



Grado en Ingeniería Informática
Departamento de Ingeniería Informática
Universidad de Cádiz

Tema 3

Sistemas Basados en Reglas

elisa.guerrero@uca.es

Tema 3. SBR. Objetivos

Al finalizar el tema el alumno ha de ser capaz de:

1. Diseñar Sistemas Basados en el Conocimiento (SBR) completos, construyendo tanto la base de hechos como la base de conocimientos.
2. Saber realizar inferencias sobre SBR ya contruidos para obtener nuevo conocimiento.
3. Comprender, conocer y saber simular el funcionamiento interno del motor de inferencias en un SBR:
 - el ciclo de ejecución,
 - modos de inferencia y razonamiento,
 - técnicas de equiparación,
 - así como usar distintas estrategias para la resolución de conflictos.
4. Saber implementar un SBR usando las herramientas de desarrollo apropiadas para ello.

Tema 3. SBR.

Índice del Tema

1. Definición y Características de los Sistemas basados en Reglas
2. Motor de Inferencia
 - Encadenamiento hacia delante
 - Encadenamiento hacia atrás
3. Técnicas de Equiparación
 - RETE
4. Resolución de Conflictos

1. Definición y Características. Componentes

Un Sistema Basado en Reglas (SBR) es un sistema de inferencia que utiliza una base de conocimientos generales para examinar un conjunto de datos particulares (y solicitar nueva información si es necesario) hasta llegar a una conclusión.

Si es un cultivo de sangre, el organismo es gram_negativo con morfología rod y la quemadura del paciente es severa
ENTONCES
el organismo es Pseudomonas

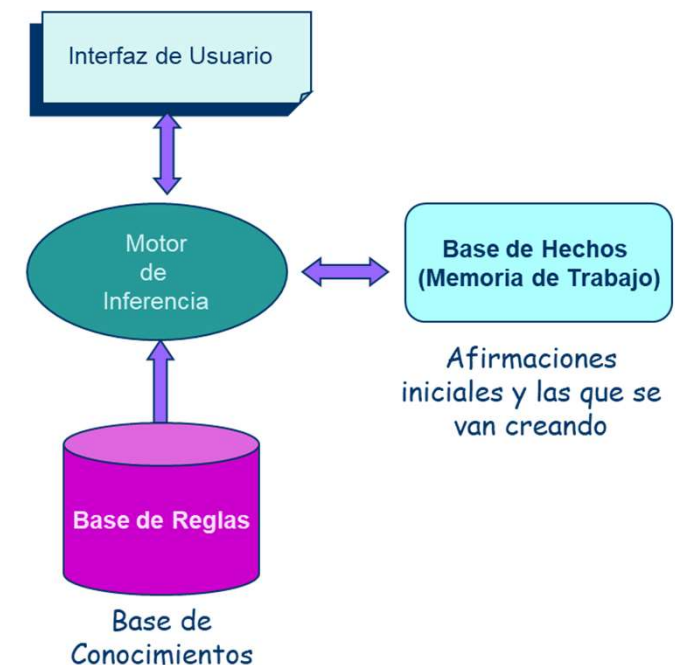
```
Patient's name: SYLVIA_FISHER
Sex: FEMALE
Age: 27
----- culture-1 -----
From what site was specimen CULTURE-1 taken? BLOOD
How many days ago was this culture (CULTURE-1) obtained? 3
----- organism-1 -----
Enter the identity (genus) of ORGANISM-1? UNKNOWN
The gram strain of ORGANISM-1? ?
Must be one of: acid-fast, pos, neg

The gram strain of ORGANISM-1? NEG
Is ORGANISM-1 a rod or coccus? ROD

Is PATIENT-1 a burn patient? If so, mild or serious? WHY
[Why is the value of burn being asked for?]
It is known that:
    The site of the culture is blood
    The gram of the organism is neg
    The morphology of the organism is rod
Therefore,
Rule 52:
    If The burn of the patient is serious
    Then with certainty of 0.4
    The identity of the organism is pseudomonas
```

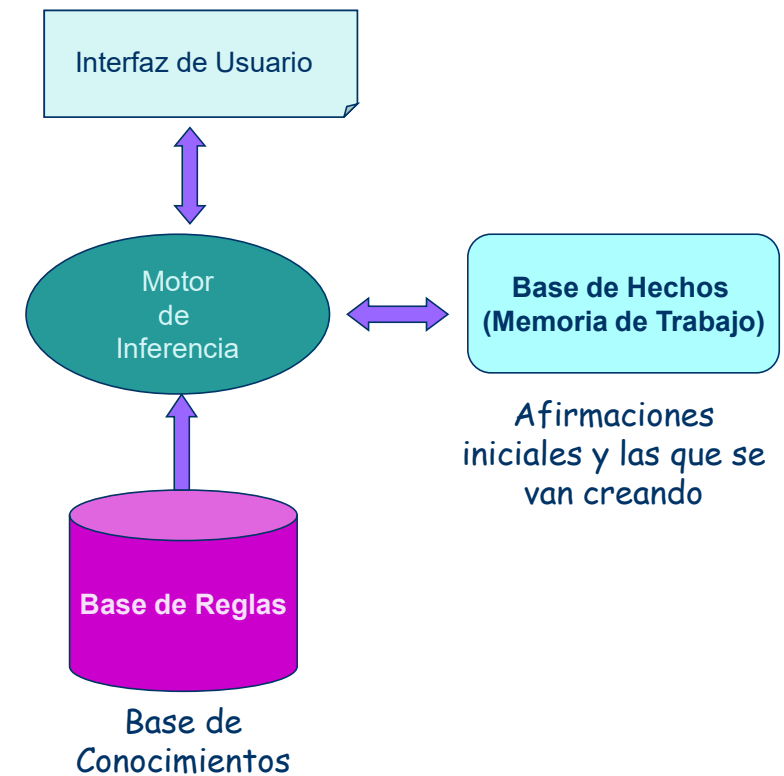
1. Definición y Características. Componentes

- **Base de hechos o memoria de trabajo (BH o WM):** representa las observaciones/conceptos del dominio del problema, y el conocimiento que el sistema va adquiriendo en forma de nuevos hechos particulares del problema que intenta resolver.
- **Base de reglas (BR):** representa las relaciones entre conceptos, expresando el conocimiento general del dominio del problema. Conjunto de reglas (producciones):
 - SI A ENTONCES B
 - A: condiciones de aplicación
 - B: acciones sobre la BH o mundo externo
- **Estrategia de control, intérprete de reglas, o motor de inferencias (EC o MI):** responsable de encadenar los ciclos de funcionamiento:
 - Fase de decisión: selección de reglas
 - Fase de acción: ejecución de reglas



1. Definición y Características. Componentes

- Fácil de entender
- Robusto y más general que la lógica de predicados
- Permite la aplicación de distintos tipos de razonamiento



1. Definición y Características. Reglas de Producción

SBR: SISTEMAS BASADOS EN REGLAS

si <antecedente> **entonces** <consecuente>

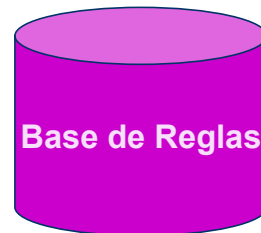
- Independencia de unas reglas respecto de otras: una regla no puede hacer referencia a otra regla.
- A veces se puede aplicar un Factor de Incertidumbre para gestionar el Carácter aproximado del conocimiento.

1. Definición y Características.

Ejemplo 1

Conocimientos

- Si vuela y pone huevos **entonces** es un ave
- Si un ave tiene patas largas, y color rosa **entonces** es un flamenco
- Si un ave tiene pico largo y bolsa amarilla en el cuello **entonces** es un pelícano

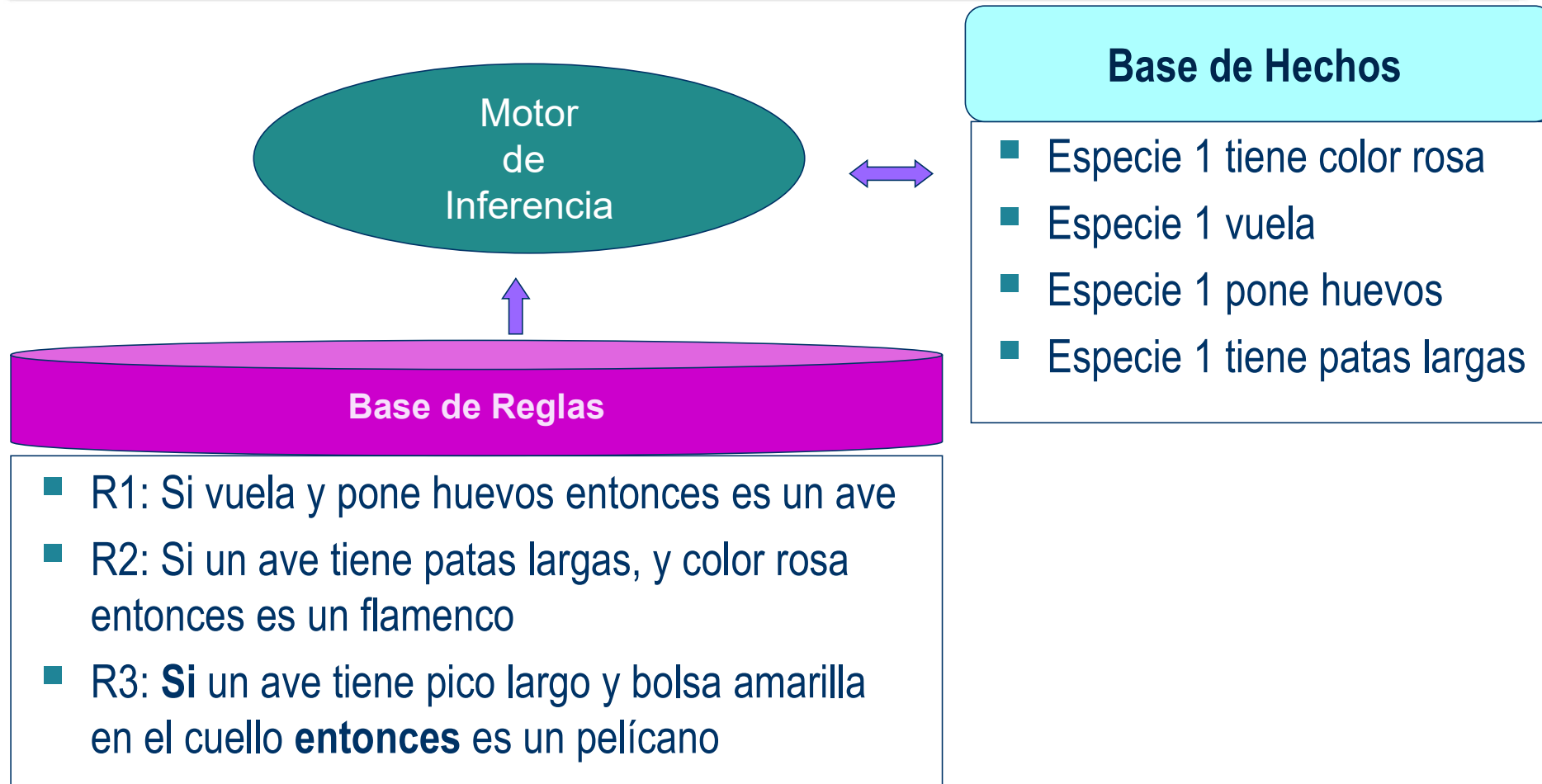


Observaciones

- Especie 1 tiene color rosa
- Especie1 vuela
- Especie 1 pone huevos
- Especie 1 tiene patas largas

Base de Hechos
(Memoria de Trabajo)

1. Definición y Características. Ejemplo 1



2. Motor de Inferencia

- Encargado de aplicar las reglas almacenadas en la **base de conocimientos** para deducir nuevos hechos o tomar decisiones.
 - Examina la base de hechos y determina qué regla disparar a continuación.
-
- **Procedimiento de Control**
 - **Modos de Inferencia**
 - **Modo de Razonamiento**
 - **Resolución de Conflictos**

Razonar:

Discurrir, ordenando ideas en la mente para llegar a una conclusión.

Inferir:

Sacar una consecuencia o deducir algo de otra cosa.

2.1 Procedimiento de control. Ciclo de ejecución

- Hasta que el problema esté resuelto o no haya más reglas que aplicar:
 - Buscar la regla (o reglas) cuyo antecedente se cumple a partir de la base de hechos actual.
 - Pasar la regla seleccionada a la AGENDA.
 - Cuando hay más de una regla posible, aplicar una estrategia de resolución de conflictos.
- Ejecutar la regla:
 - Añadir/borrar/modificar hechos,
 - Enviar mensajes al interfaz de usuario,
 - etcétera.

2.2 Modos de Inferencia

Inferir: obtener una consecuencia o deducir algo

- **Modus Ponens**

Si A entonces B	Si llueve voy al cine
A	Está lloviendo
<hr/>	
B	Por tanto voy al cine

- **Modus Tollens** (inferencia contrapositiva)

Si A entonces B	Si llueve voy al cine
$\neg B$	No voy al cine
<hr/>	
$\neg A$	Por lo tanto, no está lloviendo

2.3 Modos de Razonamiento

- Razonar: Discurrir ordenando ideas para llegar a una conclusión:
 - **Encadenamiento hacia adelante:** parte de los hechos actuales y aplica las reglas para deducir nuevos hechos hasta llegar a una conclusión.
 - **Encadenamiento hacia atrás:** comienza con una meta o hipótesis y trabaja hacia atrás, buscando hechos y reglas que la soporten.

2.3 Modos de Razonamiento. Encadenamiento hacia adelante (Ejemplo 1)

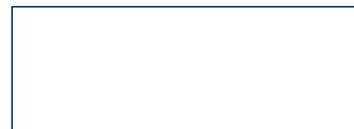
Base de Reglas

- R1: Si vuela y pone huevos entonces es un ave
- R2: Si un ave tiene patas largas, y color rosa entonces es un flamenco
- R3: **Si** un ave tiene pico largo y bolsa amarilla en el cuello **entonces** es un pelícano

Base de Hechos

- Especie 1 tiene color rosa
- Especie 1 vuela
- Especie 1 pone huevos
- Especie 1 tiene patas largas

Agenda



Motor de Inferencia



2.3 Modos de Razonamiento. Encadenamiento hacia adelante (Ejemplo 1)

Base de Reglas

- R1: Si **vuela** y pone **huevos** entonces es un ave
- R2: Si un ave tiene patas largas, y color rosa entonces es un flamenco
- R3: Si un ave tiene pico largo y bolsa amarilla en el cuello **entonces** es un pelícano

Base de Hechos

- Especie 1 tiene color rosa
- Especie 1 **vuela**
- Especie 1 **pone huevos**
- Especie 1 tiene patas largas

Agenda

- **R1**

Motor de Inferencia

2.3 Modos de Razonamiento. Encadenamiento hacia adelante (Ejemplo 1)

Base de Reglas

- R1: Si **vuela** y pone **huevos** entonces es un ave
- R2: Si un ave tiene patas largas, y color rosa entonces es un flamenco
- R3: Si un ave tiene pico largo y bolsa amarilla en el cuello **entonces** es un pelícano

Base de Hechos

- Especie 1 tiene color rosa
- Especie 1 **vuela**
- Especie 1 **pone huevos**
- Especie 1 tiene patas largas
- **ESPECIE1 ES UN AVE**

Agenda

- **R1**

Motor de Inferencia

2.3 Modos de Razonamiento. Encadenamiento hacia adelante (Ejemplo 1)

Base de Reglas

- R1: Si vuela y pone huevos entonces es un ave
- R2: Si un **ave** tiene **patas largas**, y **color rosa** entonces es un flamenco
- R3: **Si** un ave tiene pico largo y bolsa amarilla en el cuello **entonces** es un pelícano

Base de Hechos

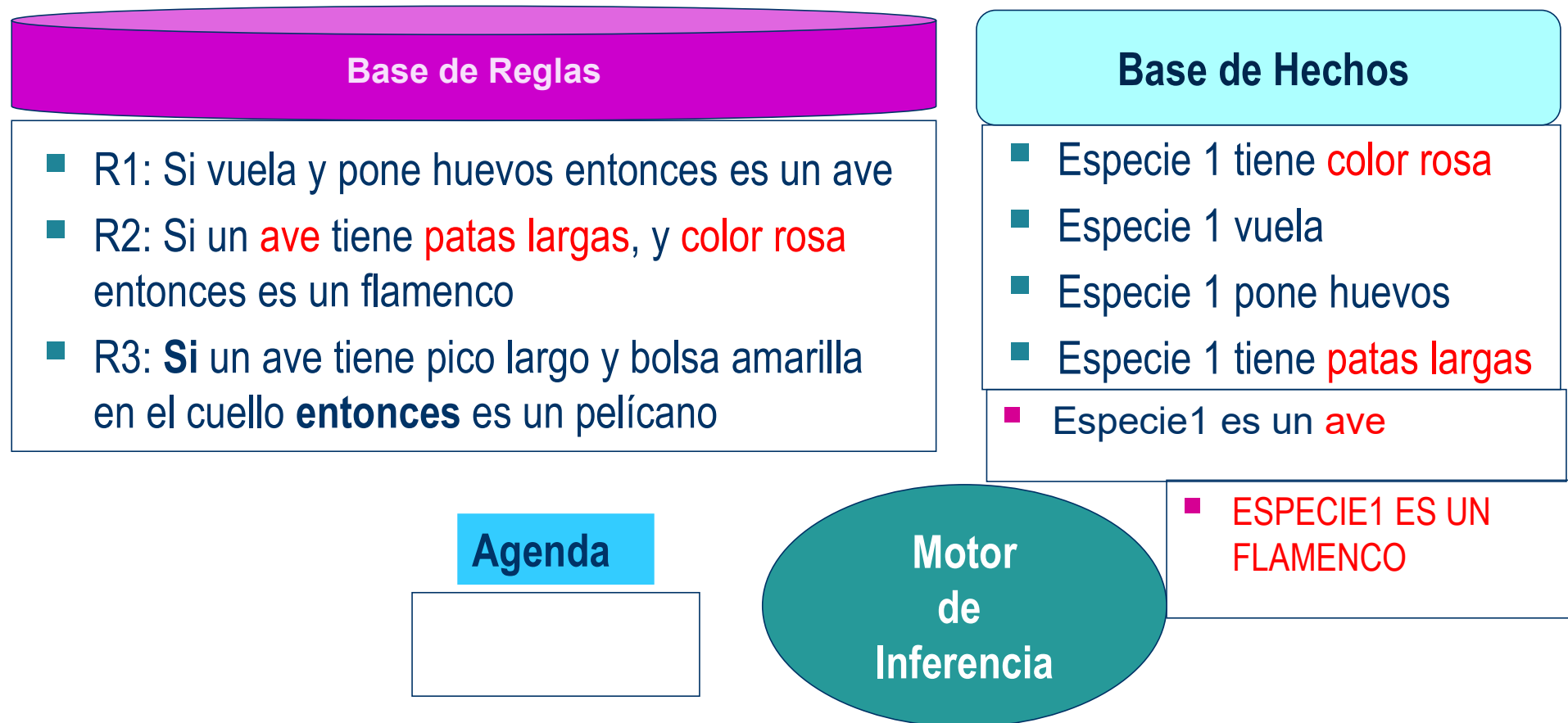
- Especie 1 tiene **color rosa**
- Especie 1 vuela
- Especie 1 pone huevos
- Especie 1 tiene **patas largas**
- Especie1 es un **ave**

Agenda

- **R2**

Motor de Inferencia

2.3 Modos de Razonamiento. Encadenamiento hacia adelante (Ejemplo 1)



2.3 Modos de Razonamiento. Encadenamiento hacia atrás

- La regla

Si A entonces B

se utiliza para reemplazar la meta B, por un conjunto de submetas equivalentes expresadas por la premisa A.

- Hay que ir verificando todas las submetas generadas
- A partir de una hipótesis intenta encontrar los hechos específicos que la avalan.

2.3 Modos de Razonamiento. Encadenamiento hacia atrás

Reglas:

- **R1:** Si No MotorArranca y No LucesEncienden
entonces ProblemaBatería
- **R2:** Si No MotorArranca y CablesSuelto
entonces ProblemaStarter
- **R3:** Si MotorArranca y BombaGasolina_OK
entonces ProblemaBujías
- **R4:** Si GasolinaenDepósito
entonces BombaGasolina_OK

Hechos:

- GasolinaenDepósito
- MotorArranca

Objetivo:

Diagnosticar Avería de un Vehículo

2.3 Modos de Razonamiento. Encadenamiento hacia atrás

Objetivo: Diagnosticar Avería de un Vehículo

Hipótesis 1: ¿Sería un **problema de la batería**?

R1: Si No MotorArranca y No LucesEncienden
entonces ProblemaBatería

Verificación H1:

- ¿No MotorArranca? **X**
- ¿No LucesEncienden?

Hechos:

- GasolinaenDepósito
- MotorArranca

Reglas:

- **R1: Si** No MotorArranca y No LucesEncienden
entonces ProblemaBatería
- **R2: Si** No MotorArranca y CablesSuelto
entonces ProblemaStarter
- **R3: Si** MotorArranca y BombaGasolina_OK
entonces ProblemaBujías
- **R4: Si** GasolinaenDepósito
entonces BombaGasolina_OK

2.3 Modos de Razonamiento. Encadenamiento hacia atrás

Objetivo: *Diagnosticar Avería de un Vehículo*

Hipótesis 2: ¿Sería un **problema en el Starter**?

R2: Si No MotorArranca y CablesSuelto
entonces ProblemaStarter

Verificación H2:

- ¿No MotorArranca? **X**
- ¿LucesEncienden?

Hechos:

- GasolinaenDepósito
- MotorArranca

Reglas:

- **R1: Si** No MotorArranca y No LucesEncienden
entonces ProblemaBatería
- **R2: Si** No MotorArranca y CablesSuelto
entonces ProblemaStarter
- **R3: Si** MotorArranca y BombaGasolina_OK
entonces ProblemaBujías
- **R4: Si** GasolinaenDepósito
entonces BombaGasolina_OK

2.3 Modos de Razonamiento. Encadenamiento hacia atrás

Objetivo: *Diagnosticar Avería de un Vehículo*

Hipótesis 3: ¿Sería un **problema en las bujías**?

R3: Si MotorArranca y BombaGasolina_OK
entonces ProblemaBujías

Verificación H3:

- ¿MotorArranca? 
- ¿BombaGasolina_OK?

Hechos:

- GasolinaenDepósito
- MotorArranca

Reglas:

- **R1: Si** No MotorArranca y No LucesEncienden
entonces ProblemaBatería
- **R2: Si** No MotorArranca y CablesSuelto
entonces ProblemaStarter
- **R3: Si** MotorArranca y BombaGasolina_OK
entonces ProblemaBujías
- **R4: Si** GasolinaenDepósito
entonces BombaGasolina_OK

2.3 Modos de Razonamiento. Encadenamiento hacia atrás

Objetivo: *Diagnosticar Avería de un Vehículo*

Hipótesis 3: ¿Sería un problema en las bujías?

Hipótesis 3.1: ¿**BombaGasolina_OK**?

R4: Si GasolinaenDepósito
entonces **BombaGasolina_OK**

Verificación H3.1:

- ¿GasolinaenDepósito?



Hechos:

- GasolinaenDepósito
- MotorArranca
- **BombaGasolina_OK**

Reglas:

- **R1: Si** No MotorArranca y No LucesEncienden
entonces ProblemaBatería
- **R2: Si** No MotorArranca y CablesSuelto
entonces ProblemaStarter
- **R3: Si** BombaGasolina_OK y MotorArranca
entonces ProblemaBujías
- **R4: Si** GasolinaenDepósito
entonces BombaGasolina_OK



2.3 Modos de Razonamiento. Encadenamiento hacia atrás

Objetivo: *Diagnosticar Avería de un Vehículo*

Hipótesis 3: ¿Sería un **problema en las bujías**?

R3: Si MotorArranca y BombaGasolina_OK
entonces ProblemaBujías

Verificación H3:

- ¿MotorArranca? 
- ¿BombaGasolina_OK? 

Hechos:

- GasolinaenDepósito
- MotorArranca
- **BombaGasolina_OK**

Reglas:

- **R1: Si** No MotorArranca y No LucesEncienden
entonces ProblemaBatería
- **R2: Si** No MotorArranca y CablesSuelto
entonces ProblemaStarter
- **R3: Si** MotorArranca y BombaGasolina_OK
entonces ProblemaBujías
- **R4: Si** GasolinaenDepósito
entonces BombaGasolina_OK

2.3 Modos de Razonamiento. Encadenamiento hacia atrás

Objetivo: *Diagnosticar Avería de un Vehículo*

PROBLEMA DE BUJÍAS



Hechos:

- GasolinaenDepósito
- MotorArranca
- **BombaGasolina_OK**

Reglas:

- **R1:** Si No MotorArranca y No LucesEncienden
entonces ProblemaBatería
- **R2:** Si No MotorArranca y CablesSueltos
entonces ProblemaStarter
- **R3:** Si MotorArranca y BombaGasolina_OK
entonces ProblemaBujías
- **R4:** Si GasolinaenDepósito
entonces BombaGasolina_OK

2.3 Modos de Razonamiento. Hacia adelante vs. Hacia atrás

■ Encadenamiento hacia adelante

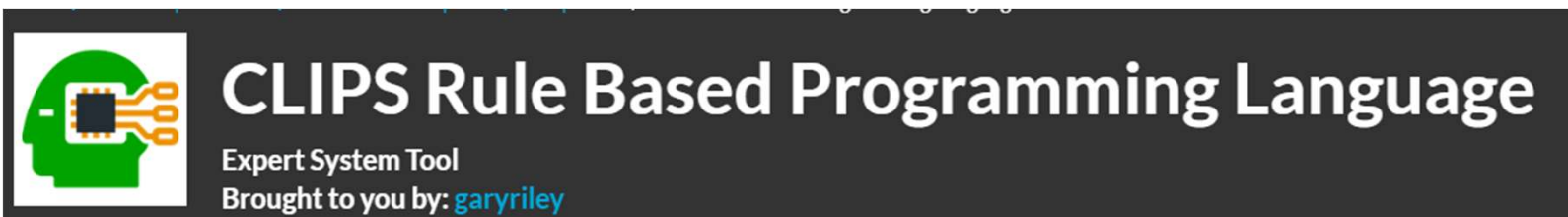
- De los hechos hacia las conclusiones
- Monitorización y control
- Problemas dirigidos por los datos
- Sin necesidad de explicación

■ Encadenamiento hacia atrás

- De los objetivos a los hechos
- Diagnóstico
- Problemas dirigidos por los objetivos
- Interacción/Explicación al usuario

CLIPS (C Language Integrated Production System)

- Herramienta de desarrollo de Sistemas de Producción
- Encadenamiento hacia delante
- Intérprete que permite escribir comandos de manera interactiva, puede mostrar información sobre el estado actual de la memoria de trabajo y las reglas activadas en cada momento.



CLIPS.

Ejemplo 1: Base de Hechos en CLIPS

Base de Hechos

■ Especie 1 tiene color rosa	f-0 (Color Especie1 Rosa)
■ Especie 1 vuela	f-1 (Vuela Especie1)
■ Especie 1 pone huevos	f-2 (PoneHuevos Especie1)
■ Especie 1 tiene patas largas	f-3 (PatasLargas Especie 1)

Formato de los hechos

(**<símbolo>** <datos>*)

El primer campo representa una relación entre los restantes

(**Color** Especie1 Rosa)

CLIPS.

Ejemplo 1. Creación de la Base de Hechos: Deffacts

- **deffacts: para crear los hechos iniciales**

(deffacts <nombre>
 <hecho>*)

(**deffacts** iniciales

 (Color Especie1 Rosa)

 (Vuela Especie1)

 (PoneHuevos Especie1)

 (PatasLargas Especie1))

(**reset**)

(**facts**) ;; muestra los hechos existentes



f-1 (Color Especie1 Rosa)

f-2 (Vuela Especie1)

f-3 (PoneHuevos Especie1)

f-4 (PatatasLargas Especie 1)

CLIPS.

Ejemplo 1. Inserción de Hechos: Assert

- Inserción de Nuevos Hechos en la Base de Hechos con la orden assert:
(assert <hecho>*)

(assert (Color Especie2 Blanco))

(assert (PatatasCortas Especie2))

(facts) ;; muestra los hechos existentes

f-1 (Color Especie1 Rosa)

f-2 (Vuela Especie1)

f-3 (PoneHuevos Especie1)

f-4 (PatatasLargas Especie 1)

f-5 (Color Especie2 Blanco)

f-6 (PatatasCortas Especie2)

CLIPS.

Ejemplo 1. Base de Conocimiento en Clips

Definición de Reglas: utilizadas para definir el comportamiento del sistema experto mediante la evaluación de condiciones y la ejecución de acciones

```
(defrule <nom_regla>  
  <condición>*  
  => <acción>*)
```

```
(defrule Ejemplo  
  (temperatura ?t)  
  (test (< ?t 0))  
  => (printout t "Temperatura BAJO CERO" crlf))
```

Variables:

Las variables se utilizan principalmente en reglas y funciones.

Se escriben con un signo de interrogación antes del nombre de la variable: **?variable**

CLIPS.

Ejemplo 1. Base de Conocimiento en Clips

Base de Reglas

■ R1: Si vuela y pone huevos entonces es un ave

```
(defrule R1  
  (Vuela ?x) (PoneHuevos ?x)  
  =>(assert (Ave ?x)))
```

■ R2: Si un ave tiene patas largas, y color rosa entonces es un flamenco

```
(defrule R2  
  (Ave ?x) (Patas ?x Largas) (Color ?x Rosa)  
  =>(assert (Flamenco ?x)))
```

■ R3: **Si** un ave tiene pico largo y bolsa amarilla en el cuello **entonces** es un pelícano

```
(defrule R3  
  (Ave ?x) (Pico ?x Largo ) (Bolsa ?x Amarilla)  
  =>(assert (Pelicano ?x)))
```

CLIPS. Resumiendo

- **deffacts:** Creación de los hechos iniciales o “permanentes”
(deffacts <nombre>
 <hecho>*)
- **assert:** Creación de nuevos hechos durante el ciclo de ejecución
(assert <hecho>*)
- **defrule:** Definición de reglas
(defrule <nom_regla>
 <condición>*
 => <acción>*)

CLIPS. Ejercicio

Diseña en CLIPS el siguiente sistema basado en reglas:

REGLAS

- R1: Si un animal tiene pelo, entonces es mamífero
- R2: Si un animal tiene plumas, entonces es ave
- R3: Si un animal come carne, es carnívoro
- R4: Si un mamífero carnívoro tiene color leonado con manchas oscuras se trata de un leopardo
- R5: Si un mamífero carnívoro tiene color leonado con rayas negras es un tigre

HECHOS

- Leo es un animal con pelo que come carne, tiene manchas oscuras y color leonado