



# **SISTEMAS INTELIGENTES**

## **T6: Sistemas Basados en Reglas**

[www.aic.uniovi.es/ssii](http://www.aic.uniovi.es/ssii)



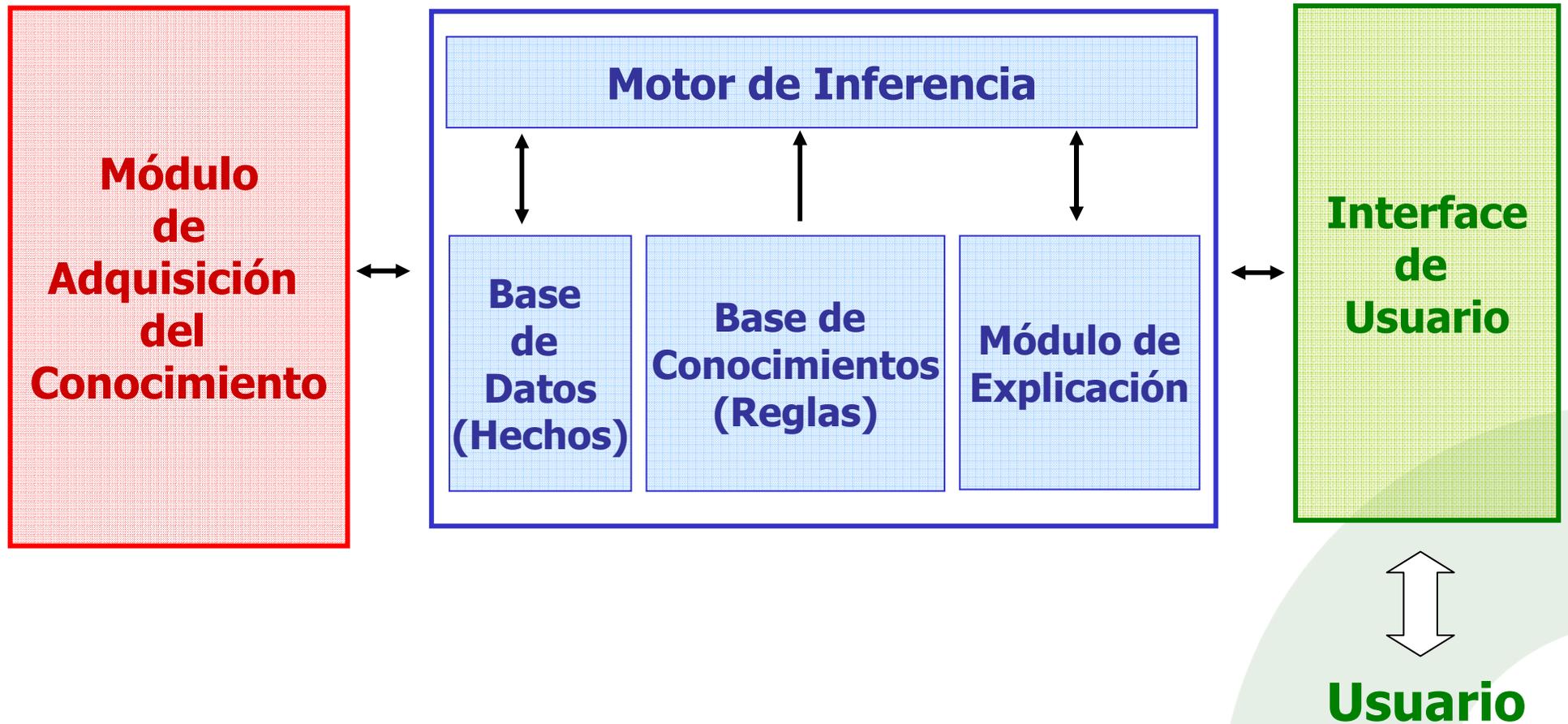
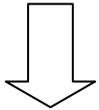
# Introducción

- **Definición:** sistemas diseñados para actuar como un experto humano en un dominio o área de conocimiento particular
- **Características:**
  - Tratan de replicar el comportamiento de los expertos en la materia
  - Se basan en la utilización de técnicas de IA
- **Función:**
  - Proporcionar soluciones aplicables en la práctica
  - Generar nuevo conocimiento
- **Ejemplos:**
  - Mycin-Tieresias, GPS, DENDRAL, R1, etc...



# Arquitectura

**Experto**





## Estructura de un SBR

- Base de hechos: Datos relevantes relativos al problema concreto
- Conocimiento del dominio de sistema: Forma natural de almacenar el conocimiento

Antecedentes → Consecuente



## Identificación de frutas (I)

Atributos	Valores
Nº_Semillas	<ul style="list-style-type: none"><li>• =1</li><li>• &gt;1</li></ul>
Tipo_Semilla	<ul style="list-style-type: none"><li>• Hueso</li><li>• Múltiple</li></ul>
Color	<ul style="list-style-type: none"><li>• Rojo</li><li>• Amarillo</li></ul>
Forma	<ul style="list-style-type: none"><li>• Larga</li></ul>
Clase_Frugal	<ul style="list-style-type: none"><li>• Árbol</li></ul>
Fruta	<ul style="list-style-type: none"><li>• Cereza</li><li>• Plátano</li></ul>



## Identificación de frutas (II)

<b>Reglas</b>		
<b>Prioridad</b>	<b>Antecedente</b>	<b>Consecuente</b>
<b>0</b>	<b>Nº_Semillas = 1</b>	<b>Tipo_Semilla = Hueso</b>
<b>10</b>	<b>Color = Rojo AND Clase_Fruta = Árbol AND Tipo_Semilla = Hueso</b>	<b>Fruta = Cereza</b>
<b>10</b>	<b>Color = Amarillo AND Forma = Larga</b>	<b>Fruta = Plátano</b>
<b>...</b>	<b>...</b>	<b>...</b>



# Base de Hechos

**SBR**

Dominio Encadenamiento Base de Hechos Reglas

- Nuevo
- Cargar
- Guardar
- Salir

**Configura**

BH Reglas

ATRIBUTO	VALOR
Nº_Semillas	Desconocido
Tipo_Semilla	Desconocido
Color	Desconocido
Forma	Desconocido
Fruta	Desconocido
<b>Clase_Frutas</b>	Desconocido

Añadir Modificar Todos a "Desconocido"



# Base de Conocimiento: Reglas (I)

- Forma de representar el conocimiento de manera natural
  - si ANTECEDENTE entonces CONSECUENTE
- Normalmente no reflejan implicaciones lógicas sino las convicciones de un experto
- **Antecedente**: conjunciones de atributos de un mismo dominio
- **Consecuente**: atributos que pasarán a ser conocidos para el sistema
- Pueden poseer un campo de **prioridad** que indica el grado de relevancia de la regla para nuestro sistema



## Base de Conocimiento: Reglas (II)

- Es condición necesaria, pero no suficiente, que se cumpla el antecedente de una regla para poder dispararla
- Disparo o Ejecución, los atributos que forman el consecuente pasan a ser conocidos por nuestro sistema



## Inferencia en Sistemas de Reglas (I)

- Los sistemas basados en reglas usan el “modus ponens”
  - Si A es un hecho cierto y la implicación  $A \Rightarrow B$  es cierta, entonces se deriva que el hecho B es cierto
- Usando técnicas de búsqueda + comparación de patrones los sistemas basados en reglas **automatizan los métodos de razonamiento** (cadenas de inferencias)



## Inferencia en Sistemas de Reglas (II)

- No es exactamente deducción lógica:

Acepta incertidumbre

No monotonía (un hecho derivado puede ser posteriormente retractado)

- Dependencias reversibles/irreversibles

Si la información que se retracta ha sido utilizada para obtener nuevas conclusiones:

**R:** “Si bombilla-encendida entonces habitación-iluminada”



# Sistema de predicción del tiempo en la próximas 12h (verano)

**R1:** *Si temperatura ambiente por encima de 20° Entonces hace calor*

**R2:** *Si humedad relativa mayor que 65% Entonces atmósfera esta húmeda*

**R3:** *Si hace calor y atmósfera húmeda Entonces es probable que haya tormentas*

**Hechos Conocidos** → **Reglas Activadas** → **Se Satisface**

Temperatura ambiente por encima de 20°C

Humedad relativa del 80%

R1, R2

**Deducimos**

*Atmósfera Húmeda*

*Hace Calor*

R3

**Es probable que**

**haya tormentas**

## Observación

**R1:** " *Si temperatura ambiente > 20°C Y humedad relativa >65% Entonces es probable que haya tormentas*"

*Misma conclusión con pérdida de información (hace calor, atmósfera húmeda) que puede ser útil a la hora de deducir nuevo conocimiento*



## Motor de inferencia

- Permite obtener nuevo conocimiento a partir del existente, para ello utiliza un proceso de razonamiento
- El proceso de razonamiento es una progresión de un conjunto de datos de partida hacia una solución o conclusión



# El proceso de razonamiento (I)

- Encadenamiento hacia delante (Forward chaining)
  - Pocos datos y/o muchas posibles conclusiones
  - Poco específico (dispara “todas” las reglas posibles)
  - OPS5
- Encadenamiento hacia atrás (Backward chaining)
  - Mucha información disponible, pero poca es relevante (consulta de un médico)
  - Más específico y generalmente más eficaz
  - MICYN, PROLOG
- Kappa, KEE, Goldworks, NEXPERT: usan uno, otro o combinación de ambos



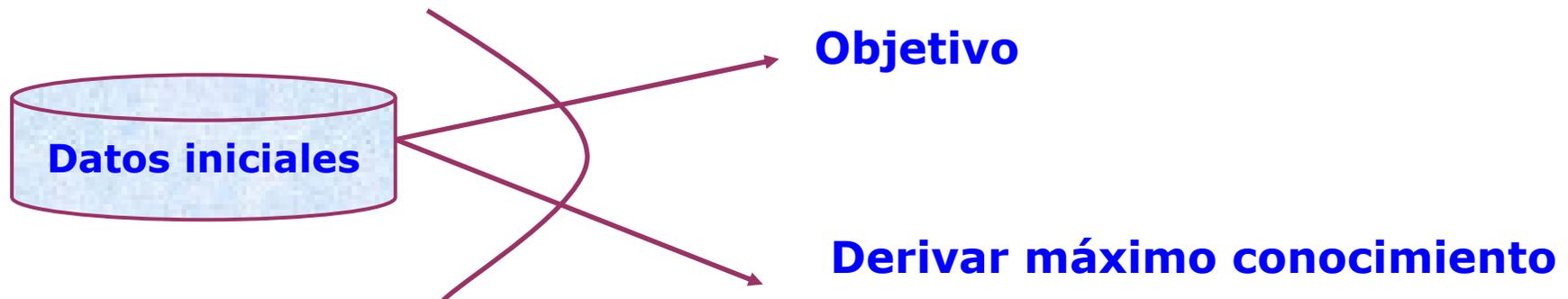
# El proceso de razonamiento (II)

- **Importante:**

La dirección de encadenamiento no tiene nada que ver con la dirección en que se ejecuta una regla. Siempre se disparan “hacia delante” (se da por bueno o se ejecuta el consecuente cuando se confirma el antecedente)

Cuando se habla de encadenamiento hacia atrás nos referimos solamente al proceso de búsqueda y selección de reglas

## Encadenamiento hacia delante (I)



- Método muy útil cuando los datos iniciales son pocos y/o existen muchas posibles conclusiones
- Pasos a realizar
  - Matching
  - Resolución de conflictos
  - Ejecución



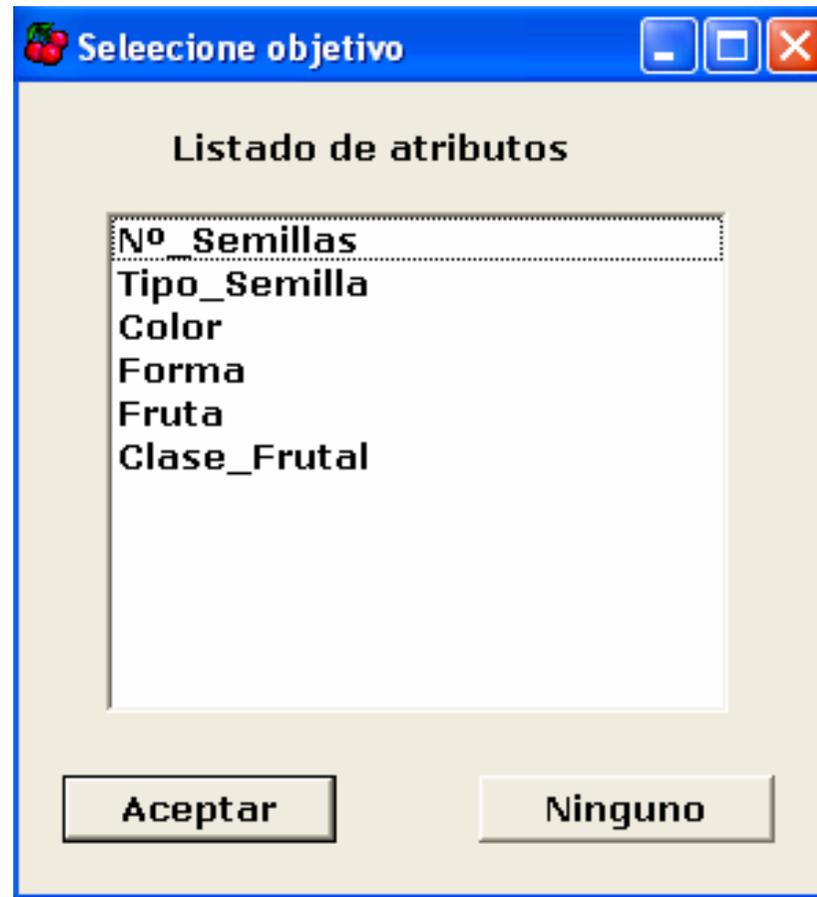
## Encadenamiento hacia delante (II)

- **Matching:** Búsqueda de las reglas para las que es cierto su antecedente
- **Resolución de conflictos:** Selección, entre las reglas encontradas no redundantes, de aquella que se va a ejecutar
- **Criterios de selección** (\*estrategia de búsqueda\*):
  - Mayor nº de premisas en el antecedente
  - Prioridad más alta
  - Búsqueda en profundidad
  - Búsqueda en anchura
- **Ejecución:** Se dispara la regla, por lo que ampliamos los datos conocidos



# Encadenamiento hacia delante: ciclo 0

## Permite seleccionar un objetivo o ninguno





# Encadenamiento hacia delante: ciclo 1

The screenshot shows a software window titled "FC" with a menu bar containing "Archivo". The interface is divided into several sections:

- MATCHING:** A text area containing the text: "Las reglas satisfechas no redundates son:  
R0 N°\_Semillas = 1 => Tipo\_Semilla = Hueso". A red arrow points to this section.
- RESOLUCIÓN DE CONFLICTOS:** A text area containing: "La regla seleccionada ha sido:  
Id: 0  
Por tener la mayor prioridad: 0".
- BC (Backward Chaining):** A text area containing: "N°\_Semillas = 1".
- DISPARAR:** A text area containing: "Tipo\_Semilla = Hueso".

At the bottom of the window, it displays "Ciclo nº: 1" and navigation buttons for back and forward.



# Encadenamiento hacia delante: ciclo 2

FC

Archivo

**MATCHING**

Las reglas satisfechas no redundates son:  
Ninguna  
No existen más reglas a disparar

**RESOLUCIÓN DE CONFLICTOS**

**DISPARAR**

Ciclo nº: 2

**Valores de los  
atributos tras la  
ejecución**

Configura

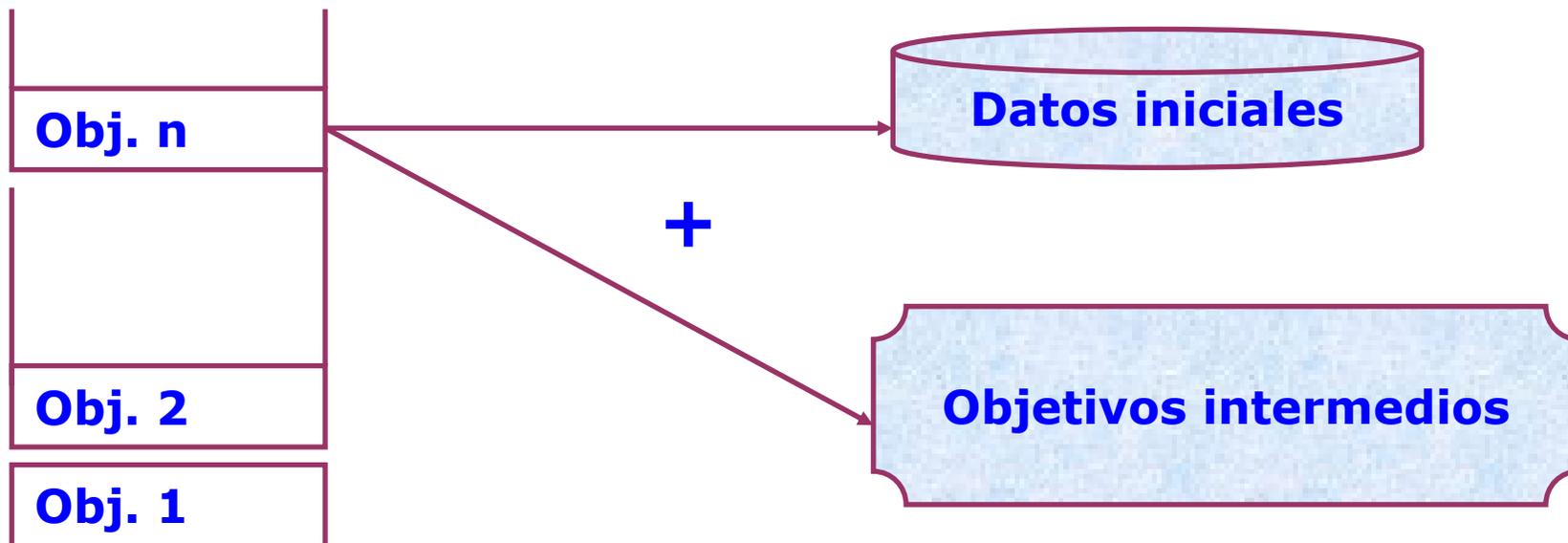
BH Reglas

ATRIBUTO	VALOR
N°_Semillas	1
Tipo_Semilla	Hueso
Color	Desconocido
Forma	Desconocido
Fruta	Desconocido
Clase_Frutal	Desconocido

Añadir Modificar Todos a "Desconocido"



# Encadenamiento hacia atrás (I)



Pila de objetivos



## Encadenamiento hacia atrás (II)

- **Características**

Método muy útil en aplicaciones con muchos datos disponibles de partida, de los que solo una pequeña parte son relevantes

Sistema interactivo, sólo pregunta lo estrictamente necesario a diferencia del encadenamiento hacia delante que no pregunta nada



## Encadenamiento hacia atrás (III)

1. Se forma una **pila inicial** compuesta por todos los objetivos iniciales
2. Considerar el primer objetivo de la pila. Localizar todas las reglas que lo satisfagan
3. Examina las premisas de dichas reglas, en orden:
  - a) Si todas las premisas se satisfacen. Ejecutamos las reglas y se derivan sus conclusiones. Si se derivó un valor para el objetivo actual entonces se elimina de la pila y se vuelve al paso 2
  - b) Si una premisa de una regla no se satisface (tiene un valor desconocido en la base de conocimientos), se mira a ver si existen reglas que concluyan un valor para ella. Si existen se inserta en el tope de la pila de objetivos y se vuelve al paso 2



## Encadenamiento hacia atrás (IV)

- c) Si por b) no se encontró ninguna regla que concluya un valor para la premisa actual. Entonces se pregunta al usuario por dicho valor y se añade a la base de conocimientos

Si el valor satisface la premisa actual se continúa examinado el resto del antecedente

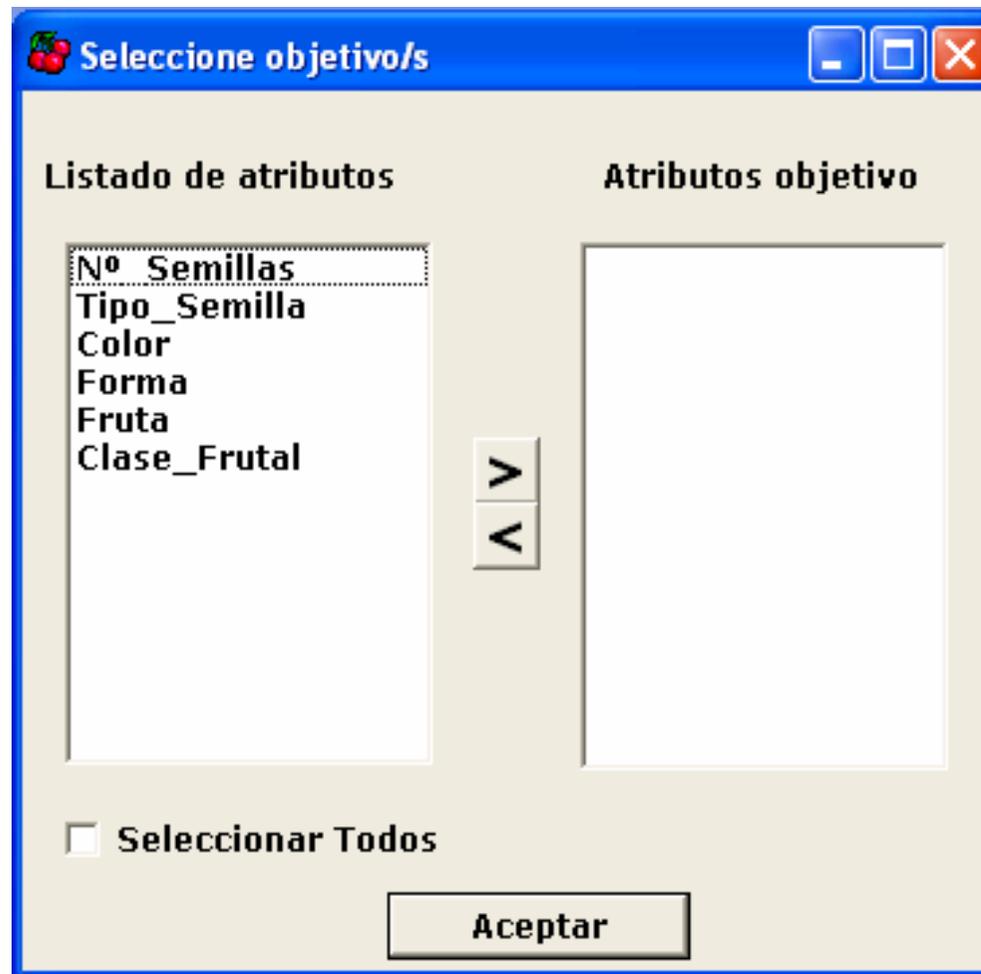
Sino se considera la siguiente regla que concluya un valor para el objetivo actual

- 4. Si se han examinado todas las reglas que concluyen un valor para el objetivo actual y todas fallaron entonces se marca el objetivo como indeterminado, se extrae de la pila y se vuelve al paso dos. Si la pila esta vacía el proceso finaliza



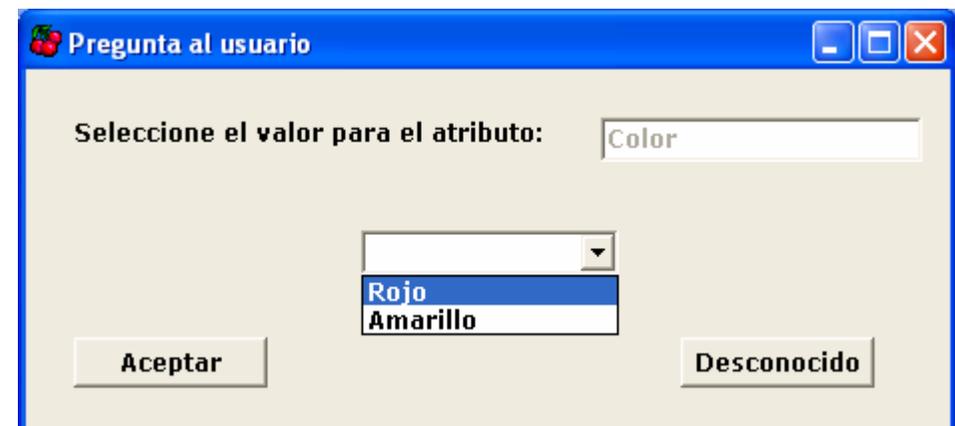
# Encadenamiento hacia atrás: ciclo 0

**Permite seleccionar uno o varios objetivos**



## Encadenamiento hacia atrás: ciclo 0

- Permite seleccionar uno o varios objetivos
- Ejecutar paso a paso
- Posibilidad de ver los pasos anteriores
- Tener a la vista la pila de objetivos, su estado, la traza y la base de hechos
- Pregunta al usuario





# Encadenamiento hacia atrás: ciclo 0

The screenshot shows a graphical user interface for a rule-based system. The window title is "BC". The interface is divided into several sections:

- BC:** Contains the text "Nº\_Semillas = 1" and "Clase\_Frutas = Arbol".
- Objetivos:** Contains the text "Fruta".
- Reglas:** This section is currently empty.
- TRAZA:** A scrollable text area containing the text "--Esperando inicio--".
- Footer:** Displays "Nº Ciclo: 0" and two navigation buttons: a left arrow and a right arrow.



# Encadenamiento hacia atrás: ciclo 1

The screenshot shows a window titled "BC" with a menu bar containing "Archivo" and "Leyenda". The main area is divided into three sections: "BC", "Objetivos", and "Reglas".

BC	Objetivos	Reglas
Nº_Semillas = 1 Clase_Frutas = Arbol	Tipo_Semilla Fruta R1 R2	

Below these sections is a "TRAZA" (Trace) section with a scrollable text area containing the following text:

Estamos resolviendo: Fruta  
R1 Tipo\_Semilla = Hueso AND Color = Rojo AND Clase\_Frutas = Arbol => Fruta = Cereza  
Intentamos derivar Tipo\_Semilla

At the bottom of the window, there is a status bar showing "Nº Ciclo: 1" and two navigation buttons: a left arrow and a right arrow.



## Encadenamiento hacia atrás: ciclo 2

The screenshot shows a window titled "BC" with a menu bar containing "Archivo" and "Leyenda". The main area is divided into three sections: "BC", "Objetivos", and "Reglas".

BC	Objetivos	Reglas
Nº_Semillas = 1 Clase_Frutas = Arbol Tipo_Semilla = Hueso	Tipo_Semilla R0 Fruta R1 R2	

Below these sections is a "TRAZA" (Trace) window. It displays the current state of the inference process:

Estamos resolviendo: Tipo\_Semilla

R0 Nº\_Semillas = 1 => Tipo\_Semilla = Hueso  
Regla satisfecha

At the bottom of the window, it shows "Nº Ciclo: 2" and navigation buttons for back and forward.



# Encadenamiento hacia atrás: ciclo 3

The screenshot shows a window titled "BC" with a menu bar containing "Archivo" and "Leyenda". The main area is divided into three sections: "BC", "Objetivos", and "Reglas".

**BC:**  
Nº\_Semillas = 1  
Clase\_Frutas = Arbol  
Tipo\_Semilla = Hueso

**Objetivos:**  
Fruta R1 R2

**Reglas:**

**TRAZA**

Estamos resolviendo: Fruta

R1 Tipo\_Semilla = Hueso AND Color = Rojo AND Clase\_Frutas = Arbol => Fruta = Cereza  
Intentamos derivar Color

Nº Ciclo: 3

Navigation buttons: < >



# Encadenamiento hacia atrás: ciclo 4

The screenshot shows a window titled "BC" with a menu bar containing "Archivo" and "Leyenda". The main area is divided into three sections: "BC", "Objetivos", and "Reglas".

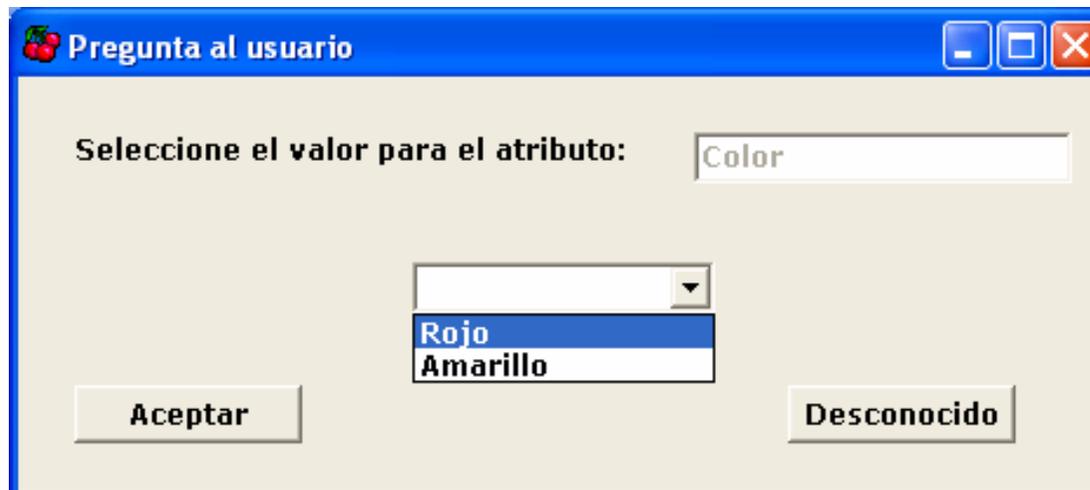
BC	Objetivos	Reglas
Nº_Semillas = 1 Clase_Frutas = Arbol Tipo_Semilla = Hueso	Fruta R1 R2	

Below these sections is a "TRAZA" (trace) area with a scroll bar. It contains the text "Color Preguntaremos al usuario".

At the bottom of the window, it displays "Nº Ciclo: 4" and two navigation buttons: a left arrow and a right arrow.



# Encadenamiento hacia atrás: Consulta al usuario



- En este caso le diremos que el valor para el atributo color es rojo.



# Encadenamiento hacia atrás: ciclo 5

The screenshot shows a window titled "BC" with a menu bar containing "Archivo" and "Leyenda". The main area is divided into three sections: "BC", "Objetivos", and "Reglas".

**BC:**

```
Nº_Semillas = 1
Clase_Frutas = Arbol
Tipo_Semilla = Hueso
Color = Rojo
```

**Objetivos:**

```
Fruta R1 R2
```

**Reglas:**

(Empty)

**TRAZA:**

```
Estamos resolviendo: Color
El usuario nos ha proporcionado el valor: Color = Rojo
```

At the bottom of the window, it displays "Nº Ciclo: 5" and navigation buttons for back and forward.



# Encadenamiento hacia atrás: ciclo 6

BC

Archivo Leyenda

BC	Objetivos	Reglas
N°_Semillas = 1 Clase_Frutas = Arbol Tipo_Semilla = Hueso Color = Rojo Fruta = Cereza	Fruta R1 R2	

TRAZA

Regla satisfecha

N° Ciclo: 6



# Control del razonamiento

- ¿Cómo seleccionar una regla cuando hay varias?
- Factores que determinan la importancia del orden:

Contenido de la información

- Las reglas más específicas y las que tratan con excepciones deben aplicarse antes que las generales

Eficiencia

Diálogo

- El sistema no debe preguntar lo que puede deducir
- El orden de las preguntas debe seguir una línea de razonamiento clara

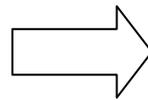


## Control del razonamiento: Mecanismos sencillos

- Ordenar las reglas
  - Poco elegante
  - Difícil de mantener
  - Sólo aplicable en sistemas simples en los que las reglas se almacenan en una lista que se recorre cíclicamente
- Ordenar las premisas/conclusiones en cada regla
  - Válido sólo en encadenamiento hacia atrás
  - Colocar primero las que tienen más posibilidades de fallar
- Añadir nuevas premisas para controlar las reglas a aplicar en cada punto de la inferencia

**Si** hielo-en-la-carretera **y**  
velocidad > 70

**Entonces** recomendación=  
Reducir-velocidad



**Si situación=coche-en-marcha y**  
hielo-en-la-carretera **y** velocidad > 70

**Entonces** recomendación =  
Reducir-velocidad



## Control del razonamiento: Otros mecanismos

- Control de agendas
- Metarreglas
- Sistemas específicos de Resolución de conflictos (ej. RETE del sistema OPS5)



## Reglas con variables

- Aumenta la expresividad de las reglas
- También la complejidad de su gestión
- Facilita la modificación de reglas

**Si** organismo=streptococo  $\vee$  organismo=gonorrea  
**entonces** prescripción=penicilina

Fallo en alérgicos

**Si** organismo=streptococo  $\vee$  organismo=gonorrea  
**entonces** droga-indicada=penicilina

**Si** droga-indicada=?**droga**  $\wedge$  No-conocida(alergia\_a= ?**droga**)  
**entonces** preguntar(alergia\_a= ?**droga**)

**Si** droga-indicada =?**droga**  $\wedge$   $\neg$ (alergia\_a =?**droga** )  
**entonces** prescripción =?**droga**

Repetir para cada droga !!!



## Dificultades

- Encadenamiento infinito  
No siempre fácil de detectar
- Control de posibles contradicciones al añadir nuevo conocimiento
- Modificación de reglas existentes



## Ventajas e inconvenientes

- **Ventajas:**

Modularidad -> facilita el desarrollo incremental

Uniformidad -> facilita su manipulación

Naturalidad

“Carácter declarativo”

- **Inconvenientes:**

Ineficiencia -> puede mejorarse el método descrito

Opacidad -> es difícil seguir la traza de las deducciones

Cobertura del dominio -> gran número de reglas

Dificultad de verificación de consistencia y completud