Tema 1: Programación basada en reglas con CLIPS

José A. Alonso Jiménez
Francisco Jesús Martín Mateos
José Luis Ruiz Reina

Dpto. de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial

Universidad de Sevilla

Programación basada en reglas

- **Paradigma de la programación basada en reglas**
  - **Hechos: pieza básica de información**
  - **Reglas: describen el comportamiento del programa en función de la información existente**
- **Modelo de regla:**

  `<Condiciones> => <Acciones>`
- **Condiciones acerca de:**
  - **Existencia de cierta información**
  - **Ausencia de cierta información**
  - **Relaciones entre datos**
- **Acciones:**
  - **Incluir nueva información**
  - **Eliminar información**
  - **Presentar información en pantalla**

Definición de hechos

- **Estructura de un hecho:** `(<simbolo><datos>*)`
  - **Ejemplo:** `(conjunto a b 1 2 3)`
  - `(1 2 3 4)` **no es un hecho válido**
- **La acción de añadir hechos:** `(assert <hecho>*)`
- **Hechos iniciales:**

```
(deffacts <nombre>
   <hecho>*)
```

Definición de reglas

- **Estructura de una regla (I):**

```
(defrule <nombre>
  <condicion>*
  =>
  <accion>*)

<condicion> := <hecho>
```

- **Ejemplo:**

```
(defrule mamifero-1
  (tiene-pelos)
  =>
  (assert (es-mamifero)))
```

Interacción con el sistema

- **Cargar el contenido de un archivo:**

  `(load <archivo>)`

- **Trazas:**
  - **Hechos añadidos y eliminados:**

    `(watch facts)`

  - **Activaciones y desactivaciones de reglas:**

    `(watch activations)`

  - **Utilización de reglas:**

    `(watch rules)`

Interacción con el sistema

- **Inicialización:**

  `(reset)`

- **Ejecución:**

  `(run)`

- **Limpiar la base de conocimiento:**

  `(clear)`

- **Ayuda del sistema:**

  `(help)`

Ejemplo de base de conocimiento (hechos y reglas, I)

```
(deffacts hechos-iniciales
  (tiene-pelos)
  (tiene-pezugnas)
  (tiene-rayas-negras))

(defrule mamifero-1
  (tiene-pelos)
  =>
  (assert (es-mamifero)))

(defrule mamifero-2
  (da-leche)
  =>
  (assert (es-mamifero)))

(defrule ungulado-1
  (es-mamifero)
  (tiene-pezugnas)
  =>
  (assert (es-ungulado)))
```

Ejemplo de base de conocimiento (hechos y reglas, II)

```
(defrule ungulado-2
  (es-mamifero)
  (rumia)
  =>
  (assert (es-ungulado)))

(defrule jirafa
  (es-ungulado)
  (tiene-cuello-largo)
  =>
  (assert (es-jirafa)))

(defrule cebra
  (es-ungulado)
  (tiene-rayas-negras)
  =>
  (assert (es-cebra)))
```

Tabla de seguimiento

- **El modelo de ejecución en CLIPS**
  - **Base de hechos**
  - **Base de reglas**
  - **Activación de reglas y agenda**
  - **Disparo de reglas**
- **Tabla de seguimiento:**

Hechos	E	Agenda	D
`f0 (initial-fact)`	0		
`f1 (tiene-pelos)`	0	`mamifero-1: f1`	1
`f2 (tiene-pezugnas)`	0		
`f3 (tiene-rayas-negras)`	0		
`f4 (es-mamifero)`	1	`ungulado-1: f4,f2`	2
`f5 (es-ungulado)`	2	`cebra: f5,f3`	3
`f6 (es-cebra)`	3		

Un ejemplo de sesión en CLIPS

```
CLIPS> (load "animales.clp")
$******
TRUE
CLIPS> (watch facts)
CLIPS> (watch rules)
CLIPS> (watch activations)
CLIPS> (reset)
==> f-0     (initial-fact)
==> f-1     (tiene-pelos)
==> Activation 0      mamifero-1: f-1
==> f-2     (tiene-pezugnas)
==> f-3     (tiene-rayas-negras)
CLIPS> (run)
FIRE    1 mamifero-1: f-1
==> f-4     (es-mamifero)
==> Activation 0      ungulado-1: f-4,f-2
FIRE    2 ungulado-1: f-4,f-2
==> f-5     (es-ungulado)
==> Activation 0      cebra: f-5,f-3
FIRE    3 cebra: f-5,f-3
==> f-6     (es-cebra)
```

Plantillas y variables

- **Estructura de una plantilla (I):**

```
(deftemplate <nombre>
  <campo>*)

<campo> := (slot <nombre-campo>)
```

- **Ejemplos:**

```
(deftemplate persona
  (slot nombre)
  (slot ojos))
```

- **Variables:** `?x, ?y, ?gv32`
  - **Toman un valor simple**

Restricciones

- **Restricciones:**
  - **Condiciones sobre las variables que se comprueban en el momento de verificar las condiciones de una regla**
- **Algunos tipos de restricciones:**
  - **Negativas:**

    ```
    (dato ?x&~a)
    ```

  - **Disyuntivas:**

    ```
    (dato ?x&a|b)
    ```

  - **Conjuntivas:**

    ```
    (dato ?x&~a&~b)
    ```

Ejemplo

```
(deftemplate persona
  (slot nombre)
  (slot ojos))

(deffacts personas
  (persona (nombre Ana)    (ojos verdes))
  (persona (nombre Juan)   (ojos negros))
  (persona (nombre Luis)   (ojos negros))
  (persona (nombre Blanca) (ojos azules)))

(defrule busca-personas
  (persona (nombre ?nombre1)
           (ojos ?ojos1&azules|verdes))
  (persona (nombre ?nombre2&~?nombre1)
           (ojos negros))
  =>
  (printout t ?nombre1
              " tiene los ojos " ?ojos1 crlf)
  (printout t ?nombre2
              " tiene los ojos negros" crlf)
  (printout t "-----------------------" crlf))
```

Tabla de seguimiento en el ejemplo

- **La acción de presentar información en pantalla:**

  `(printout t <dato>*)`

- **Tabla de seguimiento:**

Hechos	E	Agenda	D
`f0 (initial-fact)`	0		
`f1 (persona (nombre Ana)`	0		
`(ojos verdes))`			
`f2 (persona (nombre Juan)`	0	`busca-personas: f1,f2`	4
`(ojos negros))`			
`f3 (persona (nombre Luis)`	0	`busca-personas: f1,f3`	3
`(ojos negros))`			
`f4 (persona (nombre Blanca)`	0	`busca-personas: f4,f2`	2
`(ojos azules))`		`busca-personas: f4,f3`	1

Sesión (I)

```
CLIPS> (clear)
CLIPS> (load "busca-personas.clp")
%$*
TRUE
CLIPS> (reset)
CLIPS> (facts)
f-0 (initial-fact)
f-1 (persona (nombre Ana) (ojos verdes))
f-2 (persona (nombre Juan) (ojos negros))
f-3 (persona (nombre Luis) (ojos negros))
f-4 (persona (nombre Blanca) (ojos azules))
For a total of 5 facts.
CLIPS> (agenda)
0      busca-personas: f-4,f-3
0      busca-personas: f-4,f-2
0      busca-personas: f-1,f-3
0      busca-personas: f-1,f-2
For a total of 4 activations.
```

Sesión (II)

```
CLIPS> (run)
Blanca tiene los ojos azules
Luis tiene los ojos negros
-----------------------
Blanca tiene los ojos azules
Juan tiene los ojos negros
-----------------------
Ana tiene los ojos verdes
Luis tiene los ojos negros
-----------------------
Ana tiene los ojos verdes
Juan tiene los ojos negros
-----------------------
```

Variables múltiples y mudas

- **Variables:** `$?x, $?y, $?gv32`
  - **Toman un valor múltiple**
- **Variables mudas: toman un valor que no es necesario recordar**
  - **Simple:** `?`
  - **Múltiple:** `$?`

Eliminaciones

- **Estructura de una regla (II):**

```
(defrule <nombre>
  <condicion>*
  =>
  <accion>*)

<condicion> := <hecho> |
               (not <hecho>) |
               <variable-simple> <- <hecho>
```

- **Acción: Eliminar hechos:**

```
(retract <identificador-hecho>*)

<identificador-hecho> := <variable-simple>
```

Ejemplo: unión de conjuntos (I)

```
(deffacts datos-iniciales
  (conjunto-1 a b)
  (conjunto-2 b c))

(defrule calcula-union
  =>
  (assert (union)))

(defrule union-base
  ?union <- (union $?u)
  ?conjunto-1 <- (conjunto-1 $?e-1)
  ?conjunto-2 <- (conjunto-2)
  =>
  (retract ?conjunto-1 ?conjunto-2 ?union)
  (assert (union ?e-1 ?u))
  (assert (escribe-solucion)))

(defrule escribe-solucion
  (escribe-solucion)
  (union $?u)
  =>
  (printout t "La union es " ?u crlf))
```

Ejemplo: unión de conjuntos (II)

```
(defrule union-con-primero-compartido
  (union $?)
  ?conjunto-2 <- (conjunto-2 ?e $?r-2)
  (conjunto-1 $? ?e $?)
  =>
  (retract ?conjunto-2)
  (assert (conjunto-2 ?r-2)))

(defrule union-con-primero-no-compartido
  ?union <- (union $?u)
  ?conjunto-2 <- (conjunto-2 ?e $?r-2)
  (not (conjunto-1 $? ?e $?))
  =>
  (retract ?conjunto-2 ?union)
  (assert (conjunto-2 ?r-2)
          (union ?u ?e)))
```

Tabla de seguimiento en el ejemplo

Hechos	E	S	Agenda	D
`f0 (initial-fact)`	0		`calcula-union: f0`	1
`f1 (conj-1 a b)`	0	4		
`f2 (conj-2 b c)`	0	2		
`f3 (union)`	1	3	`union-con-p-c: f3,f2,f1`	2
`f4 (conj-2 c)`	2	3	`union-con-p-no-c: f3,f4,`	3
`f5 (conj-2)`	3	4		
`f6 (union c)`	3	4	`union-base: f6,f1,f5`	4
`f7 (union a b c)`	4			
`f8 (escribe-solucion)`	4		`eescribe-solucion: f8,f7`	5

Sesión (I)

```
CLIPS> (load "union.clp")
$*****
TRUE
CLIPS> (watch facts)
CLIPS> (watch rules)
CLIPS> (reset)
==> f-0     (initial-fact)
==> f-1     (conjunto-1 a b)
==> f-2     (conjunto-2 b c)
CLIPS> (run)
FIRE    1 calcula-union: f-0
==> f-3     (union)
FIRE    2 union-con-primero-compartido: f-3,f-2,f-1
<== f-2     (conjunto-2 b c)
==> f-4     (conjunto-2 c)
FIRE    3 union-con-primero-no-compartido: f-3,f-4,
<== f-4     (conjunto-2 c)
<== f-3     (union)
==> f-5     (conjunto-2)
==> f-6     (union c)
```

Sesión (II)

```
FIRE    4 union-base: f-6,f-1,f-5
<== f-1     (conjunto-1 a b)
<== f-5     (conjunto-2)
<== f-6     (union c)
==> f-7     (union a b c)
==> f-8     (escribe-solucion)
FIRE    5 escribe-solucion: f-8,f-7
La union es (a b c)
```

Plantillas con campos múltiples

- **Estructura de una plantilla (II):**

```
(deftemplate <nombre>
  <campo>*)

<campo> := (slot <nombre-campo>) |
           (multislot <nombre-campo>)
```

Comprobaciones en las condiciones de una regla

- **Estructura de una regla (III):**

```
(defrule <nombre>
  <condicion>*
  =>
  <accion>*)

<condicion> := <hecho> |
               (not <hecho>) |
               <variable-simple> <- <hecho> |
               (test <llamada-a-una-funcion>)
```

- **Funciones matemáticas:**
  - **Básicas:** `+`, `-`, `*`, `/`
  - **Comparaciones:** `=`, `!=`, `<`, `<=`, `>`, `>=`
  - **Exponenciales:** `**`, `sqrt`, `exp`, `log`
  - **Trigonométricas:** `sin`, `cos`, `tan`

Ejemplo: busca triángulos rectángulos (I)

```
(deftemplate triangulo
  (slot nombre)
  (multislot lados))

(deffacts triangulos
  (triangulo (nombre A) (lados 3 4 5))
  (triangulo (nombre B) (lados 6 8 9))
  (triangulo (nombre C) (lados 6 8 10)))

(defrule inicio
  =>
  (assert (triangulos-rectangulos)))

(defrule almacena-triangulo-rectangulo
  ?h1 <- (triangulo (nombre ?n) (lados ?x ?y ?z))
  (test (= ?z (sqrt (+ (** ?x 2) (** ?y 2)))))
  ?h2 <- (triangulos-rectangulos $?a)
  =>
  (retract ?h1 ?h2)
  (assert (triangulos-rectangulos $?a ?n)))
```

Ejemplo: busca triángulos rectángulos (II)

```
(defrule elimina-triangulo-no-rectangulo
  ?h <- (triangulo (nombre ?n) (lados ?x ?y ?z))
  (test (!= ?z (sqrt (+ (** ?x 2) (** ?y 2)))))
  =>
  (retract ?h))

(defrule fin
  (not (triangulo))
  (triangulos-rectangulos $?a)
  =>
  (printout t "Lista de triangulos rectangulos: "
              $?a crlf))
```

Sesión (I)

```
CLIPS> (load "busca-triangulos-rect.clp")
%$****
TRUE
CLIPS> (watch facts)
CLIPS> (watch rules)
CLIPS> (reset)
==> f-0     (initial-fact)
==> f-1     (triangulo (nombre A) (lados 3 4 5))
==> f-2     (triangulo (nombre B) (lados 6 8 9))
==> f-3     (triangulo (nombre C) (lados 6 8 10))
CLIPS> (run)
FIRE    1 elimina-triangulo-no-rectangulo: f-2
<== f-2     (triangulo (nombre B) (lados 6 8 9))
FIRE    2 inicio: f-0
==> f-4     (triangulos-rectangulos)
```

Sesión (II)

```
FIRE    3 almacena-triangulo-rectangulo: f-1,f-4
<== f-1     (triangulo (nombre A) (lados 3 4 5))
<== f-4     (triangulos-rectangulos)
==> f-5     (triangulos-rectangulos A)
FIRE    4 almacena-triangulo-rectangulo: f-3,f-5
<== f-3     (triangulo (nombre C) (lados 6 8 10))
<== f-5     (triangulos-rectangulos A)
==> f-6     (triangulos-rectangulos A C)
FIRE    5 fin: f-0,,f-6
Lista de triangulos rectangulos: (A C)
```

Tabla de seguimiento

Hechos	E	S	Agenda	D	S
`f0 (initial-fact)`	0		`inicio: f0`	2	
`f1 (tri (nombre A)`	0	3			
`(lados 3 4 5))`					
`f2 (tri (nombre B)`	0	1			
`(lados 6 8 9))`			`elimina-tri-no-rect: f2`	1	
`f3 (tri (nombre C)`	0	4			
`(lados 6 8 10))`					
`f4 (tri-rect)`	2	3	`almacena-tri-rect: f3,f4`	-	3
			`almacena-tri-rect: f1,f4`	3	
`f5 (tri-rect A)`	3	4	`almacena-tri-rect: f3,f5`	4	
`f6 (tri-rect A C)`	4		`fin: f0,,f6`	5	

Ejemplo de no terminación: suma áreas rectángulos

```
(deftemplate rectangulo
  (slot nombre)
  (slot base)
  (slot altura))

(deffacts informacion-inicial
  (rectangulo (nombre A) (base 9) (altura 6))
  (rectangulo (nombre B) (base 7) (altura 5))
  (rectangulo (nombre C) (base 6) (altura 8))
  (rectangulo (nombre D) (base 2) (altura 5))
  (suma 0))

(defrule suma-areas-de-rectangulos
  (rectangulo (base ?base) (altura ?altura))
  ?suma <- (suma ?total)
  =>
  (retract ?suma)
  (assert (suma (+ ?total (* ?base ?altura)))))
```

Sesión

```
CLIPS> (clear)
CLIPS> (load "suma-areas-1.clp")
%$*
TRUE
CLIPS> (reset)
==> f-0     (initial-fact)
==> f-1     (rectangulo (nombre A) (base 9) (altura 6))
==> f-2     (rectangulo (nombre B) (base 7) (altura 5))
==> f-3     (rectangulo (nombre C) (base 6) (altura 8))
==> f-4     (rectangulo (nombre D) (base 2) (altura 5))
==> f-5     (suma 0)
CLIPS> (run)
FIRE    1 suma-areas-de-rectangulos: f-1,f-5
<== f-5     (suma 0)
==> f-6     (suma 54)
FIRE    2 suma-areas-de-rectangulos: f-1,f-6
<== f-6     (suma 54)
==> f-7     (suma 108)
FIRE    3 suma-areas-de-rectangulos: f-1,f-7
<== f-7     (suma 108)
==> f-8     (suma 162)
.......
```

Consiguiendo la terminación en la suma áreas rectángulos

```
(deftemplate rectangulo
  (slot nombre)
  (slot base)
  (slot altura))

(deffacts informacion-inicial
  (rectangulo (nombre A) (base 9) (altura 6))
  (rectangulo (nombre B) (base 7) (altura 5))
  (rectangulo (nombre C) (base 6) (altura 9))
  (rectangulo (nombre D) (base 2) (altura 5)))
```

Consiguiendo la terminación en la suma áreas rectángulos

```
(defrule inicio
  =>
  (assert (suma 0)))

(defrule areas
  (rectangulo (nombre ?n) (base ?b) (altura ?h))
  =>
  (assert (area-a-sumar ?n (* ?b ?h))))

(defrule suma-areas-de-rectangulos
  ?nueva-area <- (area-a-sumar ? ?area)
  ?suma <- (suma ?total)
  =>
  (retract ?suma ?nueva-area)
  (assert (suma (+ ?total ?area))))

(defrule fin
  (not (area-a-sumar ? ?))
  (suma ?total)
  =>
  (printout t "La suma es " ?total crlf))
```

Sesión (I)

```
CLIPS> (load "suma-areas-2.clp")
%$****
TRUE
CLIPS> (reset)
CLIPS> (run)
La suma es 153
CLIPS> (watch facts)
CLIPS> (watch rules)
CLIPS> (reset)
==> f-0     (initial-fact)
==> f-1     (rectangulo (nombre A) (base 9) (altura 6))
==> f-2     (rectangulo (nombre B) (base 7) (altura 5))
==> f-3     (rectangulo (nombre C) (base 6) (altura 9))
==> f-4     (rectangulo (nombre D) (base 2) (altura 5))
```

Sesión (II)

```
CLIPS> (run)
FIRE    1 areas: f-4
==> f-5     (area-a-sumar D 10)
FIRE    2 areas: f-3
==> f-6     (area-a-sumar C 54)
FIRE    3 areas: f-2
==> f-7     (area-a-sumar B 35)
FIRE    4 areas: f-1
==> f-8     (area-a-sumar A 54)
FIRE    5 inicio: f-0
==> f-9     (suma 0)
FIRE    6 suma-areas-de-rectangulos: f-5,f-9
<== f-9     (suma 0)
<== f-5     (area-a-sumar D 10)
==> f-10    (suma 10)
```

Sesión (III)

```
FIRE    7 suma-areas-de-rectangulos: f-6,f-10
<== f-10    (suma 10)
<== f-6     (area-a-sumar C 54)
==> f-11    (suma 64)
FIRE    8 suma-areas-de-rectangulos: f-7,f-11
<== f-11    (suma 64)
<== f-7     (area-a-sumar B 35)
==> f-12    (suma 99)
FIRE    9 suma-areas-de-rectangulos: f-8,f-12
<== f-12    (suma 99)
<== f-8     (area-a-sumar A 54)
==> f-13    (suma 153)
FIRE   10 fin: f-0,,f-13
La suma es 153
```

Restricciones evaluables

- **Restricciones (II):**
  - **Evaluables:**

```
(dato ?x&:<llamada-a-un-predicado>)
```

- **Ejemplo: dada una lista de números obtener la lista ordenada de menor a mayor.**
  - **Sesión**

```
CLIPS> (assert (vector 3 2 1 4))
La ordenacion de (3 2 1 4) es (1 2 3 4)
```

Ejemplo: ordenación de listas numéricas

```
(defrule inicial
  (vector $?x)
  =>
  (assert (vector-aux ?x)))

(defrule ordena
  ?f <- (vector-aux $?b ?m1 ?m2&:(< ?m2 ?m1) $?e)
  =>
  (retract ?f)
  (assert (vector-aux $?b ?m2 ?m1 $?e)))

(defrule final
  (not (vector-aux $?b ?m1 ?m2&:(< ?m2 ?m1) $?e))
  (vector $?x)
  (vector-aux $?y)
  =>
  (printout t "La ordenacion de " ?x " es " ?y crlf))
```

Sesión (I)

```
CLIPS> (load "ordenacion.clp")
***
TRUE
CLIPS> (watch facts)
CLIPS> (watch rules)
CLIPS> (reset)
==> f-0     (initial-fact)
CLIPS> (assert (vector 3 2 1 4))
==> f-1     (vector 3 2 1 4)
==> Activation 0      inicial: f-1
<Fact-1>
```

Sesión (II)

```
CLIPS> (run)
FIRE    1 inicial: f-1
==> f-2     (vector-aux 3 2 1 4)
FIRE    2 ordena: f-2
<== f-2     (vector-aux 3 2 1 4)
==> f-3     (vector-aux 2 3 1 4)
FIRE    3 ordena: f-3
<== f-3     (vector-aux 2 3 1 4)
==> f-4     (vector-aux 2 1 3 4)
FIRE    4 ordena: f-4
<== f-4     (vector-aux 2 1 3 4)
==> f-5     (vector-aux 1 2 3 4)
FIRE    5 final: f-0,,f-1,f-5
La ordenacion de (3 2 1 4) es (1 2 3 4)
```

Tabla de seguimiento:

Hechos	E	S	Agenda	D	S
`f0 (initial-fact)`	0				
`f1 (vector 3 2 1 4)`	0		`inicial: f1`	1	
`f2 (vector-aux 3 2 1 4)`	1	2	`ordena: f2`	2	
			`ordena: f2`	-	2
`f3 (vector-aux 2 3 1 4)`	2	3	`ordena: f3`	3	
`f4 (vector-aux 2 1 3 4)`	3	4	`ordena: f4`	4	
`f5 (vector-aux 1 2 3 4)`	4		`final: f0,,f1,f5`	5	

Ejemplo: cálculo del máximo de una lista numérica

```
(defrule maximo
  (vector $? ?x $?)
  (not (vector $? ?y&:(> ?y ?x) $?))
  =>
  (printout t "El maximo es " ?x crlf))
```

Sesión

```
CLIPS> (load "maximo.clp")
*
TRUE
CLIPS> (watch facts)
CLIPS> (watch rules)
CLIPS> (reset)
==> f-0     (initial-fact)
CLIPS> (assert (vector 3 2 1 4))
==> f-1     (vector 3 2 1 4)
<Fact-1>
CLIPS> (run)
FIRE    1 maximo: f-1,
El maximo es 4
CLIPS> (assert (vector 3 2 1 4 2 3))
==> f-2     (vector 3 2 1 4 2 3)
<Fact-2>
CLIPS> (run)
FIRE    1 maximo: f-2,
El maximo es 4
```

Restricciones y funciones

- **Funciones:**

```
(deffunction <nombre>
  (<argumento>*)
  <accion>*)
```

- **Ejemplo: problema de cuadrados mágicos**
  - **Enunciado**

```
ABC         {A,B,C,D,E,F,G,H,I} = {1,2,3,4,5,6,7,8,9}
DEF         A+B+C = D+E+F = G+H+I = A+D+G = B+E+F
GHI               = C+F+I = A+E+I = C+E+G
```

  - **Sesión**

```
CLIPS> (run)
Solucion 1:
   492
   357
   816


....
```

Ejemplo: cuadrados mágicos (I)

```
(deffacts datos
  (numero 1) (numero 2) (numero 3) (numero 4)
  (numero 5) (numero 6) (numero 7) (numero 8)
  (numero 9) (solucion 0))

(deffunction suma-15 (?x ?y ?z)
  (= (+ ?x ?y ?z) 15))
```

Ejemplo: cuadrados mágicos (II)

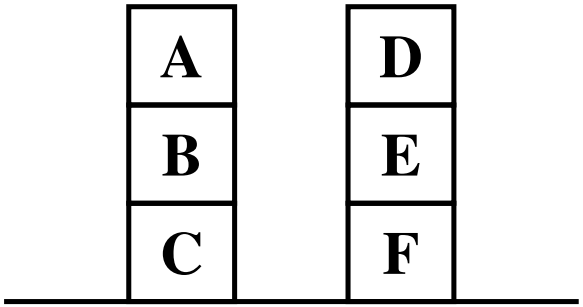
```
(defrule busca-cuadrado
  (numero ?e)
  (numero ?a&~?e)
  (numero ?i&~?e&~?a&:(suma-15 ?a ?e ?i))
  (numero ?b&~?e&~?a&~?i)
  (numero ?c&~?e&~?a&~?i&~?b&:(suma-15 ?a ?b ?c))
  (numero ?f&~?e&~?a&~?i&~?b&~?c&:(suma-15 ?c ?f ?i))
  (numero ?d&~?e&~?a&~?i&~?b&~?c&~?f
          &:(suma-15 ?d ?e ?f))
  (numero ?g&~?e&~?a&~?i&~?b&~?c&~?f&~?d
          &:(suma-15 ?a ?d ?g)&:(suma-15 ?c ?e ?g))
  (numero ?h&~?e&~?a&~?i&~?b&~?c&~?f&~?d&~?g
          &:(suma-15 ?b ?e ?h)&:(suma-15 ?g ?h ?i))
  =>
  (assert (escribe-solucion ?a ?b ?c ?d ?e
                            ?f ?g ?h ?i)))
```

Ejemplo: cuadrados mágicos (III)

```
(defrule escribe-solucion
  ?f <- (escribe-solucion ?a ?b ?c
                          ?d ?e ?f
                          ?g ?h ?i)
  ?solucion <- (solucion ?n)
  =>
  (retract ?f ?solucion)
  (assert (solucion (+ ?n 1)))
  (printout t "Solucion " (+ ?n 1) ":" crlf)
  (printout t "   " ?a ?b ?c crlf)
  (printout t "   " ?d ?e ?f crlf)
  (printout t "   " ?g ?h ?i crlf)
  (printout t crlf))
```

Ejemplo: mundo de los bloques

- **Enunciado**



  - **Objetivo: Poner `C` encima de `E`**

- **Representación**

```
(deffacts estado-inicial
  (pila A B C)
  (pila D E F)
  (objetivo C esta-encima-del E))
```

Mundo de los bloques (I)

```
;;; REGLA: mover-bloque-sobre-bloque
;;; SI
;;;   el objetivo es poner el bloque X encima del
;;;     bloque Y y
;;;   no hay nada encima del bloque X ni del bloque Y
;;; ENTONCES
;;;   colocamos el bloque X encima del bloque Y y
;;;   actualizamos los datos.

(defrule mover-bloque-sobre-bloque
  ?obj <- (objetivo ?blq-1 esta-encima-del ?blq-2)
  ?p-1 <- (pila ?blq-1 $?resto-1)
  ?p-2 <- (pila ?blq-2 $?resto-2)
  =>
  (retract ?ob ?p1 ?p2)
  (assert (pila $?resto-1))
  (assert (pila ?blq-1 ?blq-2 $?resto-2))
  (printout t ?blq-1 " movido encima del "
              ?blq-2 crlf))
```

Mundo de los bloques (II)

```
;;; REGLA: mover-bloque-al-suelo
;;; SI
;;;   el objetivo es mover el bloque X al suelo y
;;;   no hay nada encima de X
;;; ENTONCES
;;;   movemos el bloque X al suelo y
;;;   actualizamos los datos.

(defrule mover-bloque-al-suelo
  ?obj <- (objetivo ?blq-1 esta-encima-del suelo)
  ?p-1 <- (pila ?blq-1 $?resto)
  =>
  (retract ?objetivo ?pila-1)
  (assert (pila ?blq-1))
  (assert (pila $?resto))
  (printout t ?blq-1 " movido encima del suelo."
              crlf))
```

Mundo de los bloques (III)

```
;;; REGLA: libera-bloque-movible
;;; SI
;;;   el objetivo es poner el bloque X encima de Y
;;;     (bloque o suelo) y
;;;   X es un bloque y
;;;   hay un bloque encima del bloque X
;;; ENTONCES
;;;   hay que poner el bloque que está encima de X
;;;     en el suelo.

(defrule liberar-bloque-movible
  (objetivo ?bloque esta-encima-del ?)
  (pila ?cima $? ?bloque $?)
  =>
  (assert (objetivo ?cima esta-encima-del suelo)))
```

Mundo de los bloques (IV)

```
;;; REGLA: libera-bloque-soporte
;;; SI
;;;   el objetivo es poner el bloque X (bloque o
;;;     nada) encima de Y e
;;;   hay un bloque encima del bloque Y
;;; ENTONCES
;;;   hay que poner el bloque que está encima de Y
;;;     en el suelo.

(defrule liberar-bloque-soporte
  (objetivo ? esta-encima-del ?bloque)
  (pila ?cima $? ?bloque $?)
  =>
  (assert (objetivo ?cima esta-encima-del suelo)))
```

Sesión (I)

```
CLIPS> (clear)
CLIPS> (unwatch all)
CLIPS> (watch facts)
CLIPS> (watch activations)
CLIPS> (watch rules)
CLIPS> (load "bloques.clp")
$****
TRUE
CLIPS> (reset)
==> f-0     (initial-fact)
==> f-1     (pila A B C)
==> f-2     (pila D E F)
==> f-3     (objetivo C esta-encima-del E)
==> Activation 0      liberar-bloque-soporte: f-3,f-2
==> Activation 0      liberar-bloque-movible: f-3,f-1
```

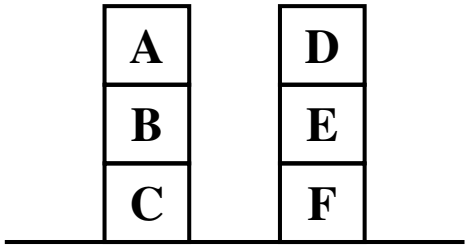
Sesión (II)

```
CLIPS> (run)
FIRE    1 liberar-bloque-movible: f-3,f-1
==> f-4     (objetivo A esta-encima-del suelo)
==> Activation 0      mover-bloque-al-suelo: f-4,f-1
FIRE    2 mover-bloque-al-suelo: f-4,f-1
<== f-4     (objetivo A esta-encima-del suelo)
<== f-1     (pila A B C)
==> f-5     (pila A)
==> f-6     (pila B C)
==> Activation 0      liberar-bloque-movible: f-3,f-6
A movido encima del suelo.
FIRE    3 liberar-bloque-movible: f-3,f-6
==> f-7     (objetivo B esta-encima-del suelo)
==> Activation 0      mover-bloque-al-suelo: f-7,f-6
FIRE    4 mover-bloque-al-suelo: f-7,f-6
<== f-7     (objetivo B esta-encima-del suelo)
<== f-6     (pila B C)
==> f-8     (pila B)
==> f-9     (pila C)
```

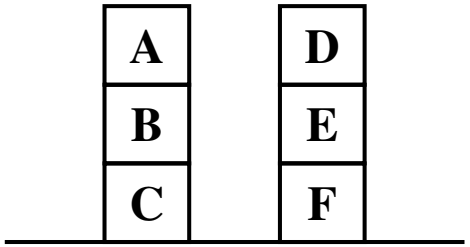
Sesión (III)

```
B movido encima del suelo.
FIRE    5 liberar-bloque-soporte: f-3,f-2
==> f-10    (objetivo D esta-encima-del suelo)
==> Activation 0      mover-bloque-al-suelo: f-10,f-2
FIRE    6 mover-bloque-al-suelo: f-10,f-2
<== f-10    (objetivo D esta-encima-del suelo)
<== f-2     (pila D E F)
==> f-11    (pila D)
==> f-12    (pila E F)
==> Activation 0
              mover-bloque-sobre-bloque: f-3,f-9,f-12
D movido encima del suelo.
FIRE    7 mover-bloque-sobre-bloque: f-3,f-9,f-12
<== f-3     (objetivo C esta-encima-del E)
<== f-9     (pila C)
<== f-12    (pila E F)
==> f-13    (pila)
==> f-14    (pila C E F)
C movido encima del E
CLIPS>
```

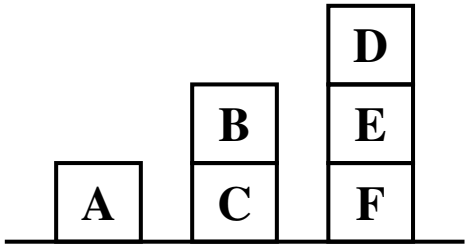
Mundo de los bloques



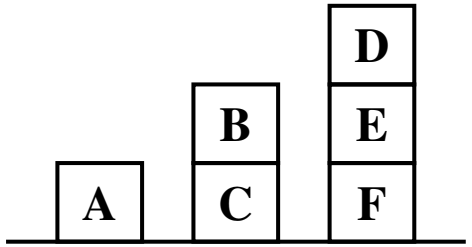
Objetivos: C/E
Agenda: Lib C
Lib E



Objetivos: A/Suelo
C/E
Agenda: Mover A
Lib E

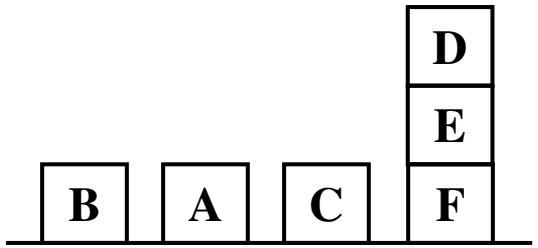


Objetivos: C/E
Agenda: Lib C
Lib E

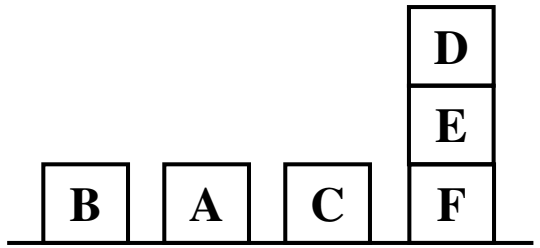


Objetivos: B/Suelo
C/E
Agenda: Mover B
Lib E

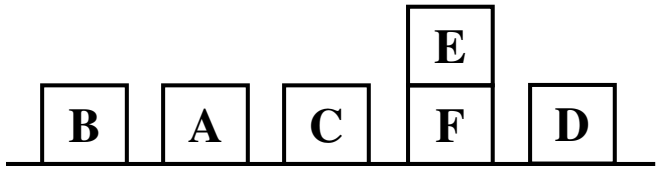
Mundo de los bloques



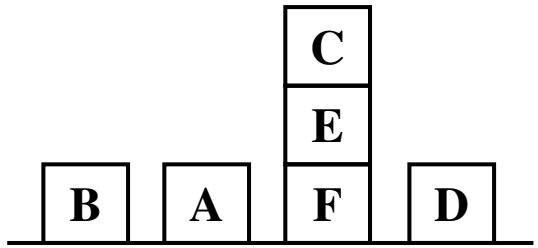
Objetivos: C/E
Agenda: Lib E



Objetivos: D/Suelo
C/E
Agenda: Mover D



Objetivos: C/E
Agenda: Mover C



Elementos condicionales

- **Reglas disyuntivas:**

```
(defrule no-hay-clase-1
  (festivo hoy)
  =>
  (printout t "Hoy no hay clase" crlf))

(defrule no-hay-clase-2
  (sabado hoy)
  =>
  (printout t "Hoy no hay clase" crlf))

(defrule no-hay-clase-3
  (hay-examen hoy)
  =>
  (printout t "Hoy no hay clase" crlf))

(deffacts inicio
  (sabado hoy)
  (hay-examen hoy))
```

Elementos condicionales

- **Reglas disyuntivas. Sesión:**

```
CLIPS> (clear)
CLIPS> (unwatch all)
CLIPS> (watch facts)
CLIPS> (watch activations)
CLIPS> (watch rules)
CLIPS> (load "ej-1.clp")
***$
TRUE
CLIPS> (reset)
==> f-0     (initial-fact)
==> f-1     (sabado hoy)
==> Activation 0      no-hay-clase-2: f-1
==> f-2     (hay-examen hoy)
==> Activation 0      no-hay-clase-3: f-2
CLIPS> (run)
FIRE    1 no-hay-clase-3: f-2
Hoy no hay clase
FIRE    2 no-hay-clase-2: f-1
Hoy no hay clase
```

Disyunción

- **Elementos condicionales disyuntivos:**

```
(defrule no-hay-clase
  (or (festivo hoy)
      (sabado hoy)
      (hay-examen hoy))
  =>
  (printout t "Hoy no hay clase" crlf))

(deffacts inicio
  (sabado hoy)
  (hay-examen hoy))
```

Disyunción

- **Sesión**

```
CLIPS> (clear)
....
CLIPS> (reset)
==> f-0     (initial-fact)
==> f-1     (sabado hoy)
==> Activation 0      no-hay-clase: f-1
==> f-2     (hay-examen hoy)
==> Activation 0      no-hay-clase: f-2
CLIPS> (run)
FIRE    1 no-hay-clase: f-2
Hoy no hay clase
FIRE    2 no-hay-clase: f-1
Hoy no hay clase
CLIPS>
```

Limitación de disparos disyuntivos

- **Ejemplo:**

```
(defrule no-hay-clase
  ?periodo <- (periodo lectivo)
  (or (festivo hoy)
      (sabado hoy)
      (hay-examen hoy))
  =>
  (retract ?periodo)
  (assert (periodo lectivo-sin-clase))
  (printout t "Hoy no hay clase" crlf))

(deffacts inicio
  (sabado hoy)
  (hay-examen hoy))
```

Limitación de disparos disyuntivos (sesión)

```
CLIPS> (clear)
....
TRUE
CLIPS> (reset)
==> f-0     (initial-fact)
==> f-1     (sabado hoy)
==> f-2     (hay-examen hoy)
CLIPS> (assert (periodo lectivo))
==> f-3     (periodo lectivo)
==> Activation 0      no-hay-clase: f-3,f-2
==> Activation 0      no-hay-clase: f-3,f-1
CLIPS> (run)
FIRE    1 no-hay-clase: f-3,f-1
<== f-3     (periodo lectivo)
<== Activation 0      no-hay-clase: f-3,f-2
==> f-4     (periodo lectivo-sin-clase)
Hoy no hay clase
CLIPS>
```

Programa equivalente sin disyunciones (I)

```
(defrule no-hay-clase-1
  ?periodo <- (periodo lectivo)
  (festivo hoy)
  =>
  (retract ?periodo)
  (assert (periodo lectivo-sin-clase))
  (printout t "Hoy no hay clase" crlf))

(defrule no-hay-clase-2
  ?periodo <- (periodo lectivo)
  (sabado hoy)
  =>
  (retract ?periodo)
  (assert (periodo lectivo-sin-clase))
  (printout t "Hoy no hay clase" crlf))
```

Programa equivalente sin disyunciones (II)

```
(defrule no-hay-clase-3
  ?periodo <- (periodo lectivo)
  (hay-examen hoy)
  =>
  (retract ?periodo)
  (assert (periodo lectivo-sin-clase))
  (printout t "Hoy no hay clase" crlf))

(deffacts inicio
  (sabado hoy)
  (hay-examen hoy))
```

Eliminación de causas disyuntivas

- **Ejemplo**

```
(defrule no-hay-clase
  ?periodo <- (periodo lectivo)
  (or ?causa <- (festivo hoy)
      ?causa <- (sabado hoy)
      ?causa <- (hay-examen hoy))
  =>
  (retract ?periodo ?causa)
  (assert (periodo lectivo-sin-clase))
  (printout t "Hoy no hay clase" crlf))

(deffacts inicio
  (sabado hoy)
  (hay-examen hoy)
  (periodo lectivo))
```

Sesión

```
CLIPS> (clear)
....
CLIPS> (reset)
==> f-0     (initial-fact)
==> f-1     (sabado hoy)
==> f-2     (hay-examen hoy)
==> f-3     (periodo lectivo)
==> Activation 0      no-hay-clase: f-3,f-2
==> Activation 0      no-hay-clase: f-3,f-1
CLIPS> (run)
<== f-3     (periodo lectivo)
<== Activation 0      no-hay-clase: f-3,f-2
<== f-1     (sabado hoy)
==> f-4     (periodo lectivo-sin-clase)
Hoy no hay clase
CLIPS> (facts)
f-0     (initial-fact)
f-2     (hay-examen hoy)
f-4     (periodo lectivo-sin-clase)
For a total of 3 facts.
CLIPS>
```

Conjunción

- **Conjunciones y disyunciones**

```
(defrule no-hay-clase
  ?periodo <- (periodo lectivo)
  (or (festivo hoy)
      (sabado hoy)
      (and (festivo ayer)
           (festivo manana)))
  =>
  (retract ?periodo)
  (assert (periodo lectivo-sin-clase))
  (printout t "Hoy no hay clase" crlf))

(deffacts inicio
  (periodo lectivo)
  (festivo ayer)
  (festivo manana))
```

Sesión

```
CLIPS> (clear)
CLIPS> (unwatch all)
CLIPS> (watch facts)
CLIPS> (watch activations)
CLIPS> (load "ej-6.clp")
*$
TRUE
CLIPS> (reset)
==> f-0     (initial-fact)
==> f-1     (periodo lectivo)
==> f-2     (festivo ayer)
==> f-3     (festivo manana)
==> Activation 0      no-hay-clase: f-1,f-2,f-3
CLIPS> (run)
<== f-1     (periodo lectivo)
==> f-4     (periodo lectivo-sin-clase)
Hoy no hay clase
CLIPS>
```

Conjunción: reglas equivalentes (I)

```
(defrule no-hay-clase-1
  ?periodo <- (periodo lectivo)
  (festivo hoy)
  =>
  (retract ?periodo)
  (assert (periodo lectivo-sin-clase))
  (printout t "Hoy no hay clase" crlf))

(defrule no-hay-clase-2
  ?periodo <- (periodo lectivo)
  (sabado hoy)
  =>
  (retract ?periodo)
  (assert (periodo lectivo-sin-clase))
  (printout t "Hoy no hay clase" crlf))
```

Conjunción: reglas equivalentes (II)

```
(defrule no-hay-clase-3
  ?periodo <- (periodo lectivo)
  (festivo ayer)
  (festivo manana)
  =>
  (retract ?periodo)
  (assert (periodo lectivo-sin-clase))
  (printout t "Hoy no hay clase" crlf))
```

Lectura de datos y variables globales

- **Lectura de datos:**

```
(read)

(readline)
```

- **Variables globales:**

```
(defglobal
  ?*<simbolo>* = <valor>)
```

Lectura de datos y variables globales

- **Sesión: adivina el número**

```
CLIPS> (reset)
CLIPS> (run)
Escribe un numero: 3
3 es bajo
Escribe un numero: 9
9 es alto
Escribe un numero: 7
7 es correcto
```

- **Ejemplo: adivina el número (I)**

```
(defrule lee
  ?h <- (lee)
  =>
  (retract ?h)
  (printout t "Escribe un numero: ")
  (assert (numero (read))))
```

Lectura de datos y variables globales

- **Ejemplo: adivina el número (II)**

```
(defrule bajo
  ?h <- (numero ?n&:(< ?n ?*numero*))
  =>
  (retract ?h)
  (printout t ?n " es bajo" crlf)
  (assert (lee)))

(defrule alto
  ?h <- (numero ?n&:(> ?n ?*numero*))
  =>
  (retract ?h)
  (printout t ?n " es alto" crlf)
  (assert (lee)))

(defrule exacto
  ?h <- (numero ?n&:(= ?n ?*numero*))
  =>
  (retract ?h)
  (printout t ?n " es correcto" crlf))
```

Lectura de hechos como cadenas

- **Sesión**

```
CLIPS> (defrule inserta-hecho
         =>
         (printout t "Escribe un hecho como cadena"
                     crlf)
         (assert-string (read)))
CLIPS> (reset)
CLIPS> (run)
Escribe un hecho como cadena
"(color verde)"
CLIPS> (facts)
f-0     (initial-fact)
f-1     (color verde)
For a total of 2 facts.
CLIPS>
```

- **Añadir un hecho expresado como una cadena:**
  - `(assert-string <cadena>)`

Lectura de líneas

- **Sesión**

```
CLIPS> (defrule lee-linea
         =>
         (printout t "Introduce datos." crlf)
         (bind ?cadena (readline))
         (assert-string (str-cat "(" ?cadena ")")))
CLIPS> (reset)
CLIPS> (run)
Introduce datos.
colores verde azul ambar rojo
CLIPS> (facts)
f-0     (initial-fact)
f-1     (colores verde azul ambar rojo)
For a total of 2 facts.
CLIPS>
```

- **Concatenación:**
  - `(str-cat <cadena>*)`

El control de la ejecución en CLIPS

- **Control:**
  - **En sentido puro, CLIPS no es un lenguaje *secuencial*: las reglas deberían actúar de manera oportuna cada vez que son aplicables**
  - **Sin embargo, a veces es necesario conseguir cierta secuencialidad en la ejecución**
- **Distintos métodos para controlar la ejecución:**
  - **Elementos procedimentales clásicos: `if`, `while` y definición de funciones**
  - **Hechos de control**
  - **Asignación de prioridades a las reglas**
  - **Módulos**

Acciones procedimentales: `if` y `bind`

- **Condicional:**

```
(if <condicion>
  then <accion>*
  [else <accion>*])
```

- **Asignacion:**

```
(bind <variable> <valor>)
```

- **Ejemplo: Adivina el número con `if` y `bind`**

```
(defrule lee
  ?h <- (lee)
  =>
  (retract ?h)
  (printout t "Escribe un numero: ")
  (bind ?n (read))
  (if (not (numberp ?n))
    then
      (printout t "Eso no es un numero." crlf)
      (assert (lee))
    else
      (assert (numero ?n))))
```

Acciones procedimentales: `while`

- **Bucle:**

```
(while <condicion> do
  <accion>*)
```

- **Ejemplo: Adivina el número con `while`**

```
(defrule lee
  ?h <- (lee)
  =>
  (retract ?h)
  (printout t "Escribe un numero: ")
  (bind ?n (read))
  (while (not (numberp ?n)) do
    (printout t "Eso no es un numero." crlf)
    (printout t "Escribe un numero: ")
    (bind ?n (read)))
  (assert (numero ?n)))
```

Nim (sesión I)

```
CLIPS> (clear)
CLIPS> (unwatch all)
CLIPS> (watch facts)
CLIPS> (watch activations)
CLIPS> (watch rules)
CLIPS> (load "nim-1.clp")
$*****$*
TRUE
CLIPS> (reset)
<== f-0     (initial-fact)
==> f-0     (initial-fact)
==> f-1     (turno h)
==> f-2     (numero-de-piezas 11)
==> Activation 0      eleccion-humana: f-1,f-2
==> f-3     (computadora-coge 1 cuando-el-resto-es 1)
==> f-4     (computadora-coge 1 cuando-el-resto-es 2)
==> f-5     (computadora-coge 2 cuando-el-resto-es 3)
==> f-6     (computadora-coge 3 cuando-el-resto-es 0)
```

Nim (sesión II)

```
CLIPS> (run)
FIRE    1 eleccion-humana: f-1,f-2
<== f-1     (turno h)
Quedan 11 pieza(s)
Cuantas piezas coges: 2
==> f-7     (eleccion-humana 2)
==> Activation 0  correcta-eleccion-humana: f-7,f-2
FIRE    2 correcta-eleccion-humana: f-7,f-2
<== f-7     (eleccion-humana 2)
<== f-2     (numero-de-piezas 11)
==> f-8     (numero-de-piezas 9)
==> f-9     (turno c)
==> Activation 0  eleccion-computadora: f-9,f-8,f-3
FIRE    3 eleccion-computadora: f-9,f-8,f-3
<== f-9     (turno c)
<== f-8     (numero-de-piezas 9)
Quedan 9 pieza(s)
```

Nim (sesión III)

```
La computadora coge 1 pieza(s)
==> f-10    (numero-de-piezas 8)
==> f-11    (turno h)
==> Activation 0      eleccion-humana: f-11,f-10
FIRE    4 eleccion-humana: f-11,f-10
<== f-11    (turno h)
Quedan 8 pieza(s)
Cuantas piezas coges: 3
==> f-12    (eleccion-humana 3)
==> Activation 0  correcta-eleccion-humana: f-12,f-10
FIRE    5 correcta-eleccion-humana: f-12,f-10
<== f-12    (eleccion-humana 3)
<== f-10    (numero-de-piezas 8)
==> f-13    (numero-de-piezas 5)
==> f-14    (turno c)
==> Activation 0  eleccion-computadora: f-14,f-13,f-3
FIRE    6 eleccion-computadora: f-14,f-13,f-3
<== f-14    (turno c)
<== f-13    (numero-de-piezas 5)
```

Nim (sesión IV)

```
Quedan 5 pieza(s)
La computadora coge 1 pieza(s)
==> f-15    (numero-de-piezas 4)
==> f-16    (turno h)
==> Activation 0      eleccion-humana: f-16,f-15
FIRE    7 eleccion-humana: f-16,f-15
<== f-16    (turno h)
Quedan 4 pieza(s)
Cuantas piezas coges: 3
==> f-17    (eleccion-humana 3)
==> Activation 0  correcta-eleccion-humana: f-17,f-15
FIRE    8 correcta-eleccion-humana: f-17,f-15
<== f-17    (eleccion-humana 3)
<== f-15    (numero-de-piezas 4)
==> f-18    (numero-de-piezas 1)
==> f-19    (turno c)
==> Activation 0     pierde-la-computadora: f-19,f-18
FIRE    9 pierde-la-computadora: f-19,f-18
Queda 1 pieza
La computadora coge la ultima pieza
He perdido
```

Nim (código I)

```
(deffacts datos-iniciales
  (turno h)
  (numero-de-piezas 11))

(defrule pierde-la-computadora
  (turno c)
  (numero-de-piezas 1)
  =>
  (printout t "Queda 1 pieza" crlf)
  (printout t "La computadora coge la ultima pieza"
            crlf)
  (printout t "He perdido" crlf))

(deffacts heuristica
  (computadora-coge 1 cuando-el-resto-es 1)
  (computadora-coge 1 cuando-el-resto-es 2)
  (computadora-coge 2 cuando-el-resto-es 3)
  (computadora-coge 3 cuando-el-resto-es 0))
```

Nim (código II)

```
(defrule eleccion-computadora
  ?turno <- (turno c)
  ?pila <- (numero-de-piezas ?n&:(> ?n 1))
  (computadora-coge ?m cuando-el-resto-es
                    =(mod ?n 4))
  =>
  (retract ?turno ?pila)
  (printout t "Quedan " ?n " pieza(s)" crlf)
  (printout t "La computadora coge " ?m
              " pieza(s)" crlf)
  (assert (numero-de-piezas (- ?n ?m))
  (turno h)))

(defrule pierde-el-humano
  (turno h)
  (numero-de-piezas 1)
  =>
  (printout t "Queda 1 pieza" crlf)
  (printout t "Tienes que coger la ultima pieza"
            crlf)
  (printout t "Has perdido" crlf))
```

Nim (código III)

```
(defrule eleccion-humana
  ?turno <- (turno h)
  ?pila <- (numero-de-piezas ?n&:(> ?n 1))
  =>
  (retract ?turno)
  (printout t "Quedan " ?n " pieza(s)" crlf)
  (printout t "Cuantas piezas coges: ")
  (assert (eleccion-humana (read))))

(defrule incorrecta-eleccion-humana
  ?eleccion <- (eleccion-humana ?m)
  (numero-de-piezas ?n&:(> ?n 1))
  (test (not (and (integerp ?m)
                  (>= ?m 1)
                  (<= ?m 3)
                  (< ?m ?n))))
  =>
  (retract ?eleccion)
  (printout t "Tiene que elegir "
            "un numero entre 1 y 3" crlf)
  (assert (turno h)))
```

Nim (código IV)

```
(defrule correcta-eleccion-humana
  ?eleccion <- (eleccion-humana ?m)
  ?pila <- (numero-de-piezas ?n&:(> ?n 1))
  (test (and (integerp ?m)
             (>= ?m 1)
             (<= ?m 3)
             (< ?m ?n)))
  =>
  (retract ?eleccion ?pila)
  (assert (numero-de-piezas (- ?n ?m))
  (turno c)))
```

Nim con if

```
(defrule eleccion-humana
  ?turno <- (turno h)
  ?pila <- (numero-de-piezas ?n&:(> ?n 1))
  =>
  (retract ?turno)
  (printout t "Quedan " ?n " pieza(s)" crlf)
  (printout t "Cuantas piezas coges: ")
  (bind ?m (read))
  (if (and (integerp ?m)
           (>= ?m 1)
           (<= ?m 3)
           (< ?m ?n))
    then
      (bind ?nuevo (- ?n ?m))
      (retract ?pila)
      (assert (numero-de-piezas ?nuevo)
              (turno c))
    else
      (printout t "Tiene que elegir "
                "un numero entre 1 y 3" crlf)
      (assert (turno h))))
```

Nim con `while`

```
(defrule eleccion-humana
  ?turno <- (turno h)
  ?pila <- (numero-de-piezas ?n&:(> ?n 1))
  =>
  (retract ?turno ?pila)
  (printout t "Quedan " ?n " pieza(s)" crlf)
  (printout t "Cuantas piezas coges: ")
  (bind ?m (read))
  (while (not (and (integerp ?m)
                   (>= ?m 1)
                   (<= ?m 3)
                   (< ?m ?n))) do
    (printout t "Tiene que elegir "
              "un numero entre 1 y 3" crlf)
    (printout t "Quedan " ?n " pieza(s)" crlf)
    (printout t "Cuantas piezas coges: ")
    (bind ?m (read)))
  (assert (numero-de-piezas (- ?n ?m))
  (turno c)))
```

Nim con funciones definidas

```
(deffunction piezas-cogidas-de (?m ?n)
  (while (not (and (integerp ?m)
                   (>= ?m 1)
                   (<= ?m 3)
                   (< ?m ?n))) do
    (printout t "Tiene que elegir "
              "un numero entre 1 y 3" crlf)
    (printout t "Quedan " ?n " pieza(s)" crlf)
    (printout t "Cuantas piezas coges: ")
    (bind ?m (read)))
  ?m)

(defrule eleccion-humana
  ?turno <- (turno h)
  ?pila <- (numero-de-piezas ?n&:(> ?n 1))
  =>
  (retract ?turno ?pila)
  (printout t "Quedan " ?n " pieza(s)" crlf)
  (printout t "Cuantas piezas coges: ")
  (bind ?m (piezas-cogidas-de (read) ?n))
  (assert (numero-de-piezas (- ?n ?m))
          (turno c)))
```

Nim con acciones definidas

```
(deffunction coge-piezas (?n)
  (printout t "Quedan " ?n " pieza(s)" crlf)
  (printout t "Cuantas piezas coges: ")
  (bind ?m (read))
  (while (not (and (integerp ?m)
                   (>= ?m 1)
                   (<= ?m 3)
                   (< ?m ?n))) do
    (printout t "Tiene que elegir "
              "un numero entre 1 y 3" crlf)
    (printout t "Cuantas piezas coges: ")
    (bind ?m (read)))
  (assert (numero-de-piezas (- ?n ?m))
  (turno c)))

(defrule eleccion-humana
  ?turno <- (turno h)
  ?pila <- (numero-de-piezas ?n&:(> ?n 1))
  =>
  (retract ?turno ?pila)
  (coge-piezas ?n))
```

Fases en la ejecución especificadas mediante hechos de control

- **Control de la ejecución oportuna de las reglas mediante hechos de control**
  - **Cada uno de estos hechos designa una *fase* de la ejecución**
  - **Las reglas que deben actuar en una fase tienen estos hechos entre sus condiciones**
  - **Las propias acciones de las reglas se encargan de gestionar la presencia o ausencia de tales hechos, controlando el cambio de fase**
- **En la implementación anterior del Nim:**
  - `(turno c)`
  - `(turno h)`
- **Con la misma técnica, podemos introducir mas fases en el Nim:**

Nim con fases

```
....
CLIPS> (run)
Elige quien empieza: computadora o Humano (c/h) c
Escribe el numero de piezas: 15
La computadora coge 2 pieza(s)
Quedan 13 pieza(s)
Escribe el numero de piezas que coges: 3
Quedan 10 pieza(s)
La computadora coge 1 pieza(s)
Quedan 9 pieza(s)
Escribe el numero de piezas que coges: 2
Quedan 7 pieza(s)
La computadora coge 2 pieza(s)
Quedan 5 pieza(s)
Escribe el numero de piezas que coges: 4
Tiene que elegir un numero entre 1 y 3
Escribe el numero de piezas que coges: 1
Quedan 4 pieza(s)
La computadora coge 3 pieza(s)
Quedan 1 pieza(s)
Tienes que coger la ultima pieza
Has perdido
```

Nim con fases (elección del jugador que empieza I)

```
(deffacts fase-inicial
  (fase elige-jugador))

(defrule elige-jugador
  (fase elige-jugador)
  =>
  (printout t "Elige quien empieza: ")
  (printout t "computadora o Humano (c/h) ")
  (assert (jugador-elegido (read))))
```

Nim con fases (elección del jugador que empieza II)

```
(defrule correcta-eleccion-de-jugador
  ?fase <- (fase elige-jugador)
  ?eleccion <- (jugador-elegido ?jugador&c|h)
  =>
  (retract ?fase ?eleccion)
  (assert (turno ?jugador))
  (assert (fase elige-numero-de-piezas)))

(defrule incorrecta-eleccion-de-jugador
  ?fase <- (fase elige-jugador)
  ?eleccion <- (jugador-elegido ?jugador&~c&~h)
  =>
  (retract ?fase ?eleccion)
  (printout t ?jugador " es distinto de c y h" crlf)
  (assert (fase elige-jugador)))
```

Nim con fases (elección del número de piezas I)

- **Elección del número de piezas**

```
(defrule elige-numero-de-piezas
  (fase elige-numero-de-piezas)
  =>
  (printout t "Escribe el numero de piezas: ")
  (assert (numero-de-piezas-aux (read))))

(defrule correcta-eleccion-del-numero-de-piezas
  ?fase <- (fase elige-numero-de-piezas)
  ?eleccion <- (numero-de-piezas-aux ?n&:(integerp ?n)
                                     &:(> ?n 0))
  =>
  (retract ?fase ?eleccion)
  (assert (numero-de-piezas ?n)))
```

Nim con fases (elección del número de piezas II)

```
(defrule incorrecta-eleccion-del-numero-de-piezas
  ?fase <- (fase elige-numero-de-piezas)
  ?eleccion <- (numero-de-piezas-aux ?n&~:(integerp ?n)
                                     |:(<= ?n 0))
  =>
  (retract ?fase ?eleccion)
  (printout t ?n " no es un numero entero mayor que 0"
            crlf)
  (assert (fase elige-numero-de-piezas)))
```

Nim con fases (jugada del humano I)

```
(defrule pierde-el-humano
  (turno h)
  (numero-de-piezas 1)
  =>
  (printout t "Tienes que coger la ultima pieza" crlf)
  (printout t "Has perdido" crlf))

(defrule eleccion-humana
  (turno h)
  (numero-de-piezas ?n&:(> ?n 1))
  =>
  (printout t "Escribe el numero de piezas que coges: ")
  (assert (piezas-cogidas (read))))
```

Nim con fases (jugada del humano II)

```
(defrule correcta-eleccion-humana
  ?pila <- (numero-de-piezas ?n)
  ?eleccion <- (piezas-cogidas ?m)
  ?turno <- (turno h)
  (test (and (integerp ?m)
             (>= ?m 1)
             (<= ?m 3)
             (< ?m ?n)))
  =>
  (retract ?pila ?eleccion ?turno)
  (bind ?nuevo-numero-de-piezas (- ?n ?m))
  (assert (numero-de-piezas ?nuevo-numero-de-piezas))
  (printout t "Quedan "
            ?nuevo-numero-de-piezas " pieza(s)" crlf)
  (assert (turno c)))
```

Nim con fases (jugada del humano III)

```
(defrule incorrecta-eleccion-humana
  (numero-de-piezas ?n)
  ?eleccion <- (piezas-cogidas ?m)
  ?turno <- (turno h)
  (test (or (not (integerp ?m))
            (< ?m 1)
            (> ?m 3)
            (>= ?m ?n)))
  =>
  (retract ?eleccion ?turno)
  (printout t "Tiene que elegir un numero entre 1 y 3"
            crlf)
  (assert (turno h)))
```

Nim con fases (jugada de la máquina I)

```
(defrule pierde-la-computadora
  (turno c)
  (numero-de-piezas 1)
  =>
  (printout t "La computadora coge la ultima pieza"
            crlf "He perdido" crlf))

(deffacts heuristica
  (computadora-coge 1 cuando-el-resto-es 1)
  (computadora-coge 1 cuando-el-resto-es 2)
  (computadora-coge 2 cuando-el-resto-es 3)
  (computadora-coge 3 cuando-el-resto-es 0))
```

Nim con fases (jugada de la máquina II)

```
(defrule eleccion-computadora
  ?turno <- (turno c)
  ?pila <- (numero-de-piezas ?n&:(> ?n 1))
  (computadora-coge ?m cuando-el-resto-es =(mod ?n 4))
  =>
  (retract ?turno ?pila)
  (printout t "La computadora coge " ?m " pieza(s)"
            crlf)
  (bind ?nuevo-numero-de-piezas (- ?n ?m))
  (printout t "Quedan " ?nuevo-numero-de-piezas
            " pieza(s)" crlf)
  (assert (numero-de-piezas ?nuevo-numero-de-piezas))
  (assert (turno h)))
```

Control empotrado en las reglas

- **Fases en el Nim:**
  - **Elección del jugador.**
  - **Elección del número de piezas.**
  - **Turno del humano.**
  - **Turno de la computadora.**
- **Hechos de control:**
  - `(fase elige-jugador)`
  - `(fase elige-numero-de-piezas)`
  - `(turno h)`
  - `(turno c)`
- **Inconvenientes del control empotrado en las reglas:**
  - **Dificultad para entenderse.**
  - **Dificultad para precisar la conclusión de cada fase.**

Uso de prioridades en las reglas

- **Reglas con prioridad explícita para controlar la ejecución**
  - **La palabra clave `salience`**
- **Las activaciones se colocan en la agenda por orden de prioridad**
- **Sintaxis:**
  - `(declare (salience <numero>))`
- **Valores:**
  - **Mínimo: -10000**
  - **Máximo: 10000**
  - **Por defecto: 0**

Ejemplo sin asignación de prioridades

```
(deffacts inicio
  (prioridad primera)
  (prioridad segunda)
  (prioridad tercera))

(defrule regla-1
  (prioridad primera)
  =>
  (printout t "Escribe primera" crlf))

(defrule regla-2
  (prioridad segunda)
  =>
  (printout t "Escribe segunda" crlf))

(defrule regla-3
  (prioridad tercera)
  =>
  (printout t "Escribe tercera" crlf))
```

Ejemplo sin asignación de prioridades (sesión)

```
...
CLIPS> (reset)
CLIPS> (facts)
f-0     (initial-fact)
f-1     (prioridad primera)
f-2     (prioridad segunda)
f-3     (prioridad tercera)
For a total of 4 facts.
CLIPS> (rules)
regla-1
regla-2
regla-3
For a total of 3 defrules.
CLIPS> (agenda)
0      regla-3: f-3
0      regla-2: f-2
0      regla-1: f-1
For a total of 3 activations.
CLIPS> (run)
Escribe tercera
Escribe segunda
Escribe primera
```

Ejemplo con asignación de prioridades

```
(deffacts inicio
  (prioridad primera)
  (prioridad segunda)
  (prioridad tercera))

(defrule regla-1
  (declare (salience 30))
  (prioridad primera)
  =>
  (printout t "Escribe primera" crlf))

(defrule regla-2
  (declare (salience 20))
  (prioridad segunda)
  =>
  (printout t "Escribe segunda" crlf))

(defrule regla-3
  (declare (salience 10))
  (prioridad tercera)
  =>
  (printout t "Escribe tercera" crlf))
```

Ejemplo con asignación de prioridades (sesión)

```
...
CLIPS> (reset)
CLIPS> (facts)
f-0     (initial-fact)
f-1     (prioridad primera)
f-2     (prioridad segunda)
f-3     (prioridad tercera)
For a total of 4 facts.
CLIPS> (rules)
regla-1
regla-2
regla-3
For a total of 3 defrules.
CLIPS> (agenda)
30     regla-1: f-1
20     regla-2: f-2
10     regla-3: f-3
For a total of 3 activations.
CLIPS> (run)
Escribe primera
Escribe segunda
Escribe tercera
CLIPS>
```

Detección, aislamiento y recuperación

- **Ilustraremos el uso de prioridades con un ejemplo típico de fases de un problema**
  - **Detección, aislamiento y recuperación de dispositivos**
- **Detección:**
  - **Reconocer que el dispositivo no funciona de manera adecuada**
- **Aislamiento:**
  - **Determinar qué componente ha causado el fallo**
- **Recuperación:**
  - **Realizar los pasos necesarios para corregir el error**

Detección, aislamiento y recuperación (código I)

```
(defrule deteccion-a-aislamiento
  (declare (salience -10))
  ?fase <- (fase deteccion)
  =>
  (retract ?fase)
  (assert (fase aislamiento)))

(defrule aislamiento-a-recuperacion
  (declare (salience -10))
  ?fase <- (fase aislamiento)
  =>
  (retract ?fase)
  (assert (fase recuperacion)))

(defrule recuperacion-a-deteccion
  (declare (salience -10))
  ?fase <- (fase recuperacion)
  =>
  (retract ?fase)
  (assert (fase deteccion)))
```

Detección, aislamiento y recuperación (código II)

```
(defrule detecta-fuego
  (fase deteccion)
  (luz-a roja)
  =>
  (assert (problema fuego)))

(deffacts inicio
  (fase deteccion)
  (luz-a roja))
```

Detección, aislamiento y recuperación (sesión)

```
...
CLIPS> (watch rules)
CLIPS> (reset)
CLIPS> (run 7)
FIRE    1 detecta-fuego: f-1,f-2
FIRE    2 deteccion-a-aislamiento: f-1
FIRE    3 aislamiento-a-recuperacion: f-4
FIRE    4 recuperacion-a-deteccion: f-5
FIRE    5 detecta-fuego: f-6,f-2
FIRE    6 deteccion-a-aislamiento: f-6
FIRE    7 aislamiento-a-recuperacion: f-7
```

Cambio de fase mediante reglas específicas (código I)

```
(deffacts control
  (fase deteccion)
  (siguiente-fase deteccion aislamiento)
  (siguiente-fase aislamiento recuperacion)
  (siguiente-fase recuperacion deteccion))

(defrule cambio-de-fase
  (declare (salience -10))
  ?fase <- (fase ?actual)
  (siguiente-fase ?actual ?siguiente)
  =>
  (retract ?fase)
  (assert (fase ?siguiente)))
```

Cambio de fase mediante reglas específicas (código II)

```
(defrule detecta-fuego
  (fase deteccion)
  (luz-a roja)
  =>
  (assert (problema fuego)))

(deffacts inicio
  (fase deteccion)
  (luz-a roja))
```

Cambio de fase mediante reglas específicas (sesión I)

```
....
CLIPS> (watch rules)
CLIPS> (watch facts)
CLIPS> (reset)
CLIPS> (reset)
==> f-0     (initial-fact)
==> f-1     (fase deteccion)
==> f-2     (siguiente-fase deteccion aislamiento)
==> f-3     (siguiente-fase aislamiento recuperacion)
==> f-4     (siguiente-fase recuperacion deteccion)
==> f-5     (luz-a roja)
```

Cambio de fase mediante reglas específicas (sesión II)

```
CLIPS> (run 5)
FIRE    1 detecta-fuego: f-1,f-5
==> f-6     (problema fuego)
FIRE    2 cambio-de-fase: f-1,f-2
<== f-1     (fase deteccion)
==> f-7     (fase aislamiento)
FIRE    3 cambio-de-fase: f-7,f-3
<== f-7     (fase aislamiento)
==> f-8     (fase recuperacion)
FIRE    4 cambio-de-fase: f-8,f-4
<== f-8     (fase recuperacion)
==> f-9     (fase deteccion)
FIRE    5 detecta-fuego: f-9,f-5
```

Cambio de fase mediante una regla y sucesión de fases (I)

```
(deffacts control
  (fase deteccion)
  (sucesion-de-fases aislamiento
                     recuperacion
                     deteccion))

(defrule cambio-de-fase
  (declare (salience -10))
  ?fase <- (fase ?actual)
  ?h <- (sucesion-de-fases ?siguiente $?resto)
  =>
  (retract ?fase ?h)
  (assert (fase ?siguiente))
  (assert (sucesion-de-fases ?resto ?siguiente)))
```

Cambio de fase mediante una regla y sucesión de fases (II)

```
CLIPS> (clear)
CLIPS> (load "ej-5.clp")
$**$
TRUE
CLIPS> (watch facts)
CLIPS> (watch rules)
CLIPS> (reset)
==> f-0     (initial-fact)
==> f-1     (fase deteccion)
==> f-2     (sucesion-de-fases
             aislamiento recuperacion deteccion)
==> f-3     (luz-a roja)
```

Cambio de fase mediante una regla y sucesión de fases (III)

```
CLIPS> (run 5)
FIRE    1 detecta-fuego: f-1,f-3
==> f-4     (problema fuego)
FIRE    2 cambio-de-fase: f-1,f-2
<== f-1     (fase deteccion)
==> f-5     (fase aislamiento)
==> f-6     (sucesion-de-fases
             recuperacion deteccion aislamiento)
FIRE    3 cambio-de-fase: f-5,f-6
<== f-5     (fase aislamiento)
==> f-7     (fase recuperacion)
==> f-8     (sucesion-de-fases
             deteccion aislamiento recuperacion)
FIRE    4 cambio-de-fase: f-7,f-8
<== f-7     (fase recuperacion)
==> f-9     (fase deteccion)
FIRE    5 detecta-fuego: f-9,f-3
```

Uso de módulos para controlar la ejecución

- En CLIPS, es posible tener varias agendas simultáneamente:
  - Cada agenda se corresponde con un *módulo*
  - La agenda por defecto es la del módulo `MAIN`
  - Cada módulo tiene sus propios hechos, plantillas y reglas
  - Cada agenda funciona según el modelo ya explicado, restringiéndose a sus hechos y reglas
  - En cada momento, se están disparando las reglas de una única agenda (agenda *enfocada*
  - El cambio de agenda se gestiona mediante una *pila de focos*
- Definición de módulos:
  - El comando `defmodule`
  - El concepto de módulo actual

Uso de módulos para controlar la ejecución

- **Asociación de hechos y reglas a los módulos**
  - **Los comandos `deffacts`, `defrule` y `defmodule` permiten especificar el módulo en el que se introduce la definición**
  - **Los hechos con plantilla se asocian al módulo de su plantilla**
  - **Los hechos sin plantilla se asocian al módulo actual**
- **La importación y exportación de plantillas hace que un mismo hecho sea "visible" por varios módulos**
  - **Permitiendo así la comunicación entre módulos**
- **Ejecución de las reglas activadas**
  - **La pila de focos es una pila con nombres de módulos**
  - **En cada momento se están disparando las reglas de la agenda correspondiente al módulo de la cima de la pila**

Uso de módulos para controlar la ejecución

- **Apilar módulos en la pila de focos:**
  - **Acción** `focus`
  - **Reglas con *autoenfoque***
  - **Los comandos** `run` **y** `reset`
- **Desapilar módulos de la pila de focos:**
  - **Cuando se vacía la agenda de la cima**
  - **Los comandos** `pop-focus` **y** `clear-focus-stack`
  - **La acción** `(return)`

Nim con módulos (módulo MAIN)

```
(defmodule MAIN
  (export deftemplate numero-de-piezas turno initial-fact))

(defrule MAIN::inicio
  =>
  (focus INICIO))

(defrule MAIN::la-computadora-elige
  ?turno <- (turno c)
  (numero-de-piezas ~0)
  =>
  (focus COMPUTADORA)
  (retract ?turno)
  (assert (turno h)))

(defrule MAIN::el-humano-elige
  ?turno <- (turno h)
  (numero-de-piezas ~0)
  =>
  (focus HUMANO)
  (retract ?turno)
  (assert (turno c)))
```

Nim con módulos (módulo INICIO I)

```
(defmodule INICIO
  (import MAIN deftemplate numero-de-piezas turno initial-fact))

(defrule INICIO::elige-jugador
  (not (turno ?))
  =>
  (printout t "Elige quien empieza: "
              "computadora o Humano (c/h) ")
  (assert (turno (read))))

(defrule INICIO::incorrecta-eleccion-de-jugador
  ?eleccion <- (turno ?jugador&~c&~h)
  =>
  (retract ?eleccion)
  (printout t ?jugador " es distinto de c y h" crlf))

(defrule INICIO::elige-numero-de-piezas
  (not (numero-de-piezas-elegidas ?))
  =>
  (printout t "Escribe el numero de piezas: ")
  (assert (numero-de-piezas-elegidas (read))))
```

Nim con módulos (módulo INICIO II)

```
(defrule INICIO::incorrecta-eleccion-del-numero-de-piezas
  ?e <- (numero-de-piezas-elegidas ?n&~:(integerp ?n)
                                   |:(<= ?n 0))
  =>
  (retract ?e)
  (printout t ?n " no es un numero entero mayor que 0"
              crlf))

(defrule INICIO::correcta-eleccion-del-numero-de-piezas
  (numero-de-piezas-elegidas ?n&:(integerp ?n)
                             &:(> ?n 0))
  =>
  (assert (numero-de-piezas ?n)))
```

Nim con módulos (módulo HUMANO I)

```
(defmodule HUMANO
  (import MAIN deftemplate numero-de-piezas))

(defrule HUMANO::pierde-el-humano
  ?h <- (numero-de-piezas 1)
  =>
  (printout t "Tienes que coger la ultima pieza" crlf)
  (printout t "Has perdido" crlf)
  (retract ?h)
  (assert (numero-de-piezas 0)))

(defrule HUMANO::eleccion-humana
  (numero-de-piezas ?n&:(> ?n 1))
  (not (piezas-cogidas ?))
  =>
  (printout t "Escribe el numero de piezas que coges: ")
  (assert (piezas-cogidas (read))))
```

Nim con módulos (módulo HUMANO II)

```
(defrule HUMANO::correcta-eleccion-humana
  ?pila <- (numero-de-piezas ?n)
  ?eleccion <- (piezas-cogidas ?m)
  (test (and (integerp ?m)
             (>= ?m 1)
             (<= ?m 3)
             (< ?m ?n)))
  =>
  (retract ?pila ?eleccion)
  (bind ?nuevo-numero-de-piezas (- ?n ?m))
  (assert (numero-de-piezas ?nuevo-numero-de-piezas))
  (printout t "Quedan " ?nuevo-numero-de-piezas
              " pieza(s)" crlf)
  (return))
```

Nim con módulos (módulo HUMANO III)

```
(defrule HUMANO::incorrecta-eleccion-humana
  (numero-de-piezas ?n)
  ?eleccion <- (piezas-cogidas ?m)
  (test (or (not (integerp ?m))
            (< ?m 1)
            (> ?m 3)
            (>= ?m ?n)))
  =>
  (printout t "Tiene que elegir un numero entre 1 y 3"
            crlf)
  (retract ?eleccion))
```

Nim con módulos (módulo COMPUTADORA I)

```
(defmodule COMPUTADORA
  (import MAIN deftemplate numero-de-piezas))

(defrule COMPUTADORA::pierde-la-computadora
  ?h <- (numero-de-piezas 1)
  =>
  (printout t "La computadora coge la ultima pieza" crlf)
  (printout t "He perdido" crlf)
  (retract ?h)
  (assert (numero-de-piezas 0)))

(deffacts COMPUTADORA::heuristica
  (computadora-coge 1 cuando-el-resto-es 1)
  (computadora-coge 1 cuando-el-resto-es 2)
  (computadora-coge 2 cuando-el-resto-es 3)
  (computadora-coge 3 cuando-el-resto-es 0))
```

Nim con módulos (módulo COMPUTADORA II)

```
(defrule COMPUTADORA::eleccion-computadora
  ?pila <- (numero-de-piezas ?n&:(> ?n 1))
  (computadora-coge ?m cuando-el-resto-es =(mod ?n 4))
  =>
  (retract ?pila)
  (printout t "La computadora coge " ?m " pieza(s)" crlf)
  (bind ?nuevo-numero-de-piezas (- ?n ?m))
  (printout t "Quedan " ?nuevo-numero-de-piezas
              " pieza(s)" crlf)
  (assert (numero-de-piezas ?nuevo-numero-de-piezas))
  (return))
```

Nim con módulos (sesión con traza I)

```
CLIPS> (watch facts)
CLIPS> (watch rules)
CLIPS> (watch focus)
CLIPS> (reset)
==> Focus MAIN
==> f-0     (initial-fact)
==> f-1     (computadora-coge 1 cuando-el-resto-es 1)
==> f-2     (computadora-coge 1 cuando-el-resto-es 2)
==> f-3     (computadora-coge 2 cuando-el-resto-es 3)
==> f-4     (computadora-coge 3 cuando-el-resto-es 0)
CLIPS> (run)
FIRE    1 inicio: f-0
==> Focus INICIO from MAIN
FIRE    2 elige-jugador: f-0,
Elige quien empieza: computadora o Humano (c/h) a
==> f-5     (turno a)
FIRE    3 incorrecta-eleccion-de-jugador: f-5
<== f-5     (turno a)
a es distinto de c y h
FIRE    4 elige-jugador: f-0,
```

Nim con módulos (sesión con traza II)

```
Elige quien empieza: computadora o Humano (c/h) c
==> f-6     (turno c)
FIRE    5 elige-numero-de-piezas: f-0,
Escribe el numero de piezas: a
==> f-7     (numero-de-piezas-elegidas a)
FIRE    6 incorrecta-eleccion-del-numero-de-piezas: f-7
<== f-7     (numero-de-piezas-elegidas a)
a no es un numero entero mayor que 0
FIRE    7 elige-numero-de-piezas: f-0,
Escribe el numero de piezas: 5
==> f-8     (numero-de-piezas-elegidas 5)
FIRE    8 correcta-eleccion-del-numero-de-piezas: f-8
==> f-9     (numero-de-piezas 5)
<== Focus INICIO to MAIN
FIRE    9 la-computadora-elige: f-6,f-9
==> Focus COMPUTADORA from MAIN
<== f-6     (turno c)
==> f-10    (turno h)
FIRE   10 eleccion-computadora: f-9,f-1
<== f-9     (numero-de-piezas 5)
La computadora coge 1 pieza(s)
Quedan 4 pieza(s)
```

Nim con módulos (sesión con traza III)

```
==> f-11    (numero-de-piezas 4)
<== Focus COMPUTADORA to MAIN
FIRE   11 el-humano-elige: f-10,f-11
==> Focus HUMANO from MAIN
<== f-10    (turno h)
==> f-12    (turno c)
FIRE   12 eleccion-humana: f-11,
Escribe el numero de piezas que coges: 4
==> f-13    (piezas-cogidas 4)
FIRE   13 incorrecta-eleccion-humana: f-11,f-13
Tiene que elegir un numero entre 1 y 3
<== f-13    (piezas-cogidas 4)
FIRE   14 eleccion-humana: f-11,
Escribe el numero de piezas que coges: 1
==> f-14    (piezas-cogidas 1)
FIRE   15 correcta-eleccion-humana: f-11,f-14
<== f-11    (numero-de-piezas 4)
<== f-14    (piezas-cogidas 1)
==> f-15    (numero-de-piezas 3)
Quedan 3 pieza(s)
```

Nim con módulos (sesión con traza IV)

```
<== Focus HUMANO to MAIN
FIRE   16 la-computadora-elige: f-12,f-15
==> Focus COMPUTADORA from MAIN
<== f-12    (turno c)
==> f-16    (turno h)
FIRE   17 eleccion-computadora: f-15,f-3
<== f-15    (numero-de-piezas 3)
La computadora coge 2 pieza(s)
Quedan 1 pieza(s)
==> f-17    (numero-de-piezas 1)
<== Focus COMPUTADORA to MAIN
FIRE   18 el-humano-elige: f-16,f-17
==> Focus HUMANO from MAIN
<== f-16    (turno h)
==> f-18    (turno c)
FIRE   19 pierde-el-humano: f-17
Tienes que coger la ultima pieza
Has perdido
<== f-17    (numero-de-piezas 1)
==> f-19    (numero-de-piezas 0)
<== Focus HUMANO to MAIN
<== Focus MAIN
```

Bibliografía

- Giarratano, J.C. y Riley, G. *Sistemas expertos: Principios y programación (3 ed.)* (International Thomson Editores, 2001)
- Giarrantano, J.C. y Riley, G. *Expert Systems Principles and Programming (3 ed.)* (PWS Pub. Co., 1998).
- Giarratano, J.C. *CLIPS User's Guide (Version 6.20, March 31st 2001)*
- Kowalski, T.J. y Levy, L.S. *Rule–Based Programming* (Kluwer Academic Publisher, 1996)