



# Modelo Solución “Tomaster v1.7”

## **Equipo Desarrollador**

Francisco José Adaros Tapia.  
Matías Jesús Egaña Alfaro.

## **Asignatura**

Programación Avanzada.

## **Profesor**

Guillermo Alonso Leyton Garcia.

# Índice

<b>Índice</b>	<b>1</b>
<b>Propósito del documento</b>	<b>3</b>
<b>Introducción</b>	<b>3</b>
Problemática	4
<b>Núcleo del problema</b>	<b>4</b>
<b>Características del problema</b>	<b>5</b>
¿El problema es lineal o no lineal?	5
¿El problema es estático o dinámico?	5
¿El problema es sincrónico o asincrónico?	5
¿El problema es determinista?	6
¿El problema es espontáneo?	6
¿El problema es isomórfico?	6
¿El problema es inestable?	6
<b>Marco teórico</b>	<b>6</b>
Tomate	6
Características Botánicas	7
Plagas y/o enfermedades que el prototipo trabajará	9
<b>Herramientas estrechamente relacionadas con la solución.</b>	<b>9</b>
Sistemas expertos (SE) o Sistema experto basado en reglas.	10
Características generales de los sistemas expertos	10
¿Para qué se utilizan los sistemas expertos?	10
Ejemplos de algunos SE, que son basados en reglas:	10
Componentes de un SE	11
Módulo Adquisición de conocimiento	11
Base de conocimientos.	11
Metarreglas	12
Redes Semánticas	13
Métodos de resolución de conflictos	13
Algoritmo de búsqueda considerado, para la resolución de conflictos.	14
Base de hechos	16
Motor de inferencia	16
Reglas de inferencia	16
Encadenamiento de reglas	17
Módulo de Justificación	19
Justificación para la implementación de un SE basado en reglas	20
<b>Diagrama de Usuario / Modelo Solución</b>	<b>21</b>
<b>Modelo Solución, sistema experto para la identificación y tratamiento de enfermedades</b>	<b>21</b>
Componentes del modelo solución	21



Interfaz de usuario	21
El sistema de preguntas	21
Confirmación de la plaga identificada	22
Base de conocimientos	22
Creación de grafo	23
Motor de inferencia	24
Sistema de confirmación / recomendaciones	25
Almacenamiento de datos iniciales	26
Almacenamiento de plaga/enfermedad y tratamientos	26
<b>Referencias</b>	<b>26</b>

## Propósito del documento

El presente documento tiene como objetivo proponer un modelo que tenga como finalidad solventar la problemática referente a los cultivos de tomate indicada en el documento **Plan General "Tomaster FM v1.3"**, la cual se retomará y explicará en el transcurso de este documento, junto con un marco teórico para poner en contexto sobre las condiciones de las plantaciones, junto con las plagas y enfermedades que se tomarán en consideración para la realización del modelo. Asimismo se procederá a explicar y detallar la herramienta a utilizar para solventar la problemática, justificando el porqué su implementación.

Este proyecto se realiza bajo el marco de la asignatura Programación Avanzada del segundo semestre del año 2022 de la carrera de Ingeniería en Computación de la Universidad de La Serena.

El documento "Modelo Solución" está dirigido al equipo desarrollador del proyecto "Tomaster FM", al profesor de la asignatura<sup>1</sup> Programación Avanzada y al equipo SQA<sup>2</sup>.

## Introducción

El tomate es uno de los productos hortícolas<sup>3</sup> de mayor importancia económica, de origen sudamericano, su cultivo se está extendiendo por todo el mundo con más de 90 millones de toneladas producidas en todo el mundo por año. Los principales países productores de este fruto son China, Estados Unidos, Turquía y Egipto. En la actualidad se industrializa entre el 25% y el 30% de la producción mundial anual.

El tomate proviene de la planta *Solanum lycopersicum*<sup>4</sup> compuesto por un tallo ramificado y muy poco rígido, por lo que necesita ser entutorado<sup>5</sup> para mantenerse erguido. Las flores se agrupan en racimos, siendo de color amarillento, y florecen escalonadamente. El fruto es una baya carnosa, generalmente de color rojo, aunque también los hay amarillos o rosados.

Su cultivo se extiende por todo el mundo, aunque produce las mayores cosechas en los climas cálidos y con buena iluminación, a su vez este cultivo prefiere suelos ácidos<sup>6</sup>.

En Chile, el tomate para consumo fresco ocupa el tercer lugar de los cultivos hortícolas con mayor superficie. Sólo lo antecede el maíz para consumo fresco y la lechuga.

El cultivo de tomate a lo largo del país tiene ciclos productivos distintos según la época de siembra estacional durante el año, diferenciándose el tomate de invierno de Arica con el tomate de verano de Talca u otra localidad. Por esta razón, debiera existir una comparación de la superficie entre ciclos por separado. La combinación de estos ciclos por la distribución

---

<sup>1</sup> **Profesor:** Guillermo Leyton García.

<sup>2</sup> **SQA:** El grupo de aseguramiento de la calidad del software, compuesto por Bastian Rojas y Cristian Soto.

<sup>3</sup>La horticultura es la técnica del cultivo que se desarrolla en huertos.

<sup>4</sup> Conocida comúnmente como tomatara, es una especie de planta herbácea de la familia Solanaceae.

<sup>5</sup> El tutorado es una actividad que consiste en brindar soporte a los cultivos de tomates a través de anillos o estacas para que las plantas puedan crecer adecuadamente.

<sup>6</sup>Los suelos ácidos se refieren a aquellos que contienen un pH de valor inferior a 5,5 durante la mayor parte del año.

geográfica del cultivo, hacen posible una oferta continua de tomate para consumo fresco durante todo el año.

## Problemática

Dicho lo anterior, uno de los principales problemas que enfrentan los productores de tomates es el control fitosanitario<sup>7</sup> de los cultivos, lamentablemente muchos productores no cuentan con la formación necesaria para llevar a cabo el correcto tratamiento para librarse de las distintas plagas<sup>8</sup> y enfermedades<sup>9</sup> que afectan a los cultivos a lo largo de las distintas temporadas del año. Por lo que muchos agricultores recurren a la utilización indiscriminada de insecticidas químicos para solventar este problema, trayendo consigo graves consecuencias como lo son: **un aumento del riesgo de intoxicación, contaminación del medio ambiente y un mayor aumento en la incidencia de plagas, puesto que estas generan resistencia a los pesticidas.**

## Núcleo del problema

El núcleo de la problemática se enfoca en el ámbito de la agricultura, específicamente la presencia de plagas y/o enfermedades que amenazan a los cultivos de las plantaciones de tomates. Ya que si estos no son controlados de forma adecuada pueden propagarse a plantas cercanas y potencialmente a toda la plantación.

Una forma de abordar esta problemática es a través de la entrega de recomendaciones por parte de un experto que indique al agricultor el accionar ante una determinada plaga y/o enfermedad que se encuentre afectando al cultivo. Este proceso es conocido como control fitosanitario.

Existen diferentes prácticas de fitosanidad, algunas de las más utilizadas son: control cultural, control mecánico, control biológico y control químico, los cuales podemos agrupar en: preventivos, de control y eliminación, a continuación se explicará en qué consiste cada tipo de control:

- **Control cultural:** Tiene por objeto generar condiciones adversas para las plagas reduciendo su incidencia en el cultivo.
- **Control mecánico:** El control mecánico de las plagas consiste en la remoción y destrucción de los insectos y órganos infestados de las plantas. También se incluye la exclusión de los insectos y otros animales por medio de barreras y otros dispositivos.
- **Control biológico:** El control biológico supone la producción y suelta en masa de enemigos naturales, como parasitoides y depredadores, para combatir a los insectos causantes de plagas de manera respetuosa con el medio ambiente.

---

<sup>7</sup> El control fitosanitario se define como los métodos y técnicas para el control, eliminación o curación de enfermedades referentes a plantas.

<sup>8</sup> Se define como colonia de organismos animales o vegetales que ataca, daña y/o destruye un cultivo, entre son considerados de origen insectos y ácaros.

<sup>9</sup> Estas son causadas por hongos y bacterias.

- **Control químico:** Consiste en el uso de pesticidas y productos químicos para la regulación o el manejo de una especie plaga y/o enfermedad mediante el uso de sustancias químicas.
  - **Productos preventivos:** Actúan sobre la superficie de la planta y evitan la germinación y proliferación de ciertas plagas y/o enfermedades, disminuyendo las fuentes de la enfermedad.
  - **Productos de control:** Actúan sobre las plagas y/o enfermedades, suelen ser por lo general pesticidas destinados a “matar la plaga” presente en el cultivo, son utilizados una vez que el cultivo ya se encuentra afectado.

## Características del problema

Dicho lo anterior es de suma importancia definir las características que posee nuestra problemática, ya que la importancia de estas reside en que gracias a un análisis en éstas, nos es posible llegar a una solución que se adecue en mayor o menor medida a la problemática planteada.

La caracterización se realizará mediante la realización de preguntas, las que serán expuestas a continuación:

### ¿El problema es lineal o no lineal?

El problema es **NO LINEAL**, ya que para que sea lineal todas las variables deben influir en la misma intensidad entre sí, lo cual no se adecua a nuestra problemática, debido a que a la hora de que aparezca una plaga y/o una enfermedad, se encuentran variables que son más decisivas en la proliferación de estas, en ese sentido algunas de las más relevantes son, en orden de mayor importancia, son:

1. **La Humedad.**
2. Temperatura.
3. Temporada del año.
4. Exposición a la luz solar.
5. Presencia de material orgánico.

### ¿El problema es estático o dinámico?

El problema es **DINÁMICO**, debido a que la incidencia de plagas se ve afectada en gran medida por la **temporada del año** en la que nos encontremos, ya que hay ciertas plagas que proliferan en ambientes más fríos y húmedos, por ejemplo los hongos que generalmente se dan en invierno, y por el contrario, existen plagas que proliferan en ambientes cálidos, como por ejemplo la enfermedad llamada Sarna bacteriana, que prolifera en temperaturas de 24°C - 30°C.

### ¿El problema es sincrónico o asincrónico?

El problema es **ASINCRÓNICO**, ya que dentro de un cultivo enfermo se pueden presentar varias plagas y/o enfermedades a la vez, por ejemplo en un cultivo pueden encontrarse la plaga conocida como los trips y estos pueden traer consigo el virus del bronceado del tomate, por lo que pueden coexistir en el mismo cultivo.

### ¿El problema es determinista?

El problema **NO DETERMINISTA**, ya que si bien es posible predecir la aparición de una plaga o enfermedad a partir de las condiciones a las que sea expuesto el cultivo, como por ejemplo la humedad ambiental y del suelo, la temperatura, la temporada del año, la exposición a la luz solar, la presencia de material orgánico en descomposición en las cercanías, etc. No es posible predecir con exactitud qué enfermedad aparecerá, y no es posible decir si dicha enfermedad aparecerá en el 100% de los casos donde se cumplan las condiciones.

### ¿El problema es espontáneo?

El problema es **NO ESPONTÁNEO**, ya que para conocer los tratamientos fue necesario primeramente la realización de una investigación para conocer sus factores de aparición, así como los síntomas que presentan los cultivos ante la presencia de una determinada plaga. Además nuestra problemática se enfoca en el área agrícola referente al tomate, área donde existe una gran cantidad de documentación respecto al tema.

### ¿El problema es isomórfico?

El problema es **ISOMORFO**, ya que la mayoría de las enfermedades y plagas pueden afectar a otros tipos de cultivos, llevando la problemática a otro contexto como pueden ser el cultivo de morrones y en general el cultivo de la familia de las solanaceae presentan las mismas enfermedades, al poseer una morfología similar al tomate.

### ¿El problema es inestable?

El problema es **ESTABLE**, ya que para una determinada enfermedad, siempre va a ser el mismo tratamiento, ya que éstos están estandarizados con el fin de velar por la salud del cultivo, los agricultores y los consumidores del producto final.

## Marco teórico

Una vez definido las características de nuestro problema procederemos a explicar algunas cosas referentes a nuestro problema, que son de suma importancia antes de continuar, ya que estas dan contexto sobre lo que se desea abordar.

### Tomate

El tomate, como bien comentamos en la introducción, pertenece al género *Solanum*, y esta comprende alrededor de 1500 especies, entre las cuales están incluidas el tomate y la berenjena (*Solanum melongena*). El clado<sup>10</sup> del tomate incluye el tomate cultivado y 12 especies de tomates silvestres, todas nativas de la zona oeste de Sudamérica.

---

<sup>10</sup>Es una agrupación que contiene un antepasado común.

## Características Botánicas

El tomate presenta las siguientes características:

1. Cuenta con un sistema de raíces principales que alcanza una profundidad de 50 cm o más.
2. La raíz principal produce densas raíces laterales y adventicias<sup>11</sup>.
3. Su tallo es macizo, grueso, anguloso y de color verde. Su forma de crecimiento varía entre erecta y postrada, puede crecer hasta una altura de 2 y 4 m, teniendo un diámetro que oscila entre 2 y 4 cm, y que se va estrechando en la parte superior del tallo.
4. Del tallo principal nacen tallos secundarios, hojas y racimos florales.
5. Sus flores oscilan entre 1.5 a 2 cm de diámetro y estas crecen de manera opuesta a las hojas, o entre ellas.
6. Las flores se agrupan en inflorescencias de tipo racimo, en grupos de tres a diez dependiendo de la variedad de tomate.
7. Su fruto es una baya carnosa de forma globular o alargada, que mide de 2 a 15 cm de diámetro y posee un peso que oscila entre unos pocos miligramos. En estado inmaduro la fruta es de color verde y llena de vellos, a diferencia de cuando esta madura, el color puede ser amarillo, rosado, morado, naranja y verde, y suaves al tacto.
8. Las hojas están dispuestas en forma de espiral respecto al tallo, de forma ovalada u oblonga<sup>12</sup> con bordes dentados y están recubiertas de vellos glandulares. Estas son por lo general de color verde.

---

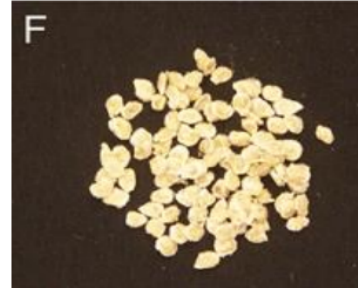
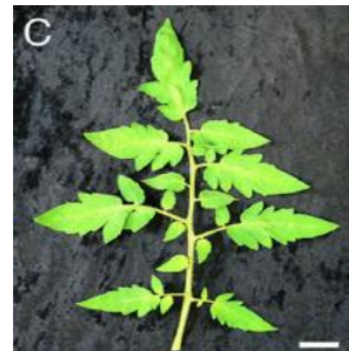
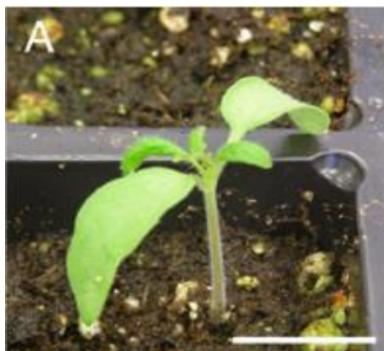
<sup>11</sup> Son aquellas plantas o flores que crecen en una parcela agrícola, normalmente de forma espontánea.

<sup>12</sup> Que es más largo que ancho.





*Imagen del tallo del tomate, junto con sus flores y frutos.*



*La planta del tomate y sus partes:*

*(A) planta del semillero; (B) planta de edad de 40 días; (C) hojas; (D) flores; (E) fruta; (F) semillas.*

## Plagas y/o enfermedades que el prototipo trabajará

Estos fueron definidos en el documento [Plan General "Tomaster FM v1.3"](#), pero los traemos en esta ocasión para que queden claras las plagas y/o enfermedades con las que el prototipo trabajará. Puesto que por distintas razones no serán abordadas todas las plagas que afectan a los cultivos de tomate ya que:

El nivel de conocimiento de dicha plaga no es el suficiente, hay plagas que son exclusivas de invernaderos, algunos virus y plagas que no cuentan con un tratamiento por lo que no se pueden tratar, solamente se pueden mitigar sus síntomas.

- El prototipo se encargará de indicar el tratamiento para las siguientes plagas:
  - Referentes a plagas de insectos:
    - Polilla del Tomate(Tuta absoluta).
    - Gusano del fruto.
    - Gusano cortador de las chacras.
    - Pulgones (duraznero,melón,alfalfa,solanáceas,ciruelo, papa).
    - Trips(california,de la cebolla,negra de las flores).
    - Ácaro bronceado del tomate.
- El prototipo se encargará de indicar el tratamiento para las siguientes enfermedades:
  - Referentes a enfermedades causadas por hongos:
    - Pudrición gris (Botritis cinerea).
    - Marchitez por fusarium.
    - Marchitez por verticillium.
    - Pudrición negra (Alternaria alternata).
    - Tizón temprano (Alternaria solani).
    - Oidio (Leveillula taurica).

## Herramientas estrechamente relacionadas con la solución.

Para nuestra problemática se ha realizado una investigación de cómo podríamos entregar una solución para este inconveniente. Aplicando nuestros conocimientos como estudiantes de la carrera programación avanzada, junto con nuestros conocimientos en ingeniería de software y aplicando herramientas existentes en IA<sup>13</sup>, se investigó acerca del método actual que se emplea para detección de las plagas y/o enfermedades, para posteriormente dar un diagnóstico y así efectuar el mejor tratamiento para el fruto, el cual consiste en la consulta hacia un experto referente al área de la agricultura, pero como bien explicamos en la introducción, muchos agricultores no cuentan con los conocimientos necesarios para ser considerados como “expertos”, por lo que se decidió la implementación de un sistema que posea la capacidad de razonar y efectúe resolución de problemas que requieran el conocimiento de un experto. Esta herramienta hoy en día ya existe y se le conoce con “Sistemas basados en conocimiento” o también llamados “Sistemas expertos”.

## Sistemas expertos (SE) o Sistema experto basado en reglas.

Un sistema experto (SE) es un sistema que emplea conocimiento humano capturado en una computadora para resolver problemas que normalmente requieren de expertos humanos.

---

<sup>13</sup> La inteligencia artificial es, en ciencias de la computación, la disciplina que intenta replicar y desarrollar la inteligencia y sus procesos implícitos a través de computadoras.

Estos imitan el proceso de razonamiento que los expertos utilizan para resolver problemas específicos. Dichos sistemas pueden ser utilizados por no-expertos para mejorar sus habilidades en la resolución de problemas. También pueden ser utilizados como asistentes por expertos. Además, que estos pueden funcionar mejor que cualquier humano experto individualmente tomando decisiones en una específica y acotada área, denominado como dominio.

### Características generales de los sistemas expertos

Para que un sistema actúe como un experto, lo más importante es que reúna las características de un experto humano, esto es:

1. Habilidad para adquirir conocimiento.
2. Fiabilidad, para poder confiar en sus resultados.
3. Solidez en el dominio de su conocimiento.
4. Capacidad para resolver problemas.

### ¿Para qué se utilizan los sistemas expertos?

Entre los muchos usos que se le pueden aplicar están:

1. La Clasificación de objetos, Identificar un objeto a partir de características establecidas.
2. **Sistemas de diagnóstico, inferir un mal funcionamiento o enfermedad a partir de datos observables.**
3. Monitoreo, Comparando datos de un sistema observado continuamente para prescribir el comportamiento.
4. Control de procesos.
5. Diseño de un sistema.
6. Programación y planificación, en el caso de llevar a cabo un cierto plan de acción.
7. Generación de alternativas ante la resolución de un problema.

Ejemplos de algunos SE, que son basados en reglas:

1. **DENDRAL**: Fue ideado a finales de los años 1970 para generar una representación estructural de las moléculas orgánicas a partir de los datos de un espectrógrafo de masas.
2. **MYCIN**: Fue diseñado a mediados de los setenta. Es un sistema interactivo que diagnostica infecciones bacterianas y suministra la terapia de antibióticos.
3. **CLIPS**: Es una herramienta que provee un entorno de desarrollo para la producción y ejecución de sistemas expertos. Fue creado a partir de 1984, en el Lyndon B. Johnson Space Center de la NASA.

## Componentes de un SE

### Módulo Adquisición de conocimiento

Es la acumulación, transferencia y transformación de la experiencia para resolver

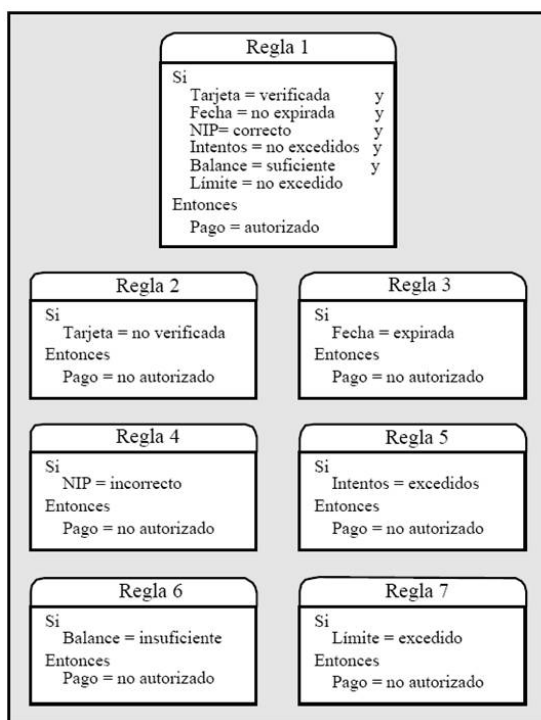
problemas de una fuente de conocimiento para construir o expandir la base de conocimiento. Para estos requiere que se interactúe con uno o más expertos humanos para construir esta base.

### Base de conocimientos.

También llamado “Base de reglas”, este contiene el conocimiento necesario para comprender, formular y resolver problemas. Incluye dos elementos básicos: **el conocimiento heurístico**<sup>14</sup> y **las reglas**<sup>15</sup>, estas dirigen el uso del conocimiento para resolver problemas específicos de un dominio particular.

Una regla se cumple cuando sus condiciones, o llamadas de otra manera, premisas también lo hacen. Cuando lo anterior ocurre, se obtiene nuevo conocimiento.

Este conocimiento debe representarse a fin de que se pueda incluir en el sistema. Se representa lo más sencillamente posible y se hace de un modo relacional entre los mismos, mediante las reglas.



*Ejemplo de reglas de Sistema Experto, en un cajero automático.*

<sup>14</sup>Por heurística entendemos como una estrategia, método o criterio usado para hacer más sencilla la solución de problemas difíciles.

<sup>15</sup> En este contexto son proposiciones lógicas que relacionan dos o más objetos del dominio e incluye dos partes, la premisa y la conclusión, que se suele escribir normalmente como:  
“**Si premisa, entonces conclusión**”.

## Metarreglas

Se necesita, al igual que en las decisiones humanas, tener hipótesis más relevantes que vayan reduciendo el conjunto de reglas a escoger, en otras palabras tener un conocimiento de mayor nivel. Estos son los metaconocimientos, que reciben el nombre de metarreglas. Este tipo de reglas indican qué características hacen que algunas reglas deban usarse en lugar de otras, esto es: **“son las reglas de las reglas”**.

Las metarreglas son aquellas reglas de mayor nivel que varían la estrategia de resolución según sea el problema o según sean los resultados que se van obteniendo. Por lo tanto, simplifican el camino deductivo, orientado al motor de inferencia sobre el conocimiento que debe ser seleccionado y por consecuentemente aplicado en cada momento.

Su función es indicar bajo qué condiciones deben considerarse unas reglas en lugar de otras.

Por ejemplo:

IF hay reglas que usan **materias baratas** AND hay reglas que usan **materias caras**  
THEN **aplicar antes las reglas materias baratas que materias caras**.

Otro ejemplo:

- IF **Litología\_Principal = Arenisca** THEN **Tratar sólo el grupo de reglas asociadas**.
- IF **Litología\_Principal = Roca\_Ignea** THEN **NoAsk (Lista de valores)**.

En el contexto de nuestro proyecto utilizaremos las metarreglas para las clasificación dentro de plagas y enfermedades, con el fin de sean detonadas las reglas referentes a un tipo de plaga o enfermedad debido a su morfología en lugar de otras, por ejemplo:

- IF **Morfologia\_Plaga = polilla** THEN **Tratar sólo el grupo de reglas asociadas a síntomas de polillas**.

Otro ejemplo está relacionado con el tipo de daño específico ocasionado por algunas plaga o enfermedades:

- IF **Tipo\_Daño = hojaDañada** THEN **Tratar sólo el grupo de reglas asociadas a plagas o enfermedades que dañan las hojas**.

Dicho esto, surge un problema y esta reside en la posibilidad de perder la coherencia lógica en la base de conocimientos, debido al gran número de reglas y la dificultad de verificación de coherencia.

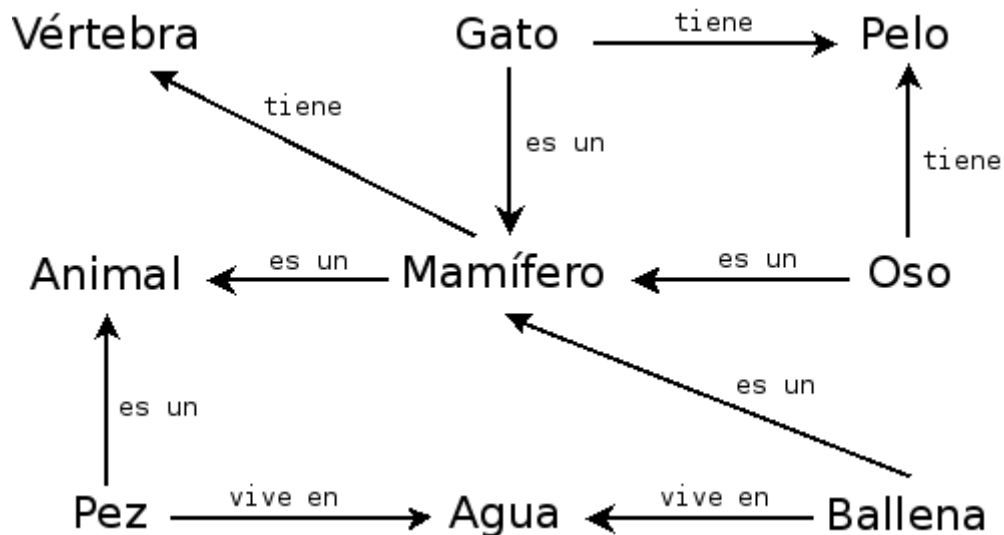
Esta es la razón por la que los SE que utilizan regla, proponen la inclusión de técnicas para la representación del conocimiento. En estas utilizan las redes semánticas.

## Redes Semánticas

La importancia de las redes semánticas es su capacidad para relacionar conceptos y recuperar información, con el fin de extraer el conocimiento.

El modelo de redes es ampliamente utilizado en el mundo de la computación para recuperar información de gigantescas bases de datos de forma rápida y eficiente.

- Los nodos representan conceptos (objetos o sucesos).
- Los arcos significan relaciones entre estos conceptos. Un arco con sus dos nodos como una sola unidad de conocimiento, mediante grafos o árboles.



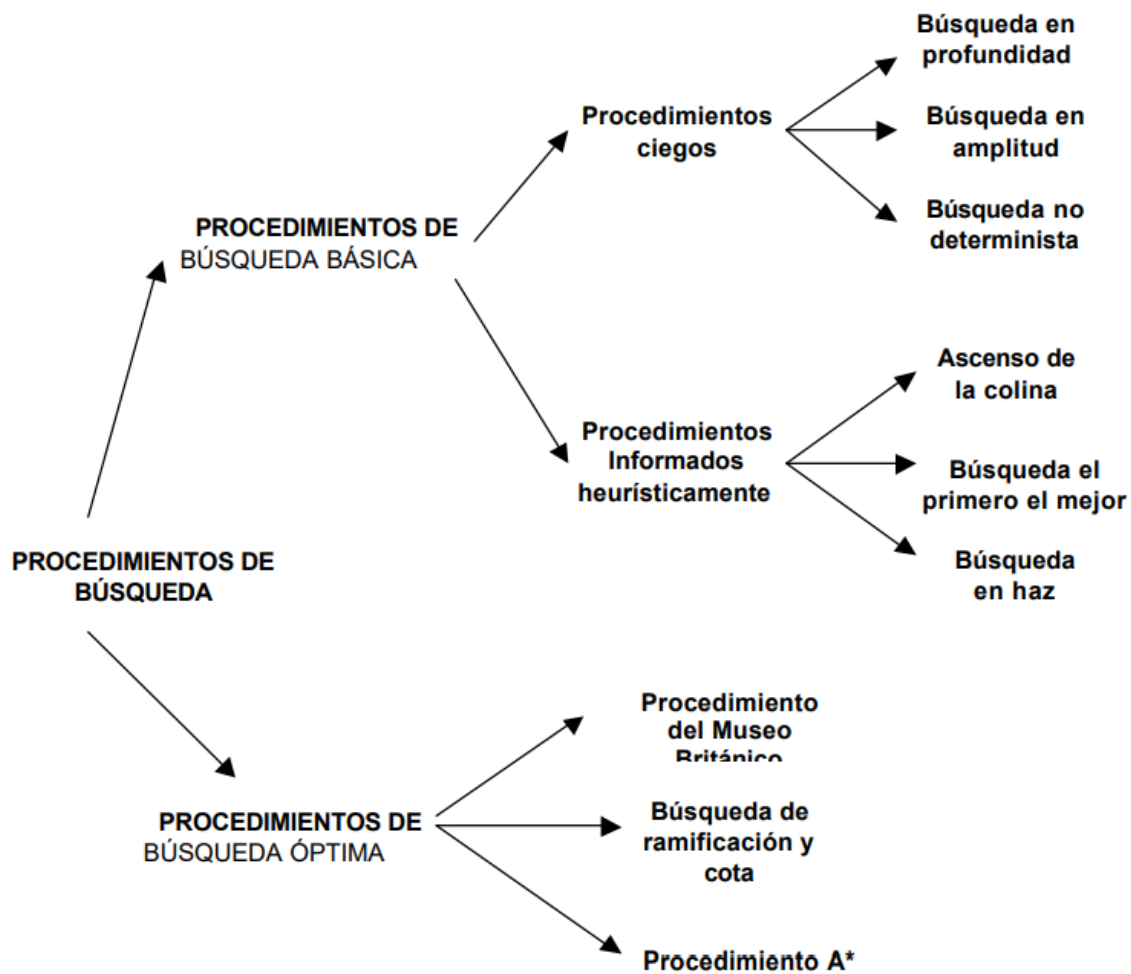
*Ejemplo de Redes Semánticas.*

Uno de los problemas es que al encontrarse con una gran cantidad de reglas aplicables que obliga al mismo a idas y venidas por las mismas para encontrar un camino lógico. Este conjunto de reglas que en un mismo momento son candidatas a ser aplicadas recibe el nombre de conjunto de conflicto. Y para poder elegir una reglas aplicables se utilizan las denominadas “**métodos de resolución de conflictos**”.

#### Métodos de resolución de conflictos

Estos permiten elegir una regla aplicable, cuando se encuentran más de una, siguiendo distintos criterios de búsqueda.

En términos de inteligencia artificial son representados a través de la búsqueda aplicada a grafos o árboles.



*Métodos de búsqueda para la resolución de conflictos.*

Algoritmo de búsqueda considerado, para la resolución de conflictos.

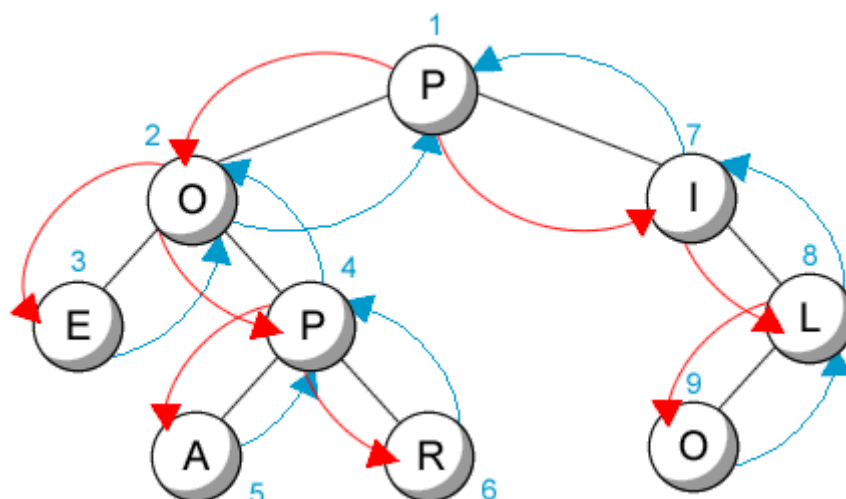
### **Búsqueda en profundidad**

Es un algoritmo de búsqueda para lo cual recorre los nodos de un grafo.

Su funcionamiento consiste en ir expandiendo cada uno de los nodos que va localizando desde el nodo padre hacia el nodo hijo.

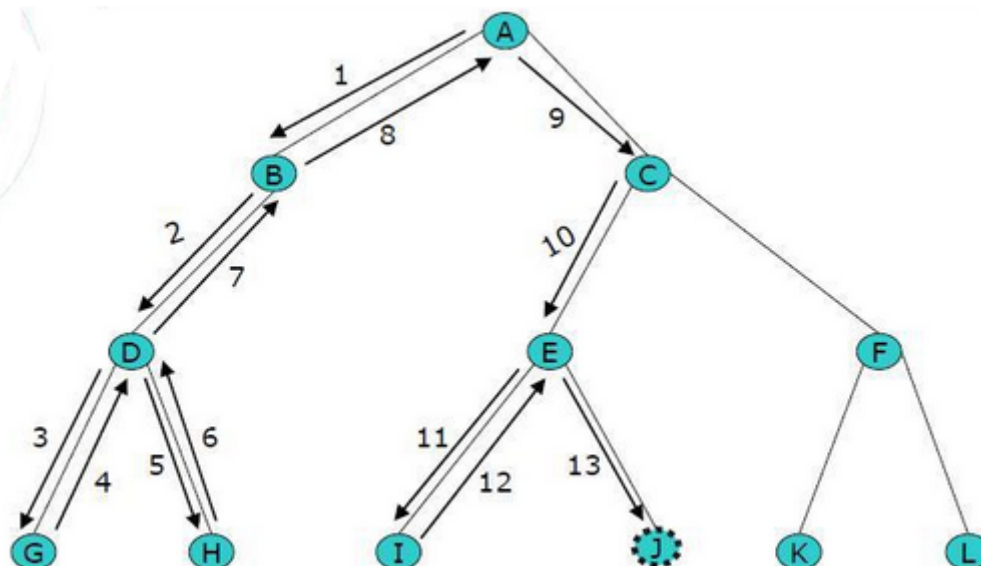
Cuando ya no quedan más nodos que visitar en dicho camino, regresa al nodo predecesor, de modo que repite el mismo proceso con cada uno de los vecinos del nodo.





*Recorrido Búsqueda en profundidad del nodo padre a los nodos hijos.*

Cabe resaltar que si se encuentra el nodo antes de recorrer todos los nodos, concluye la búsqueda, de lo contrario si no se encuentra el nodo, una vez recorrido todo el grafo, la búsqueda ha fracasado.



*Recorrido Búsqueda en profundidad exitosa en búsqueda de j.*

El algoritmo de búsqueda en profundidad tiene varias aplicaciones, entre las cuales tenemos las siguientes:

- **Encontrar nodos conectados en un grafo**
- Ordenamiento topológico en un grafo acíclico dirigido
- Encontrar puentes en un grafo de nodos
- Resolver puzzles con una sola solución, como los laberintos

Debido a que una de las principales aplicaciones de la búsqueda en profundidad es encontrar nodos conectados dentro de un grafo, consideramos que es adecuado aplicar éste tipo de búsqueda, ya que se usa para cuando queremos probar si una solución entre varias posibles cumple con ciertos requisitos. Esto en el contexto de nuestra manera de resolver los conflictos nos parece la búsqueda más adecuada.



## Base de hechos

Esta forma parte de la base de conocimiento y se define como la memoria que almacena los datos del usuario, contiene información invariable y recibe el nombre de **hechos**. Esta constituye la memoria de trabajo del sistema experto y representan la estructura dinámica del conocimiento, ya que su número puede verse incrementado a medida que se van relacionando las reglas.

Estas representan el conocimiento que se tiene del problema en el momento de la ejecución. De la mano con el concepto de premisas se tiene que estas pueden ser de dos tipos:

**Datos iniciales (Entrada):** Se refiere al conocimiento que proporciona el usuario del sistema.

**Hechos inferidos:** Se refiere al conocimiento que se obtiene a partir de las reglas.

Ambos tipos de conocimiento deben registrarse en una base de hechos que contiene, en este caso, toda la información acerca del problema, sea cual sea su origen.

Cuando se ejecuta un sistema experto la base no contiene, inicialmente, más que el conocimiento del usuario (las entradas) y se completa poco a poco con hechos inferidos.

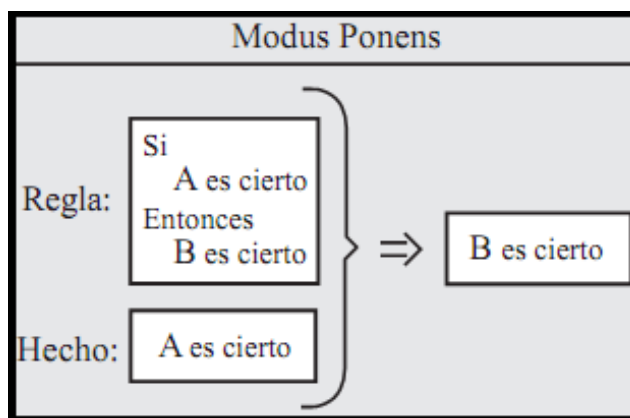
## Motor de inferencia

Es la parte que se encarga de aplicar las reglas plasmadas en la base de conocimiento, esto quiere decir que a partir de un problema aplica las reglas y llega a una conclusión.

Para obtener conclusiones, los expertos utilizan diferentes tipos de reglas y estrategias de inferencia y control.

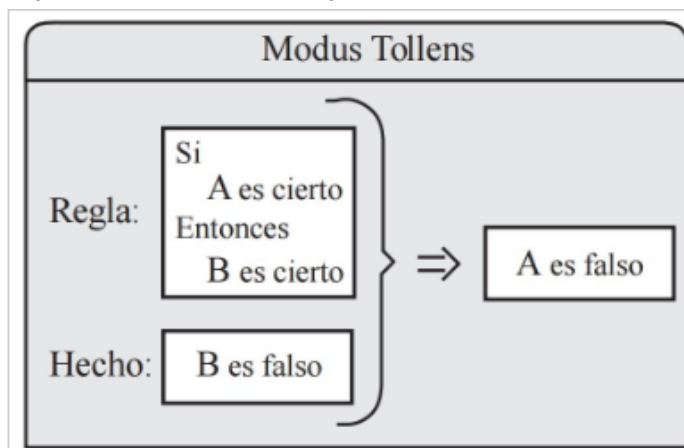
## Reglas de inferencia

**Modus Ponens:** Es quizás la regla de inferencia más comúnmente utilizada. Se utiliza para obtener conclusiones simples. En ella, se examina la premisa de la regla, y si es cierta, la conclusión pasa a formar parte del conocimiento.



*Ejemplo Modus ponens.*

**Modus Tollens:** Se utiliza también para obtener conclusiones simples. En este caso se examina la conclusión y si es falsa, se concluye que la premisa también es falsa.

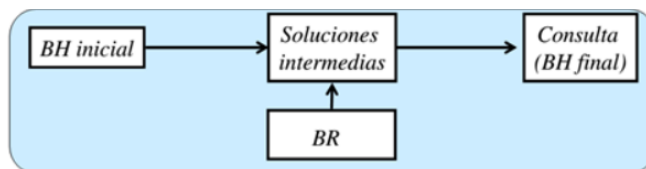


*Ejemplo Modus tollens.*

### Encadenamiento de reglas

Una de las estrategias de inferencia más utilizadas para obtener conclusiones compuestas es el llamado encadenamiento de reglas. Esta estrategia puede utilizarse cuando las premisas de ciertas reglas coinciden con las conclusiones de otras. Cuando se encadenan las reglas, los hechos pueden utilizarse para dar lugar a nuevos hechos. Esto se repite sucesivamente hasta que no pueden obtenerse más conclusiones.

**Encadenamiento hacia delante.** En este razonamiento se transita a través de las reglas, partiendo de hechos o datos iniciales, hasta encontrar las adecuadas para llegar a una solución o recomendación.



*Ejemplo de encadenamiento hacia adelante.*

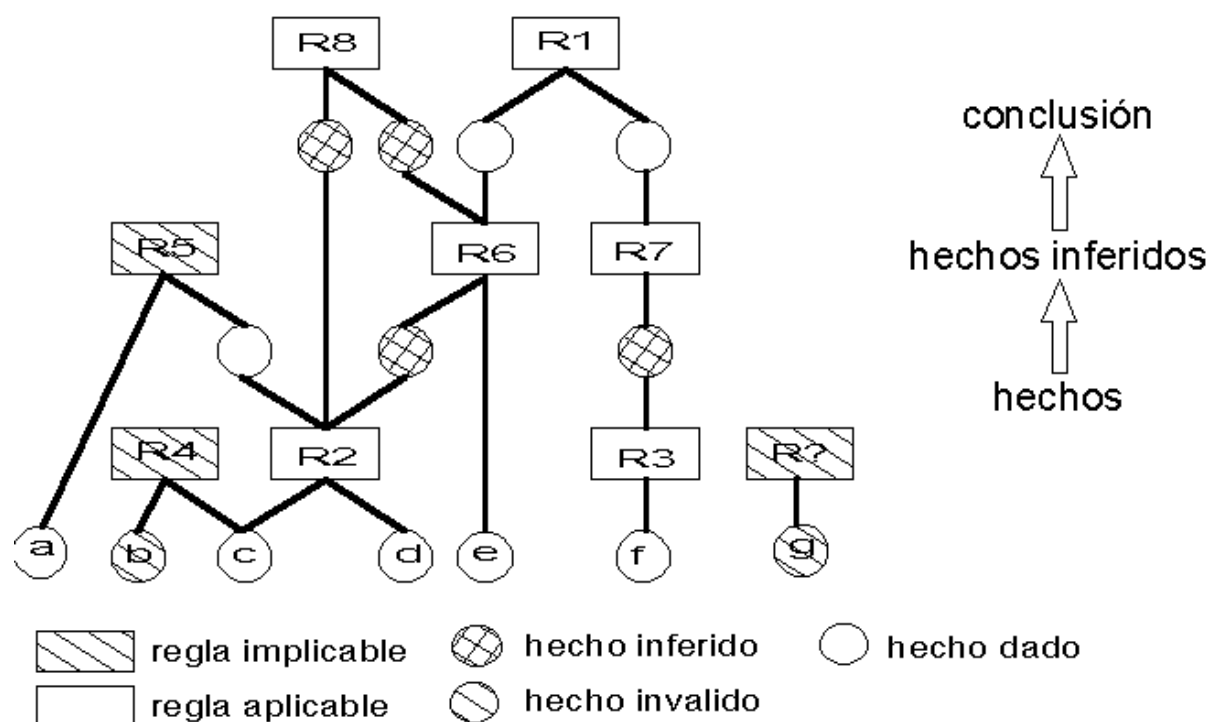
*BH inicial = Base de hechos (Entrada).*

*BR = Base de conocimientos (Reglas).*

*BH final = Base de hechos (Final).*

```
conejo(Bugs Bunny)
conejo(x) -> mamifero(x)
mamifero(x) -> animal(x)
animal(Bugs Bunny)
```

*Ejemplo de encadenamiento hacia adelante, considerando como conejo "Bugs Bunny" un hecho.*



Grafo sobre cómo funciona el encadenamiento hacia adelante.

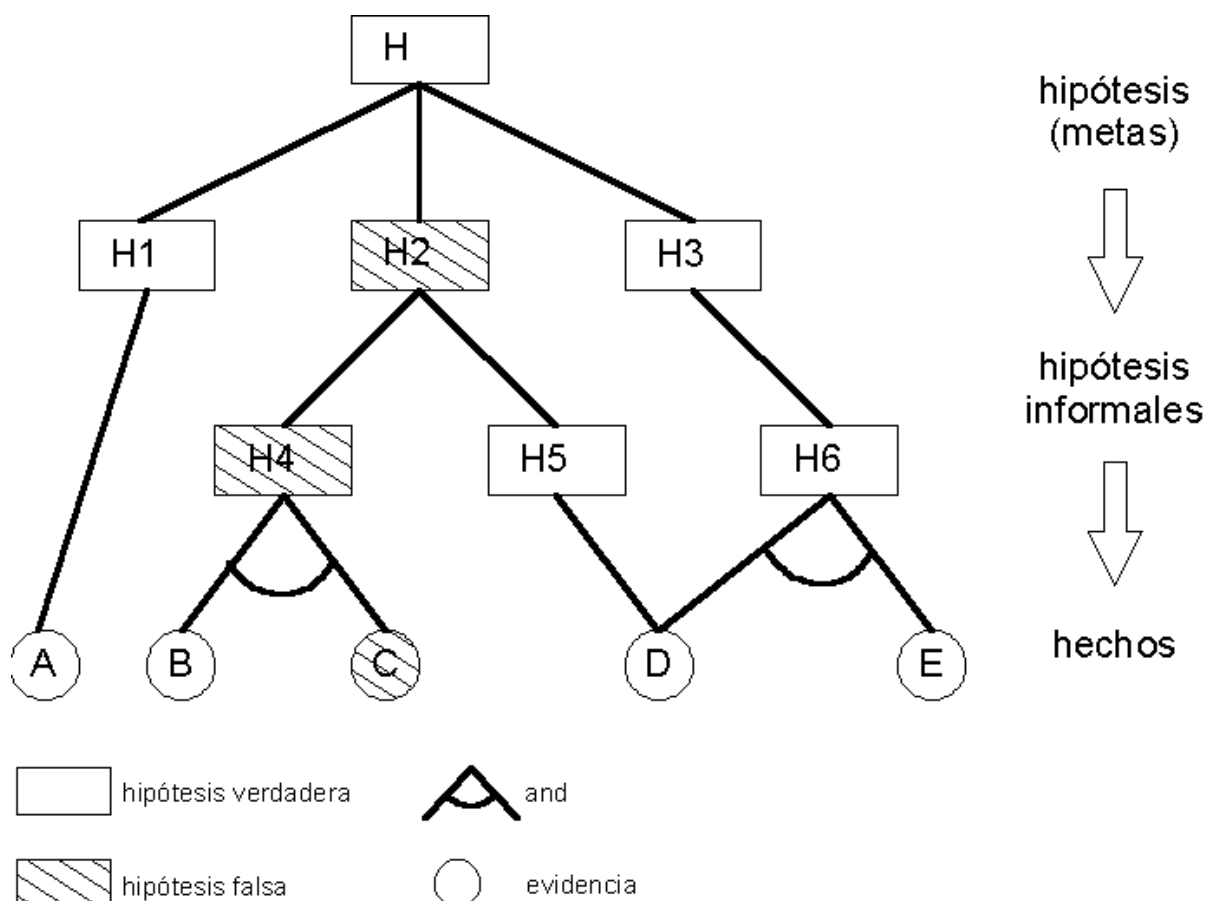
### Encadenamiento hacia atrás.

El encadenamiento de reglas hacia atrás parte del hecho que se quiere concluir y mira qué reglas lo tienen como conclusión, se toman las premisas de estas reglas y se consideran como objetivos parciales que se quieren verificar. Por medio de un proceso de comparación con los hechos de la base de conocimiento y un proceso de backtracking, se va decidiendo cuáles de los objetivos parciales se van cumpliendo y cuáles quedan pendientes.

Del ejemplo anterior...

En el encadenamiento hacia atrás el proceso es el inverso, en otras palabras queremos probar una “hipótesis” **animal(Bugs-Bunny)**. El problema central del encadenamiento hacia atrás es encontrar una cadena de enlace entre la evidencia y la hipótesis.

El hecho **conejo(Bugs Bunny)** se llama la evidencia en el encadenamiento hacia atrás, para indicar que se usará para sostener la hipótesis, siendo esta evidencia usada para probar dicha hipótesis.

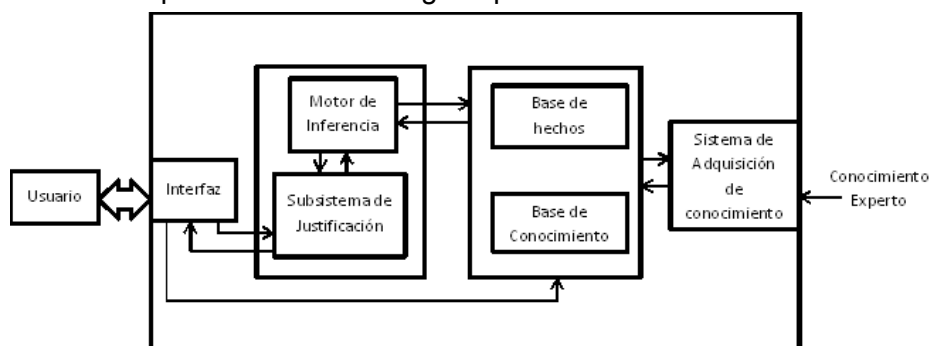


*Grafo sobre cómo funciona el encadenamiento hacia atrás.*

Entre los encadenamientos hacia adelante y hacia atrás son en realidad caminos a través de un espacio de estados de un problema. En este espacio de estados del problema existen estados intermedios que corresponden a “hipótesis intermedias” bajo el encadenamiento hacia atrás o “soluciones intermedias” bajo el encadenamiento hacia adelante.

### Módulo de Justificación

Se encarga de explicar el comportamiento del SE al encontrar una solución. Permite al usuario hacer preguntas al sistema para poder entender las líneas de razonamiento que este siguió. Resulta especialmente beneficioso para usuarios no expertos que buscan aprender a realizar algún tipo de tarea.



*Estructura del sistema experto.*

Explicado lo anterior y para sintetizar, un SE es el de separar los conocimientos almacenados (Base de conocimiento) del programa que los controla (Motor de inferencia). Los datos propios de un determinado problema se almacenan en una base de datos aparte (Base de hechos).

#### Justificación para la implementación de un SE basado en reglas

Existen diferentes tipos de sistemas expertos, dentro de los cuales se encuentran por ejemplo los sistemas expertos difusos o los sistemas expertos basados en casos (redes bayesianas), pero consideramos que estas herramientas no aplican para nuestra solución, ya que estos trabajan con incertidumbre, si bien existen plagas que generan este inconveniente al poseer características muy similares entre sí, pero las principales y más comunes plagas que afectan a los cultivos de tomate poseen características muy marcadas que las diferencian entre sí, éstas plagas y enfermedades son con las que trabajaremos y están definidas en el alcance del proyecto.

Según lo explicado anteriormente, para este caso, la implementación de un sistema experto basado en reglas sería lo más adecuado debido a que la solución del problema estará orientada a un sistema booleano.



## Plaga identificada

Donde se mostrará una imagen junto a una pequeña descripción de la plaga, se pedirá confirmación por parte del usuario para saber si es la plaga correcta.

- Si la respuesta es afirmativa, se entregarán las recomendaciones pertinentes.
- Si la respuesta es negativa, se ejecutará nuevamente el sistema de preguntas.

## Base de conocimientos

En la base de conocimiento se almacenarán todas las plagas y/o enfermedades con las que trabajará el sistema, junto con los síntomas que éstas presentan las distintas plagas, por medio de reglas del tipo **IF THEN**.

Por ejemplo: **IF** (mancha negra && tallo negro ) **THEN** Marchitez por verticillium.

En esta también se encontrará la base de hechos, esta almacenará los hechos inferidos por el motor de inferencia, en un principio se encontrará vacío, luego se irá llenando a medida que el motor de inferencia confirme hechos en base a los datos que fueron proporcionados por la base de conocimiento.

Los datos iniciales entregados por el usuario serán considerados y comprobados por la base de reglas<sup>16</sup>.

Esta funcionará de la siguiente manera:

- Si el prototipo encuentra una regla que contenga los datos iniciales, se verificará si cumple con esta.
  - Si es así se almacenará su conclusión y pasará a ser un hecho, posteriormente será almacenada en la base de hechos. De lo contrario la regla será descartada.
- A su vez, en base a las premisas aplicadas, el motor de inferencia podrá encontrar hechos inferidos estos serán obtenidos cuando dos premisas sean verdaderas.

- Por ejemplo:

Tenemos las siguientes reglas.

1. IF(Hoja dañada AND Perforación del fruto)THEN larva.
2. IF(larva AND Frutos verdes deformes) THEN polilla del tomate.

Datos iniciales: Hoja dañada - Perforación del fruto- Frutos verdes deformes.

En base a lo anterior se infiere teniendo Hoja dañada y Perforación del fruto, se tiene larva esta se almacena en la base de hechos y posteriormente se preguntará por los hechos encontrados y si este aplica alguna reglas, en este caso se aplica a la 2da regla, junto con el dato entregado por el usuario de Frutos verdes deformes dando como conclusión final polilla del tomate.

- Otro ejemplo:

1. IF(Hoja dañada AND Perforación del fruto)THEN larva.
2. IF(larva AND Tallo con perforaciones) THEN Gusano de tomate.

Datos iniciales: Hoja dañada - Perforación del fruto - Tallo con perforaciones.

En base a lo anterior se infiere teniendo Hoja dañada y Perforación del fruto, se tiene larva esta se almacena en la base de hechos y posteriormente se preguntará por los hechos encontrados y si este aplica alguna reglas, en este

---

<sup>16</sup> Recordemos que las reglas están compuestas por la estructura de “Si Premisa entonces Conclusión

caso se aplica a la 2da regla, junto con el dato entregado por el usuario de **Tallo con perforaciones** dando como conclusión final **Gusano de tomate**.

## Creación de grafo

Para poder gestionar el conocimiento, es necesario introducirlo en estructuras que nos permitan acceder a éstos datos, para el caso de las distintas plagas y enfermedades es importante aclarar que pueden presentar algunos síntomas en común. Se utilizarán grafos en los cuales cada regla corresponde a un nodo.

Las reglas son separadas por categorías, siendo éstas el tipo de organismo que afecta al cultivo<sup>17</sup>.

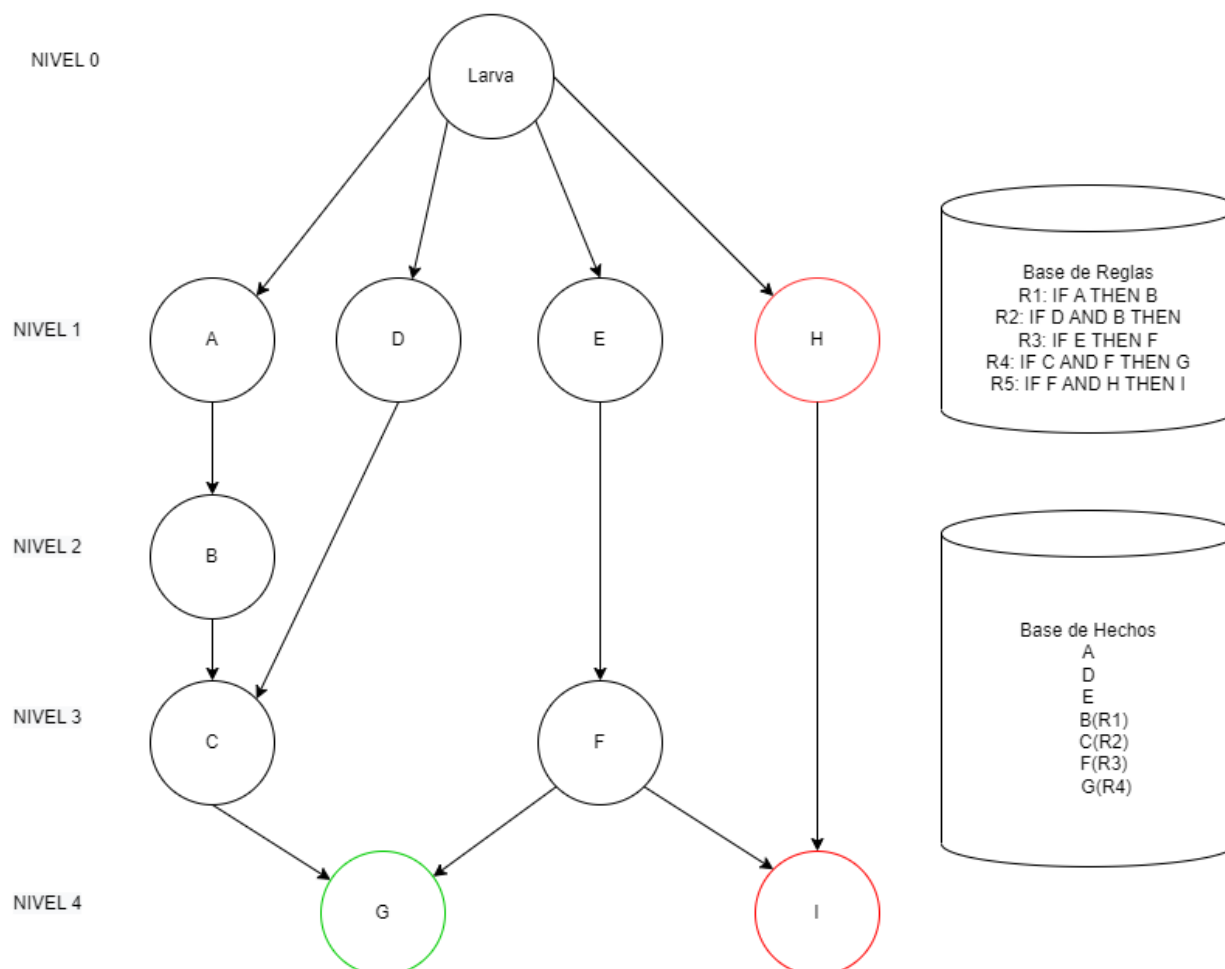
- Se crearán distintos grafos para cada categoría de plagas y enfermedades.
- La creación de grafo se realizará por niveles, de la siguiente manera:
  - En el nivel 0 se encuentra la categoría principal.
  - En el nivel 1 se encuentran los síntomas que serán preguntados al usuario para poder identificar las plagas o enfermedades.
  - En los siguientes niveles se encuentran los síntomas inferidos de acuerdo a los datos entregados por el usuario.
  - En el último nivel (Nodos que no posean “Hijos”) se encuentran las conclusiones (Plagas o enfermedades).

---

<sup>17</sup> Entiéndase organismo como insectos, bacterias u hongos.



GRAFO EJEMPLO 1



### Grafo de demostración donde:

**Larva es la categoría donde pertenecen todas las reglas, perteneciente al grafo anterior.**

A- D-E-H Datos iniciales por el usuario.

B-C-F Hechos inferidos.

G - I son las enfermedades o plagas.

### Motor de inferencia

Aquí se realiza el proceso de inferencia donde se busca encontrar la conclusión que buscamos, en este caso identificar la plaga o enfermedad que amenaza a la planta. Esto se hace a través de grafo donde con hechos se irán verificando e infiriendo, a partir de las reglas de la base de conocimiento.

El motor de inferencia consta de los siguientes pasos:

1. La premisa entregada por el usuario debe cumplir las siguientes condiciones:

- a. Premisa sea verdadera.
- b. No haya sido recorrida (refiriéndose al grafo).

Una vez cumplida estas condiciones se procederá a buscar en la base de conocimiento, primeramente las metarreglas que desencadenan las reglas referentes a los datos dados por usuario, una vez realizado estas desencadenaran las reglas aplicables que contengan información relacionadas con las premisas. Si no encuentra reglas aplicables la ejecución termina y muestra las conclusiones obtenidas.

2. Se buscan las conclusiones, estos corresponden a los nodos que no presentan hijos, y serán almacenados para posteriormente ser mostradas al usuario. En el contexto de nuestro proyecto corresponden a las plagas o enfermedades identificadas, junto con su tratamiento.
3. Si se encuentran más de una regla aplicable se debe elegir una, para esto utilizaremos los llamados métodos de resolución de conflicto, de lo contrario no se accionará, **en nuestro caso utilizaremos la búsqueda en profundidad.**

En la búsqueda se recorrerá el grafo en busca de reglas aplicables, en esto pueden ocurrir dos caso, cuando encuentra una regla aplicable:

- 1) Su premisa sea verdadera, esta almacenará las conclusiones en la base de hechos y seguirá al nodo siguiente, sucesivamente hasta que no encuentre más nodos hijos.
- 2) Que la premisa no sea verdadera. se descartaron todos los nodos hijos de ese grafo, ya que estos son falsos y ya fueron recorridos.

**Posteriormente se repite el paso 1 hasta que deje de cumplirse las condiciones y el motor terminará el proceso.**

### Sistema de confirmación / recomendaciones

En el sistema de confirmación se utilizará la conclusión obtenida mediante los procesos realizados por el motor de inferencia, aquí se le preguntará al usuario si la plaga o enfermedad es correcta mediante una pequeña descripción<sup>18</sup> y una imagen de ejemplo.

- Si la respuesta es afirmativa, pasa al sistema de recomendaciones.
- Si la respuesta es negativa, se muestran las opciones que seleccionó anteriormente para que el usuario pueda distinguir si fue un error suyo o por otro lado los síntomas seleccionados son en efecto los síntomas que presente el cultivo, si éste es el caso se puede deber a dos posibilidades:
  - La plaga o enfermedad no está contemplada en el alcance del prototipo.
  - Hay más de una plaga o enfermedad afectando al cultivo, quedando fuera del alcance del prototipo.

Si el usuario confirma que fue un error suyo vuelve al módulo “Sistema de preguntas”.

En el sistema de recomendaciones se muestra una descripción sobre la plaga, indicando el tratamiento a efectuar, estos serán los distintos tipos de control, de los explicados

---

<sup>18</sup> Se refiere a que indicará todos los síntomas que llevaron a la conclusión que obtuvo el motor de inferencia.

anteriormente (solo si es posible de realizar), junto con imágenes referenciales sobre la plaga o la enfermedad.

#### Almacenamiento de datos iniciales

Este apartado como bien indica su nombre se encargará de almacenar los datos iniciales (respuestas entregadas por el usuario).

#### Almacenamiento de plaga/enfermedad y tratamientos

Este apartado como bien indica su nombre se encargará de almacenar las conclusiones obtenidas por el sistema. Esto con el fin de proporcionar al usuario información sobre los tratamientos y plagas, trabajadas en sistema con anterioridad.

## Referencias

■ Libro INIA N° 07-1.pdf

[Características de los Sistemas Expertos.](#)

[Sistemas Expertos: Fundamentos, Metodologías y Aplicaciones](#)

[Sistemas Basados en Reglas - Fernando Sancho Caparrini](#)

[Sistemas Expertos Basados en Reglas](#)

[SISTEMAS EXPERTOS](#)

[TECNICAS APLICADAS A SISTEMAS EXPERTOS](#)

[RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS](#)

[Sistemas Expertos Basados en Reglas 1 Introducción 2 El Motor de Inferencia](#)

[Tema 4: Encadenamiento hacia adelante y hacia atrás](#)

[CLIPS - Wikipedia, la enciclopedia libre](#)

[Sistemas Expertos](#)

[SE arquitectura.pdf](#)

[Rule based SE.pdf](#)

[Capítulo 2 Sistemas Expertos y Lógica Difusa](#)

[Sistemas Expertos, Redes Bayesianas y sus aplicaciones](#)

[Inteligencia Artificial para desarrolladores, 2da Edición - Virginie](#)

[Mathivet-FREELIBROS.ME.pdf](#)