación taxonómique**

En el capítulo anterior estudiamos las bases de un sistema nítido que utiliza la base de conocimiento diseñada en el Capítulo 4. En el estudio del sistema se han identificado los distintos tipos de características como premisas, el modo de evaluación de estas premisas se ha modelado en función de los valores hallados en las relaciones entre taxones y características. Así mismo se han diseñado reglas para cada posible taxón del conocimiento que, gracias a la evaluación de las premisas, son capaces de inferir un grado de determinación taxonómica para cada taxón. El conjunto de taxones ordenados con su correspondiente baremo, forman el conjunto solución. Este conjunto permite al usuario evaluar la mejor solución, en vez de que sea el propio sistema el que proporciona una solución única. Si bien siempre podemos decir que la solution con mayor grado es la más óptimas de las evaluadas por el sistema.

Si recapitulamos sobre lo aprendido en el sistema nítido, tenemos premisas, reglas, operadores e inferencia, es decir, tenemos identificados los elementos bases de un sistema borroso. La primera labor que llevaremos a cabo en este capítulo, es proporcionar herramientas extra que flexibilicen las posibles respuestas que puede emission el usuario, utilizando razonamiento aproximado. Identificaremos el conjunto de características con sus etiquetas lingüísticas modeladas mediante conjuntos borrosos, diseñaremos sus funciones de pertenencia (utilizando la herramienta Xfuzzy para su modelado) y finalmente realizaremos la inferencia borrosa por medio de las reglas construidas.

## Chapitre 6. Sistema inteligente borroso de determinación taxonómica

---

Los requisitos definidos para sistemas nítidos se aplicarán de la misma manera, el sistema deberá permitir al usuario:

- **REQ1.** Elegir la siguiente característica a observer
  - o **REQ1.1.** Seleccionar una respuesta tras evaluar la característica
  - o **REQ1.2.** No seleccionar ninguna respuesta tras evaluar la característica, es posible que no conozca con certeza la respuesta.
- **REQ2.** Rectificar respuestas ya emitidas.
- **REQ3.** Eliminar una respuesta dada con anterioridad.

### 6.1. Caractéristiques

#### 6.1.1. Caractéristiques Cuantitativas

Las características medibles numéricamente, llamadas cuantitativas, están determinadas por unos límites establecidos, como vimos en la representación del conocimiento (recuperamos la representación de los mismos en la Tabla 6-1). El modo de selección del resultado, estudiado en los sistemas nítidos, será el mismo que proporcionaremos en el sistema borroso al usuario; el cual permite al usuario introducir un valor numérico y seleccionar o deseleccionar la característica si desea evaluar o eliminar su respuesta respectivamente.

**Tableau 6-1. Representación gráfica de las relaciones para características cuantitativas.**

		T1	T2	T3	T4
C1		R11	R12	R13	R14
	L1	R21	R22	R23	R24
	L2	R31	R32	R33	R34
C2		R41	R42	R43	R44
	L3	R51	R52	R53	R54
	L4				
	L5				

Toda relación existente entre un taxón y una característica numérica, está compuesta por los valores que dichos límites toman en la definición del taxón. A partir de cada una de estas características y los intervalos que describen sus límites, se modela un conjunto borroso trapezoidal para cada relación. La ventaja principal que ofrece al usuario, frente a un sistema nítido, es que no estamos eliminando directamente un

taxón como posible solución si la respuesta del usuario es cercana al intervalo de grado de pertenencia para ese taxón. A continuación veremos dos posibles variantes.

### 6.1.1.1. Intervalle maximal

Los valores cercanos al intervalo de grado de pertenencia de máxima, sufren una bajada en dicho grado paulatinamente. De esta manera la premisa evaluada no tendrá grado de pertenencia máximo pero tampoco será descartada, ofreciendo información adicional que puede utilizarse en la regla de inferencia de ese taxón. Del mismo modo que hemos bajado el grado de pertenencia de la premisa, el grado inferido, mediante la regla de dicho taxón, también se verá afectado y pasará a tener un grado « un poco menor » de pertenencia a dicha especie.

El resultado obtenido tras aplicar este comportamiento es un efecto de computación suave.

Hemos visto que para cada relación (taxón, característica) tendremos una serie de límites informados. Cabe destacar que existen casos en los que la característica tiene un número mayor de posibles límites mientras que, los límites que realmente utilizan cada una de las relaciones con esa característica y los diferentes taxones, son un subconjunto de ellos. Por lo tanto el sistema de generación de conjuntos borrosos tendrá que poder adaptarse a cada caso particular.

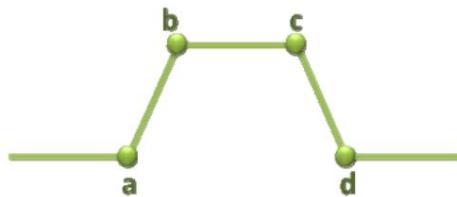
Como sabemos tenemos dos grupos de límites (Min, MinInt, MaxInt, Max) y (Med, ES), los cuales pueden estar presentes de cada grupo, desde 1 a todos los elementos del grupo. En cualquier caso se escogerá siempre el intervalo máximo, y no se diferenciará dentro de él subintervalos, si por ejemplo tenemos una relación con los límites (Min, MinInt, MaxInt, Max), el intervalo máximo que tendrá el mayor grado de pertenencia (valeur 1), será el comprendido entre Min y Max, y no se diferenciarán los resultantes de disponer de MinInt y MaxInt. Si bien en el siguiente apartado vemos una forma de obtener más información de estos subintervalos.

A continuación veremos varios ejemplos que describen el modo en el que el sistema autogenera los trapecios en función de los límites disponibles. Cada uno de los conjuntos borrosos están descritos por una función de pertenencia trapezoidal con cuatro puntos (a, b, c, d) que definen el trapecio, ver Figura 6-1 con trapecio genérico.

Dependiendo de los límites involucrados en la relación, los puntos tomarán los valores de dichos límites. Las pendientes descendentes a cada lado del intervalo de grado máximo, vendrán definidas por los puntos ay d. Estos puntos ayd se calcularán a una distancia, de los puntos byc respectivamente, medida en función de la anchura del intervalo. Si la anchura entre byc es x, la distancia aplicada será del 10% de x, este

## Chapitre 6. Sistema inteligente borroso de determinación taxonómica

porcentaje se implementará variable para poder ajustarlo en futuros estudios. Podría incluso no ser un porcentaje fijo para todos los casos si no inferido o aprendido.



**Figure 6-1. Función de pertenencia trapezoidal generica.**

Cada característica tiene una etiqueta lingüística por cada taxón relacionado. De tal manera que obtenemos tantos conjuntos borrosos, y sus funciones de pertenencia correspondientes, como taxones existen relacionados con la característica.

- **Exemple 1.** Altura (m). Tableau 6-2.

Esta característica tiene un único límite **max**, por lo tanto tomaremos el mínimo como 0 y el margen suave superior calculado con el 10% sobre el valor del límite max en cada relación (taxón, característica). Es decir, el 10% de la différence de l'intervalle  $\hat{y}$  (**max – min**) \* **0.1**. Aplicando estas reglas de generación sobre dos taxones de ejemplo obtenemos los límites descritos en la Tabla 6-3.

**Tableau 6-2. Exemple 1. Altura (m)**

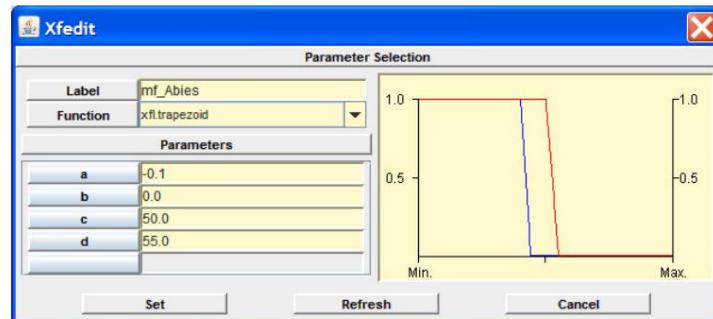
			Caractéristiques			
	14 h		Hauteur (m)			
	15				Max 50 40	

**Tableau 6-3. Points que décrit le trapecio de cada una de las funciones de pertenencia de los conjuntos borrosos de los taxones Abies y Pinus.**

	ab c				ré	intervalle de valeur
	min – 10%	min	maximum	max + 10%		
Abies	0	0	50	55		maximum minimum
					50	
Pinus	min – 10%	min	maximum	max + 10%		maximum minimum
	0	0	40	44	40	

## Chapitre 6. Sistema inteligente borroso de determinación taxonómica

A continuación vemos la gráfica resultante modelada en Xfuzzy para l'etiqueta lingüística *mf\_Abies*. Aparece marcada la función correspondiente en color rojo y los límites establecidos en la parte izquierda.



**Figure 6-2. Ejemplo conjunto borroso *mf\_Abies* de la característica *t\_Altura\_m*.**

- **Exemple 2.** Longitud de los estróbilos (cm)

El siguiente ejemplo presenta la casuística anteriormente comentada, en la cual dos relaciones de dos taxones diferentes con una misma característica, pueden tener diferentes límites evaluados. Además observaremos que una de las funciones obtenidas es una función trapezoidal clásica.

**Tableau 6-4. Exemple 2. Longitud de los estróbilos (cm)**

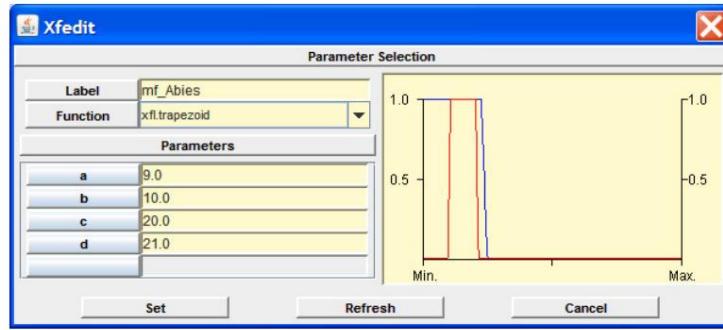
			Caractéristiques			
169	c		Longitud de los estróbilos (cm)			
170	71			Max 22	20	

**Tableau 6-5. Point que décrit le trapecio de cada una de las funciones de pertenencia de los conjuntos borrosos de los taxones PINACEAE y *Abies*.**

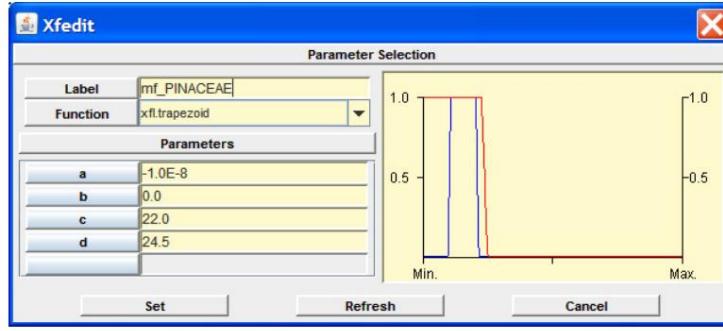
	ab c min – 10 % 0 min	intervalle de valeur
PINACÉES	- 10 % 9 min 0 maximum 22 d max + 10%	maximum minimum 22
Abies	min 10 maximum 20 24,2 max + 10% 21	maximum minimum dix

A continuación, Figura 6-3, vemos la gráfica resultante modelada en Xfuzzy para la etiqueta lingüística *mf\_Abies*. La función forma un trapecio clásico, ya que tiene valores para los cuatro puntos. Sin embargo la gráfica para PINACEAE, Figura 6-4, es different

ya que no tiene uno de los límites disponibles en la característica, su valor mínimo comienza en el 0.



**Figure 6-3. Ejemplo conjunto borroso  $mf_{\text{Abies}}$  de la característica  $t_{\text{Longitud\_estróbilos\_cm}}$ .**



**Figure 6-4. Ejemplo conjunto borroso  $mf_{PINACEAE}$  de la característica  $t_{Longitud\_estróbilos\_cm}$ .**

- **Exemple 3.** Longitud de las hojas (mm)

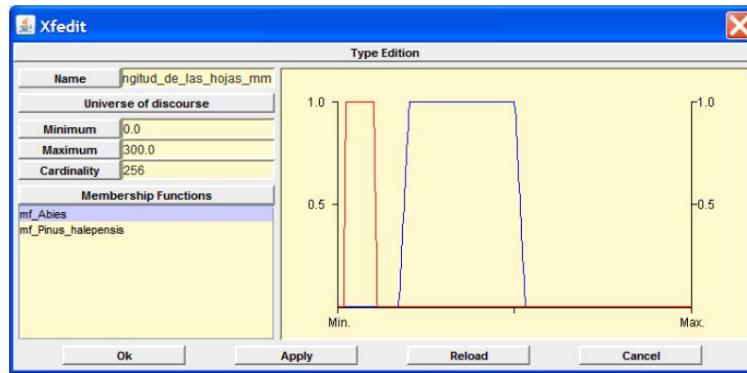
El siguiente ejemplo presenta la casuística anteriormente comentada, en la cual dos relaciones de dos taxones diferentes con una misma característica, pueden tener diferentes límites evaluados. Además observaremos que una de las funciones obtenidas es una función trapezoidal clásica.

**Tableau 6-6. Exemple 3. Longitud de las hojas (mm)**

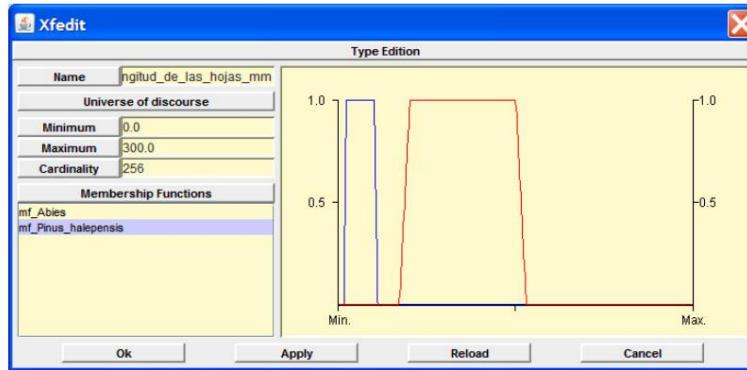
**Tableau 6-7. Points que décrivent le trapèze de cada una de las funciones de pertenencia de los conjuntos borrosos de los taxones *Abies* y *Pinus halapensis*.**

	ab c	ré	intervalle de valeur maximo
Abies	min – 10% 3,6 min – 10% minInt 51	min 6 maximum 30 maximum 150	max + 10% max - min 32,4 24 max + 10% max - minInt 159 90
Pinus halapensis		60	

A continuación, Figura 6-5 y Figura 6-6, vemos la gráfica resultante modelada en Xfuzzy para los dos conjuntos borrosos diseñados. Las pendientes de ambos trapecios, son calculé avec el 10% del intervalo máximo.



**Figure 6-5. Intervalle maximum. Ejemplo conjunto borroso *mf\_Abies* de la característica *t\_Longitud\_de\_las\_hojas\_mm*.**



**Figure 6-6. Intervalle maximum. Ejemplo conjunto borroso *mf\_Pinus\_halapensis* de la característica *t\_Longitud\_de\_las\_hojas\_mm*.**

#### 6.1.1.2. Intervalle fréquent

En el caso anterior hemos contemplado como intervalo de grado 1 el intervalo máximo. En este apartado estudiamos cómo conseguir información extra de aquellas características que tengan varios subintervalos dentro del intervalo máximo. En el

conjunto de límites (Min, MinInt, MaxInt, Max) estudiado en punto 4.2.2, encontrábamos las definiciones de la Tabla 6-8.

**Tableau 6-8. Description des limites des caractéristiques quantitatives.**

Max	Maximo
Min	Mínimo
MaxInt	Maximum de l'intervalle de fréquence
MinInt	Minímo del intervalo frecuente
Médias	méditerranéens
Norme	d'erreur

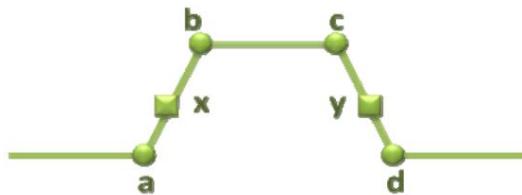
Cuando para una relación entre un taxón y una característica tenemos todos los límites de este grupo, encontramos que [MinInt, MaxInt] representan el intervalo frecuente de la relación. Es decir, es el intervalo de mayor grado de probabilidad, si recordamos el sistema nítido, a este intervalo le asignábamos el valor 3 como grado de frecuencia máxima. Los intervalos descritos [Min, MinInt] y [MaxInt, Max], tienen una alta probabilidad pero no son tan frecuentes como el intervalo frecuente. Si recordamos los sistemas nítidos, a estos intervalos les asignaba el valor 2. Gracias a las funciones trapezoidales podemos conseguir una representación más suave de esta situación, en vez de asignar el valor 2 a todo el intervalo, podemos modelar la función de tal manera que los valores más cercanos al intervalo frecuente tengan una graduación mayor ya medida que nos alejamos disminuya suavemente el grado.

Los points byc de la Figura 6-7 delimitan el intervalo frecuente [MinInt, MaxInt], el punto a matche al Min y el punto d al Max

De plus, igual que hicimos con el intervalo máximo, los conjuntos borrosos nos permiten no eliminar automáticamente una premisa, si el valor que el usuario ha introducido es realmente cercano a los límites que definen la característica. De esta manera en el apartado anterior definimos un porcentaje (10% variable) que delimitaba la pendiente del trapecio. Este mismo criterio se puede aplicar al nuevo modelo, de tal manera que el punto a se calcule sobre el extremo Min menos un épsilon calculado a partir del porcentaje de la diferencia del intervalo frecuente:

- a  $\infty$  Min – épsilon, donde épsilon es el 10% de la différence (cb)
- b  $\infty$  MinInt
- c  $\infty$  Entier Max
- d  $\infty$  Max + épsilon, donde épsilon es el 10% de la différence (cb)

Dans la figure 6-7, se perciben dos nuevos puntos  $x$  e  $y$ , estos puntos representan los valores de *Min* y *Max* respectivamente.



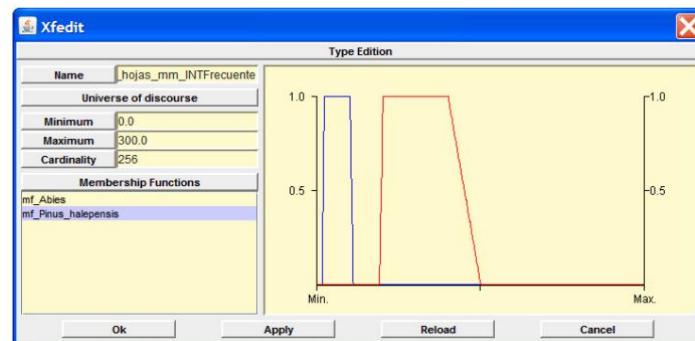
**Figure 6-7. Función de pertenencia trapezoidal generica.**

Los dos primeros ejemplos del apartado tendrían antérieur la misma equivalencia en esta opción, ya que únicamente disponen de dos límites. Sin embargo el ejemplo número 3, ilustra la diferencia entre ambas casuísticas, vemos a continuación el resultado del intervalo frecuente.

La Tabla 6-9 muestra los límites obtenido con el intervalo frecuente. Une suite en Figure 6-8, vemos los conjuntos borrosos trapezoidales obtenidos.

**Tableau 6-9. Intervalle fréquent. Points que décrivent le trapèze de cada una de las funciones de pertenencia de los conjuntos borrosos de los taxones *Abies* y *Pinus halapensis*.**

axbcyd				intervalle fréquent
<i>Abies</i>	min – 10% 3,6 min – 10% 57	N/A min	min 6 minInt	max + 10% max - min 30 32,4 N/A max + 10% max - min Int
<i>Pinus halapensis</i>	60	120	150	24 153 30



**Figure 6-8. Intervalle fréquent. Ejemplo conjunto borroso *mf\_Pinus\_halapensis* de la característica *t\_Longitud\_de\_las\_hojas\_mm*.**

#### 6.1.1.3. Étiquettes linguistiques

Como hemos visto en los puntos anteriores, cada característica cuantitativa descrita por el conjunto de sus límites, tendrá un número de etiquetas lingüísticas igual al número total de taxones para los cuales existe una relación entre la característica y el taxón.

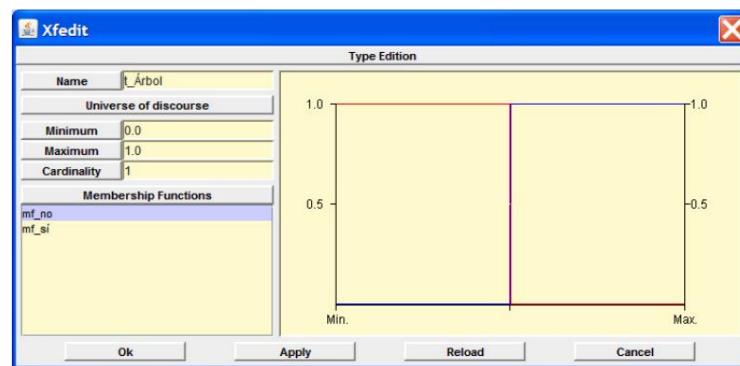
### 6.1.2. Caractéristiques Cualitativas

Cada tipo de característica detectado en el estudio del conocimiento tiene un tratamiento diferente. Procederemos a explicar cada casuística por separado.

#### 6.1.2.1. Características cualitativas booleanas

Estas características son aquellas que únicamente tiene como posible respuesta sí y no, las funciones de pertenencia descritas son planas, y las premisas toman grados de pertenencia 0 o 1.

Tenemos entonces dos conjuntos borrosos, uno para la etiqueta lingüística no y con grado 1 de pertenencia en el valor 0 del eje, y grado 0 de pertenencia en el valor 1 del eje. El segundo conjunto corresponde a la etiqueta sí con grado de pertenencia 0 en el valor 0 del eje y grado 1 en el valor 1 de eje. La representación de los conjuntos borrosos genericos se pueden observar en la Figura 6-9.



**Figure 6-9. Ejemplo conjuntos borrosos  $mf\_no$  y  $mf\_si$  de la característica booleana  $t\_Árbol$ .**

Si observamos el ejemplo de la Tabla 6-10 vemos una característica booleana Árbol (fanerófito), y dos taxones con valores para la relación con dicha característica. Nos preguntamos entonces, cómo definir el conjunto borroso para cada una de estas relaciones. Recordemos que los valores 2 y 3 de la tabla indican los grados de mayor frecuencia de aparición de la característica para el taxón de la relación. Au contraire, el valor -1 y 1 indican la menor frecuencia de aparición, más aún el valor -1 indica la imposibilidad de aparición. Par conséquentý:

- Asignaremos a todas aquellas relaciones con valores 2 o 3 el conjunto borroso sí.
- Asignamos a las relaciones con valores -1 y 1 el conjunto borroso no.

**Tableau 6-10. Ejemplo de característica booleana**

		Caractéristiques			
		Biotype			
10		Árbol (fanerófito)		3	-1
11		Arbusto (nanofanerofito)		-1	2
12		Matorral bajo (caméfito)		-1	1

Como vimos en los sistemas nítidos, si el sistema permite respuestas *no*, *sí*, *no sé*, es complicado modelar la situación de las características auto-excluyentes. Hemos dejado esta evolución para un estudio posterior, por lo tanto necesitamos ver la equivalencia de las características booleanas, en un sistema que únicamente permite seleccionar positivamente una respuesta o deseleccionarla, esta última opción puede indicar desconocimiento o respuesta tenting negativa y nodistinemosiro de mod .

Si pensamos entonces en estas dos únicas opciones, la selección positiva hará que automáticamente las relaciones con valores 2 o 3 pasen a ser premisas de las reglas de inferencia con grado de pertenencia 1. Este grado es tomado directamente de la función de pertenencia *mf\_sí* descrita anteriormente . Aunque no podamos tener respuesta negativa, la información positiva es muy útil, ya que todas las relaciones con valores -1 y 1 para la característica, serán premisas para las reglas de los taxones involucrados en dichas relaciones, y el grado de pertenencia será 0 según la fonction *mf\_no*.

De esta manera estamos defuzzificando al pasar de información borrosa a nítida, es decir de conjuntos borrosos a conjuntos nítidos. La defuzzificación más habituelle es escoger el centro de gravedad -de un fuzzy set continuo- y asociarle un número. En este caso la defuzzificación ha consistido en asociar los valores -1 y 1 al *no* y los valores 2 y 3 al *sí*. Se podrían estudiar otras defuzzificaciones y evaluar sus resultados para escoger la más adecuada. Incluso sería posible preguntar a los expertos para ajustar el modo.

Como hemos visto, las características booleanas solo pueden ser evaluadas con respuesta positiva (marcadas), o no evaluadas (no marcadas) qu'implica indistinguiblemente respuesta desconocida o negativa. Si obtenemos una respuesta

Chapitre 6. Sistema inteligente borroso de determinación taxonómica

---

positiva del usuario, todas las relaciones con valor 2 o 3 serán una premisa evaluada con grado de pertenencia máximo 1 en la regla. Además, todas las relaciones con valores -1 o 1, son automáticamente premisas con grado cero, estas premisas interfieren en las reglas de inferencia por lo que el taxón queda automáticamente descartado. Para modelar esta situación, vemos que tenemos un conjunto borroso que indica que la característica ha sido observada en el espécimen *mf\_si*, podemos definir un segundo conjunto borroso que indique que la característica no ha sido observada *mf\_no* (simétrico respecto a la recta  $y = \frac{1}{2}$ ).

En esta defuzzificación hemos perdido parcialmente la información que los valores 1 y 2 aportaban al sistema. A continuación veremos un modelo diferente, compuesto por cuatro conjuntos borrosos que utilizan dicha información.

**Alternative**

Si pensamos en el valor 1 de la relación  $Rij(Ti, Cj)$ , el caso más frecuente de este valor es el conjunto borroso *no*, ya que indica que es poco frecuente que se de la característica  $Cj$  en el taxón  $Ti$ . Sin embargo en la defuzzificación que hemos realizado, estaríamos descartando este taxón cuando la respuesta a la característica  $Cj$  fuera positiva, pese a que la propia definición de este valor nos indica que aunque no es muy frecuente, a veces se da.

Esta misma situación ocurre con el valor 2, al que hemos asignado el conjunto borroso *sí*. Si se infiere una respuesta negativa (ejemplo auto-excluyentes), estaríamos eliminando directamente el taxón (marcado con valor 2 en la relación con esa característica) como solución, pese a que la propia definición del valor nos indica que es bastante frecuente que se dé, pero que puede no darse.

Para suavizar estos límites establecidos, podemos crear dos nuevos fuzzy sets, de tal manera que:

- el fuzzy set *no* cambia su etiqueta lingüística por *extremadamente\_no* y se asocia a relations avec les valeurs -1,
- el fuzzy set *si* cambia su etiqueta lingüística por *extremadamente\_si* y se asocie a relaciones con valores 3,
- se crea un nuevo fuzzy set con l'etiqueta *no*, la función de pertenencia se suaviza, no baja bruscamente a grado el límite con el valor 1, si no que se degrada paulatinamente, incluyendo "un poco" de *sí*.

- se crea un nuevo fuzzy set con la etiqueta *sí*, la función de pertenencia se suaviza, no baja bruscamente a grado 0 en el límite con el valor 0, si no que se degrada paulatinamente, incluyendo "un poco" de *no*.

Podemos ver graphiquement la solution dans la figure 6-10 et la figure 6-13. La cuestión que tenemos que abordar en este punto es asignar un valor a la respuesta *no*, y otro a la respuesta *sí*, ya que si asignamos *no*  $\neq 0$  y *si*  $\neq 1$ , estamos perdiendo igualmente la información de los conjuntos borrosos suaves que acabamos de crear. El valor a asignar debe ser variable y ajustable, para que en futuros experimentos se puedan encontrar resultados que indique el valor que más se ajusta o que mejores resultados da. En esta investigación tomaremos los valores medios entre los extremos Min y Max y  $\frac{1}{2}$  del eje X. Es decir, valor 0.25 para el *no* y 0.75 para el *sí*.

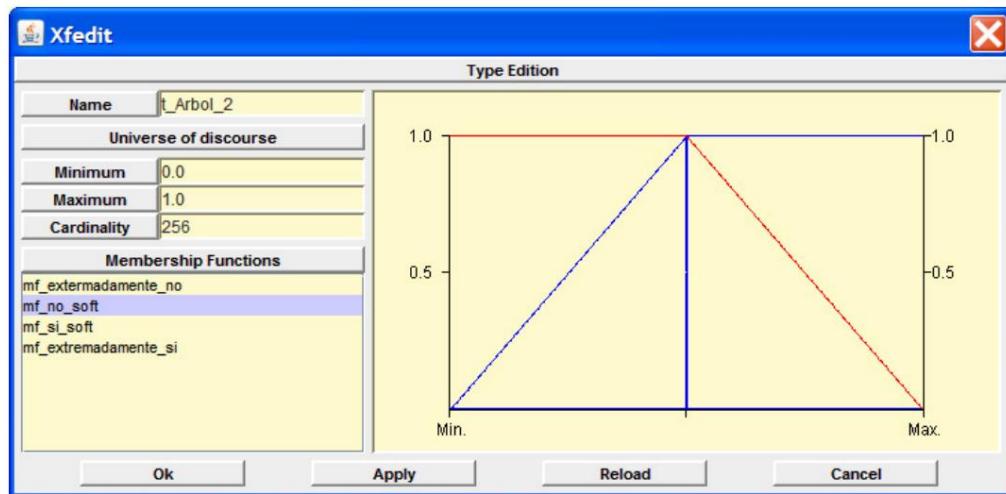


Figure 6-10. Ejemplo conjuntos borrosos *mf\_no\_soft* de la característica booleana *t\_Arbol*.

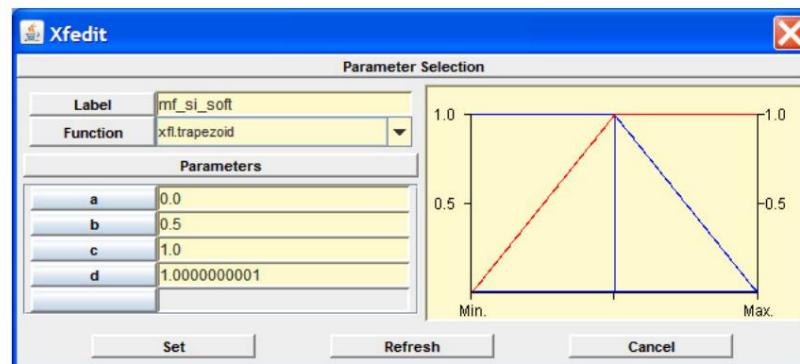


Figure 6-11. Ejemplo conjuntos borrosos *mf\_si\_soft* de la característica booleana *t\_Arbol*.

### 6.1.2.1.1. Étiquettes linguistiques

Como hemos visto, cada característica cualitativa booleana en la primera aproximación tiene como máximo dos etiquetas lingüísticas, una para  $C_j$  con valor *no* y otra con valor *sí*. Dependiendo de si se encuentran en las relaciones con los taxones, al menos una ocurrencia de los valores (3 y/o 2) para la etiqueta *sí* y los valores (-1 an/o 1) para la etiqueta *no*.

La segunda aproximación puede tener hasta un máximo de cuatro etiquetas lingüísticas *extremadamente\_no*, *no*, *extremadamente\_sí* y *sí*, su existencia depende de si se encuentra alguna ocurrencia de los valores -1, 1, 2 y 3 respectivamente, en las relaciones involucradas en dicha característica.

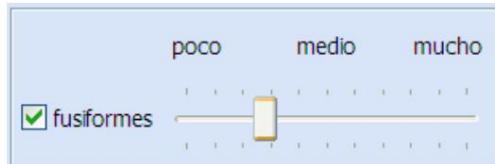
Las relaciones desconocidas no forman ningún conjunto borroso.

### 6.1.2.2. Características cualitativas aproximadas

Como vimos en el estudio del conocimiento:

En contraposición con las características cualitativas booleanas se detecta la existencia de características con respuestas aproximadas, se trata de cualidades que el usuario puede observar en mayor o menor grado, o incluso puede servirse de esta aproximación si no está seguro de estar plenamente dicha característica.

Estas características se aproximan gracias a las etiquetas lingüísticas genéricas poco, medio, mucho. Proporcionamos así una herramienta nueva al usuario, la posibilidad de aproximar la respuesta a una característica, podemos ver una imagen gráfica in la Figura 6-12.



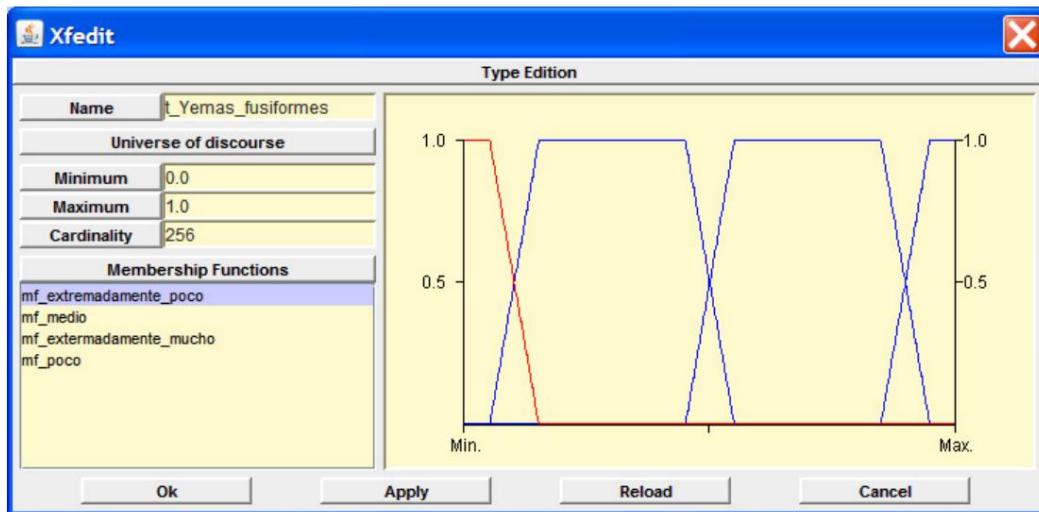
**Figure 6-12. Implémentation possible pour les caractéristiques approximatives.**

Vamos a modelar conjuntos borrosos para representar este gradiente, los valores que toma el gradiente están comprendidos entre [0, 1] y se comportan como el eje X de las funciones de pertenencia con valores comprendidos entre [0,1]. Para obtener el grado de pertenencia en cada punto, definimos cuatro conjuntos borrosos, los identificados por las etiquetas lingüísticas:

- Poco extrême

- Poco
- Médio
- Extrêmement beaucoup

Podemos ver la Figura 6-13, donde aparecen reflejadas las posibles funciones de pertenencia asociadas a estos conjuntos borrosos. El diseño de este modelo está fundamentado en los valores conocidos para las relaciones (taxón, característica) como veremos a continuación.



**Figure 6-13. Ejemplo conjuntos borrosos en características aproximadas.**

Los valores que conocemos para las relaciones de características cualitativas son (-1, 0, 1, 2, 3). Podemos modelar conjuntos borrosos para características aproximadas en función de estos valores. Partimos de una relación  $R_{ij}(T_i, C_j)$  que tiene un valor  $V_{ij}$  comprendido en (-1, 0, 1, 2, 3). Los distintos significados de estos valores pueden ser observados en la suite Tabla 6-11 de nuevo.

Si vemos de nuevo la escala de la Figura 6-12 que proporciona los valores *poco*, *medio* y *mucho* para la característica *fusiformes*. Esta escala coincide con el eje X de las funciones de pertenencia diseñadas in la Figura 6-13, por lo que la escala toma valores numéricos entre [0, 1] que se correspond automáticamente con un punto del eje X. Si observamos ahora las funciones de pertenencia, podemos ver el primer conjunto borroso muy cercano al extremo izquierdo como el conjunto etiquetado por *extremadamente\_poco*, este conjunto se identifica con los valores -1 (nunca se da) de las relaciones. De la misma manera los conjuntos *poco*, *medio* y *extremadamente\_mucho* se corresponden con los valores 1 (poco frecuente), 2 (bastante frecuente) y 3 (siempre se

da) respectivamente. A continuación vemos el detalle de cada uno de ellos. Nótese que las relaciones evaluadas con 0 no intervienen, ya que no se dispone de información.

Tableau 6-11. Conjunto completo de posibilidades asociadas a una relación  $Rij(Ti, Cj)$ .

-1	Non, c'est possible. Ese taxón quedaría rechazado si se da la característica
0	Aucune information sur le foin
1	En quelques occasions se da. Es posible, aunque no muy frecuente
2	Souvent, normalmente.
3	Siempre se da.

- El valor 1 indica que es poco frecuente que dicha característica Cj sea observada en un espécimen del taxón Ti. Si el usuario selecciona la característica Cj cerca del valor poco y tenemos el conjunto borroso formado por la etiqueta lingüística poco; podemos entonces identificar la correspondencia del conjunto con la relación Rij. Es decir, para la característica Cj existe un conjunto borroso con función de pertenencia *mf\_poco* que evalúa la premisa para le taxón Ti.

En el ejemplo de la Tabla 6-12, vemos la característica fusiforme, el taxón PINACEA tiene valor 1, por lo tanto es "poco frecuente" que se dé dicha característica en este taxón. Si el usuario emite como respuesta un valor cercano a uno, la relación más probable es aquella marcada con 1, ya que las marcadas con 2 se dan muy frecuentemente y las marcadas con 3 se dan siempre. Por lo que si el usuario observa dicha característica solo un poco, nos estamos aproximando más a "Es posible, aunque no muy frecuente", por lo tanto asociamos el conjunto borroso *mf\_poco*.

De esta manera toda relación con valor 1, se evaluará con el conjunto borroso *mf\_poco*.

Tableau 6-12. Ejemplo de característica aproximada, fusiformes.

- El valor 2 indica que es bastante frecuente que dicha característica  $C_j$  sea observada en un espécimen del taxón  $T_i$ . Si el usuario selecciona la característica  $C_j$  cerca del valor medio y tenemos el conjunto borroso formado por la etiqueta

médium linguistique; podemos entonces identificar la correspondencia del conjunto con la relación Rij. Es decir, para la característica Cj existe un conjunto borroso con función de pertenencia *mf\_medio* que evalúa la premisa para le taxón Ti.

Si el taxón Ti tiene valor 2 indica que es "bastante frecuente" que se de dicha característica en este taxón. Si el usuario émet comme réponse un valor cercano a medio, la relación más probable es aquella marcada con 2, ya que las marcadas con 1 se dan poco frecuentemente y las marcadas con 3 se dan siempre. Por lo que si el usuario observa dicha característica medianamente, nos estamos aproximando más a "bastante frecuente", por lo tanto asociamos el conjunto borroso *mf\_medio*.

De esta manera toda relación con valor 2, se evaluará con el conjunto borroso *mf\_medio*.

- El valor 3 indica que siempre se da dicha característica Cj en un espécimen del taxón Ti. Si el usuario selecciona la característica Cj cerca del valor mucho y tenemos el conjunto borroso formado por la etiqueta lingüística *extremadamente\_muchó*; podemos entonces identificar la correspondencia del conjunto con la relación Rij. Es decir, para la característica Cj existe un conjunto borroso con función de pertenencia *mf\_extremadamente\_muchó* que evalúa la premisa para le taxón Ti.

En el ejemplo de la Tabla 6-12, vemos la característica fusiforme, el taxón *Pseudotsuga* tiene valor 3, por lo tanto dicha característica "siempre se da" en este taxón. Si el usuario émet comme réponse un valor cercano a mucho, la relación más probable es aquella marcada con 3, ya que las marcadas con 2 se dan muy frecuentemente y las marcadas con 1 se dan poco frecuentemente. Por lo que si el usuario observa dicha característica mucho, nos estamos aproximando más a "siempre se da", por lo tanto asociamos el conjunto borroso *mf\_extremadamente\_muchó*.

De esta manera toda relación con valor 3, se evaluará con el conjunto borroso *mf\_extremadamente\_muchó*.

- El valor -1 indica que nunca se da dicha característica Cj en un espécimen del taxón Ti. Si el usuario selecciona la característica Cj en el extremo izquierdo del valor poco y tenemos el conjunto borroso formado por la etiqueta lingüística *extremadamente\_poco*; podemos entonces identificar la correspondencia del conjunto con la relación Rij. Es decir, para la característica Cj existe un conjunto

borroso con función de pertenencia *mf\_extremadamente\_poco* que evalúa la premisa para le taxón Ti.

Si el taxón Ti tiene valor -1 indica que "nunca se da" la característica en ese taxón. Si el usuario émet como respuesta un valor en el extremo izquierdo cerca de poco, nos estamos aproximando más a "nunca se da", por lo tanto asociamos el conjunto borroso *mf\_extremadamente\_poco*.

De esta manera toda relación con valor -1, se evaluará con el conjunto borroso *mf\_extremadamente\_poco*.

Notez la définition de 4 conjuntos borrosos para representación de las 4 etiquetas lingüísticas *extremadamente\_poco*, *poco*, *medio* y *extremadamente\_mucho*. Según la aproximación que indique el usuario, se obtiene un grado de pertenencia para los 4 conjuntos borrosos que representan dichas etiquetas. Cada especie tiene en la premisa de su regla una de estas etiquetas lingüísticas cuando así se haya encontrado en su relación (atendiendo a lo anteriormente descrito). Este es el típico ejemplo de etiqueta lingüística modelada con diferentes conjuntos borrosos descrito en el apartado 3.1.3, encontrado en numerosas aplicaciones de lógica, inferencia y control borroso.

#### **6.1.2.2.1. Étiquettes linguistiques**

Como hemos visto, cada característica cualitativa aproximada, tendrá un número de etiquetas lingüísticas máximo igual a 4, *extremadamente\_poco*, *poco*, *medio*, *extremadamente\_mucho*, su existencia depende de si se encuentra alguna ocurrencia de los valores -1, 1, 2 y 3 respectivamente, en las relaciones involucradas en dicha característica.

Existen quatre types d'étiquettes linguistiques, las que representan "Extremadamente poco de Cj", "Poco de Cj", "Medio de Cj", "Extremadamente mucho de Cj".

#### **6.1.2.3. Caractéristiques auto-exclusives**

Las características que encontramos en los grupos de auto-exclusion pueden ser de tres tipos:

- Booleanas
- Approximativement
- Relacionadas approximatives

Los dos primeros se comportan de forma idéntica a la descrita en los apartados inmediatamente anteriores. El tercer tipo sin embargo presenta particularidades que describiremos a continuación.

### 6.1.2.3.1. Características cualitativas autoexcluyentes relacionadas approximativement

Como se description en el apartado 4.2.3.3.1,

En los conjuntos de auto-excluyentes podemos encontrar características relacionadas las cuales tienen una "frontera" en la que ambas cualidades podrían darse y el observador podría no estar seguro de elegir una u otra. Si pensamos en poder dar al usuario un modo de aproximarse a estas características aunque no tenga certeza de cuál de ellas escoger como respuesta.

Une mise en œuvre possible de la situation est observée dans la figure 6-14. El usuario puede eliminar su respuesta deseleccionando el botón check de la izquierda cumpliendo con los requisitos. Si desea evaluar dichas características no tiene más que acercar la barra al lado de la característica que observa.

Podemos representar estas dos característica con dos conjuntos borrosos, de tal manera que las relaciones que tengan valores 2 y 3 para la característica verde oscuro, se identificarán por el conjunto borroso extremadamente muy verde oscuro, mientras que aquellas relaciones con valores -1 y 0 se representarán por el conjunto borroso extremadamente poco verde oscuro.



**Figure 6-14.Implémentation possible de caractéristiques auto-exclusives relacionadas approximadas.**

En la Tabla 6-13 tenemos un ejemplo de 3 características relacionadas aproximadas, el orden derivado de la información de la tabla sería:

*Coupe conique ou pyramidale*

*Coupe redondeada*

*Copa aparsolada, densa*

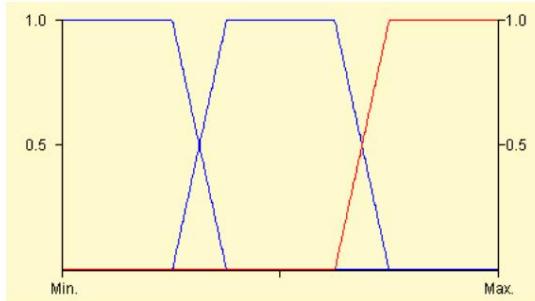
En este caso tanto *Copa cónica* o piramidal como *Copa redondeada* son extremadamente poco de *Copa aparsolada, densa*.

## Chapitre 6. Sistema inteligente borroso de determinación taxonómica

**Tableau 6-13. Ejemplo de grupo relacionado aproximado de 2 características.**

			Caractéristiques							
16	<b>Forma de la Copa</b>			1						
17	Copa cónica ou piramidal				2	1	1	3	1	-1
18	Copa redondeada Copa				2	1	2	-1		1
19	aparasolada, densa.				2	1	3	-1	2	1
20	Coupe irrégulièr								-1	-1

Si observamos la tabla anterior, es complicado fijar estos fuzzy sets, por ejemplo si tenemos tres conjuntos trapezoidales clásicos como los vistos en la Figura 6-15. Si el conjunto borroso más a la derecha se corresponde con la cualidad de "tener copa aparsolada, densa", todas las relaciones con la característica *Copa aparsolada, densa* que tengan valor 3 tendrán como premisa el grado de pertenencia a dicho conjunto borroso (más a la derecha). Aquellas relaciones con esta característica que tengan valores -1, tendrán como premisa el grado de pertenencia de la union de los otros dos conjuntos borrosos. El valor 2 de la relación seguiría el mismo comportamiento que el 3, así como el valor 1 el de -1. Con esta interpretación perdemos información sobre las diferencias entre los valores (2, 3) y (-1, 1).

**Figure 6-15. Conjuntos borrosos trapezoidales clásicos.**

Observemos ahora el resultado de la union de los dos conjuntos borrosos de más a la izquierda, utilizamos una t-conorma. Calculemos el siguiente ejemplo, si para el primer conjunto borroso tenemos valor 0.6 y para el segundo 0.4, entonces

- t-conorma Máximo  $S(x,y) = \text{Max}(x,y)$  ó  $\text{Máximo}(0.4, 0.6) = 0.6$ . Cabe destacar que esta es la menor de todas las t-conormas
- t-conorma Sum-Prod( $x,y) = x + y - x^*y$  ó  $0.4 + 0.6 - (0.4*0.6) = 0.76$

- t-conorma dual de Lukasiewicz  $W^*(x,y) = \text{Min}(1, x+y) \geq \text{Min}(1, (0.4+0.6)) = 1$

Esto ocurre porque ambos conjuntos son complementarios, de tal manera en la t conorma Lukasiewicz, se da la siguiente situación:

$$(A \bar{\vee} A)(x) \geq \min(1, A(x)) \geq (1 \bar{\vee} A(X)) \geq 1 \quad (1)$$

Por lo tanto, para la unión de ambos conjuntos la t-conorma que mejor se comporta es la de Lukasiewicz, ya que el resto dan un grado menor que 1. Si el usuario ha seleccionado un valor muy alejado de *Copa aparsolada, densa*, y tenemos una relación con valor -1 para esa característica, todo el rango con grado 1 del conjunto borroso *extremadamente poco de Copa aparsolada, densa*, debería de ser continuo a medida que nos alejamos del conjunto borroso *extremadamente mucho de Copa aparsolada, densa*. Sin embargo vemos como para las t-conormas Máximo y Sum-Prod aparece un parón entre los dos subconjuntos borrosos cuya unión forma el conjunto borroso *extremadamente poco de Copa aparsolada, densa*.

---

Como hemos visto el mayor problema de esta solución es que al defuzzificar los valores perdemos la información adicional que nos proporcionan los valores 1 y 2.

Además, para la unión de conjuntos en casos con más de dos características relacionadas, vemos que únicamente la t-conorma de Lukasiewicz se comporta correctamente.

#### **6.1.2.3.1.1 Amplification de la solution**

Podemos plantar nuevos conjuntos borrosos más complejos que intenten cubrir estos problemas.

Si recordamos el punto anterior donde cada una de las características aproximadas se identificaban por cuatro conjuntos borrosos:

- Poco extrême
- Poco
- Médio
- Extrêmement beaucoup

Anteriormente para cada característica  $C_j$  obteníamos dos conjuntos borrosos, aquel en el que la característica se daba "extremadamente mucho de  $C_j$ " y un segundo conjunto, "extremadamente poco de  $C_j$ ", donde este último conjunto era la unión del resto de conjuntos "extremadamente mucho de  $C_k$ ", pour toutes les caractéristiques de  $C_k$  appartenant au groupe d'approximations distinctes de  $C_j$ . Podemos multiplicar el

## Chapitre 6. Sistema inteligente borroso de determinación taxonómica

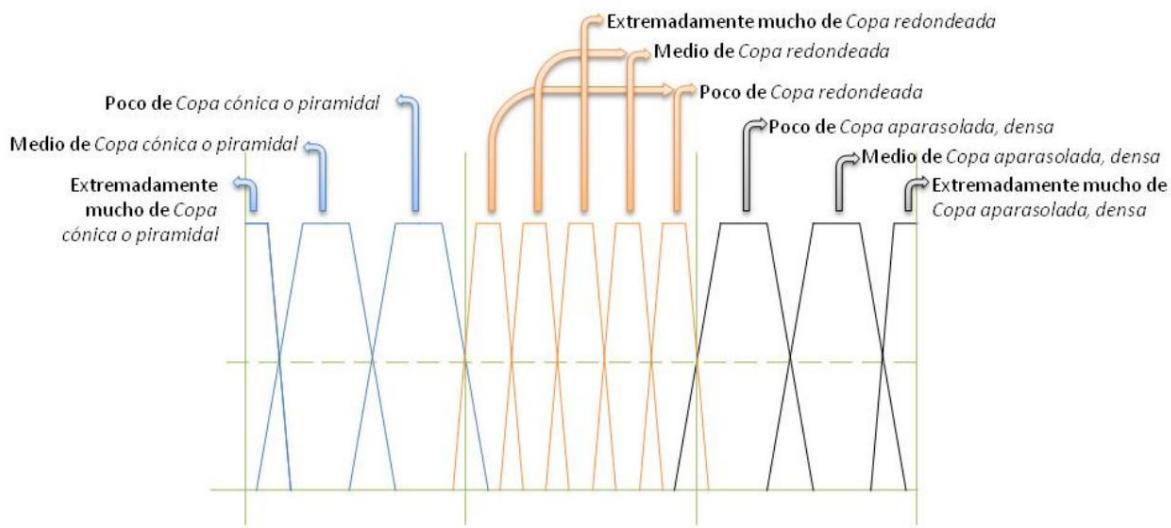
número de conjuntos borrosos que hemos definido para conseguir, siguiendo el ejemplo anterior, tener cuatro conjuntos que se ajusten a los cuatro tipos de información de los que disponemos. Las características situadas a los extremos de la barra de selección, se acercarán al valor "extremadamente mucho de" esa característica, según se alejan hacia los extremos. Au contraire, se acercarán al valor "extremadame poco de" la característica, a medida que se acercan al centro. Las características centrales sin embargo, tienen en el centro de su área la zona « extremement mucho de » dicha característica, a medida que nos alejamos a ambos lados sobre el centro nos acercamos a la zona « extrememente poco de ». Podemos ver un esquema de esta situación en la Figura 6-16.



**Figure 6-16. Esquema de características relacionadas aproximadas, y sus áreas de mayor y menor grado de "se da" dichas características.**

Cada una de las áreas delimitadas por una característica, puede dar lugar a tres conjuntos borrosos en vez del único del que antes disponíamos. Si antes nuestro conjunto era "Extremadamente mucho de", ahora tenemos tres conjuntos más pequeños "Extremadamente mucho de", "Medio de" et "Poco de", los cuales podemos relacionarlos inmediatamente con los valores 3, 2 y 1 respectivamente para todas las relaciones entre un taxón y dicha característica. Si observamos la Figura 6-17, podemos ver como en el extremo izquierdo la característica *Copa cónica o piramidal*, está descrita por los tres conjuntos borrosos descritos en esa misma secuencia, es decir desde el extremo izquierdo hacia el centro, tal y como indicamos anteriormente . En la misma figura observamos en el extremo derecho el mismo caso para la característica *Copa aparsolada, densa*, sus conjuntos borrosos están secuenciados igualmente desde el extremo derecho hacia el centro.

Enfin, dans la zona central de la figura, observamos los conjuntos borrosos para la característica *Copa redondeada*, en este caso tenemos cinco conjuntos que debemos reducir a tres. Es sencillo observer que, existen dos conjuntos que identifican "Medio de", situados a ambos lados del conjunto "Extremadamente de *Copa redondeada*". A partir de estos dos conjuntos, obtenemos un conjunto union de ambos, que será el conjunto borrosos "Medio de *Copa redondeada*". El mismo proceso se llevará a cabo para el conjunto "Medio de *Copa redondeada*".

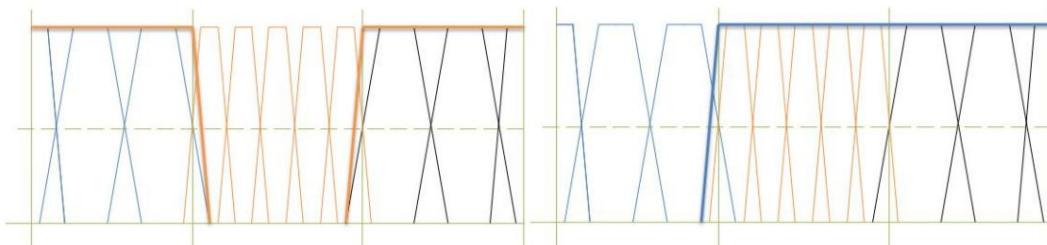


**Figure 6-17. Conjuntos borrosos de tres características relacionadas aproximadas.**

De esta manera, si tenemos una relación  $R_{ij}(T_i, C_j)$  con la característica  $C_j = \text{Copa redondeada}$ , y dicha relación tiene valor 2. La regla del taxón  $T_i$ , tendrá como premisa el grado de pertenencia al conjunto borroso  $\hat{y}$ :

$$("Medio de C_j") = ((\text{"Medio de C}_j\text{"izquierda}) \vee (\text{"Medio de C}_j\text{"derecha})) \quad (2)$$

El second problema que presenta la solución de un solo conjunto borroso, es que el conjunto borroso "Extremadamente poco de  $C_j$ ", es la union del resto de conjuntos borrosos de las características del grupo de relaciones aproximadas excluyendo la propia  $C_j$ . La única t-conorma que da el resultado deseado es la de Lukasiewicz. Une solution possible sería incluir un conjunto borroso diseñado como la union de los conjuntos mencionados, dando valor 1 a todo el range deseado. Podemos ver en la Figura 6-18 dos ejemplos de esta solución.



**Figure 6-18. Conjuntos borrosos "Extremadamente poco de" pour les caractéristiques *Copa redondeada* y *Copa cónica o piramidal* en este orden.**

### **6.1.2.3.2. Étiquettes linguistiques**

En las características auto-excluyentes se pueden dar características booleanas y aproximadas, las cuales generarán el mismo número de etiquetas lingüísticas que vimos con anterioridad.

Las características relacionadas aproximadas de la primera aproximación, generan dos etiquetas una para *Extremadamente mucho de* y otra para *Extremadamente poco de*. En este caso se tendrán en cuenta las etiquetas de todas las características, ya que los conjuntos de algunas características pueden estar generados mediante la unión de conjuntos de diferentes características componentes del mismo grupo de relación aproximada.

En la segunda aproximación, la situación es similar, excepto por que cada característica en vez de tener dos etiquetas tiene 4, *extremadamente\_poco*, *poco*, *medio* y *extremadamente\_mucho*.

## **6.2. Inférence Borrosa**

### **6.2.1. Infériorité de l'ensemble flou**

Cada uno de los taxones del conocimiento tendrá una regla de inferencia compuesta por tantas premisas como relaciones positivas y negativas tenga con cada una de las características relacionadas con el taxón. Las relaciones sin información no son locales.

Todas las características tienen asignadas una serie de variables lingüísticas modeladas mediante conjuntos borrosos con su función de pertenencia ajustada según su tipo de característica tal y como se ha estudiado.

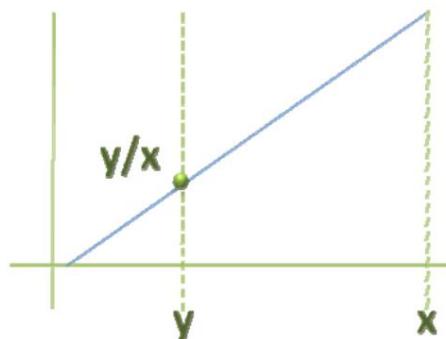
Cada premisa de las reglas de inferencia de los taxones, se evalúa en función del grado de pertenencia al conjunto borroso asociado a la relación. Si tenemos una relación conocida  $Rij(Ti, Cj)$  con un valor  $Vij$  donde  $Cj$  es una característica cualitativa, en función del valor de la relación elegiremos su etiqueta lingüística de entre los conjuntos definidos para la característica  $Cj$ . En el caso en el que la relación conocida  $Rij(Ti, Cj)$  sea con una característica  $Cj$  cuantitativa, se evaluará el grado de pertenencia al conjunto borroso etiquetado para dicho taxón  $Ti$ , ya que los conjuntos definidos dependen de los límites informados para cada una de las relaciones independientemente.

Con el conjunto de premisas evaluadas con cierto grado de pertenencia a sus respectivos conjuntos borroso, se obtiene el grado de pertenencia al conjunto "soy del taxón Ti". Las reglas utilizan la conectiva conjunción AND -&- para el conjunto de todas las premisas. El cálculo de este grado de pertenencia se obtiene aplicando la norma triangulaire deseada. Se estudian las normas mínimo, producto y Lukasiewicz.

### 6.2.2. Fondamentelement de l'ensemble flou

Si únicamente utilizamos el grado inferido por las premisas evaluadas, para obtener el grado de pertenencia del especimen de estudio a cada uno de los taxones. Podemos encontrarnos que la inferencia pueda situar en primer lugar un taxón como elección más probable, aunque el número de premisas evaluadas haya sido mínimo. Par exemple, tenemos un taxón con una única premisa evaluada cuyo grado es 1, lo que produciría que la regla infiriera automáticamente grado 1 de pertenencia a ese taxón, es decir máxima graduación. Parallèlement, podríamos tener otro taxón con 10 premisas evaluadas y un grado inferido de 0,9. El conjunto solución resultante, situaría como taxón más probable al primero, pese a que la situación del segundo produire una determinación más fundamentada, porque se han evaluado 10 de sus premisas.

Para solvable este problema, se definir un nuevo conjunto borroso llamado Conjunto Fundamentado, que determina la situación « muchas premisas evaluadas ». Para cada taxón se infiere el grado de fundamento en función del número de premisas evaluadas para ese taxón (llamémosle y) y el número total de características seleccionadas para el usuario (llamémosle x). El conjunto borroso viene definido por la función de pertenencia de la Figura 6-19, qu'obtiene un grado inferido igual a  $y/x$ .



**Figure 6-19. Función de pertenencia del conjunto borroso fundamentado.**

### 6.2.3. Toma de decisiones

Sobre el universo de la Flora Ibérica  $\mu: F \in [0, 1]$ , hemos definido un conjunto borroso sobre cada taxón, Conjunto Preferencia, resultado de conectar a través de la conjunción ET, dos conjuntos borrosos:

Conjunto Preferencia = Conjunto Inferido  $\wedge$  Conjunto Fundamentado

Es decir, la conjunción entre el alto grado de pertenencia inferido con las características seleccionadas y el alto número de premisas evaluadas.

El cálculo del grado de pertenencia al Conjunto Preferido, se obtiene aplicando la t triangulaire deseada. Se estudian las normas mínimo, producto y Lukasiewicz.

Finalmente obtenemos un conjunto de taxones posibles ordenado por mayor grado de pertenencia al Conjunto Preferencia. Esta solución es una conclusión imprecisa, si de este conjunto elegimos aquella con mayor grado de pertenencia estaremos facilitando una solución precisa, pero no podemos afirmar que sea la correcta. Es el experto usuario el que debe evaluar las posibles soluciones proporcionadas por el sistema, estudiar las premisas y el fundamento que han inferido la graduación, y establecer finalmente la solución más adecuada para la determinación taxonómica del espécimen en estudio.

## Chapitre 7

### Conclusions

La determinación taxonómica de flora es un campo muy complejo de modelar y sistematizar por el alto volumen de información imprecisa que contiene. En este estudio se ha realizado un esfuerzo por normalizar la información contenida en las claves y descripciones recogidas en Flora Ibérica. Esta normalización ha derivado en un conjunto de variables con representaciones numéricas que forman parte de la entrada de conocimiento del sistema. La sistematización llevada a cabo consigue extraer información numérica del lenguaje científico.

Ante la dificultad de utilizar ordenaciones preestablecidas de las características a evaluar en una determinación. Se ha proporcionado al usuario herramientas a fin de que él mismo pueda realizar las observaciones en el orden deseado. Si bien la priorisation de l'information a été notifiée à l'utilisateur comme la restriction de données inutiles ou impossibles en los siguientes pasos de la determinación; es un área de estudio en la cual se puede ajustar el comportamiento aquí descrito.

El espectro del mundo de la flora es de una amplitud tal que se establece como requisito indispensable diseñar un sistema que sea auto-actualisable sencillamente por un experto; resultaría imposible abarcarlo dentro de este estudio. Con este fin, se ha diseñado una tabla de inserción de datos cómoda para un experto botánico, donde este mismo puede ampliar y modificar el conocimiento. El sistema es adaptativo, es capaz de utilizar esta información y actualizar de forma automática la visualización gráfica, la modelización de la información, l'evaluación de las premisas y la inferencia del conjunto solución.

Si generalizamos todas las etapas que intervienen en el sistema, este modelo flexible, podría evolucionar a un 'determinador universal', que pudiera adaptarse a cualquier

## Chapitre 7. Conclusions

---

otro tipo de sistemas de determinación distinto del aquí tratado, la botánica. Sería necesario generalizar la representación de la información y la inferencia de la solución, manejando tanto información nítida como borrosa.

Para realizar una primera evaluación de la normalización del conocimiento taxonómico, se ha implementado un sistema nítido a fin de utilizar la información ahí recogida y sentar las bases de un sistema borroso. Esta primera etapa nos ha permitido aumentar el nivel de información que podíamos extraer del conocimiento, gracias a lo cual hemos podido modelar un sistema más completo en todo el rango de información estudiada.

El sistema borroso reúne todos los requisitos obtenidos en el análisis del sistema nítido y aprovecha toda la información imprecisa que el sistema nítido no era capaz de procesar. Las características cualitativas con cualidades aproximadas son un claro ejemplo, hemos visto como el sistema borroso es capaz de proporcionar al usuario herramientas del lenguaje natural para emitir sus respuestas a estas características; en paralelo hemos relacionado estas respuestas con la información de probabilidad o frecuencia contenida en cada relación entre una característica y un taxón. Las características cuantitativas han suavizado también sus intervalos probables máximos, incluyendo cierto azar; no se elimina una solución posible si está cerca del intervalo dado.

Las etiquetas lingüísticas definidas han sido generalizadas de tal manera que, para cada característica cualitativa conocida se han establecido una serie de conjuntos borrosos genéricos. Los taxones implicados con dichas características son relacionados con el conjunto borroso más aproximado, atendiendo al valor de la relación entre el taxón y la característica. À l'occasion, il a détecté la nécessité d'utiliser la connectiva unión entre conjuntos borrosos para obtener el conjunto deseado. La définition de conjuntos borrosos genéricos produit una mayor adaptabilidad del sistema a futuras incorporaciones de conocimiento, así como para su extensión a otros campos de estudio.

El modo de evaluación de cada premisa se ha fijado obteniendo tres tipos de premisas. Excluyentes, las cuales eliminan automáticamente el taxón (en el sistema nítido de forma programática y en el sistema borroso por inferir grado de pertenencia 0). Indeterminadas, no se tiene información, no forman parte de las reglas. Positivas, su grado de pertenencia participa en la regla. Las reglas de inferencia de cada uno de los taxones se han modelado con estas premisas y operadores AND y OR, definiendo las normas y t-conormas a utilizar.

Par último, el resultado final no se da como solución única, si no como un conjunto de posibles soluciones ordenadas en función del grado de posibilidad inferido, como medio para la toma de decisión del experto. El usuario puede escoger de entre el conjunto de soluciones, aquel que como experto estime que es el más adecuado aunque no haya obtenido el grado máximo. Adicionalmente se han proporcionado medios para resolver la problemática de que el conjunto inferido pueda estar ordenado de forma poco "fundamentada". Esto ocurre con taxones con pocas premisas evaluadas con alto grado de pertenencia, frente a otros taxones con un gran número de ellas. El mecanismo expuesto es un nuevo conjunto borroso en conjunción con el conjunto borroso inferido, que producen el conjunto borroso denominado preferencia. El conjunto fundamentado es aquel que evalúa la sentencia « muchas premisas seleccionadas ».



## Chapitre 8

### Trabajo Futuro

A lo largo de los distintos capítulos hemos detectado futuras evoluciones que se podrían realizar para mejorar la solución proporcionada. De plus, il existe des ámbitos muy interesantes que no han podido ser abordados en este estudio.

1. El sistema no ha podido ponerse a prueba en experimentos relevantes con expertos, por lo tanto no se han podido medir los resultados. El siguiente paso más inmediato sería realizar experimentos en los que expertos utilizaran el sistema.
  - a. Los experimentos más interesantes serían aquellos que nos permitieran comparar este sistema con otros sistemas en funcionamiento y métodos clásicos como el Dicotómico.
  - b. Podríamos realizar experimentos para medir y comparar con más exactitud los métodos propuestos entre sí, así como para ajustar diversos parámetros variables que hemos ido identificado. A raíz de los resultados obtenidos, podríamos ajustar estos parámetros variables, así como determinar la mejor solución en aquellos puntos en los que se han propuesto varias posibilidades. Sería necesario ampliar la implementación si se desea incluir más posibilidades.
2. La cantidad de características mostradas al usuario en cada punto, podría ser optimizada mediante un sistema experto, para evitar que el usuario pierda tiempo con características que no pueden aportar información decisoria para el conjunto solución en dicho punto. Par exemple, en cada momento, à partir de la liste des taxons possibles et sus relaciones con las características, si una

## Chapitre 8. Trabajo Futuro

---

característica tiene el mismo valor en sus relaciones con todos los taxones que quedan como posibles, esa pregunta debería desaparecer ya que, aunque se conteste, no daría ninguna información. También podrían eliminarse aquellas características que no tengan relación conocida con los taxones actualmente posibles. Nótese, que aquellas que hayan sido contestadas no deben desaparecer, siempre existe la opción de eliminar o modificar la respuesta.

3. Aprendizaje automatizado a partir de ejemplo. Este aprendizaje actualizaría automáticamente elementos del sistema como el modelado de conjuntos borrosos, reglas, etc.
  
  
  
  
  
  
4. Nuevo conocimiento. L'insertion et la modification de conocimiento por parte del experto se réalisent actualizando l'information sur le tableau Excel.
  - a. El sistema podría evolucionar a fin de incluir un asistente gráfico estructurado que guiara al usuario en la ampliación del conocimiento.
  - b. En el futuro se podría diseñar un procedimiento de aportación de nuevo conocimiento y validación del mismo por parte de un "consejo de expertos". Le référentiel d'information se alimentaría con las nuevas aportaciones, se comprobaría su adecuación por el consejo y lastamente se podría poner a disposición de los usuarios por medio de actualizaciones periódicas.
  
  
  
  
  
  
5. Desarrollar una herramienta web para su uso online, que pueda ser utilizada por botánicos. El sistema podría almacenar en un repository, todos los datos incorporados en el conocimiento. También podría realizar estadísticas de acierto, los más buscados, las características con mayor número de evaluaciones etc. Estos datos podrían ser útiles a la hora de perfilar y evolucionar el sistema.
  
  
  
  
  
  
6. Conception d'un "détermintateur universel". Objetivo ambicioso en el que se podrían generalizar los elementos del sistema para que este pudiera adaptarse a cualquier otro tipo de determinación, en otras disciplinas.
  
  
  
  
  
  
7. En este estudio hemos diseñado un sistema nítido y otro borroso. Se podrían diseñar nuevos sistemas utilizando otras técnicas del ámbito de la Inteligencia Artificial como por ejemplo redes neuronales, CBR, algoritmos genéticos, etc.

8. Evolucionar el sistema para incluir respuestas sí, no, no sé. En este estudio se han visto las complicaciones de esta posibilidad. La recherche de solutions possibles à la problématique, se deja para futuros trabajos.
9. El conjunto de posibles taxones solución, podría ser acotado al inicio de la determinación por el propio usuario. El sistema podría proporcionar herramientas al usuario para partir de un taxón conocido. Par exemple, si sabe que el espécimen es de una familia determinada, buscaría la solution directamente dentro de esa familia.
10. El sistema podría mostrar a petición del usuario, para cada taxón componente del conjunto solución, la información de qué características se han visto involucradas en la inferencia del grado de pertenecía obtenido. Igualmente el sistema podría proporcionar información para los taxones descartados, acerca de que las características que han influido en su eliminación.
11. Se han estudiado características relacionadas aproximadas. Estas características cualitativas únicamente han sido detectadas en los grupos de auto-exclusion, pero es posible que se pueda dar fuera de estos grupos. A medida que aumente el conocimiento, se podrán detectar nuevas implicaciones qu'aporten información extra a la determinación.



## Bibliographie

- [1] S. Castroviejo et al. (1997) *Flora Ibérica: Plantas Vasculares de la Península Ibérica et Islas Baleares*. Vol. V : Ébénacées-Saxifragacées. Real Jardín Botánico de Madrid. SCCI.
- [2] D. Dubois et H. Prade, *Ensembles flous et système : théorie et applications*, Academic Press, New York, 1981.
- [3] JC Fodor, *Sur les opérateurs d'implication floue*, *Fuzzy Sets and Systems* 41 (1991) 293--300.
- [4] E. Trillas et C. Alsina, *Une réflexion sur ce qu'est une fonction d'appartenance*, Mathw. Softcomput. 6 (1999), p. 201–215.
- [5] Xflou. Page Web officiel. <http://www.imse.cnm.es>.
- [6] LA Zadeh, *Ensembles flous, Inform. et Control* 8 (1965), p. 338–353.
- [7] LA Zadeh, *Le concept de variable linguistique et son application au raisonnement approché, parties I, II, III*, *Inform. Sci.* 8 (1975), p. 199–249 8 (1975) 301–357 ; 9 (1975) 43–80
- [8] LA Zadeh *Logique floue = Calcul avec des mots*. IEEE Trans. Système flou, vol. 4, (1996) p. 103–111.
- [9] LA Zadeh, *Du calcul avec les nombres au calcul avec les mots — De la manipulation des mesures à la manipulation des perceptions*. Dans : PP Wang, éditeur, Computing with Words, John Wiley & Sons (2001), pp. 35–68.
- [10] Flora Ibérica. Plantes vasculaires de la péninsule ibérique et des îles Baléares. <http://www.floriberica.org/>.

## Bibliographie

---

- [11] Enlaces interesantes de botánica. <http://floramontiberica.org/enlaces.htm>
- [12] Sistema de información de Determinación Taxonómica de Flora Ibérica « DetFlora » reconnu sur [www.fdi.ucm.es/profesor/lgarmend/](http://www.fdi.ucm.es/profesor/lgarmend/)
- [13] Asociación BIGA (Biodiversidad en Galicia). Plantae, espacio dedicado a información sobre flora vascular gallega. <http://www.biga.org/>.
- [14] T. Sánchez Velázquez. Clave taxonómica de la pteridoflora de las Islas Canarias. *Botanica Complutensis* 28:y: 39-50. 2004.
- [15] Herbario de la Universidad Pública de Navarra. <http://www.unavarra.es/servicio/herbario/htm/inicio.htm>
- [16] El Herbario Virtual del Mediterráneo Occidental. <http://herbarivirtual.uib.es/cas-med/index.html>
- [17] Proyecto Flora Ibérica “De lo real a lo imaginario”, Universidad de Valencia. <http://www.florayfaunaiberica.com/>
- [18] Lecciones Hipertextuales de Botánica . <http://www.unex.es/polen/LHB/>
- [19] Los macrolíquenes epífitos de España. Un guide interactif.  
. <http://herbarivirtual.uib.es/cas-med/index.html>
- [20] Biologie 211 : Taxonomie des plantes à fleurs. Identification mondiale de la famille des plantes à fleurs. <http://www.colby.edu/info.tech/BI211/PlantFamilyID.html>
- [21] Herbario virtuel de las Islas Baleares. Prototype de système de détermination. <http://130.206.78.170/fmi/iwp/cgi?-db=ClassBotanic&-loadframes>
- [22] A. Meskauskas et V. Gediminas. *Un système expert pour intégrer plusieurs manuels sur la détermination des maladies des plantes dans une base de données unifiée*. Université technique de Lituanie. Symposium sur les technologies pédagogiques 2001 [http://www.ispp.itsymposium.org.nz/papers/submiss\\_1/](http://www.ispp.itsymposium.org.nz/papers/submiss_1/)
- [23] E. Gibaja Galindo. *Thèse de Doctorat. Modelos de representación del conocimiento para la identificación taxonómica y aplicaciones*. Université de Grenade 2004.
- [24] W. Fajardo Contrerasa, E. Gibaja Galindoa, A. Bailon Morillasb, P. Moral Lorenzoa. *Une application des systèmes experts à la taxonomie botanique*. Systèmes experts avec applications 25 (2003) 425–430.

- [25] D. Diaz, L. Garmendia, A. Garmendia, A. Salvador. *Espèce Identification de spécimens du genre Primula à l'aide de la logique floue*. Segundo Congreso Internacional de Matemáticas en la Ingeniería y la Arquitectura. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Madrid 2008, pages 175-182.  
ISBN : 978-84-7493-390-1.
- [26] D. Diaz, A. Garmendia, L. Garmendia, A. Salvador. *Diseño mediante lógica fuzzy d'un système de détermination d'espèces de plantes de la famille Primula*. Journal of Mathematics & Design, volume 9 n° 1, pages 7 – 22, 2008. ISSN 1515-7881
- [27] D. Diaz, A. Garmendia, L. Garmendia, A. Salvador. *Diseño mediante lógica fuzzy d'un système de détermination d'espèces de plantes de la famille Primula*. 3ras. Journaux de Mathématiques et Conception M&D-2008. Publication : En Actas. Argentine 2008.



## Appendice 1. Introducción a la lógica borrosa

La lógica clásica, la teoría de conjuntos clásica o la teoría de probabilidad pueden no ser adecuadas para tratar la imprecisión, la incertidumbre, la no especificidad, la vaguedad, la inconsistencia y la complejidad del mundo real. Esto motiva el nacimiento de los conjuntos difusos y las lógicas borrosas y explica su papel en la reestructuración de los fundamentos de las teorías científicas y sus aplicaciones, por lo que se están produciendo grandes avances tanto en áreas teóricas como en gran diversidad de aplicaciones.

La teoría de la probabilidad sólo es capaz de representar uno de los tipos de incertidumbre que se basa en la aleatoriedad, no en la imprecisión de la información.

*Lotfi A. Zadeh* en 1965 escribe su artículo en el que presenta una teoría sobre unos objetos, los conjuntos difusos, que son conjuntos de frontera no precisa y cuya función de pertenencia indica un grado. En la esfera de los predicados subjetivos, y por tanto imprecisos, la teoría de conjuntos clásica se enfrenta con obstáculos difíciles de superar.

Las lógicas borrosas necesitan generalizar las conectivas entre conjuntos borrosos. Los conectivos lógicos AND, OR y NOT, y las operaciones entre conjuntos intersección, unión y negación se generalizan respectivamente mediante normas triangulares, conormas triangulares y negaciones.

Cuando se pretende utilizar las relaciones borrosas para efectuar inferencias de razonamiento aproximado de la forma

---

Appendice 1. Introducción a la lógica borrosa

---

*Six P entonces oui Q*

*x es P'*

---

*oui Q'*

se puede utilizar la regla composicional de inferencia de *Zadeh* y, en el caso de un universo en discurso, se obtendrán consecuencias lógicas en el sentido *Tarski*, pero se debe asegurar la propiedad de condicionalidad de la relación borrosa si queremos que se verifique el *Modus Ponens Generalizado* definido por *E. Trillas* [Trillas & Cubillo; 1996].

Parece necesario estudiar las propiedades algebraicas de las relaciones borrosas. Las más utilizadas son la reflexividad, simetría y T-transitividad. Una relación borrosa con estas tres propiedades es una **T-indistinguibilidad**, que generaliza a una relación de equivalencia. Sus aplicaciones son diversas, como la comparación y la clasificación, y es utilizada también en el aprendizaje inductivo automático. Es interesante estudiar las indistinguibilidades como complemento o negación de distancias, aprovechando los conocimientos sobre espacios métricos y espacios métricos generalizados.

Un tipo muy interesante de relaciones borrosas, casi siempre implicaciones lógicas, son los **T-preórdenes**, es decir, las relaciones reflexivas y T-transitivas. L'application principale consiste en ce qu'un préorden définit un opérateur de consecuencias en el sentido *Tarski* al aplicar la regla composicional de inferencia de *Zadeh*. Es fundamental el estudio y manejo de las relaciones residuadas de una norma triangulaire T, que al mismo tiempo son T-preórdenes y una cota superior de las relaciones T-condicionales.

### **TERNES LOGIQUES**

- **t-normes**

Según las aplicaciones se puede definir las operaciones de los conjuntos borrosos utilizando conectivos diferentes al mínimo, máximo y negación. Ya B. Schweizer et A. Sklar en "Statistical Metric Spaces", en 1960, trabajan las normas triangulares (ot normas) mediante funciones generadoras, y observando sus propiedades, se comprueba que se pueden utilizar para generalizar la operación de intersección clásica así como las t-conormas para generalizar la unión clásica.

Las t-normas se comportan como conjunciones por lo que son ampliamente utilizadas en lógica borrosa. Las utilizamos por ello en la definición de expresiones de las

medidas de especificidad. Además las t-normas pueden ser utilizadas como generadoras de *modus ponens*. Los condicionales residuos asociados con cada una de las t-normas más importantes son bien conocidos. Por esto es preciso resumir en este apéndice sus propiedades más importantes.

**Définition:**

Une **norme triangulaire** (o brevemente una t-norma) es una operación binaria asociativa en  $[0, 1]$ ,  $T: [0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [0, 1]$ , que para todo  $x, y, z$  de  $[0, 1]$  satisfaçõa:

$$T1) T(x, 1) = x, \text{ (élément neutre 1)}$$

$$T2) \text{ Si } x \leq x', y \leq y' \text{ entonces } T(x, y) \leq T(x', y') \quad (\text{monotonie})$$

$$T3) T(x, y) = T(y, x) \text{ (simétrie)}$$

$$T4) T(x, T(y, z)) = T(T(x, y), z) \text{ (association)}$$

lo que significa que es asociativa, conmutativa, no decreciente y con una condición de contorno.

Puede visualizarse como una superficie sobre el cuadrado unidad que contiene al segmento  $(0,1,0)$   $(0,0,0)$ , al segmento  $(0,0,0)$   $(1,0,0)$  y al punto  $(1, 1, 1)$ . Esta definición puede generalizarse a conjuntos n-ários utilizando la propiedad asociativa, ya conjuntos infinitos. Entre les dernières t-normes existent una relación de orden, y una relación de predominancia.

Las t-normas son muy utilizados en lógica borrosa para definir la intersección entre conjuntos borrosos, ya que generaliza la intersección clásica. Como operador lógico, son operadores que satisfacen la tabla lógica del conectivo lógico "y" (ET).

Una t-norma es **arquimediana** si y sólo si es continua y  $T(x, x) < x$ , para todo  $x \in (0, 1)$ .

Dernières t-normes producto y de Łukasiewicz fils t-normes arquimedianas; la t-norma mínimo no lo es.

Una t-norma arquimediana es **estricta** si y sólo si es estrictamente creciente en  $(0, 1) \times (0, 1)$ . La t-norma producto es estricta. La t-norma de Łukasiewicz no lo es.

Una t-norma es **positiva** si para  $x > 0$  e  $y > 0$  se tiene que  $T(x, y) > 0$ . La t-norma mínimo y la t-norma producto son positif. La t-norma de Łukasiewicz no lo es.

Se pueden definir las t-normas axiomáticamente o mediante funciones *generadoras*  $\mathcal{B}$ .  
Schweizer et A. Sklar. *Espace métrique probabiliste*. 1983.

## Appendice 1. Introducción a la lógica borrosa

---

- **t-conormes**

Las t-conormas, o conormas triangulares, son operadores  $S: [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$  muy utilizados en lógica borrosa para definir las uniones entre conjuntos borrosos pues generalizan la unión clásica. Como operador lógico, son operadores que satisfacen la tabla lógica del conectivo « o », (OU).

Se pueden definir les t-conormas à partir des dernières t-normas, axiomáticamente o mediante funciones *generadoras*  $\ddot{y}$ B. Schweizer et A. Sklar. *Espace métrique probabiliste*. 1983.

Una operación  $S: [0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [0, 1]$  en una t-conorma si  $T(x, y) = 1 \ddot{y} S(1 \ddot{x}, 1 \ddot{y})$  es una t-norme.

**Définition:**

Dada una t-norma T, se définit la conorma dual de T como

$$T^*(x, y) = 1 \ddot{y} T(1 \ddot{x}, 1 \ddot{y}).$$

La t-conorma dual del Mínimo es el Máximo, la dual del producto es la suma probabilistica:  $\text{Prod}^*(x, y) = x + y - xy$ . La t-conorma dual de Łukasiewicz es  $W^*(x, y) = \text{Mín}\{1, x+y\}$ .

**Définition:**

Axiomáticamente se définit una conorma triangular  $S: [0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [0,1]$ , como un operador que satisface los cuatro axiomas siguientes.

$$S1) S(x, 0) = S(0, x) = x, \text{ pour tout faire } x \in [0,1]$$

$$S2) \text{ Si } x \ddot{y} x', y \ddot{y} y' \text{ entonces } S(x, y) \ddot{y} S(x', y') \quad (\text{monotonie})$$

$$S3) S(x, y) = S(y, x) \text{ pour tout faire } x, y \in [0,1] \quad (\text{simétrie})$$

$$S4) S(x, S(y, z)) = S(S(x, y), z) \text{ pour tout } x, y, z \in [0,1] \quad (\text{association})$$

Una t-conorma es **arquimediana** si y sólo si es continua y  $S(x, x) > x$ , para todo  $x \in (0, 1)$ .

Una t-conorma arquimediana es **estricta** si y sólo si es estrictamente creciente en  $(0, 1) \times (0, 1)$ . El máximo no es arquimediana,  $\text{Prod}^*$  y  $W^*$  si lo son.  $\text{Prod}^*$  es una t-conorma arquimediana y estricta, y  $W^*$  no es estricta.

- Negaciones

Las **negaciones** son operadores  $N: [0, 1] \rightarrow [0, 1]$  muy utilizados en lógica borrosa para definir tipos de complementos entre conjuntos borrosos que generalizan la negación clásica. Como operador lógico, son operadores que satisfacen la tabla lógica del "No", (NOT).

**Définition:**

Une fonction  $N: [0, 1] \rightarrow [0, 1]$  se définit axiomáticamente como una negación si verifica los tres axiomas siguientes:

$$N1) N(0)=1$$

$$N2) N(1)=0$$

$$N3) N \text{ est pas croissant.}$$

Una negación es **estricta** si y sólo si es continua y estrictamente decreciente. Una negación es **involutiva** si y sólo si  $N(N(x)) = x$  para todo  $x \in [0, 1]$ , es decir, si  $N = N^{-1}$ . Se dice qu'una negación es una **negación fuerte** si es continua, estrictamente decreciente e involutiva.

S. Weber demuestra el siguiente resultado: Sea  $T$  una t-norma (continua) y sea  $N$  una negación, entonces  $S(x, y) = N^{-1}(T(N(x), N(y)))$  es una t-conorma (continua).

Sea  $T$  una t-norma arquimediana (estricta) generada por  $f$ , entonces  $g = f \circ N$  es una t-conorma arquimediana (estricta). De plus  $f(0) = g(1)$ .

**Définition : Conorma dual de  $T$  respecto de la negación  $N$**

Se definir  $T^*$  comme la t-conorma dual de  $T$  respecto de la negación  $N$  si:

$$T^*(x, y) = N(T(N(x), N(y))).$$

- **Familias de conectivos lógicos borrosos.**

Una **familia de conectivos lógicos borrosos** ( $T, S, N$ ) está formada por una norma triangulaire  $T$ , una conorma triangulaire  $S$  y una negación  $N$ , y se denomina una **terna de De Morgan o terna de Morgan** cuando  $S$  es la t-conorma dual de  $T$  respecto a la negación  $N$ . Se utilizan para generalizar las operaciones de intersección, unión y complementario. En el caso clásico los conectivos lógicos dotan al conjunto de partes de un conjunto de una estructura de álgebra de Boole, pero esta estructura no se consigue en el caso borroso.

## Appendice 1. Introducción a la lógica borrosa

Hemos visto que la familia  $\{Mín, Máx, 1\bar{y}x\}$  propuesta por Zadeh no verifica el *tercio excluso* y la no contradicción ( $Mín\{x, N(x)\}\bar{y}0\bar{y}$ ;  $Máx\{x, N(x)\}\bar{y}1$ ), aunque verifica el resto de propiedades de un álgebra de Boole (como las leyes de Morgan).

Es sencillo comprobar que la distributividad implique la ley de absorción, qu'a su vez implique la idempotencia. Las normas y conormas arquimediana no son idempotentes, y las sumas ordinarias tampoco, por lo que  $\{Mín, Máx, 1\bar{y}x\}$  es la única familia continua que satisface la propiedad distributiva o modular. Par tanto la familia de *ȳukasiewicz* con  $N(x) = 1 \bar{y} x$  no es distributiva aunque sí satisface la ley de no contradicción y el *tercio excluso*. Según las propiedades qu'interese que se verifiquen en las aplicaciones se elige una terna u otra.

Las familias de conectivos lógicos más utilizadas son:

	$T(x, y)$	Générateur additif	$S(x, y)$	Générateur additif	$N(x)$
Zadeh	$Min(x, y)$		$Max(x, y)$		$1\bar{y}x$
	$xy$	$\bar{y}log(x)$	$x+y\bar{y}xy$	$\bar{y}log(1\bar{y}x)$	
Yagerp	$1\text{-Min}(((1-x)p+(1-y)p)1/p, 1)$	$(1-x)p$	$Min((xp+yp)1/p, 1) xp$		$(1-xp)1/p$
Dombij̄ $\bar{y}>0$	$\frac{1}{+\bar{y}\frac{x}{x}+\bar{y}\frac{1}{y}-1-\bar{y}\frac{y}{y}}$	$\bar{y}\frac{\bar{y}x-\bar{y}}{\bar{y}x-\bar{y}}$	$\frac{1}{+\bar{y}\frac{x}{x}+\bar{y}\frac{1}{y}-1-\bar{y}\frac{y}{y}}$	$\bar{y}\frac{x-\bar{y}}{\bar{y}1\text{ fois}\bar{y}}$	$1\bar{y}x$
Weber̄ $\bar{y}>\bar{y}1$	$\frac{Max(\frac{x+y-1+xy\bar{y}}{1+\bar{y}}, 0)}{1}$	$\frac{\bar{y}\ln(1+\frac{x+y-1+xy\bar{y}}{1+\bar{y}})}{\bar{y}}$	$Min(x+y+xy, \bar{y})$	$\frac{\ln(1+x\bar{y})}{\ln(1+\bar{y})}$	$\frac{1\text{ fois}}{1+x\bar{y}}$
O <i>ȳukasiewicz̄</i> :					
Weber̄ avec $\bar{y}=0$	$Max(x+y-1, 0)$		$Min\{1, x+y\}$		$1\text{ fois}$
Hamacher̄ $\bar{y}>0$	$\frac{xy}{\bar{y}\bar{y}+(1-\bar{y})(x+y-\frac{1}{\bar{y}})}$	$\frac{x+y-xy-(1-\bar{y}xy)}{1-\bar{y}(1-\bar{y}xy)}$	$\frac{1}{\bar{y}\bar{y}\bar{y}(1-\bar{y}x)\bar{y}\bar{y}}$		

## RELACIONES BORROSAS

- Estructura relacional borrosa

Entre los predicados graduados pertenecientes a una misma variable lingüística usualmente existe una relación de antonimia. De hecho los valores lingüísticos de muchas variables pueden generarse a partir de un par de predicados antónimos y una serie de modificadores. Por ejemplo, para la variable lingüística *temperatura*, los predicados *frío* y *caliente* pueden generar los valores *helado*, *bastante frío*, *frío*, *bastante caliente*, *caliente*, *muy caliente* generados mediante los modificadores *muy* y *bastante*. El uso de conectivos lógicos de conjunción, disyunción y negación permiten combinar estas etiquetas para obtener otras como *templado* = *ni caliente ni frío*. L'importance de las relaciones de antonimia entre predicados se manifiesta en la cantidad de conocimiento que se adquiere gracias a la existencia de predicados antónimos. Cuando se transmite información mediante alguno de estos conceptos se supone de forma implícita la existencia del contrario y de una posición intermedia. Zadeh al definir variable lingüística utilizó gramáticas generativas de tal forma que, a partir de ciertos operadores, todos los términos lingüísticos de la variable están dados. De la misma forma si se tiene una semántica asociada a los términos lingüísticos básicos mediante conjunto borroso se tiene una semántica asociada a todos los términos lingüísticos válidos, sin más que asociar a dichos operadores operaciones adecuadas entre conjuntos borrosos. Sin embargo consideramos que la asignación de un significado a esos términos mediante conjuntos borrosos se realiza de otra forma, con base en los términos implícitos existentes cuando se realiza una predicación, constituyendo una jerarquía de varios niveles, cada uno de ellos presentando diferente granularidad. La clase de conjuntos borrosos de cada nivel se obtendrá como una partición borrosa del universo compatible con una indistinguibilidad. Veamos est défini comme conceptos.

Sea  $X$  un conjunto clásico. Una relación borrosa (o difusa) es una aplicación  $R: X \times X \rightarrow [0, 1]$ , es decir, una relación borrosa sobre  $X$  es un conjunto borroso sobre  $X \times X$ . Al conjunto  $(X, R)$  formado por un conjunto borroso  $X$  y una relación borrosa  $R$  se le llama **estructura relacional borrosa**. Entre las relaciones más destacadas en la teoría de

conjuntos clásicos tenemos las relaciones de orden y las de equivalencia, luego las propiedades que nos interesarán definir ahora son la reflexiva, simétrica, antisimétrica y transitiva. Como con las operaciones entre conjuntos tenemos también muchas posibilidades y formas diferentes de definirlas.

Se dice qu'une relación borrosa es **reflexiva** si  $R(a, a) = 1$  para todo  $a \in X$ . Se dice qui est **simétrica** si  $R(a, b) = R(b, a)$  para todo  $a, b \in X$ . Es sencillo probar que una relación

## Appendice 1. Introducción a la lógica borrosa

---

borrosa es reflexiva si y sólo si las relaciones clásicas definidas por los subconjuntos de nivel de R son relaciones reflexivas. Lo mismo ocurre con la propiedad simétrica.

Una relación borrosa que es reflexiva y simétrica se denomina **relación de semejanza**.

Un ejemplo de una relación de semejanza puede ser la representada por la matriz:

$$\begin{array}{c|ccccc} \bar{y} & 1 & 0 & 3 & 0 & 7 \\ \hline 0.3 & 1 & 0 & 4 & & \\ \hline \bar{y} & 0.7 & 0 & 4 & 1 & \bar{y} \end{array}$$

Se dice que una relación borrosa es  **$\bar{y}$ -reflexiva** (reflexiva al menos en un cierto grado), si  $R(a, a)$  es siempre mayor o igual a un cierto valor  $\bar{y}$ .

Debemos ser más cautelosos en el momento de definir la transitividad pues si  $a$  está cerca de  $b$ , y  $b$  está cerca de  $c$ , ¿podemos siempre asegurar que  $a$  está cerca de  $c$ ? Es de sobra conocido el comportamiento de los sinónimos respecto a la transitividad.

$R$  transitiva  $\bar{y}$  Si  $R(a, b)$  y  $R(b, c)$  entonces  $R(a, c)$

$\bar{y} R(a, b) \bar{y} R(b, c) \bar{y} R(a, c)$

$\bar{y} R(a, c) \bar{y} \max\{\min\{R(a, x), R(x, c)\}\}$

Y generalizando se dice qu'una relación borrosa es **T-transitiva** (T es una t-norma) si:  $T(R(a, b), R(b, c)) \bar{y} R(a, c)$  para todo  $a, b, c \in X$ .

### • Preórdenes e indistinguibilidades

Una relación borrosa que sea reflexiva y T-transitiva se denomina un **T-preorden**. Una relación borrosa que sea reflexiva, simétrica y T-transitiva se dice que es una **T similaridad** o una **T-indistinguibilidad**.

Los preórdenes, entre los que se encuentran las relaciones de implicación, son muy utilizados para realizar inferencias borrosas. La relación borrosa  $JAT: X \times X \rightarrow [0, 1]$  definida por:

$$JAT(a, b) = Sup_{z \in X} T(A(a), z) \bar{y} Un B(z),$$

es un T-preorden.

Las indistinguibilidades generalizan a las relaciones de equivalencia clásicas y se utilizan para definir valores de "similitud" o distancias generalizadas. Se peut définir

partición borrosa y considerar la noción de compatibilidad de una partición respecto una T-indistinguibilidad.

## LÓGICAS BORROSAS

L'utilisation habituelle du terme "lógica borrosa" est liée à une semántica de muy amplio espectro que es entendida básicamente como sinónimo de todo aquello que arranca del trabajo de *Zadeh* sobre conjuntos borrosos.

La lógica se ocupa de hacer inferencias verdaderas a partir de otras verdades. Como ciencia que estudia el razonamiento aproximado la lógica borrosa ha proporcionado un cálculo para las consecuencias imprecisas, resultado de gestionar commodemente la vaguedad de las premisas y, en ocasiones, la fuerza de la implicación. Tanto la vaguedad de las premisas como la credibilidad de la conclusión se representan frecuentemente en términos de grados de verdad. La noción de grado de verdad puede interpretarse como una verdad parcial o como utilidad, esto es, una creencia subjetiva que tiene el agente en la verdad de esa proposición. Pero ahora nuestro grado de verdad no es sólo falso (0) o cierto (1) sino que puede haber grados. Set tiene por tanto que definir que se entiende por "premisa", "consecuencia" y "conjetura".

Uno de los problemas de la lógica borrosa es el tratamiento de la inferencia con información imprecisa y, en particular, el de la obtención de modelos para los enunciados condicionales, es decir, los del tipo: "*Six es A entonces y es B*", donde *x* e *y* son elementos del universo y *A* y *B* son predicados vagos sobre el mismo. Con este fin se han definido operadores a partir de conceptos análogos de las lógicas bivaluada y multivaluada.

Un método de razonamiento borroso es un procedimiento de inferencia que deriva conclusiones entre un conjunto de reglas borrosas y un ejemplo. Para ello se tiene en cuenta el grado de compatibilidad, el grado de asociación, la función de ponderación, el grado de clasificación del ejemplo en cada una de las clases y la clasificación.

Es pues muy necesario prouver de teorías sobre las formas adecuadas de realizar estas inferencias, y de obtener consecuencias desde un conjunto de reglas dado.

### • Opérateur de conséquences

Mer E un conjunto cuyos elementos representan objetos lógicos, o proposiciones, y se parte de un conjunto de premisas V que será un subconjunto de E distinto del vacío. En este sentido *Alfred Tarski* axiomatizó l'idée de "consecuencia" lógica a través de lo que se denomina **un operador de consecuencias** C, que es una aplicación de  $\mathcal{Y}(E)$  en  $\mathcal{Y}(E)$  que verifica:

## Appendice 1. Introducción a la lógica borrosa

---

- 1)  $\forall V \exists C(V)$  para todo  $V \exists C(E)$  (las mismas premisas son consecuencias)
- 2) Si  $V_1 \wedge V_2$  entonces  $C(V_1) \wedge C(V_2)$  (a más premisas no menos consecuencias)
- 3)  $C(V) = C(C(V))$  (se déduire toutes les conséquences possibles)

Luego, partiendo de un conjunto de premisas, mediante los operadores de consecuencias se obtiene el conjunto de consecuencias que puede deducirse por algún método adecuado. La primera propiedad nos dice que cada premisa puede considerarse una consecuencia, la segunda asegura la monotonía en el sentido de que al aumentar el número de premisas se aumenta el número de consecuencias, y la tercera dice qu'una vez halladas "todas" las consecuencias, ya no hay más consecuencias, pues  $C_2=C$ . Una **lógica**, según la idea tarskiana, no es otra cosa que un conjunto de proposiciones provisto de un operador de consecuencias.

### **OPÉRATEURS D'IMPLICATION**

A la hora de buscar generalizaciones las posibilidades son múltiples, pero debe mantenerse siempre que, al aplicar el nuevo concepto al caso límite de valores de pertenencia 0 o 1 el resultado coïncida con el dado por el concepto original. Para representar enunciados condicionales los operadores de implicación deben buscarse entre aquellos que verifiquen los de la implicación lógica clásica. Por tanto los operadores de implicación generalizan la implicación lógica clásica, cuya tabla de verdad es

<i>un</i>	<i>b</i>	<i>a</i> $\rightarrow$ <i>b</i>
1	1	1
1	0	0
0	1	1
0	0	1

y una vez añadidas unas condiciones de monotonía propias del cálculo proposicional clásico. Puede definirse como:

$$a \rightarrow b \equiv a' + b \equiv b + (a' \cdot b') \equiv a' + ab$$

Siguiendo esta idea se puede definir la implicación borrosa como:

$un$	$b$	$a' + b$	$un B$	$b$	$a \cdot b + a' \cdot b'$	$un B$	$un B'$	$un'$
0	0	1	0	0	1	0	1	1
0	1	1	0	1	0	1	0	1
1	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	1	0	0	0

sin más que imponer que si la primera proposición es cierta y la segunda falsa entonces la implicación debe ser falsa. Pero es también interesante imponer que si ambas proposiciones son ciertas, la implicación debe ser cierta, con lo que nos quedamos únicamente con cuatro posibilidades:  $a' + b$ ,  $a \cdot b$ ,  $b$ ,  $a \cdot b + a' \cdot b'$ . La primera posibilidad, a la que se llama **implicación material**, es la misma que se deduce de la tabla de la implicación lógica clásica. Recordemos que puede ser cualquier t-norma, + cualquier t conorma y' cualquier negación, según la terna de Morgan elegida. Cuando · es el mínimo la implicación se denomina de *Mamdani* y es la más utilizada en control.

También se usa mucho en control con buenos resultados la segunda:  $a \cdot b$ , sustituyendo además de por el mínimo, por otras t-normas. La tercera indica que al menos l'implication tenga el mismo valor de verdad que la segunda proposición. La cuarta es la equivalencia lógica, o double implicación. Cada una de estas cuatro posibles implicaciones lógicas tienen propiedades diferentes y puede ser interesantes unas u otras según las aplicaciones.

En un Álgebra de Boole ( $B, +, \cdot, '$ ) se dice qu'una operación  $\circ$ :  $B \circ B \circ B$  es una implicación si, para todo  $x, y$  en  $B$  es  $x \circ (x \circ y) \circ y$ , desigualdad que es équivalente a  $x \circ y \circ x \circ y$ . Por tanto, la implicación material no es la única implicación, pero sí la mayor de todas. En la tabla anterior hemos visto que podemos tener seis funciones booleanas que cumplen dicha condición.

Les principaux opérateurs de l'implication fils:

- **Implicación residuada**

**Définition**:

Se definir l' **implicación residuada** de una t-norma continua  $T$ , y se denota  $JT$ , a la aplicación:  $JT: [0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [0, 1]$  tal que:

## Appendice 1. Introducción a la lógica borrosa

---

$$JT(x, y) = \text{Sup } \exists z \exists: T(x, z) \wedge y \exists.$$

Dado un conjunto borroso sobre un universo entonces:

$$\begin{aligned} & \exists 1 \text{ six } \exists \\ & \exists \forall \text{ Si } x \exists \exists \\ Jmín(x, y) = & \text{ es un Min-preorden borroso} \end{aligned}$$

Jprod(x, y)=Mín(1, y/x) es un Prod-preorden borroso

JW(x, y)=Mín(1, 1/yx+y) es un W-preorden borroso

Se tienen pues tres familias de implicaciones lógicas borrosas que se deben estudiar.

Cada una de ellas tiene sus ventajas e inconvenientes, por lo que en los sistemas expertos se utilizan una u otra según la conveniencia. Por ejemplo en un álgebra de Boole de probabilidades funciona bien la t-norma de Łukasiewicz.

- **S-Implication**

Dada una t-conorma S y una negación N, se definir una operación de S-implicación como  $I(x, y) = S(N(x), y)$ . Observamos que es una generalización de la implicación definida por  $x' + y$ .

Observamos que el concepto de implicación borroso no está únicamente determinado. Además podemos generalizar también los conectivos lógicos y obtener nuevos tipo de implicación como:

- **Implication QM**

Dada una t-norma continua T, una S-conorma continua S y una negación N, se define una operación de QM-implicación como  $I(x, y) = S(N(x), T(x, y))$  que est la forme de généralisation de l'expression :  $x' + xy$

- **Regla composicional de inferencia**

Dado una estructura relacional borrosa ( $E, R$ ) y una t-norma T se denomina **transformada lógica** sobre ( $E, R$ ) a LRT:  $[0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [0, 1]$  definida por:

$$TLR \exists f \exists (b) = \text{Supa } \exists ET(a, R(a, b))$$

La transformada lógica es la aplicación de la regla composicional de inferencia de Zadeh y se utiliza para efectuar razonamiento aproximado de la forma

Six  $P$  entonces oui  $Q$

$x$  es  $P'$

---

oui  $Q'$

S. Cubillo demuestra en su memoria de doctorado los siguientes resultados para relaciones borrosas  $R$  reflexivas y:

$\exists \bar{y} \exists LRT \bar{y} : \bar{y} \bar{y}$

$\bar{y}_1 \bar{y} \bar{y}_2 \bar{y} L(\bar{y}_1) \bar{y} L(\bar{y}_2)$

$\bar{y} \bar{y} T(E, R) \bar{y} L(\bar{y}) = \bar{y}$

Si  $R$  es un T-preorden y  $T$  es una t-norma continua entonces  $L(L(\bar{y})) = L(\bar{y})$  y, por tanto,  $LRT$  es un operador de consecuencias.



Appendice 2. Tabla Excel de conocimiento de determinación taxonómica.

---

**Appendice 2. Tabla Excel de conocimiento de determinación taxonómica.**

## Appendice 2. Tabla Excel de conocimiento de determinación taxonómica

#### Appendice 2. Tabla Excel de conocimiento de determinación taxonómica

## Appendice 2. Tabla Excel de conocimiento de determinación taxonómica

Appendice 2. Tabla Excel de conocimiento de determinación taxonómica

## Appendice 2. Tabla Excel de conocimiento de determinación taxonómica

Appendice 2. Tabla Excel de conocimiento de determinación taxonómica.

## Appendice 2. Tabla Excel de conocimiento de determinación taxonómica

## Appendice 2. Tabla Excel de conocimiento de determinación taxonómica.

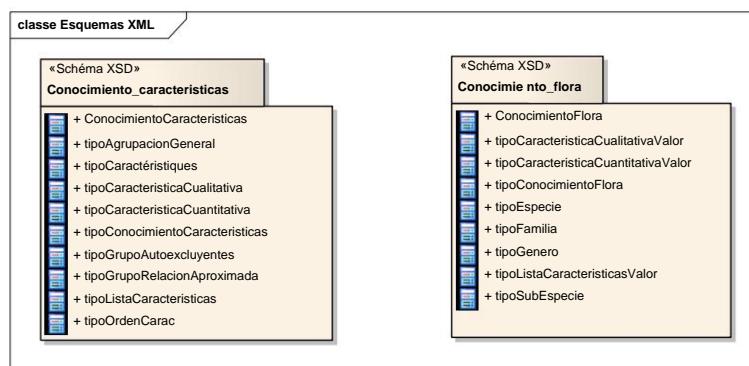
## Appendice 2. Tabla Excel de conocimiento de determinación taxonómica.

## Annexe 3. Description d'exemples XML. Représentation de conocimiento

## **Annexe 3. Description des exemples XML. Représentation de conocimiento**

L'expert botanique a réalisé l'introduction de données à la connaissance de l'utilisation du système de détermination taxonomique, en utilisant un tableau Excel pour la fin. De esta manera proporcionamos al usuario una herramienta conocida con la cual se siente cómodo para trabajar. Pese a esta situación, el sistema no utiliza directamente el Excel para la operativa que realiza. Le système transforme l'information obtenue des tableaux et la représentation médiate XML. De cette façon, l'information queda almacenada dans un référentiel de XMLs. El objetivo es tener una representación final de la información bajo este estándar de intercambio estructurado de datos, que nos permitirá mayor flexibilidad a la hora de evolucionar el sistema, comunicarle con otros sistemas ya fin de divulgar el conocimiento

En este apéndice presentamos la définition de los dos complejos esquemas XML diseñados para recoger de forma estructurada la información contenida in las tablas.

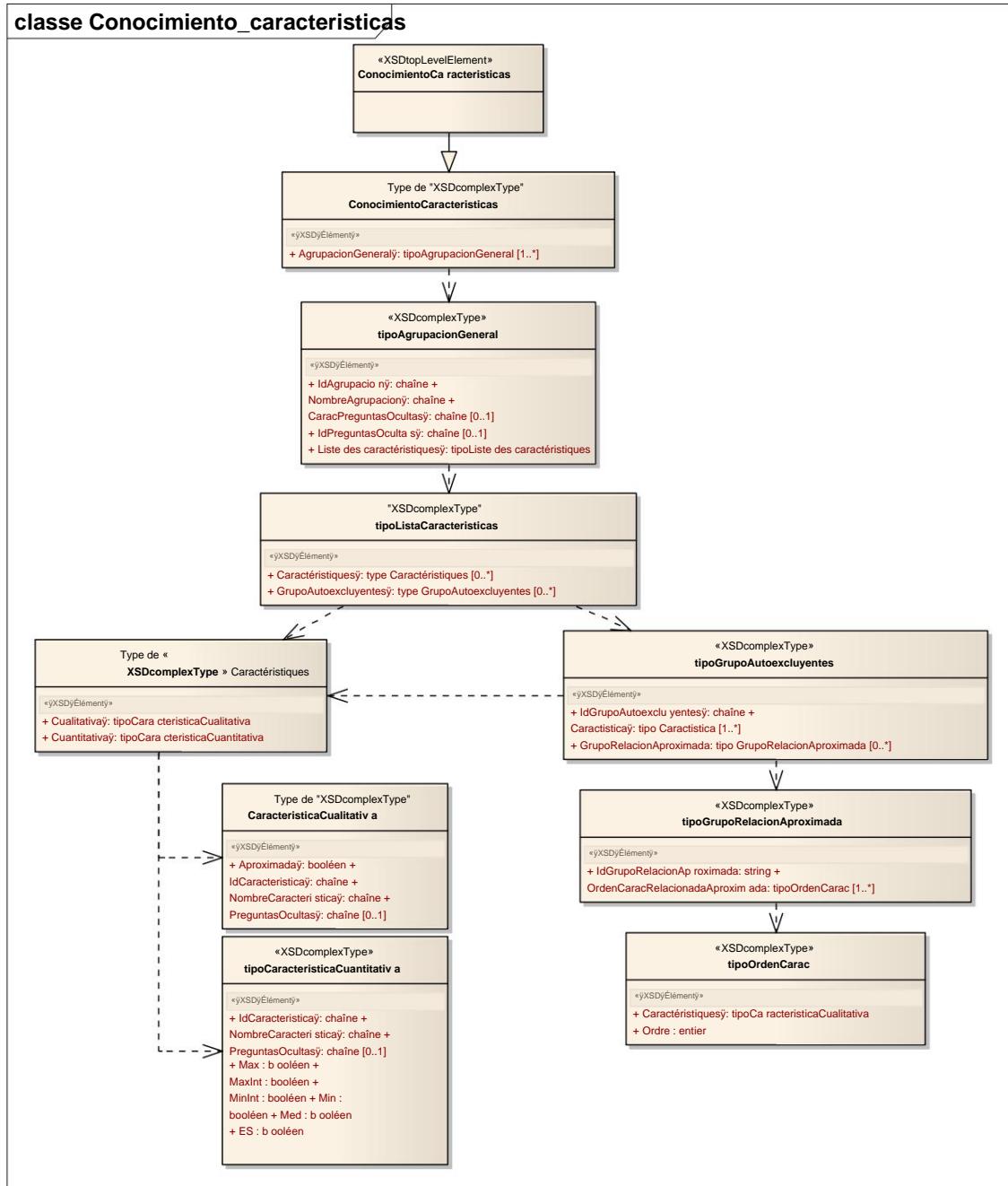


**Figure 12-1. Exemples XML**

### Annexe 3. Description d'exemples XML. Représentation de conocimiento

#### **Conocimiento\_características**

Esquema que recoge la información de las características, se ha estructurado de tal manera que contemple todas las casuísticas derivadas de su representación en la tabla Excel.



**Figure 12-2. Conocimiento\_características**

## Annexe 3. Description d'exemples XML. Représentation de conocimiento

***ConocimientoCaractéristiques***

Conocimiento de las posibles características y su agrupación.

- **tipoAgrupacionGeneral**

Agrupación general de características.

Attribut	Description
Nomÿ: <b>IdAgrupacion</b>  Typeÿ: chaîne	Identifiant unique de l'agrupación
Nomÿ: <b>NomAgrupacion</b>  Typeÿ: chaîne	Nom que identifica a la agrupación. Par exemple Biotipo, Copa, Sabia...
Nomÿ: <b>CaracPreguntasOcultas</b>  Typeÿ: chaîne  [0..1]	Nombre de la caractéristique que la hace permanecer oculta.
Nomÿ: <b>IdPreguntasOcultas</b>  Typeÿ: chaîne  [0..1]	Identifiant de preguntas ocultas
Nomÿ: <b>Liste des caractéristiques</b>  Tipo: tipoListaCaracteristicas	Lista de características de la agrupación.

- **tipoCaractéristiques**

El tipo característica engloba las dos posibilidades que tenemos, características cuantitativas o cualitativas.

Attribut	Description
----------	-------------

## Annexe 3. Description d'exemples XML. Représentation de conocimiento

Attribut	Description
Nomÿ: <b>Qualitative</b>  Tipo: tipoCaracteristicaCualitativa	Caractéristiques qualitatives.
Nomÿ: <b>Cuantitativa</b>  Tipo: tipoCaractisticaCuantitativ un	Caractéristiques quantitatives.

• **tipoCaracteristicaCualitativa**

Información asociada a cada una de las características cualitativas.

Attribut	Description
Nomÿ: <b>Environ</b>  Typeÿ: booléen	Indica que la característica cualitativa es aproximada, se puede definir por los valores poco, medio, mucho.
Nomÿ: <b>IdCaracteristica</b>  Typeÿ: chaîne	Identifiant unique de la caractéristique.
Nomÿ: <b>NombreCaractéristiques</b>  Typeÿ: chaîne	Nombre de caractéristiques.
Nomÿ: <b>PreguntasOcultas</b>  Typeÿ: chaîne [0..1]	Número asignado en el excel para esta característica. Indica que tiene preguntas que dependen de ella.

## Annexe 3. Description d'exemples XML. Représentation de conocimiento

- **tipoCaracteristicaCuantitativa**

Información asociada a cada una de las características cuantitativas.

<b>Attribut</b>	<b>Description</b>
Nomÿ: <b>IdCaracteristica</b>  Typeÿ: chaîne	Identifiant unique de la caractéristique.
Nomÿ: <b>NombreCaractéristiques</b>  Typeÿ: chaîne	Nombre de caractéristiques.
Nomÿ: <b>PreguntasOcultas</b>  Typeÿ: chaîne  [0..1]	Número asignado en el excel para esta característica. Indica que tiene preguntas que dependen de ella.
Nom : <b>Max</b>  Typeÿ: booléen	Maximum de l'intervalle. Indica si la característica tiene (true) o no tiene (false) "Max" como dato a llenar por el usuario.
Nom : <b>MaxInt</b>  Typeÿ: booléen	Indica si la característica tiene (true) o no tiene (false) "MaxInt" como dato a llenar por el usuario.
Nom : <b>MinInt</b>  Typeÿ: booléen	Indica si la característica tiene (true) o no tiene (false) "MinInt" como dato a llenar por el usuario.
Nom: <b>Min</b>  Typeÿ: booléen	Minime de l'intervalle. Indica si la característica tiene (vrai) o no tiene (faux) "Min" como dato a llenar por el usuario.
Nomÿ: <b>Med</b>  Typeÿ: booléen	Médias

## Annexe 3. Description d'exemples XML. Représentation de conocimiento

Attribut	Description
Nomÿ: <b>ES</b>	Erreur standard
Typeÿ: booléen	

- **tipoConocimientoCaracteristicas**

Conocimiento de las posibles características.

Attribut	Description
Nomÿ: <b>AgrupacionGéneral</b> Tipo: tipoAgrupacionGeneral [1..*]	Agrupación de características.

- **tipoGrupoAutoexcluyentes**

Groupe de caractéristiques auto-exclusives.

Attribut	Description
Nomÿ: <b>IdGrupoAutoexcluyentes</b> Typeÿ: chaîne	Identifiant du groupe d'Auto-excluyentes
Nomÿ: <b>Caractéristiques</b> Tipo: tipoCaracteristica [1..*]	Caractéristiques incompatibles.
Nomÿ: <b>GrupoRelacionAproximada</b> Tipo: tipoGrupoRelacionAproxim	Grupos de relación aproximada de características.

## Annexe 3. Description d'exemples XML. Représentation de conocimiento

<b>Attribut</b>	<b>Description</b>
ada	
[0..*]	

- **tipoGrupoRelacionAproximada**

Grupo de características relacionadas aproximadas.

<b>Attribut</b>	<b>Description</b>
Nomÿ: <b>IdGrupoRelacionAproximada</b> un	Identifiant du groupe de relation approximative.
Typeÿ: chaîne	
Nomÿ: <b>OrdenCaracRelacionadaAproximada</b>	Característica cualitativa relacionada aproximada junto con su orden de aparición en la escala.
Tipo: tipoOrdenCarac [1..*]	

- **tipoListaCaracteristicas**

Liste des caractéristiques.

<b>Attribut</b>	<b>Description</b>
Nomÿ: <b>Caractéristiques</b>	Podrá tener de 0 a infinito características.
Tipo: tipoCaracteristica [0..*]	
Nomÿ: <b>GrupoAutoexcluyentes</b>	Lista de grupos de características Autoexcluyentes entre si.
Tipo: tipoGrupoAutoexcluyentes	

## Annexe 3. Description d'exemples XML. Représentation de conocimiento

---

<b>Attribut</b>	<b>Description</b>
[0..*]	

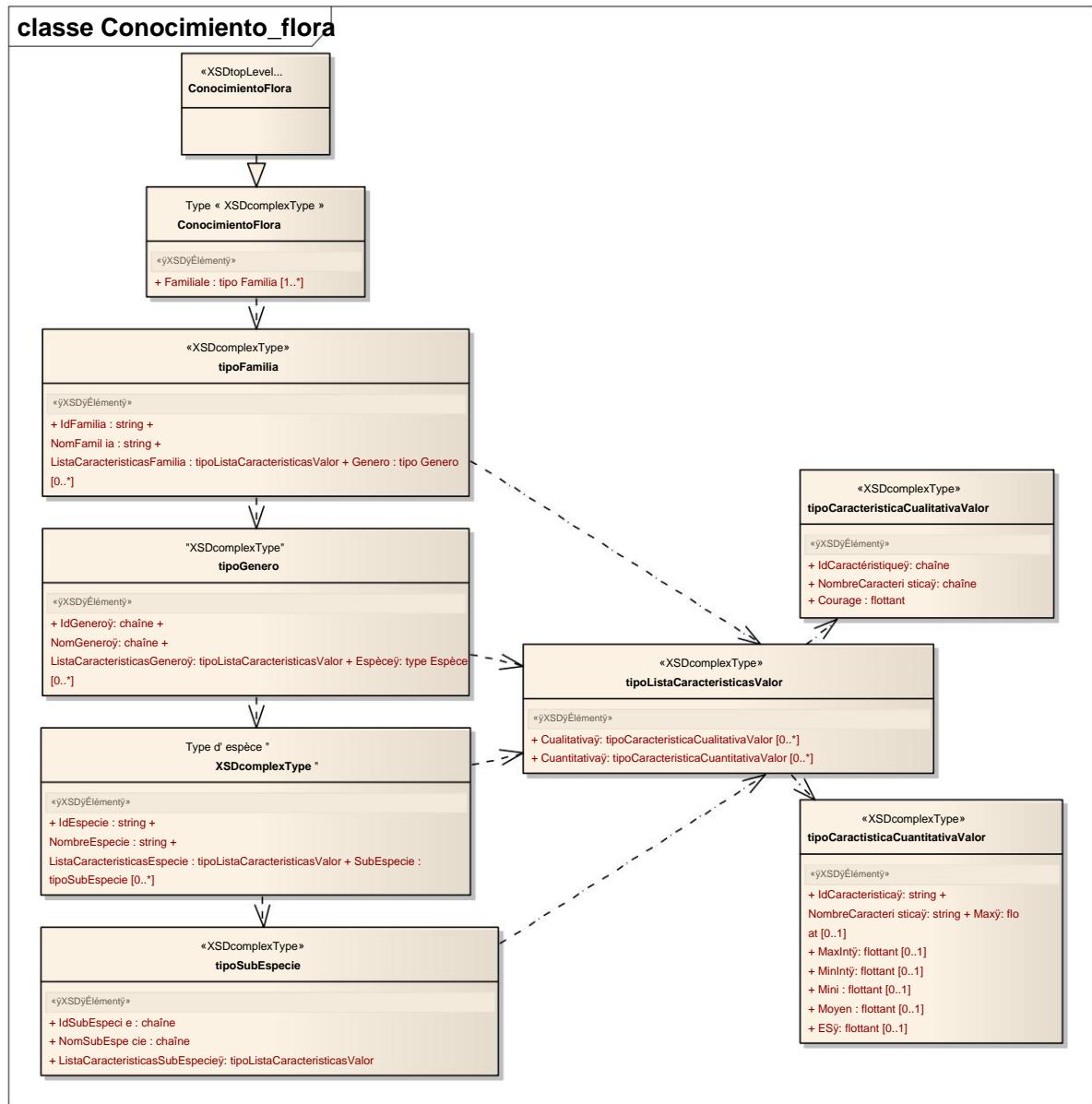
- **tipoOrdenCarac**

Pares de característica y orden en la relación aproximada. Es decir, el orden en el que aparecerá sobre la escala.

<b>Attribut</b>	<b>Description</b>
Nomÿ: <b>Caractéristiques</b>  Tipo: tipoCaracteristicaCualitativa	Característica del grupo de relación aproximada.
Nomÿ: <b>Commande</b>  Type : entier	Orden de la característica sobre la escala del grupo de relación aproximada.

### Annexe 3. Description d'exemples XML. Représentation de conocimiento

#### **Flore Conocimiento**



**Figure 12-3. Conocimiento\_flora**

## Annexe 3. Description d'exemples XML. Représentation de conocimiento

***ConocimientoFlora***

Conocimiento de las familias, géneros y especies.

- **tipoCaracteristicaCualitativaValor**

Característica cualitativa y su valor asignado.

Attribut	Description
Nomÿ: <b>IdCaracteristica</b>	Identifiant de la caractéristique.
Typeÿ: chaîne	
Nomÿ: <b>NombreCaractéristiques</b>	Nombre de caractéristiques.
Typeÿ: chaîne	
Nomÿ: <b>Valor</b>	Valeur de la caractéristique.
Typeÿ: flottant	

- **tipoCaracteristicaCuantitativaValor**

Característica cuantitativa y su valor asignado.

Attribut	Description
Nomÿ: <b>IdCaracteristica</b>	Identifiant de la caractéristique.
Typeÿ: chaîne	
Nomÿ: <b>NombreCaractéristiques</b>	Nombre de caractéristiques.
Typeÿ: chaîne	
Nom : <b>Max</b>	Maximo
Typeÿ: flottant	
[0..1]	

## Annexe 3. Description d'exemples XML. Représentation de conocimiento

<b>Attribut</b>	<b>Description</b>
Nom : <b>MaxInt</b>  Typeÿ: flottant  [0..1]	Maximum de l'intervalle.
Nom : <b>MinInt</b>  Typeÿ: flottant  [0..1]	Minime de l'intervalle.
Nom: <b>Min</b>  Typeÿ: flottant  [0..1]	Minimo
Nomÿ: <b>Med</b>  Typeÿ: flottant  [0..1]	Médias
Nomÿ: <b>ES</b>  Typeÿ: flottant  [0..1]	Erreur standard

• **tipoConocimientoFlora**

Conocimiento de las familias, géneros y especies.

<b>Attribut</b>	<b>Description</b>
Nomÿ: <b>Famille</b>  Tipo: tipoFamilia  [1..*]	Familiers.

## Annexe 3. Description d'exemples XML. Représentation de conocimiento

- **tipoEspecie**

Cada una de las especies.

<b>Attribut</b>	<b>Description</b>
Nom : <b>IdEspecie</b> Typeÿ: chaîne	Identifiant unique de l'espèce.
Nom : <b>NombreEspecie</b> Typeÿ: chaîne	Nom de l'espèce
Nomÿ: <b>ListaCaracteristicasEspecie</b> Tipo: tipoListaCaracteristicasValor	Lista de características de la especie con su valor.
Nomÿ: <b>Sous</b> -espèce Tipo: tipoSubEspecie [0..*]	Liste des sous-espèces associées à l'espèce.

- **tipoFamilia**

Cada una de las familias.

<b>Attribut</b>	<b>Description</b>
Nomÿ: <b>IdFamilia</b> Typeÿ: chaîne	Identifiant unique de la famille.
Nom : <b>NomFamilia</b> Typeÿ: chaîne	Nom que identifica a la familia.
Nomÿ: <b>ListaCaracteristicasFamilia</b> Tipo: tipoListaCaracteristicasValor	Liste des caractéristiques de la famille.

## Annexe 3. Description d'exemples XML. Représentation de conocimiento

Attribut	Description
Nom : <b>Généro</b> Tipo: tipoGenero [0..*]	Liste des génériques de la famille.

• **tipoGenero**

Cada uno de los généreux.

Attribut	Description
Nom : <b>IdGenero</b>	Identifiant unique du générique
Typeÿ: chaîne	
Nomÿ: <b>NomGenero</b>	Nom que identifica al género.
Typeÿ: chaîne	
Nomÿ: <b>Liste des caractéristiques génériques</b>	Lista de características del género.
Tipo: tipoListaCaracteristicasValor	
Nom : <b>Espèce</b>	Espèces associées au générique.
Tipo: tipoEspecie [0..*]	

• **tipoListaCaracteristicasValor**

Asociación de cada característica con su valor.

Attribut	Description
Nomÿ: <b>Qualitative</b>	Asociación de cada característica cualitativa con su valor.

## Annexe 3. Description d'exemples XML. Représentation de conocimiento

<b>Attribut</b>	<b>Description</b>
<p>Tipo: tipoCaracteristicaCualitativa Valeur [0..*]</p>	
<p>Nomÿ: <b>Cuantitativa</b> Tipo: tipoCaractisticaCuantitativa aValeur [0..*]</p>	Caractéristiques quantitatives.

• **tipoSubEspecie**

Informació de cada Subespecie.

<b>Attribut</b>	<b>Description</b>
<p>Nomÿ: <b>IdSubEspecie</b> Typeÿ: chaîne</p>	Identifiant unique de la SubEspecie
<p>Nomÿ: <b>NomSousEspèce</b> Typeÿ: chaîne</p>	Nom de la sous-espèce
<p>Nomÿ: <b>ListaCaracteristicasSubEspecie</b> Tipo: tipoListaCaracteristicasValor</p>	Lista de características de la especie con su valor.