Tema 7: Equiparación de patrones

José A. Alonso Jiménez
Miguel A. Gutiérrez Naranjo
Francisco J. Martín Mateos

Dpto. de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial

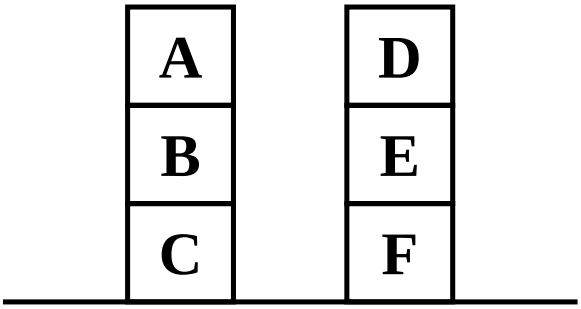
Universidad de Sevilla

Contenido y bibliografía

- Ejemplo: Mundo de los bloques
- Elementos condicionales
  - Disyunción
  - Conjunción
  - Cuantificador existencial
  - Cuantificador universal
- Lectura de datos
- Acciones procedimentales
  - Condicional `if`
  - Bucle `while`
- Ejemplo: Nim
- Bibligrafía
  - Giarratano, J.C. y Riley, G. "Expert Systems Principles and Programming (2nd ed.)" (PWS Pub. Co., 1994)
    * Cap. 9: "Advanced Pattern Matching"
    * Cap. 11.11: "Procedural Functons"
  - Giarratano, J.C. "CLIPS 6.0 User's Guide"

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

- **Reglas:**

```
;;; 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

- **Reglas:**

```
;;; 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

- **Reglas:**

```
;;; 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)))

;;; 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)))
```

Mundo de los bloques

- **Sesión:**

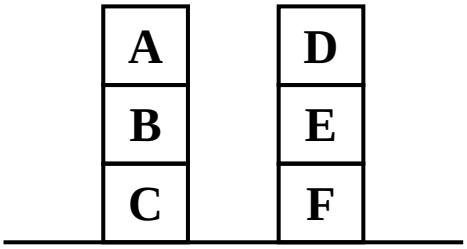
```
CLIPS> (clear)
CLIPS> (unwatch all)
CLIPS> (watch facts)
CLIPS> (watch activations)
CLIPS> (watch rules)
CLIPS> (load "bloques.clp")
$****
TRUE
CLIPS> (reset)
==> f-0     (initial-fact)
==> f-1     (pila A B C)
==> f-2     (pila D E F)
==> f-3     (objetivo C esta-encima-del E)
==> Activation 0 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

Mundo de los bloques

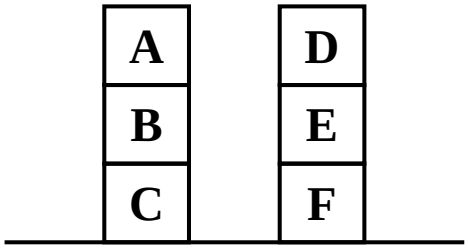
- **Sesión:**

```
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)
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>
```

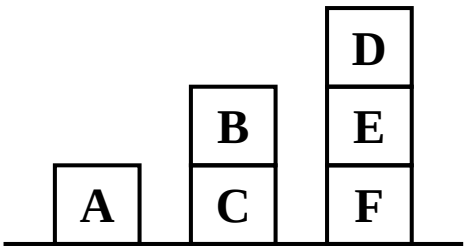
Mundo de los bloques



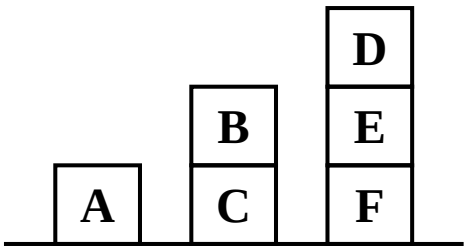
Objetivos: C/E
Agenda: Lib C
Lib E



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

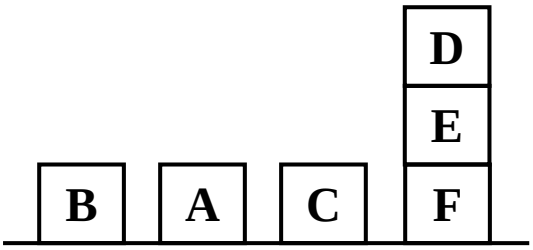


Objetivos: C/E
Agenda: Lib C
Lib E

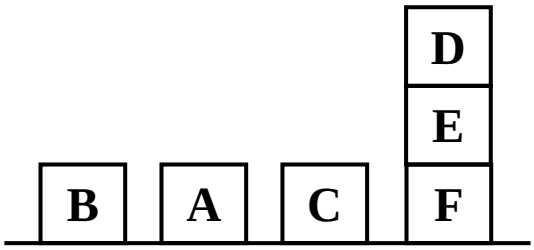


Objetivos: B/Suelo
C/E
Agenda: Mover B
Lib E

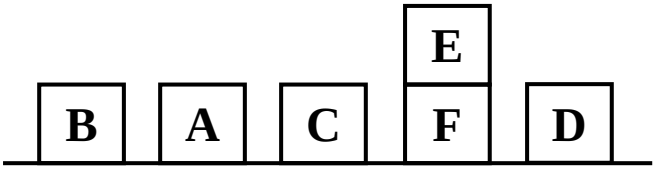
Mundo de los bloques



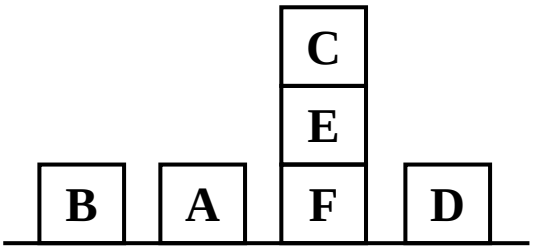
Objetivos: C/E
Agenda: Lib E



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



Objetivos: C/E
Agenda: Mover C



Revisión de la definición de regla

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

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

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

Elementos condicionales

- **Reglas disyuntivas:** `ej-1.clp`

```
(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:** `ej-2.cl`

```
(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> (unwatch all)
CLIPS> (watch facts)
CLIPS> (watch activations)
CLIPS> (watch rules)
CLIPS> (load "ej-2.clp")
*$
TRUE
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:** `ej-3.clp`

```
(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)
CLIPS> (unwatch all)
CLIPS> (watch facts)
CLIPS> (watch activations)
CLIPS> (watch rules)
CLIPS> (load "ej-3.clp")
*$
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>
```

Limitación de disparos disyuntivos

- **Programa equivalente sin elementos condicionales disyuntivos:** `ej-4.clp`

```
(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))

(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:** `ej-5.clp`

```
(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))
```

Eliminación de causas disyuntivas

- **Sesión**

```
CLIPS> (clear)
CLIPS> (unwatch all)
CLIPS> (watch facts)
CLIPS> (watch activations)
CLIPS> (load "ej-5.clp")
*$
TRUE
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 implícitas**

```
(defrule no-hay-clase-por-puente
  (festivo ayer)
  (festivo manana)
  =>
  (printout t "Hoy no hay clase" crlf))
```

- **Conjunciones explícitas. Elementos condicionales conjuntivos:**

```
(defrule no-hay-clase-por-puente
  (and (festivo ayer)
       (festivo manana))
  =>
  (printout t "Hoy no hay clase" crlf))
```

Conjunción

- **Conjunciones y disyunciones:** `ej-6.clp`

```
(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))
```

Conjunción

- **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**

```
(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))

(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))
```

Cuantificación existencial

- **Elementos condicionales existenciales:** `ej-7.clp`

```
(defrule no-hay-clase
  (exists (hoy ?x&es-sabado|es-festivo|hay-examen))
  =>
  (printout t "Hoy no hay clase" crlf))

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

- **Programa equivalente a `ej-2.clp` con limitación de disparos disyuntivos.**

Cuantificación existencial

- **Sesión:**

```
CLIPS> (unwatch all)
CLIPS> (watch facts)
CLIPS> (watch activations)
CLIPS> (watch rules)
CLIPS> (load "ej-7.clp")
*$
TRUE
CLIPS> (reset)
==> f-0     (initial-fact)
==> Activation 0      no-hay-clase: f-0,
<== Activation 0      no-hay-clase: f-0,
==> f-1     (hoy es-sabado)
==> Activation 0      no-hay-clase: f-0,
==> f-2     (hoy hay-examen)
CLIPS> (run)
FIRE    1 no-hay-clase: f-0,
Hoy no hay clase
CLIPS> (assert (hoy es-festivo))
==> f-3     (hoy es-festivo)
<Fact-3>
CLIPS> (retract 1 2 3)
<== f-1     (hoy es-sabado)
<== f-2     (hoy hay-examen)
<== f-3     (hoy es-festivo)
CLIPS> (assert (hoy es-domingo))
==> f-4     (hoy es-domingo)
<Fact-4>
CLIPS> (assert (hoy es-festivo))
==> f-5     (hoy es-festivo)
==> Activation 0      no-hay-clase: f-0,
<Fact-5>
```

Lectura de datos y variables globales

- **Lectura de datos:**

```
(read)

(readline)
```

- **Variables globales:**

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

- **Ejemplo: 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
CLIPS>
```

- **Código: Adivina el número**

```
(defglobal
  ?*numero* = 7)

(defrule juego
  =>
  (assert (lee)))
```

Lectura de datos y variables globales

- **Ejemplo: Adivina el número (I)**

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

(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>*)`

Acciones procedimentales: `if` y `bind`

- **Condicional:**

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

- **Asignacion:**

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

- **Ejemplo: Adivina el número (II)**

```
(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 (III)**

```
(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:**

```
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)
CLIPS> (run)
FIRE    1 eleccion-humana: f-1,f-2
<== f-1     (turno h)
Quedan 11 pieza(s)
Cuantas piezas coges: 2
```

Nim

- **Sesión:**

```
==> 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)
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
```

Nim

- **Sesión:**

```
==> 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)
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
```

Nim

- **Sesión:**

```
==> 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
CLIPS>
```

Nim

- **Código:**

```
(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))

(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)))
```

Nim

- **Código:**

```
(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))

(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))))
```

Nim

- **Código:**

```
(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)))

(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`

- **Regla:** `eleccion-humana`

```
(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`

- **Regla:** `eleccion-humana`

```
(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

- **Regla:** `eleccion-humana`

```
(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

- **Regla:** `eleccion-humana`

```
(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))
```