

Entregable 3:

Proyecto final

Autor: Manuel Cano García

INDICE

Contenido

INDICE	2
Descripción	3
Alcance	3
Limites.....	3
Estudio de Viabilidad	3
Adquisición del conocimiento	15
Entrevista 1: Enfermedades	15
Emparrillados	18
Conceptualización	19
Árbol de descomposición	19
Tablas Objeto-Atributo-Valor	20
Taxonomía	21
Mapa de conocimiento	22
Representación del conocimiento	22
Reglas para el conocimiento de las enfermedades	23
Red semántica	27

Descripción

El sistema experto por realizar es un sistema de ayuda a la decisión en el diagnóstico de enfermedades en los almendros situados por la zona de Castilla-La-Mancha.

Alcance

El sistema experto se encargará de diagnosticar las enfermedades más comunes de este tipo de cultivos, como puede ser la Molinosis o la Mancha Ocre. Este diagnóstico se realizará en árboles de las variedades Vairo, Guara y Marcona, específicamente en la región de Castilla-La Mancha.

Limites

El sistema experto no va a tratar todas las plagas y enfermedades pertinentes a los almendros, excluyendo también otras variedades de árbol que nos podemos encontrar en los cultivos de almendra, como puede ser las variedades Marinada, Avijor entre otras. También no consideraremos el diagnóstico en otras comunidades autónomas que no sean Castilla-La-Mancha.

Estudio de Viabilidad

Teniendo claro la descripción, alcance y límites de nuestro sistema experto, lo siguiente a realizar sería hacer el test de Slagel para el estudio de viabilidad.

A continuación, mostraremos cada dimensión con sus respectivas características donde asignaremos un valor.

Plausibilidad

Categoría: EX

Denominación: Existen expertos.

Tipo: E

Identidad: P1

Peso: 10

Valor: 10

En el ámbito de la agricultura especializada en almendros, existe (sobre todo en pueblos) una amplia gama de personas que se dedican, tanto a tiempo completo como a tiempo parcial al cuidado de los almendros.

Categoría: EX

Denominación: El experto asignado es genuino.

Tipo: E

Identidad: P2

Peso: 10

Valor: 8

El experto del tema, Miguel Cano Gómez tiende a ser una persona que dice las cosas tal y como son.

Categoría: EX

Denominación: El experto es cooperativo.

Tipo: D

Identidad: P3

Peso: 8

Valor: 10

Categoría: EX

Denominación: El experto es capaz de articular sus métodos, pero no categoriza.

Tipo: D

Identidad: P4

Peso: 7

Valor: 7

Categoría: TA

Denominación: Existen suficientes casos de prueba; normales, típicos, ejemplares, correosos, etc.

Tipo: E

Identidad: P5

Peso: 10

Valor: 8

Existe gran variedad de almendros con condiciones distintas (climatológicas, variedad de planta, trato de la planta...).

Categoría: TA

Denominación: La tarea está bien estructurada y se entiende.

Tipo: D

Identidad: P6

Peso: 10

Valor: 10

Categoría: TA

Denominación: Sólo requiere habilidad cognoscitiva (no pericia física).

Tipo: D

Identidad: P7

Peso: 10

Valor: 10

Para nuestro sistema experto, solo es necesario la observación.

Categoría: TA

Denominación: No se precisan resultados óptimos sino sólo satisfactorios, sin comprometer el proyecto.

Tipo: D

Identidad: P8

Peso: 9

Valor: 9

Categoría: TA

Denominación: La tarea no requiere sentido común.

Tipo: D

Identidad: P9

Peso: 9

Valor: 9

Categoría: DU

Denominación: Los directivos están verdaderamente comprometidos con el proyecto.

Tipo: D

Identidad: P10

Peso: 7

Valor: 7

Justificación

Categoría: EX

Denominación: El experto NO está disponible.

Tipo: E

Identidad: J1

Peso: 10

Valor: 10

Categoría: EX

Denominación: Hay escasez de experiencia humana.

Tipo: D

Identidad: J2

Peso: 10

Valor: 10

Cada vez existen menos personas que lleven muchos años en el ámbito de la agricultura de almendros debido a las preferencias generacionales que tienden a apartar la agricultura como profesión.

Categoría: TA

Denominación: Existe necesidad de experiencia simultánea en muchos lugares.

Tipo: D

Identidad: J3

Peso: 8

Valor: 9

La producción de almendros en España está extendida por prácticamente toda España, siendo sus centros de producción más potentes Andalucía, Cataluña, Aragón, Valencia, Murcia y ciertas partes de Extremadura y Castilla-La-Mancha.

Categoría: TA

Denominación: Necesidad de experiencia en entornos hostiles, penosos y/o poco gratificantes.

Tipo: E

Identidad: J4

Peso: 10

Valor: 8

Categoría: TA

Denominación: No existen soluciones alternativas admisibles.

Tipo: E

Identidad: J5

Peso: 8

Valor: 9

El diagnóstico de enfermedades en los almendros presenta una estructura estática que consiste en la determinación de sus síntomas que desembocará en una plaga.

Categoría: DU

Denominación: Se espera una alta tasa de recuperación de la inversión.

Tipo: D

Identidad: J6

Peso: 7

Valor: 10

Categoría: DU

Denominación: Resuelve una tarea útil y necesaria.

Tipo: E

Identidad: J7

Peso: 8

Valor: 10

Es esencial detectar a tiempo las plagas de los almendros, debido a que no solo afecta a la producción por la pobre/nula calidad de la almendra, sino que también afecta a los ingresos de las familias, por lo que es útil y necesario estos tipos de sistemas.

Adecuación

Categoría: EX

Denominación: La experiencia del experto está poco organizada.

Tipo: D

Identidad: A1

Peso: 5

Valor: 7

Categoría: TA

Denominación: Tiene valor práctico.

Tipo: D

Identidad: A2

Peso: 6

Valor: 8

Categoría: TA

Denominación: Es una tarea más táctica que estratégica.

Tipo: D

Identidad: A3

Peso: 7

Valor: 9

Categoría: TA

Denominación: La tarea da soluciones que sirvan a necesidades a largo plazo.

Tipo: E

Identidad: A4

Peso: 7

Valor: 10

El sector agrícola en general siempre va a ser un aspecto que vamos a tener durante muchísimos años y sumado a la disminución de las personas que se encargan de esto debido a la falta de relevo generacional, estos tipos de sistema tendrán un valor importante a largo plazo.

Categoría: TA

Denominación: La tarea no es demasiado fácil, pero es de conocimiento intensivo, tanto propio del dominio, como de manipulación de la información.

Tipo: D

Identidad: A5

Peso: 5

Valor: 6

Categoría: TA

Denominación: Es de tamaño manejable, y/o es posible un enfoque gradual y/o, una descomposición en subtareas independientes.

Tipo: D

Identidad: A6

Peso: 6

Valor: 9

Se podría dividir el problema en plagas que afecten a distintas partes del árbol del almendro, como puede ser aspectos relacionados con la propia almendra, la flor de la almendra, las hojas del árbol...

Categoría: EX

Denominación: La transferencia de experiencia entre humanos es factible (experto a aprendiz).

Tipo: E

Identidad: A7

Peso: 7

Valor: 9

Mediante una adquisición de conocimiento adecuada, es posible obtener los conocimientos requeridos del experto.

Categoría: TA

Denominación: Estaba identificada como un problema en el área y los efectos de la introducción de un SE pueden planificarse.

Tipo: D

Identidad: A8

Peso: 6

Valor: 8

Categoría: TA

Denominación: No requiere respuestas en tiempo real “inmediato”.

Tipo: E

Identidad: A9

Peso: 9

Valor: 9

Categoría: TA

Denominación: La tarea no requiere investigación básica.

Tipo: E

Identidad: A10

Peso: 9

Valor: 8

Categoría: TA

Denominación: El experto usa básicamente razonamiento simbólico que implica factores subjetivos.

Tipo: D

Identidad: A11

Peso: 5

Valor: 7

Categoría: TA

Denominación: Es esencialmente de tipo heurístico.

Tipo: D

Identidad: A12

Peso: 5

Valor: 10

El experto seleccionado, al ser una persona que desde su niñez ha estado involucrado en la agricultura de almendros, posee conocimientos subjetivos fruto de la experiencia sin tener en cuenta aspectos académicos.

Éxito

Categoría: EX

Denominación: No se sienten amenazados por el proyecto, son capaces de sentirse intelectualmente unidos al proyecto.

Tipo: D

Identidad: E1

Peso: 8

Valor: 8

Categoría: EX

Denominación: Tienen un brillante historial en la realización de esta tarea.

Tipo: D

Identidad: E2

Peso: 6

Valor: 7

El experto seleccionado, desde su niñez ha estado involucrado en la agricultura de almendros, no solo producción propia del núcleo familiar, sino ajeno.

Categoría: EX

Denominación: Hay acuerdos en lo que constituye una buena solución a la tarea.

Tipo: D

Identidad: E3

Peso: 5

Valor: 7

Categoría: EX

Denominación: La única justificación para dar un paso en la solución es la calidad de la solución final.

Tipo: D

Identidad: E4

Peso: 5

Valor: 8

Categoría: EX

Denominación: No hay un plazo de finalización estricto, ni ningún otro proyecto depende de esta tarea.

Tipo: D

Identidad: E5

Peso: 6

Valor: 9

No existe ningún proyecto dependiente de esta tarea.

Categoría: TA

Denominación: No está influenciada por vaivenes políticos.

Tipo: E

Identidad: E6

Peso: 7

Valor: 10

Categoría: TA

Denominación: Existen ya SS.EE. que resuelvan esa o parecidas tareas.

Tipo: D

Identidad: E7

Peso: 8

Valor: 9

Existe gran variedad de sistemas a la ayuda a la decisión a la medicina, que a efectos prácticos es similar a nuestro SE propuesto debido a que ambos consisten en la observación de síntomas y la salida la plaga correspondiente.

Categoría: TA

Denominación: Hay cambios mínimos en los procedimientos habituales.

Tipo: D

Identidad: E8

Peso: 8

Valor: 9

La forma de detectar plagas en los almendros presenta una forma altamente estructurada, siempre con los mismos procedimientos.

Categoría: TA

Denominación: Las soluciones son explicables o interactivas.

Tipo: D

Identidad: E9

Peso: 5

Valor: 9

Al estar basado en la observación de los síntomas del árbol del almendro, ayuda en la explicación de la plaga detectada.

Categoría: TA

Denominación: La tarea es de I+D de carácter práctico, pero no ambas cosas simultáneamente.

Tipo: E

Identidad: E10

Peso: 7

Valor: 8

Categoría: DU

Denominación: Están mentalizados y tienen expectativas realistas tanto en el alcance como en las limitaciones.

Tipo: D

Identidad: E11

Peso: 6

Valor: 8

Categoría: DU

Denominación: No rechazan de plano esta tecnología.

Tipo: E

Identidad: E12

Peso: 7

Valor: 10

En la agricultura en general, cada vez se está viendo más aspectos tecnológicos como el uso de drones o sensores para medir la calidad del suelo entre otras cosas justificando la aceptación de estas tecnologías.

Categoría: DU

Denominación: El sistema interactúa inteligente y amistosamente con el usuario.

Tipo: D

Identidad: E13

Peso: 6

Valor: 7

Categoría: DU

Denominación: El sistema es capaz de explicar al usuario su razonamiento.

Tipo: D

Identidad: E14

Peso: 9

Valor: 7

Categoría: DU

Denominación: La inserción del sistema se efectúa sin traumas; es decir, apenas se interfiere en la rutina cotidiana de la empresa.

Tipo: D

Identidad: E15

Peso: 8

Valor: 9

La empresa albaceteña Amandín está plenamente concienciada de la implementación del sistema, por lo que no existe trauma alguno y la integración del sistema a la rutina se integrará satisfactoriamente.

Categoría: DU

Denominación: Están comprometidos durante toda la duración del proyecto, incluso después de su implantación.

Tipo: D

Identidad: E16

Peso: 6

Valor: 9

Categoría: DU

Denominación: Se efectúa una adecuada transferencia tecnológica.

Tipo: E

Identidad: E17

Peso: 8

Valor: 8

Una vez asignado el valor correspondiente a nuestro sistema experto, lo siguiente a realizar sería obtener los valores ponderados de cada una de las dimensiones de la siguiente forma (poniendo de ejemplo la dimensión 2):

$$VC2 = \prod_{i=1,4,5,7} (V_{ji} // V_{ui}) \left[\left(\prod_{i=1}^7 P_{ji} * V_{ji} \right) \right]^{1/7}$$

Donde el primer productorio sirve principalmente para asegurarnos de que las características esenciales sean de un valor **7 o superior** porque en caso contrario esa dimensión su valor sería de 0 por la división entera.

El segundo productorio sería la ponderación correspondiente del producto del peso y el valor de cada una de las características de la dimensión y a todo este productorio, le aplicamos la raíz n-ésima (según el número de características que tenga la dimensión).

Una vez realizado los cálculos, estos son los siguientes valores de cada dimensión:

- VC1 = 1 * (8.06 * 10¹⁸)^{1/10} = **77.743**
- VC2 = 1 * (2.32 * 10¹³)^{1/7} = **81.174**
- VC3 = 1 * (3.70 * 10²⁰)^{1/12} = **51.767**
- VC4 = 1 * (5.02 * 10²⁹)^{1/17} = **55.859**
- **VC = 66.636**

El último paso que nos queda para saber el porcentaje es normalizar este valor, debido a que con los pesos asignados no sería posible llegar a un 100% de viabilidad. Esto se soluciona aplicando una simple regla de 3, donde el máximo valor posible con los pesos asignados correspondería el 100% de viabilidad (76.212).

$$\% \text{ VIABILIDAD} = (100 * 66.636) / 76.212 = \mathbf{87.435}$$

Nuestro sistema experto tiene una viabilidad aproximadamente del **87.4%**

Adquisición del conocimiento

Para la adquisición del conocimiento, se realizaron una entrevista estructurada con el experto con el objetivo de entender el dominio de las enfermedades que vamos a tratar en nuestro sistema experto, identificando aspectos claves para el correcto diagnóstico de estas patologías.

Entrevista 1: Enfermedades

Fecha: 10/4/2024

Hora: 22:00

Formato: Videollamada

Asistentes: Manuel Cano García (I.C)

Miguel Cano Gómez (Experto)

Conocimiento anterior a la entrevista:

El punto de partida del ingeniero del conocimiento a la hora de abordar el sistema experto reside en los años que lleva dicha persona ayudando en las labores del cuidado de los almendros junto con el experto, desde la plantación del árbol, hasta su recolección y secado de la almendra para posteriormente venderla. El ingeniero del conocimiento posee unas leves nociones en terminología como el conocimiento de varios tipos de variedades y alguna plaga y enfermedad común en los cultivos personales.

Glosario:

Defoliación: Caída prematura de las hojas de los árboles y plantas, producida por enfermedad, contaminación ambiental o acción humana.

Necrosis: muerte prematura de las células de un tejido, mostrando la zona afectada deteriorada de color oscuro.

Gomosis: aparición de goma, fruto de una infección en el árbol.

Chancros: Hongo ampliamente distribuido en todas las zonas frutícolas de España, que afecta principalmente los cultivos de almendro, melocotonero, nectarina y albaricoquero.

Objetivo:

Identificar las enfermedades más comunes que afectan al árbol del almendro, incluyendo que variedades de las elegidas son más propensas a padecerlas y sus ciclos de aparición y actuación.

Preguntas:

A) Información sobre la enfermedad de ***molinosis***:

- A.1.- ¿Qué circunstancias favorece el desarrollo de la enfermedad?
- A.2.- ¿Cuáles son las variedades de almendro más sensibles a la enfermedad?
- A.3.- ¿Cuáles son los síntomas de la enfermedad?

B) Información sobre la enfermedad de ***mancha ocre***:

- B.1.- ¿Qué circunstancias favorece el desarrollo de la enfermedad?
- B.2.- ¿Cuáles son las variedades de almendro más sensibles a la enfermedad?
- B.3.- ¿Cuáles son los síntomas de la enfermedad?

C) Información sobre la enfermedad de ***cribado***:

- C.1.- ¿Qué circunstancias favorece el desarrollo de la enfermedad?
- C.2.- ¿Cuáles son las variedades de almendro más sensibles a la enfermedad?
- C.3.- ¿Cuáles son los síntomas de la enfermedad?

D) Información sobre la enfermedad de ***verticulosis***:

- D.1.- ¿Qué circunstancias favorece el desarrollo de la enfermedad?
- D.2.- ¿Cuáles son las variedades de almendro más sensibles a la enfermedad?
- D.3.- ¿Cuáles son los síntomas de la enfermedad?

E) Información sobre la enfermedad de ***xantomonas***:

- E.1.- ¿Qué circunstancias favorece el desarrollo de la enfermedad?
- E.2.- ¿Cuáles son las variedades de almendro más sensibles a la enfermedad?
- E.3.- ¿Cuáles son los síntomas de la enfermedad?

Resultados de la sesión

Respuestas de la batería de preguntas

A) Información sobre la enfermedad de ***molinosis***:

- A.1.- La molinosis es más favorable en condiciones de alta humedad ambiental y temperaturas suaves durante la floración, especialmente en zonas frías.
- A.2.- Las variedades más sensibles son Marcona y Guara entre otras.
- A.3.- Los síntomas incluyen una tonalidad parda prematura en flores y frutos, seguida de necrosis avanzada, así como la deshidratación de los frutos adheridos al brote. Posteriormente, se observa la aparición de chancros en ramas y brotes.

B) Información sobre la enfermedad de *mancha ocre*:

B.1.- La Mancha Ocre es más favorable en condiciones de alta humedad ambiental elevada y temperaturas suaves durante la floración

B.2.- La variedad sensible es Guara, mientras que Vairo tiene una sensibilidad baja.

B.3.- Los síntomas incluyen primeros signos observados a principios de mayo (con infecciones a veces en abril), manchas amarillentas que se tornan rojizas y luego necróticas. En variedades sensibles, se puede observar una fuerte defoliación y debilitamiento del árbol.

C) Información sobre la enfermedad de *cribado*:

C.1.- El cribado es más probable en condiciones de alta humedad relativa y temperaturas suaves, con nuevas infecciones que ocurren a principios de primavera. Sin embargo, el hongo se desactiva en temperaturas muy altas durante el verano.

C.2.- Ninguna de las variedades elegidas es especialmente sensible a esta enfermedad.

C.3.- Los síntomas se presentan tanto en hojas como en frutos y brotes. Inicialmente, se observan manchas redondeadas de color rojizo que pueden volverse violáceas y luego necróticas. En las hojas, se pueden observar orificios. En los frutos, se presentan necrosis circulares y segregación de goma. En ataques severos, puede haber caída de hojas y frutos en abril o mayo.

D) Información sobre la enfermedad de *verticulosis*:

D.1.- La verticulosis se manifiesta más probablemente en árboles jóvenes (de 3 a 8 años) y su desarrollo se produce cuando las condiciones climatológicas son de alta humedad y temperaturas suaves, principalmente durante la primavera y el otoño. Sin embargo, su desarrollo se paraliza con temperaturas altas y bajas.

D.2.- Ninguna de las variedades elegidas es especialmente sensible a esta enfermedad.

D.3.- Los síntomas incluyen el marchitamiento asimétrico del árbol y hojas adheridas al brote.

E) Información sobre la plaga de *xantomonas*:

E.1.- La presencia de Xantomonas es más probable cuando hay lluvias frecuentes durante la primavera.

E.2.- Ninguna de las variedades elegidas es especialmente sensible a esta enfermedad.

E.3.- En los frutos, los primeros síntomas son manchas oscuras y exudados de goma, que luego se convierten en abultamientos durante el verano. En las hojas, se observan manchas oscuras necróticas y poligonales.

Emparrillados

Para la elaboración del emparrillado, primero necesitaríamos lo siguiente:

- Un conjunto de elementos/individuos.
En nuestro caso, los individuos serán diferentes tipos de árbol, en diferentes circunstancias y características.
- Un conjunto de características a evaluar en los elementos/individuos.
Las características de valor que vamos a tener en cuenta para facilitar el diagnóstico de plagas y enfermedades son las siguientes:
 - o **Humedad de la zona:** baja (1), media (2), alta (3).
 - o **Temperatura de la zona:** baja (1), media (2), alta (3).
 - o **Variedad del árbol:** Vairo (1), Guara (2), Marcona (3).
 - o **Edad:** joven (1), adulto (2), anciano (3).

Una vez determinado los individuos y las características, lo siguiente a realizar es la elaboración del emparrillado.

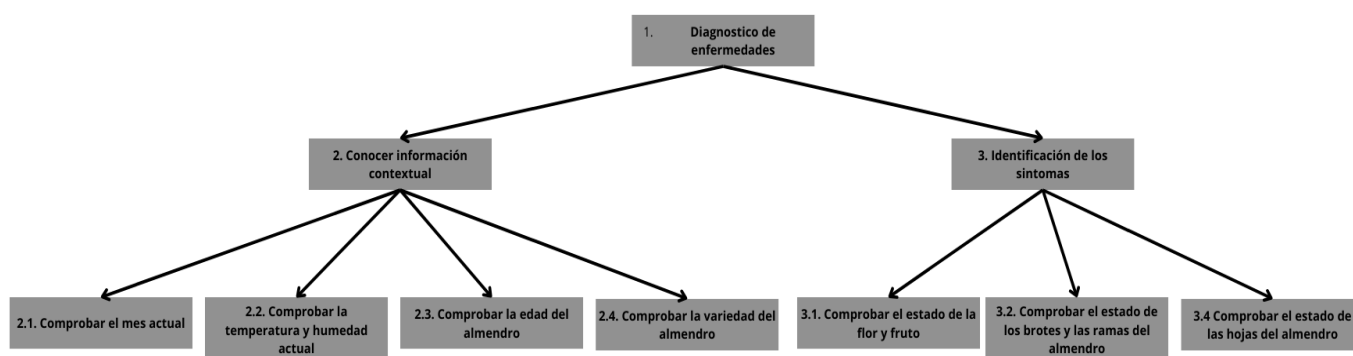
	E1	E2	E3	E4	E5	
Humedad baja	1	1	2	3	1	Humedad alta
Temperatura baja	3	2	3	3	1	Temperatura alta
Vairo	1	2	1	2	3	Marcona
Joven	1	1	3	3	2	Anciano

Conceptualización

Después de haber realizado la adquisición de conocimiento, lo siguiente a realizar sería pasar dicha información obtenida en conceptos claves, con sus relaciones, obteniendo una descripción detallada del problema, construyendo modelos mentales que nos permite ver la complejidad del problema.

Para la conceptualización, vamos a incluir un **árbol de descomposición** para ilustrar el posible comportamiento de nuestro sistema experto, para saber cómo se tiene que abordar el problema sistemáticamente, también vamos a incluir una **tabla objeto-valor-atributo** para ilustrar las características de nuestro problema con sus correspondientes. Para completar la información construiremos una **taxonomía** del problema y para terminar ilustraremos el mapa de **conocimiento**.

Árbol de descomposición



Como se puede apreciar, antes del diagnóstico de la enfermedad, lo primero que hay que saber es el contexto que se encuentra el cultivo a inspeccionar, por lo que hay que saber factores determinantes como la estación del año, la edad del árbol y la variedad, ya que por ejemplo en las enfermedades, algunas son más sensibles a ciertos tipos de enfermedades y otras variedades más resistentes.

Después de saber las características generales, podríamos dividirlo en un diagnóstico exhaustivo, inspeccionando las partes del árbol más críticos a la hora de elaborar el diagnostico como puede ser las ramas, las hojas del árbol...

Tabla Objeto-Atributo-Valor

OBJETO	ATRIBUTO	VALOR
Árbol	Edad	{joven, adulto, anciana}
	Variedad	{Vairo, Guara, Marcona}
	Humedad	{baja, media, alta}
	Temperatura	{baja, media, alta}
	Tipo de cultivo	{secano, regadío}
	Presencia de melaza	{verdadero, falso}
	Presencia de gomosis	{verdadero, falso}
	Tipo de manchas en las hojas	{no, amarillas, rojas, violetas, negro}
	Estación del año	{invierno, primavera, otoño, verano}
	Estado del fruto	{sano, podrido, no tiene}
	Debilitamiento del árbol	{verdadero, falso}
	Sequedad de las ramas	{ninguna, simétrico, asimétrico}

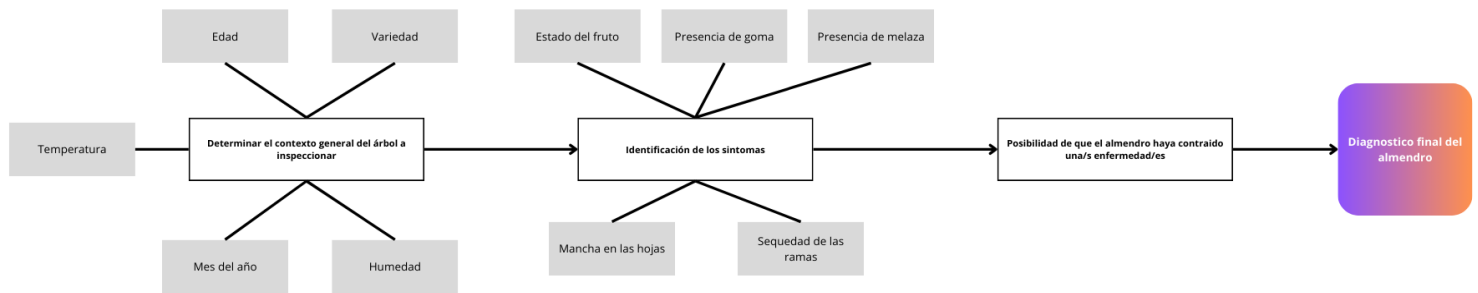
Con estos atributos con sus respectivos valores definidos para cada objeto relevante en nuestro sistema, tenemos una visión clara sobre el diagnostico de enfermedades y qué cosas tiene en cuenta el experto para realizar su diagnóstico.

Para el diagnostico de enfermedades, se podría tener en cuenta el objeto árbol, donde recogemos no solo aspectos generales del árbol, como su edad, variedad o tipo de cultivo y aspectos climatológicos como la temperatura o la humedad, sino también características propias por la presencia de estas enfermedades como el tipo de mancha de la hoja, sequedad de las hojas entre otros.

Taxonomía



Mapa de conocimiento



A la hora de abordar el diagnóstico de enfermedades, el experto lo primero que tiene que saber son aspectos generales como la variedad del árbol, edad, el contexto del terreno donde se encuentra (temperatura, humedad, tipo de cultivo) para hacerse una idea sobre qué tipo de enfermedades podrían ser más susceptibles de aparecer con las características del árbol y el entorno.

A continuación, el experto empezará a inspeccionar en más detalle las partes del árbol, como las hojas, ramas y frutos para ver si existen síntomas claros de que es cierto de que haya una enfermedad afectando al almendro, donde finalmente, tras una inspección exhaustiva del árbol e identificación de los síntomas, procederá a determinar un diagnóstico del almendro.

Representación del conocimiento

Una vez pasado por la fase de adquisición del conocimiento y conceptualización, lo siguiente a realizar sería representar el conocimiento de forma clara para que nuestro sistema experto pueda trabajar correctamente. Para esta ocasión, nuestro conocimiento se verá plasmada en reglas, ya que vamos a hacer un **sistema del conocimiento basado en reglas**, por lo que hay que transformar el lenguaje natural en un lenguaje formal para que dispositivo hardware pueda entender el conocimiento humano.

También existe casos que, si se dan ciertas condiciones, es mas probable que el árbol padezca esa enfermedad por factores como el mes del año o la sensibilidad de algunas variedades de almendros frente ciertas enfermedades. De esa forma, también los podríamos diferenciar según su nivel de certeza en un sentido amplio de la palabra, ya que no hemos determinado todavía los factores de certeza.

Reglas para el conocimiento de las enfermedades

Molinosi:

- Regla 1: Si en las flores o frutos tienen una tonalidad marrón o negruzca o el fruto esta deshidratado y esta adherido al brote
Entonces detectamos la enfermedad molinosi
- Regla 2: Si en las ramas o brotes aparecen chancros
Entonces detectamos la enfermedad molinosi
- Regla 3: Si la temperatura es media y la humedad alta y en las flores o frutos tienen una tonalidad marrón o negruzca o el fruto esta deshidratado y esta adherido al brote.
Entonces detectamos la enfermedad molinosi con certeza media.
- Regla 4: Si la temperatura es media y la humedad alta y en las ramas o brotes aparecen chancros
Entonces detectamos la enfermedad molinosi con certeza media.
- Regla 5: Si la variedad del árbol es Marcona o Guara y en las flores o frutos tienen una tonalidad marrón o negruzca o el fruto esta deshidratado y esta adherido al brote.
Entonces detectamos la enfermedad molinosi con certeza alta
- Regla 6: Si la variedad del árbol es Marcona o Guara y en las ramas o brotes aparecen chancros.
Entonces detectamos la enfermedad molinosi con certeza alta
- Regla 7: Si la variedad del árbol es Marcona o Guara y la temperatura es media y la humedad alta y en las flores o frutos tienen una tonalidad marrón o negruzca o el fruto esta deshidratado y esta adherido al brote.
Entonces detectamos la enfermedad molinosi con certeza muy alta
- Regla 8: Si la variedad del árbol es Marcona o Guara y la temperatura es media y la humedad alta y en las ramas o brotes aparecen chancros.
Entonces detectamos la enfermedad molinosi con certeza muy alta

Mancha ocre:

- Regla 9: Si estamos en abril o en mayo en las hojas presentan manchas amarillentas o manchas rojizas o manchas negrizcas
- Entonces detectamos la enfermedad de mancha ocre
- Regla 10: Si estamos en abril o en mayo y la variedad del árbol es Guara y el árbol presente debilitamiento y defoliación.
- Entonces detectamos la enfermedad de mancha ocre
- Regla 11: Si estamos en abril o en mayo y la temperatura es media y la humedad alta y en las hojas presentan manchas amarillentas o manchas rojizas o manchas negrizcas.
- Entonces detectamos la enfermedad de macho ocre con certeza media
- Regla 12: Si estamos en abril o en mayo y la temperatura es media y la humedad alta y la variedad del árbol es Guara y en las hojas presentan manchas amarillentas o manchas rojizas o manchas negrizcas.
- Entonces detectamos la enfermedad de macho ocre con certeza alta
- Regla 13: Si estamos en abril o en mayo y la temperatura es media y la humedad alta y la variedad del árbol es Vairo y en las hojas presentan manchas amarillentas o manchas rojizas o manchas negrizcas.
- Entonces detectamos la enfermedad de macho ocre con certeza baja

Cribado:

- Regla 14: Si estamos en primavera y la temperatura es media y la humedad alta
- Entonces posibilidad de enfermedad cribado
- Regla 15: Si en las hojas presentan manchas circulares de color rojo, morado o negro o presenta perforaciones en la hoja
- Entonces detectamos la enfermedad cribado
- Regla 16: Si en las cascarras del fruto presentan manchas negras y aparición de gomosis
- Entonces detectamos la enfermedad cribado
- Regla 17: Si estamos en abril o mayo y presenta debilitamiento del árbol.
- Entonces detectamos la enfermedad cribado
- Regla 18: Si estamos en verano y la temperatura es alta y en las hojas presentan manchas circulares de color rojo o morado o negro o presenta perforaciones en la hoja
- Entonces detectamos la enfermedad cribado con menor certeza

Verticulosis:

- Regla 19: Si estamos en mayo o en junio y observamos marchitamiento del árbol de manera asimétrica.
Entonces detectamos la enfermedad verticulosis
- Regla 20: Si estamos en mayo o en junio y observamos hojas adheridas en el brote
Entonces detectamos la enfermedad verticulosis
- Regla 21: Si estamos en mayo o en junio y el árbol es joven y observamos marchitamiento del árbol de manera asimétrica.
Entonces detectamos la enfermedad verticulosis con mayor certeza
- Regla 22: Si estamos en mayo o en junio y el árbol es joven y observamos hojas adheridas en el brote
Entonces detectamos la enfermedad verticulosis con mayor certeza
- Regla 23: Si la temperatura es media y la humedad alta y estamos en primavera o otoño.
Entonces detectamos la enfermedad verticulosis con mayor certeza

Xantomonas:

- Regla 24: Si el fruto tiene manchas oscuras y produce goma.
Entonces detectamos la enfermedad xantomonas
- Regla 25: Si estamos en verano y en el fruto se observan abultamientos en su cascara
Entonces detectamos la enfermedad xantomonas con mayor certeza
- Regla 26: Si en las hojas observamos manchas oscuras y poligonales
Entonces detectamos la enfermedad xantomonas
- Regla 27: Si estamos en primavera y la humedad es alta y el fruto tiene manchas oscuras y produce goma.
Entonces detectamos la enfermedad xantomonas con mayor certeza
- Regla 28: Si estamos en primavera y la humedad es alta y en las hojas observamos manchas oscuras y poligonales
Entonces detectamos la enfermedad xantomonas con mayor certeza

Reglas auxiliares:

Regla 29: Si estamos en diciembre o en enero o en febrero

Entonces estamos en invierno

Regla 30: Si estamos en marzo o en abril o en mayo

Entonces estamos en primavera

Regla 31: Si estamos en junio o en julio o en agosto

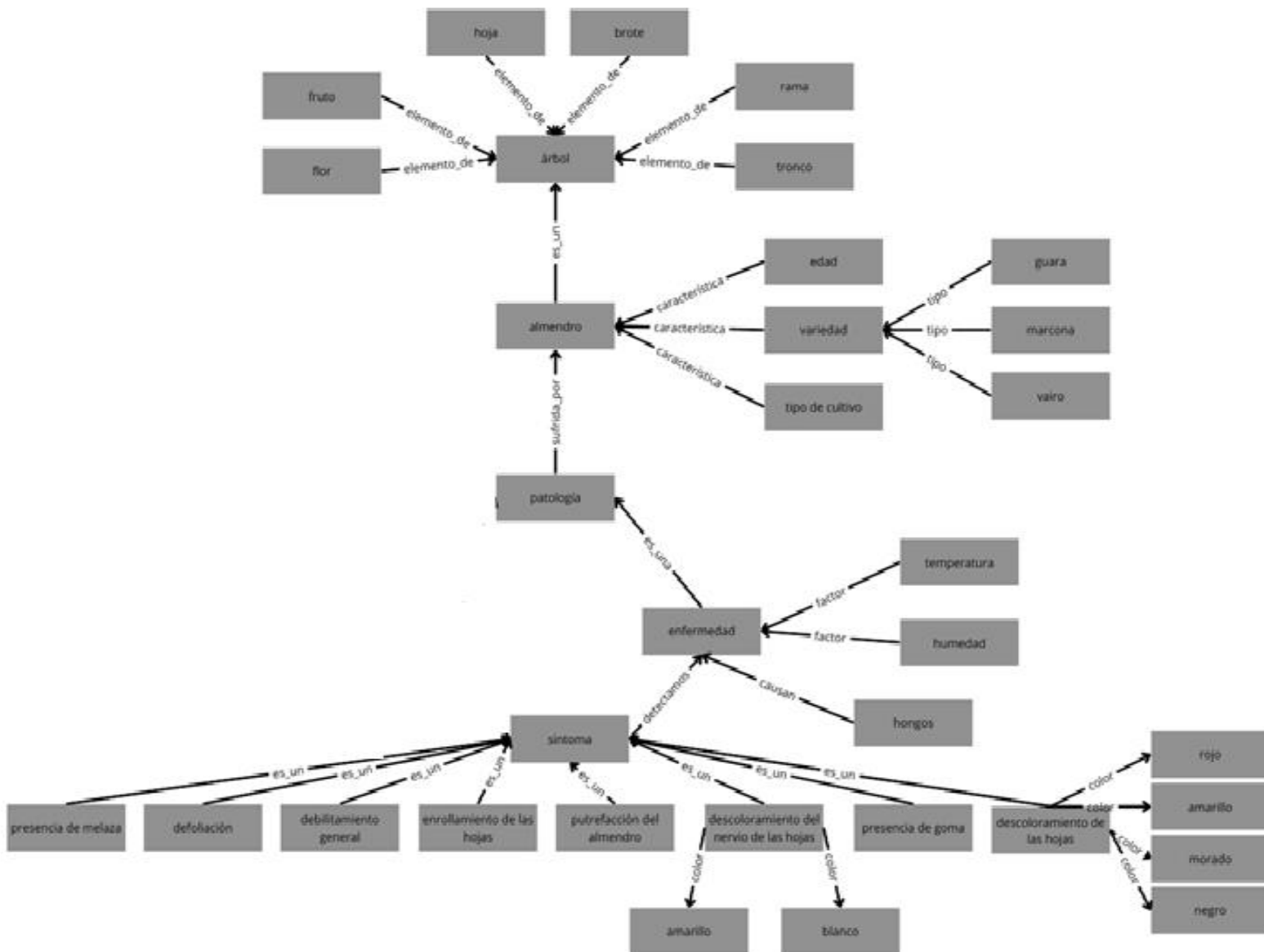
Entonces estamos en verano

Regla 32: Si estamos en septiembre o en octubre o en noviembre

Entonces estamos en otoño

A la hora de plasmar las reglas definidas anteriormente en nuestro software de inferencia (CLIPS por ejemplo), con el conocimiento obtenido sobre qué patologías podrían ser más probables en términos generales, podríamos mover el orden de estas reglas a nuestra conveniencia para poder reflejar el razonamiento del experto, haciendo que el sistema tenga en cuenta primero aquellas enfermedades que podrían ser más probables que ocurran. Un ejemplo de esto es en la enfermedad *mancha ocre* ya que en el alcance y límites que estamos trabajando esta patología presenta un número de incidencia mayor a los demás.

Red semántica



La siguiente red semántica refleja detalladamente los conceptos principales a la hora del diagnóstico de enfermedades y sus relaciones, donde el nivel más básico son los síntomas que puede padecer el árbol, indicando en algunos de ellos ciertas características de interés. Estos síntomas detectados pueden ser causa de una enfermedad, donde para cada uno de estos tipos de patologías tenemos características propias, como la temperatura o la humedad.

Estas patologías son padecidas en nuestro cultivo del dominio, que son los almendros donde encontramos también características condicionantes como la edad, variedad y el tipo de cultivo. El concepto más general que estamos tratando en nuestro dominio, son los árboles y como todo árbol, tenemos características de los árboles que son de interés a la hora de determinar el diagnóstico como las hojas o el tronco.

Desarrollo del sistema

Para el desarrollo de nuestro sistema experto, vamos a utilizar la herramienta CLIPS, donde construiremos un sistema basado en reglas donde podremos interactuar con el sistema, que nos hará una serie de preguntas sobre el estado del árbol, concluyendo con el diagnostico del árbol con un nivel de confianza dependiendo de los síntomas detectados/recopilados.

Una vez declarado los síntomas del árbol, el sistema irá evaluando las reglas definidas para el diagnóstico de enfermedades, para que finalmente de un diagnostico final. Al ser enfermedades no excluyentes, esto significa que puede padecer de mas de una enfermedad en grados distintos.

Ejemplo de disparo en CLIPS

Para ilustrar el comportamiento de CLIPS, mostraremos un ejemplo de disparo, para eso nos centraremos en la primera pregunta que nos hace el sistema “¿En qué mes del año nos encontramos para el diagnóstico?”, donde nosotros responderemos *marzo*, como están las reglas definidas, el mes de marzo correspondería también con la temporada de primavera, por lo que una vez obtenido el mes, podríamos disparar la regla correspondiente a la estación del año, en este caso concreto, se dispararía que la temporada es primavera.

```
CLIPS> (load bc_sistema.clp)
*****
TRUE
CLIPS> (run)
Bienvenido a nuestro sistema a la ayuda de la decision para el diagnostico de enfermedades en los almendros, presione cualquier tecla para continuar
a
¿En que mes del año nos encontramos para el diagnostico?
marzo
```

Una vez elegido marzo, en la agenda se nos añadirá la regla correspondiente lista a ser disparada:

46	regla_primavera	f-1
----	-----------------	-----

Como se puede apreciar, regla_primavera es añadido a la agenda debido a que el hecho-1 que correspondería al mes es marzo.

Index	Template	Slot	Value
f-1	mes	implied	(marzo)

Por lo tanto, cuando le toque a dicha regla a ser disparada, se añadirá a los hechos, que la temporada es primavera. Una vez realizado la identificación de los síntomas, empezarán el programa a disparar reglas para determinar la enfermedad/es.

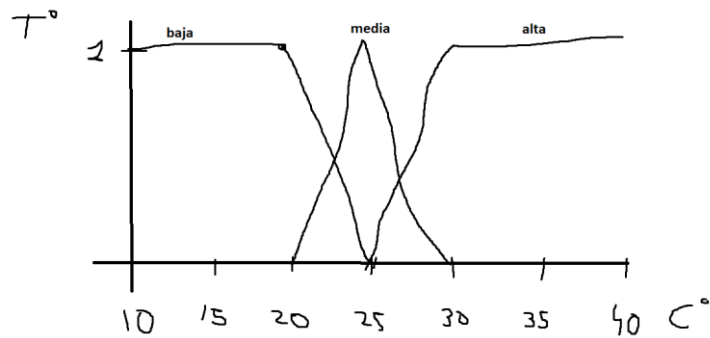
Index	Template	Slot	Value
f-21	gomosis	implied	(primavera)
f-22	temporada		

Ejemplo de inferencia tipo Mandani con fuzzy-CLIPS

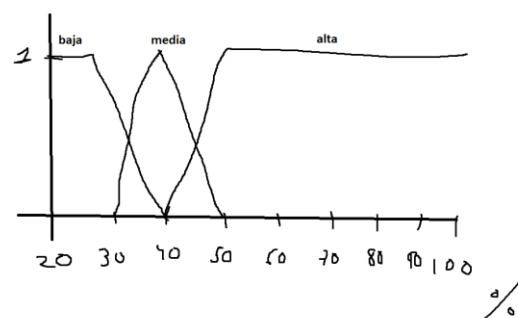
Para ver la composición de reglas utilizando Mandani, vamos a poner un caso concreto de nuestro sistema, que podría ser la aparición de hongos en los almendros, ya que son la causa principal de las enfermedades que estamos diagnosticando.

Para eso primero tenemos que definir los term sets de los factores que afectan en la aparición de hongos, que es la temperatura y la humedad.

```
(deftemplate temperatura
  10 40
  (
    (baja (15 1) (20 1) (25 0))
    (media (20 0) (25 1) (30 0))
    (alta (25 0) (30 1) (40 1))
  )
)
```



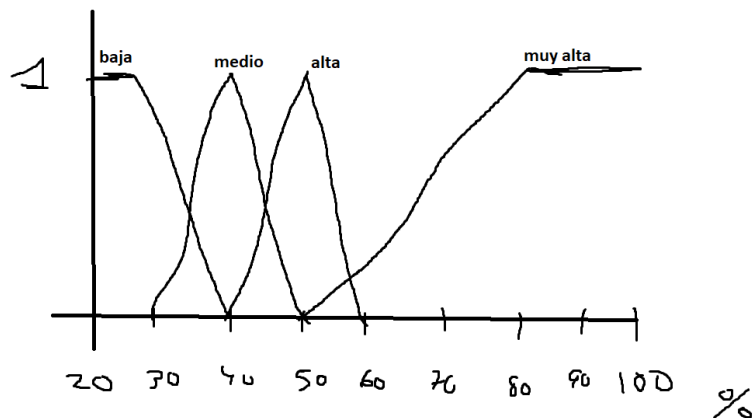
```
(deftemplate humedad
  20 100
  (
    (baja (20 1) (30 1) (40 0))
    (media (30 0) (40 1) (50 0))
    (alta (40 0) (50 1) (100 1))
  )
)
```



```

(deftemplate presencia_hongos
  20 100|
  (
    (baja (20 1) (30 1) (40 0))
    (media (30 0) (40 1) (50 0))
    (alta (40 0) (50 1) (60 1))
    (muy_alta (50 0) (80 1) (100 1))
  )
)

```



Los hechos que vamos a evaluar son los siguientes:

```

(deffacts hechos
  (temperatura (27.5 0) (27.5 1) (27.5 0))
  (humedad (50 0) (50 1) (50 0))
)

```

Donde la temperatura está entre medio y alta y la humedad alta. Debido a que la temperatura tiene pertenencia con 2 etiquetas lingüísticas, es posible que se puedan disparar 2 reglas a la vez, formando la composición de reglas.

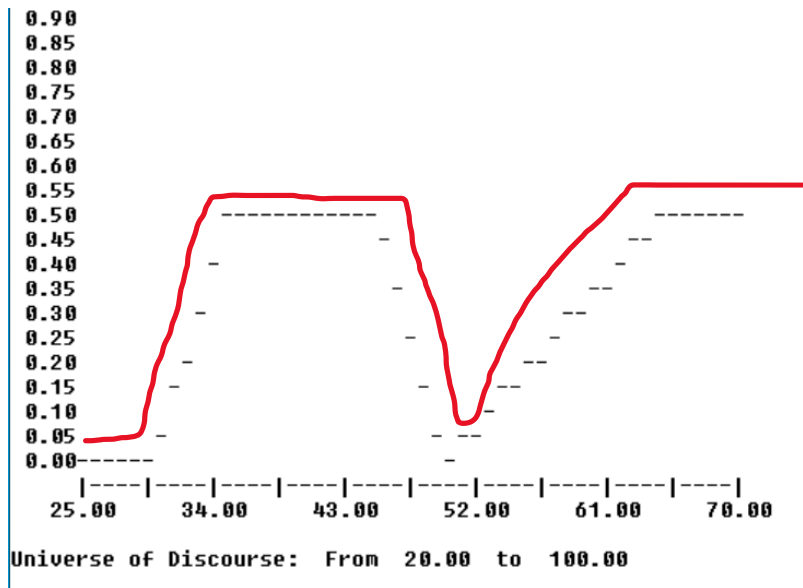
presencia_hongos1: f-1,f-2
presencia_hongos4: f-1,f-2

En nuestro caso, se dispararán la regla 1 y la regla 4.

Regla 1: Si la temperatura es alta y la humedad alta, entonces la presencia de hongos será media.

Regla 4: Si la temperatura es media y la humedad alta, entonces la presencia de hongos será muy alta.

Una vez disparado las 2 reglas, procedemos a mostrar la composición de reglas y comprobar si vemos la figura de un camión o de un castillo.



Composición de reglas

Para nuestro caso concreto, la forma que mas se asemeja es a la de un castillo con las murallas un poco bajas o las torres muy altas.

Si lo desforisificamos con el máximo nos da 61.25 y con el centro de gravedad da 68.47.

Ejemplo de inferencia borrosa

En la base de conocimiento de nuestro sistema experto en la ayuda del diagnóstico de enfermedades en los almendros supongamos que tiene un motor de inferencia borroso y tiene la siguiente regla:

“Si la temperatura es alta y la humedad baja, entonces la probabilidad de contraer hongos será baja”

Definimos los siguientes conjuntos borrosos:

Temperatura alta: {0.2/20, 0.4/25, 0.65/30, 0.8/35} Universo(20,25,30,35).

Humedad media: {0.3/10%, 0.7/40%} Universo(10%,40%)

Humedad baja: {0.8/10%, 0.3/40%} Universo(10%,40%)

Probabilidad de contraer hongos baja: {0.9/10%, 0.6/30%, 0.2/50%}
Universo(10%,30%,50%).

El motor de inferencia toma el mínimo como T-norma y como T-conorma el máximo y la función de implicación $I(a,b) = \min(1-a+b, 1)$ (Lukasiewicz)

Se observa que la temperatura es alta y la humedad media. ¿Qué conjunto borroso inferirá el sistema experto sobre la probabilidad de contraer hongos?

Resolución del ejercicio

"Si la temperatura es alta y la humedad es baja entonces la probabilidad de contraer hongos será baja"

$$(0.2/20, 0.1/25, 0.65/30, 0.8/35) \wedge (0.9/10, 0.3/40) \rightarrow (0.9/10, 0.4/30, 0.2/50)$$

* Calculamos la regla:

	10	40
20	0.2	0.2
25	0.4	0.3
30	0.65	0.3
35	0.8	0.3

$$\rightarrow (0.9, 0.6, 0.2) =$$

	10	30	50
(20,10)	1	1	0.6
(20,40)	1	1	0.6
(25,10)	1	1	0.8
(25,40)	1	1	0.9
(30,10)	1	0.95	0.55
(30,40)	1	1	0.6
(35,10)	1	0.8	0.4
(35,40)	1	1	0.6

$$I(a,b) = \max \min (1-a+b, 1)$$

Regla (R)

"Si la temperatura es alta y la humedad media" $\rightarrow ?$
 $(0.3/10, 0.7/40)$

	10	40
20	0.2	0.2
25	0.3	0.4
30	0.3	0.65
35	0.3	0.7

Hecho (H)

$$C = R \circ H$$

$$= (0.1/10, 0.2/30, 0.7/50)$$

	10	30	50
(20,10)	1	1	0.6
(20,40)	1	1	0.6
(25,10)	1	1	0.8
(25,40)	1	1	0.9
(30,10)	1	0.95	0.55
(30,40)	1	1	0.6
(35,10)	1	0.8	0.4
(35,40)	1	1	0.6

$$C(C_1) = 0.7$$

$$C(C_2) = 0.7$$

$$C(C_3) = 0.6$$

$$R \circ H = (0.1/10, 0.2/30, 0.6/50)$$