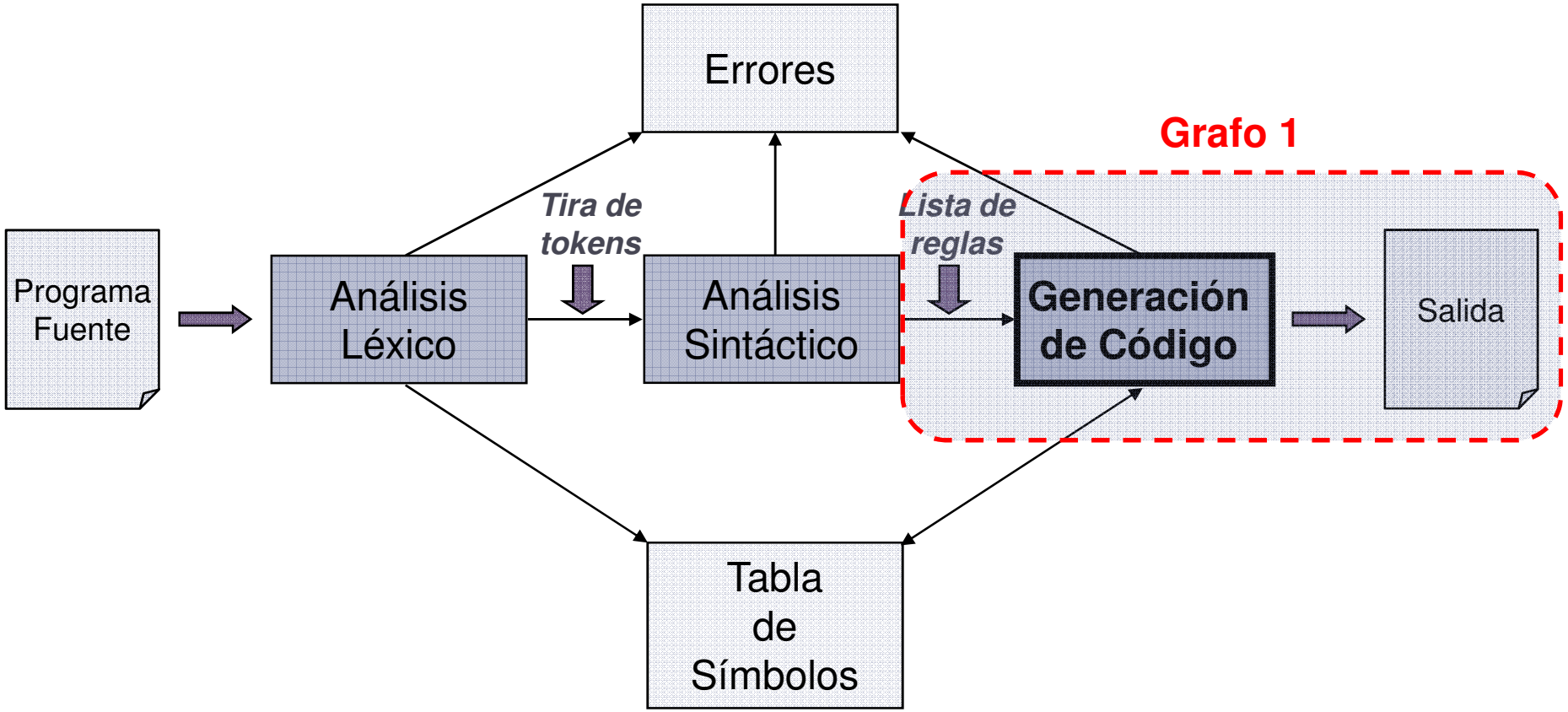
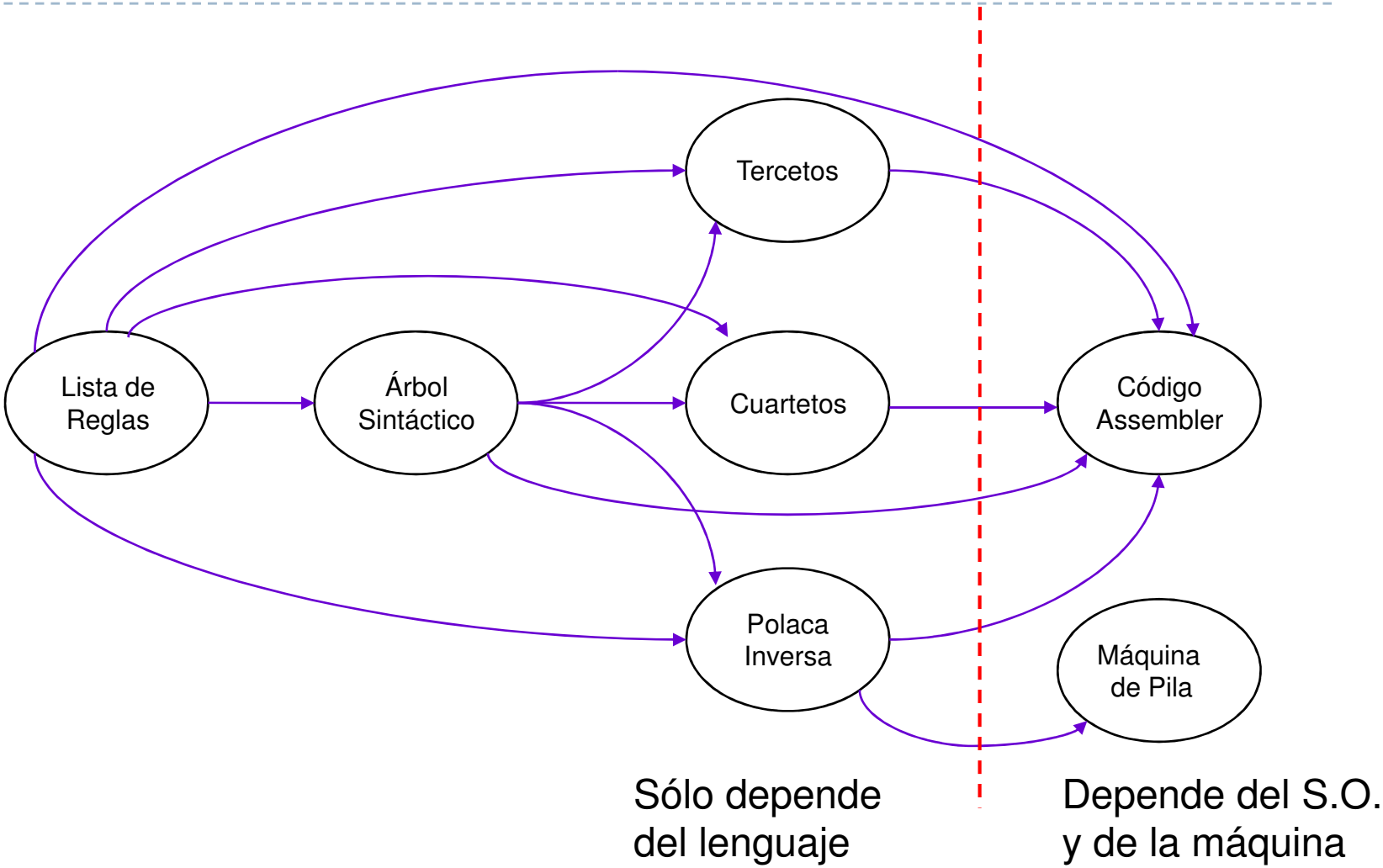
# Diseño de Compiladores I

Optimizaciones

# Fases de la Compilación



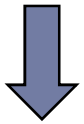
# Generación de Código



# Comparación de caminos

Compilador rápido (el más rápido)

Ejecutable grande y lento

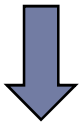


Lista de Reglas → Assembler

# Comparación de caminos

Ejecutable rápido

Compilador lento



L.Reglas → Á.Sintáctico → Tercetos → Assembler

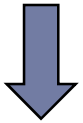
(Optimizaciones)

# Comparación de caminos

Desarrollo Rápido

Compilador relativamente rápido

Ejecutable relativamente bueno



Lista de Reglas → Polaca Inversa → Assembler
(Algunas Optimizaciones)

# Optimización

Objetivo:

*Lograr que el código sea lo mejor posible*

Resultados:

*Nunca se obtiene código óptimo*

# Optimización

Propiedades:

- Una transformación debe preservar la semántica del programa.
- Debe acelerar el programa en una cantidad medible.
- Debe valer la pena.

# Optimización

## Causas:

- El programador comete errores de programación.

  Ejemplo:

  a:=2*3*b en lugar de a:=6*b

- El programador prefiere legibilidad.

  Ejemplo:

  ```
  #define LARGO 20
  #define ANCHO 10
  …
  volumen := LARGO * ANCHO * alto;
  ```

- El programador no puede evitarlo.

# Redundancia Simple

Tercetos

Cuartetos

Polaca Inversa

# Redundancia Simple
## (subexpresiones comunes)

- Una expresión E es una subexpresión común si E ha sido calculada previamente, y los valores de las variables usadas en E no han cambiado desde dicho cálculo.
- Se puede evitar recalcular la expresión utilizando el valor calculado previamente (se eliminan operaciones duplicadas)
- Se tienen en cuenta propiedades de conmutatividad y asociatividad.
- Ejemplo:

  a := b * c * d + b * c * e

  a := b * c * ( d + e )

# Redundancia en Tercetos

x := a * b * c + e * f + a * b * d;

- Se buscan tercetos repetidos hasta la asignación, se cambian las referencias, y se reenumera.

Tercetos:

28. ( * , a , b )
29. ( * , [28] , c)
30. ( * , e , f )
31. ( + , [29] , [30] )
32. ( * , a , b )
33. ( * , [32] , d )
34. ( + , [31] , [33] )
35. ( := , x , [34] )

Tercetos optimizados:

28. ( * , a , b )
29. ( * , [28] , c)
30. ( * , e , f )
31. ( + , [29] , [30] )
32. ( * , [28] , d )
33. ( + , [31] , [32] )
34. ( := , x , [33] )

¿INCONVENIENTES DE ESTA SOLUCIÓN?

# Redundancia en Tercetos

- Mejor solución: Cambiar la referencia en el o los tercetos que referencian al terceto redundante, y luego eliminarlo.

Tercetos:

28. ( * , a , b )
29. ( * , [28] , c)
30. ( * , e , f )
31. ( + , [29] , [30] )
32. ( * , a , b )
33. ( * , [32] , d )
34. ( + , [31] , [33] )
35. ( := , x , [34] )

Tercetos optimizados:

28. ( * , a , b )
29. ( * , [28] , c)
30. ( * , e , f )
31. ( + , [29] , [30] )
32. ~~( * , a , b )~~
33. ( * , [**28**] , d )
34. ( + , [31] , [33] )
35. ( := , x , [34] )

# Redundancia en Cuartetos

x := a * b * c + e * f + a * b * d;

Cuartetos:

20. ( * , a , b , aux1 )
21. ( * , aux1 , c , aux2)
22. ( * , e , f , aux3 )
23. ( + , aux2 , aux3 , aux4 )
24. ( * , a , b , aux5 )
25. ( * , aux5 , d , aux6)
26. ( + , aux4 , aux6 , aux7 )
27. ( := , x , aux7 , - )

Cuartetos optimizados:

20. ( * , a , b , aux1 )
21. ( * , aux1 , c , aux2)
22. ( * , e , f , aux3 )
23. ( + , aux2 , aux3 , aux4 )
24. ( * , **aux1** , d , aux6)
25. ( + , aux4 , aux6 , aux7 )
26. ( := , x , aux7 , - )

# Redundancia en Polaca Inversa

x := a * b * c + e * f + a * b * d;

Polaca Inversa:

| x | a | b | * | c | * | e | f | * | + | a | b | * | d | * | + | := |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

| | | f | | b | d | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| b | c | e | e*f | a | a*b | a*b*d | a*b*c+e*f+ a*b*d |
| a | a*b | a*b*c | a*b*c | a*b*c+e*f | a*b*c+e*f | a*b*c+e*f | |
| x | x | x | x | x | x | x | x |

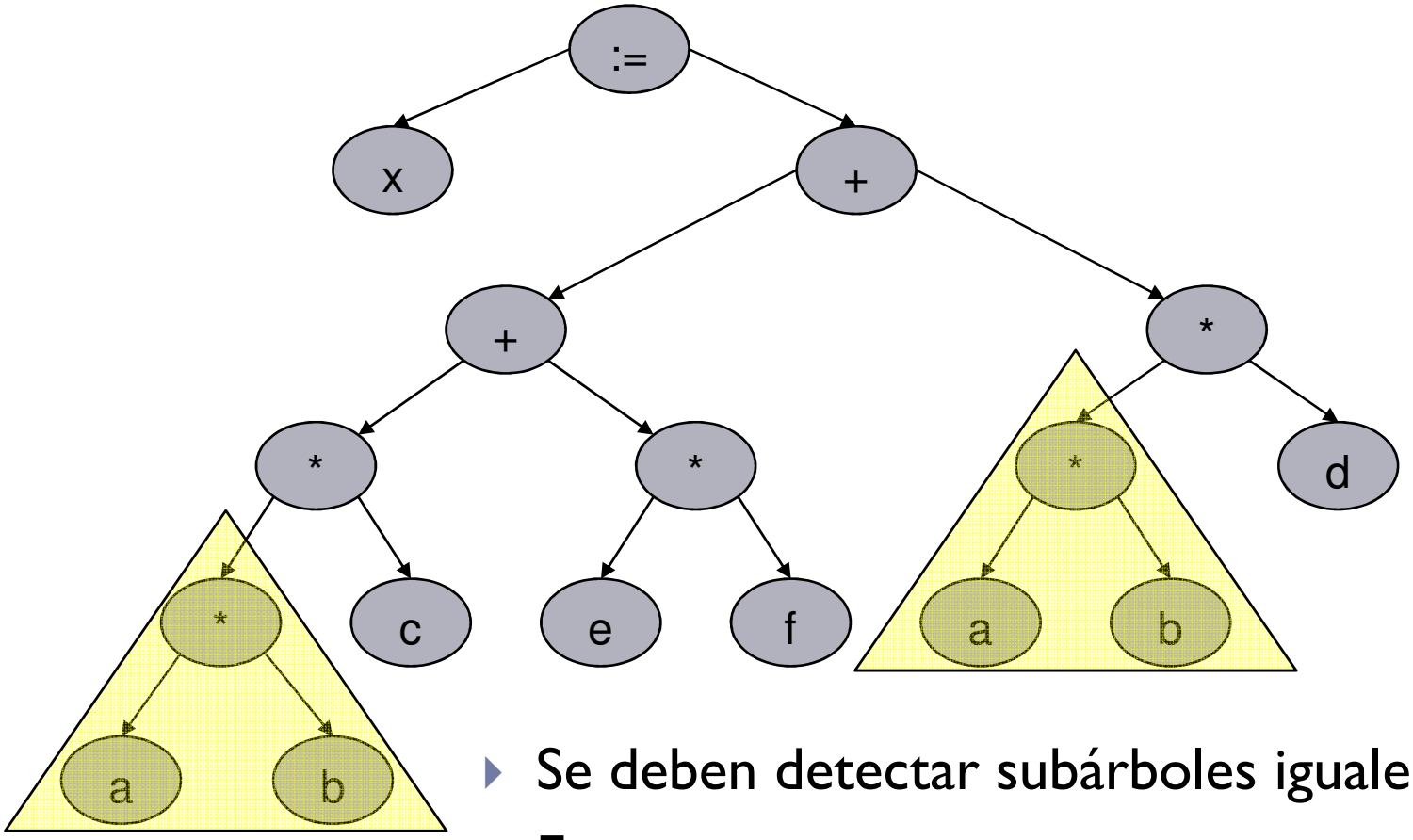
Polaca Inversa optimizada:

| x | a | b | * | DUP | c | * | e | f | * | + | SWAP | d | * | + | := |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

| | c | f | e*f | | d | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| b | a*b | e | a*b*c | a*b*c+e*f | a*b | a*b*d | a*b*c+e*f+ a*b*d |
| a | a*b | a*b*c | a*b | a*b | a*b*c+e*f | a*b*c+e*f | |
| x | x | a*b | x | x | x | x | x |
| | | x | | | | | |

# Redundancia en Árbol Sintáctico

x := a * b * c + e * f + a * b * d;




- Se deben detectar subárboles iguales
- Es muy costoso
- ***No se hace***

# Reducción Simple

Árbol Sintáctico

Polaca Inversa

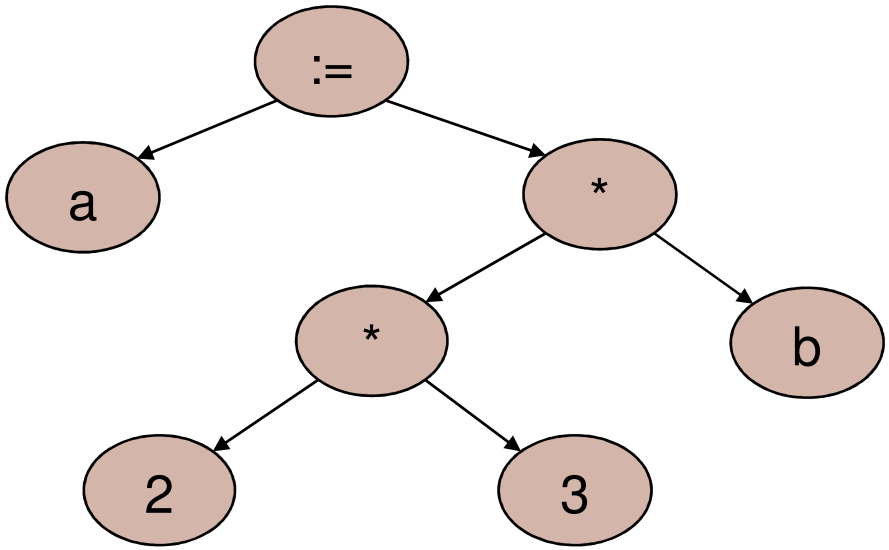
Tercetos

# Reducción Simple

- Se evalúan expresiones que son conocidas en *tiempo de compilación* (entre constantes), y se sustituyen por su valor.

# Reducción Simple en Árbol Sintáctico

a := 2 * 3 * b

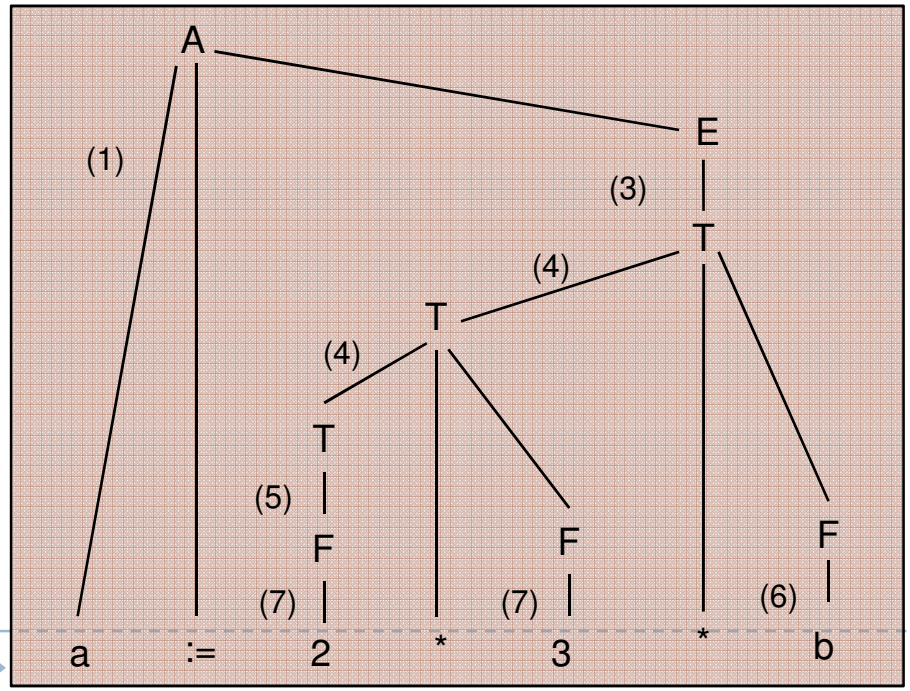



- Se puede aplicar:
  - Durante la construcción.
  - A la salida (hacia otra representación).
  - Sobre el árbol terminado.

# Reducción Simple en Árbol Sintáctico

## Durante la construcción

| | | |
|---|---|---|
| 1) | A → id := E | A.ptr := crear_nodo( := , crear_hoja( id.ref_TS ) , E.ptr ) |
| 2) | E → E + T | E.ptr := crear_nodo( + , E.ptr , T.ptr ) |
| 3) | E → T | E.ptr := T.ptr |
| 4) | T → T * F | T.ptr := crear_nodo( * , T.ptr , F.ptr ) |
| 5) | T → F | T.ptr := F.ptr |
| 6) | F → id | F.ptr := crear_hoja( id.ref_TS ) |
| 7) | F → cte | F.ptr := crear_hoja( cte.ref_TS ) |




a := 2 * 3 * b

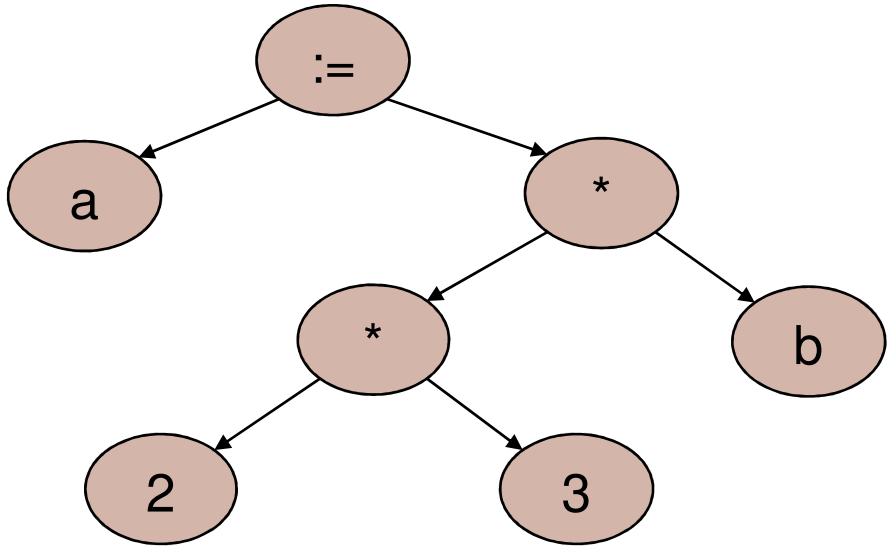
Árbol de Parsing

**Lista de Reglas: 7 5 7 4 6 4 3 1**

# Reducción Simple en Árbol Sintáctico

## Durante la construcción

| | | |
|---|---|---|
| 1) | A → id := E | A.ptr := crear_nodo( := , crear_hoja( id.ref_TS ) , E.ptr ) |
| 2) | E → E + T | E.ptr := crear_nodo( + , E.ptr , T.ptr ) |
| 3) | E → T | E.ptr := T.ptr |
| 4) | T → T * F | T.ptr := crear_nodo( * , T.ptr , F.ptr ) |
| 5) | T → F | T.ptr := F.ptr |
| 6) | F → id | F.ptr := crear_hoja( id.ref_TS ) |
| 7) | F → cte | F.ptr := crear_hoja( cte.ref_TS ) |




a := 2 * 3 * b

⟸ Árbol Sintáctico

**Lista de Reglas: 7 5 7 4 6 4 3 1**

# Reducción Simple en Árbol Sintáctico

## Durante la construcción

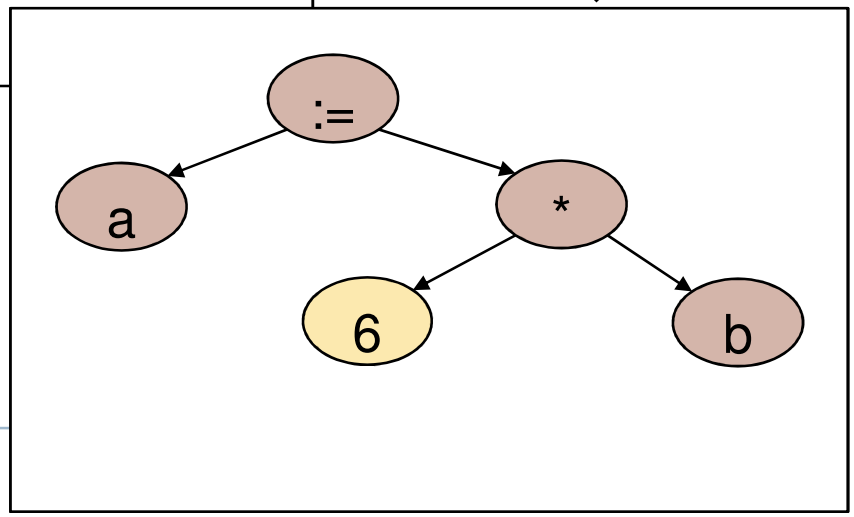
| | | |
|---|---|---|
| 1) | A → id := E | A.ptr := crear_nodo( := , crear_hoja( id.ref_TS , E.ptr ) |
| 2) | E → E + T | ← **Idem regla 4, para la suma** |
| 3) | E → T | E.ptr := T.ptr |
| 4) | T → T * F | **IF ((es_cte(T.ptr) AND es_cte(F.ptr)) THEN**<br>**calculo = valor(T.ptr) * valor(F.ptr)**<br>**Borrar(T.ptr)**<br>**Borrar(F.ptr)**<br>**T.ptr := crear_hoja(Alta_TS(calculo))**<br>**ELSE**<br>**T.ptr := crear_nodo( * , T.ptr , F.ptr )** |
| 5) | T → F | T.ptr := F.ptr |
| 6) | F → id | F.ptr := crear_hoja( id.ref_TS ) |
| 7) | F → cte | F.ptr := crear_hoja( cte.ref_TS ) |

a := 2 * 3 * b

**Lista de Reglas:**

**7 5 7 4 6 4 3 1**

Árbol Sintáctico Optimizado

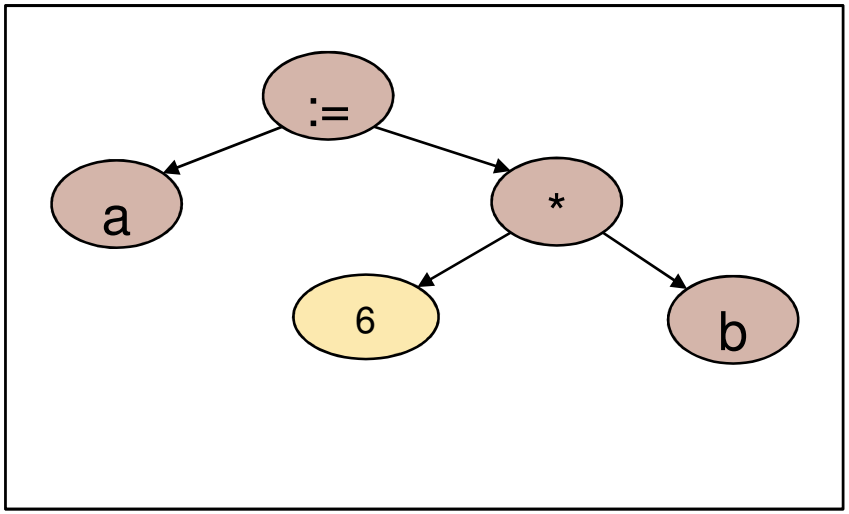


# Reducción Simple en Árbol Sintáctico

## A la salida

En la traducción a Assembler, u otra representación intermedia

a := 2 * 3 * b



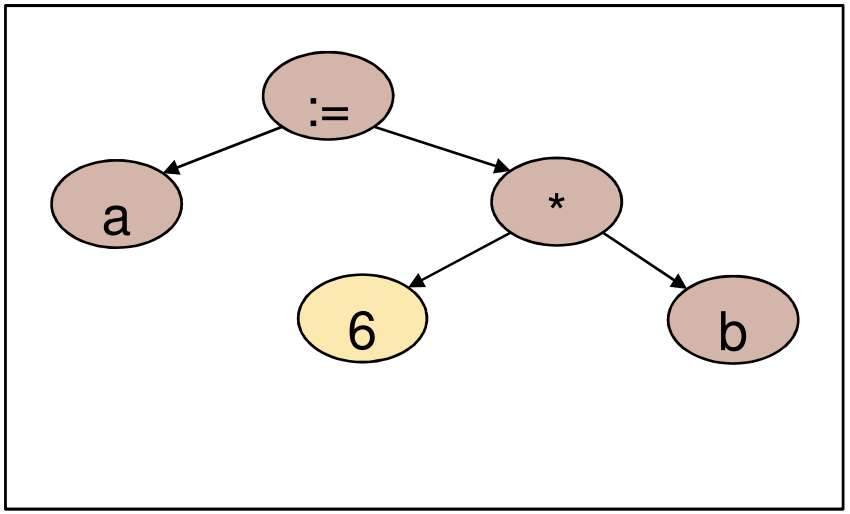

Árbol Sintáctico Optimizado

- Se busca el subárbol de más a la izquierda con hijos hojas
  - Si los hijos son constantes
    - Calcular
    - Reemplazar el subárbol por el resultado
  - Si los hijos no son constantes
    - Generar codigo (Assembler u otra repr. intermedia)
    - Reemplazar el subárbol por el lugar donde quedó el resultado (registro, variable auxiliar, nro. de terceto)

# Reducción Simple en Árbol Sintáctico

## Con el árbol terminado

a := 2 * 3 * b




Árbol Sintáctico Optimizado

- Se recorre el árbol buscando subárboles cuyos hijos sean constantes:
  - Calcular
  - Reemplazar el subárbol por el resultado

*Se recorre 2 veces el árbol*

# Reducción Simple en Polaca Inversa

a := 2 * 3 * b

| a | 2 | 3 | * | b | * | := |
|---|---|---|---|---|---|---|

- Se puede aplicar:
  - Durante la construcción.
  - A la salida (hacia otra representación).
  - Sobre la Polaca terminada.

# Reducción Simple en Polaca Inversa

## Durante la construcción (desde Lista de Reglas)

| | | |
|---|---|---|
| 1) | A → id := E | Agregar (id.ref_TS );Agregar ( := ) |
| 2) | E → E + T | Agregar ( + ) |
| 3) | E → T | - |
| 4) | T → T * F | Agregar ( * ) |
| 5) | T → F | - |
| 6) | F → id | Agregar ( id.ref_TS ) |
| 7) | F → cte | Agregar ( cte.ref_TS ) |

a := 2 * 3 * b

**Lista de Reglas:**

**7 5 7 4 6 4 3 1**

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **2** | **3** | ***** | **b** | ***** | **a** | **:=** |

Polaca Inversa

**Nota**: Si se está generando PI a partir del árbol Sintáctico, se aplicará el algoritmo de RS en AS a la salida

# Reducción Simple en Polaca Inversa

## Durante la construcción (desde Lista de Reglas)

| | | |
|---|---|---|
| 1) | A → id := E | Agregar (id.ref_TS ); Agregar ( := ) |
| 2) | E → E + T | ← **Idem regla 4, para la suma** |
| 3) | E → T | - |
| 4) | T → T * F | **IF (es_cte(PI(pos-1) AND es_cte(PI(pos-2)))THEN**<br>**calculo := valor(PI(pos-1)) * valor(PI(pos-2))**<br>**Borrar(PI(pos-1))**<br>**Borrar(PI(pos-2))**<br>**Agregar(Alta_TS(calculo))**<br>**ELSE**<br>**Agregar ( * )** |
| 5) | T → F | - |
| 6) | F → id | Agregar ( id.ref_TS ) |
| 7) | F → cte | Agregar ( cte.ref_TS ) |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **6** | **b** | ***** | **a** | **:=** |

Polaca Inversa Optimizada

a := 2 * 3 * b

**Lista de Reglas:**

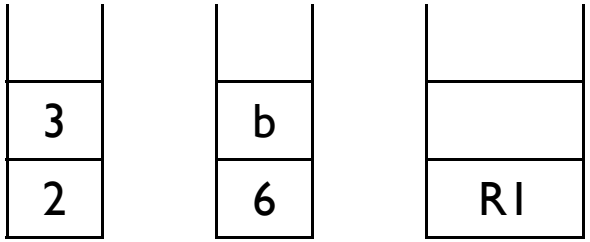
**7 5 7 4 6 4 3 1**

# Reducción Simple en Polaca Inversa
# A la salida

## En la traducción a Assembler

a := 2 * 3 * b

| 2 | 3 | * | b | * | a | := |
|---|---|---|---|---|---|---|

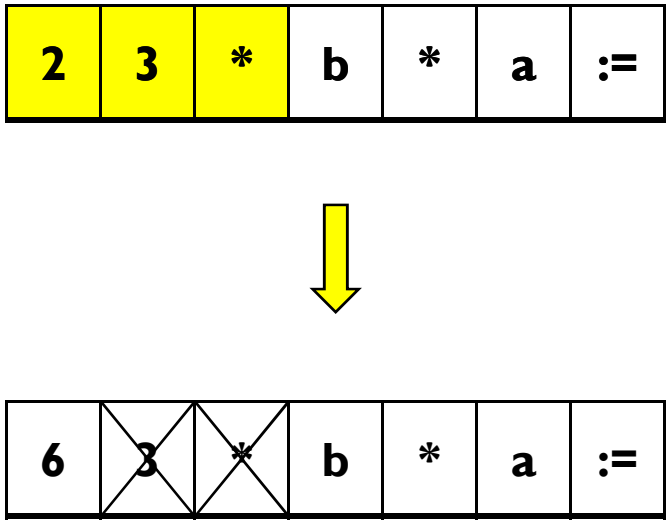



```
IF (es_operando(PI(pos))) THEN
    apilar (PI(pos))
ELSE
    IF (es_operador_binario(PI(pos))) THEN
        IF (es_cte(tope) AND es_cte(tope – 1)) THEN
            calculo := valor(tope) * valor(tope -1)
                       // Operación según PI(pos)
            desapilar  2
            apilar(calculo)
        ELSE
            desapilar  2
            generar_codigo
            apilar resultado (registro o variable auxiliar)
```

# Reducción Simple en Polaca Inversa

## Con la Polaca terminada

a := 2 * 3 * b




- Se buscan ternas cte cte operador
- Se calcula el valor de la operación
- Se reemplaza el primer elemento de la terna por el resultado, y se anulan los otros 2 elementos de la terna

*Se recorre 2 veces la Polaca*

# Reducción Simple en Tercetos

a := 2 * 3 * b

Tercetos:

15. ( * , 2 , 3 )
16. ( * , [15] , b)
17. ( := , a , [16] )

- Se puede aplicar:
  - Durante la construcción.
  - A la salida (en la traducción a Assembler).
  - Sobre los Tercetos terminados.

# Reducción Simple en Tercetos

## Durante la construcción (desde Lista de Reglas)

| | | |
|---|---|---|
| 1) | A → id := E | A.ptr := crear_terceto( := , id.ref_TS , E.ptr ) |
| 2) | E → E + T | E.ptr := crear_terceto( + , E.ptr , T.ptr ) |
| 3) | E → T | E.ptr := T.ptr |
| 4) | T → T * F | T.ptr := crear_terceto( * , T.ptr , F.ptr ) |
| 5) | T → F | T.ptr := F.ptr |
| 6) | F → id | F.ptr := id.ref_TS |
| 7) | F → cte | F.ptr := cte.ref_TS |

a := 2 * 3 * b

15. ( * , 2 , 3 )
16. ( * , [15] , b)
17. ( := , a , [16] )

⇦ Tercetos

**Lista de Reglas: 7 5 7 4 6 4 3 1**

**Nota**: Si se están generando tercetos a partir del árbol Sintáctico, se aplicará el algoritmo de RS en AS a la salida

# Reducción Simple en Tercetos
## Durante la construcción

| | | |
|---|---|---|
| 1) | A → id := E | A.ptr := crear_terceto( := , id.ref_TS , E.ptr ) |
| 2) | E → E + T | ← **Idem regla 4, para la suma** |
| 3) | E → T | E.ptr := T.ptr |
| 4) | T → T * F | **IF ((es_cte(T.ptr) AND es_cte(F.ptr)) THEN**<br>**calculo = valor(T.ptr) * valor(F.ptr)**<br>**T.ptr := Alta_TS(calculo)**<br>**ELSE**<br>**T.ptr := crear_terceto( * ,T.ptr , F.ptr )** |
| 5) | T → F | T.ptr := F.ptr |
| 6) | F → id | F.ptr := id.ref_TS |
| 7) | F → cte | F.ptr := cte.ref_TS |

a := 2 * 3 * b

**Lista de Reglas:**

**7 5 7 4 6 4 3 1**

15. ( * , 6 , b )
16. ( := , a , [15] )

Tercetos Optimizados

# Reducción Simple en Tercetos

## A la salida

### En la traducción a Assembler

a := 2 * 3 * b

15. ( * , 2 , 3 ) **6**
16. ( * , [15] , b) @aux23
17. ( := , a , [16] )

- Para cada terceto:
  - IF (es_cte(operando1) AND (es_cte(operando2)) THEN
    - calculo = valor(operando1) * valor(operando2)
    - Agregar calculo al terceto
  - ELSE
    - Generar_codigo (terceto)
    - Agregar registro o auxiliar al terceto

# Reducción Simple en Tercetos

## Con los tercetos terminados

a := 2 * 3 * b

15. ( * , 2 , 3 )
16. ( * , [15] , b)
17. ( := , a , [16] )

~~15. ( * , 2 , 3 )~~
16. ( * , **6** , b)
17. ( := , a , [16] )

- Recorrer los tercetos
- Para cada terceto:
  - IF (es_cte(operando1) AND (es_cte(operando2)) THEN
    - calculo = valor(operando1) * valor(operando2)
    - Reemplazar las referencias al terceto por calculo
    - Eliminar terceto
  - ELSE
    - -

*Se recorren 2 veces los tercetos*

# Reordenamiento de Código

Árbol Sintáctico

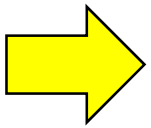
# Reordenamiento de código

- Intenta minimizar el uso de registros.
- Aún habiendo registros suficientes, reduce la cantidad de operaciones.

# Reordenamiento de código

**a + b + c * d * ( e + f + g * h * i )** ⇨ **( g * h * i + e + f ) * c * d + a + b**

```
MOV R1, a
ADD R1, b
MOV R2, c
MUL R2, d
MOV R3, e
ADD R3, f
MOV R4, g
MUL R4, h
MUL R4, i
ADD R3, R4
MUL R2, R3
ADD R1, R2
```



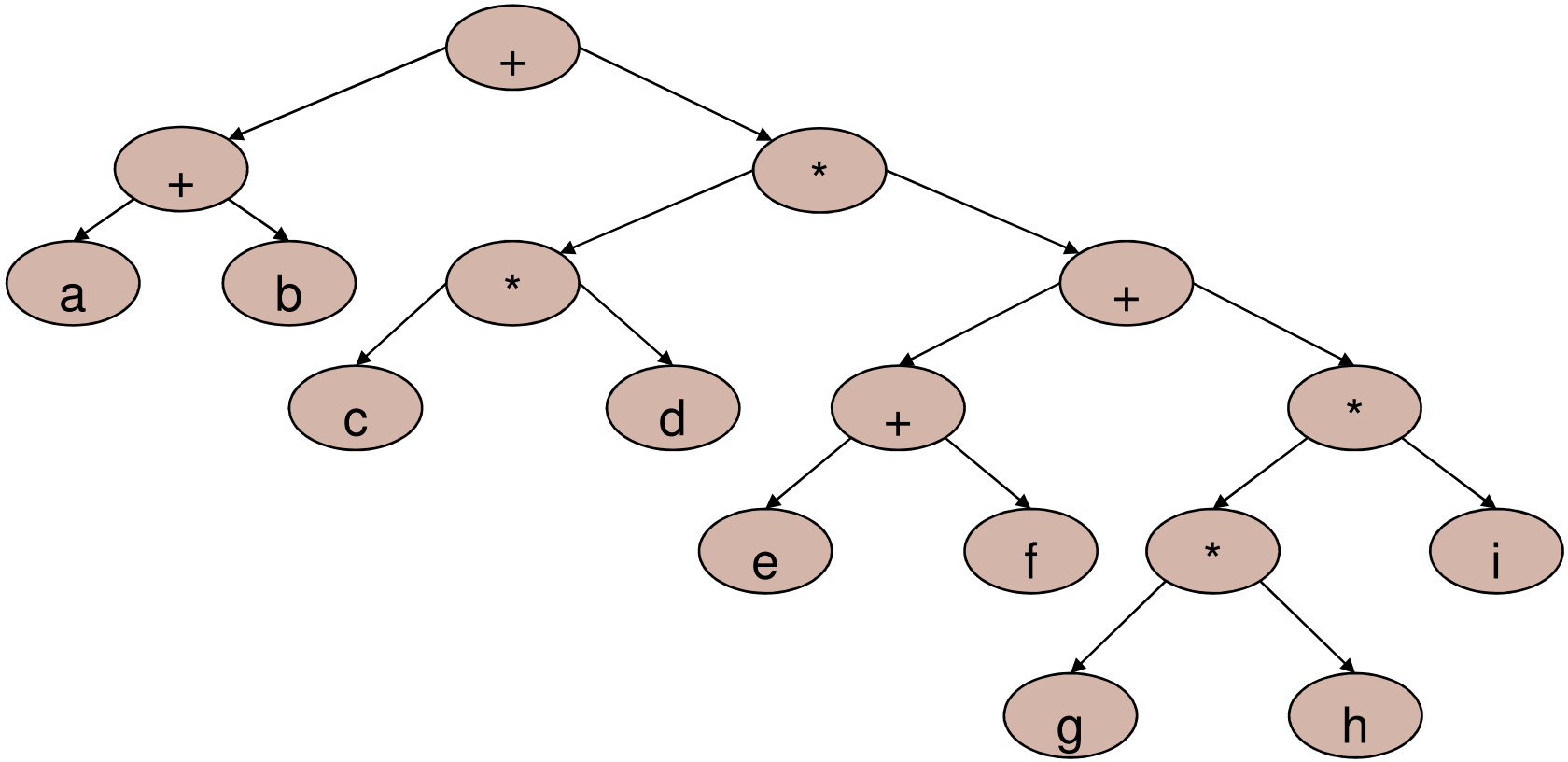
```
MOV R1, g
MUL R1, h
MUL R1, i
ADD R1, e
ADD R1, f
MUL R1, c
MUL R1, d
ADD R1, a
ADD R1, b
```

# Reordenamiento de código

- Se aplica sobre el Árbol Sintáctico

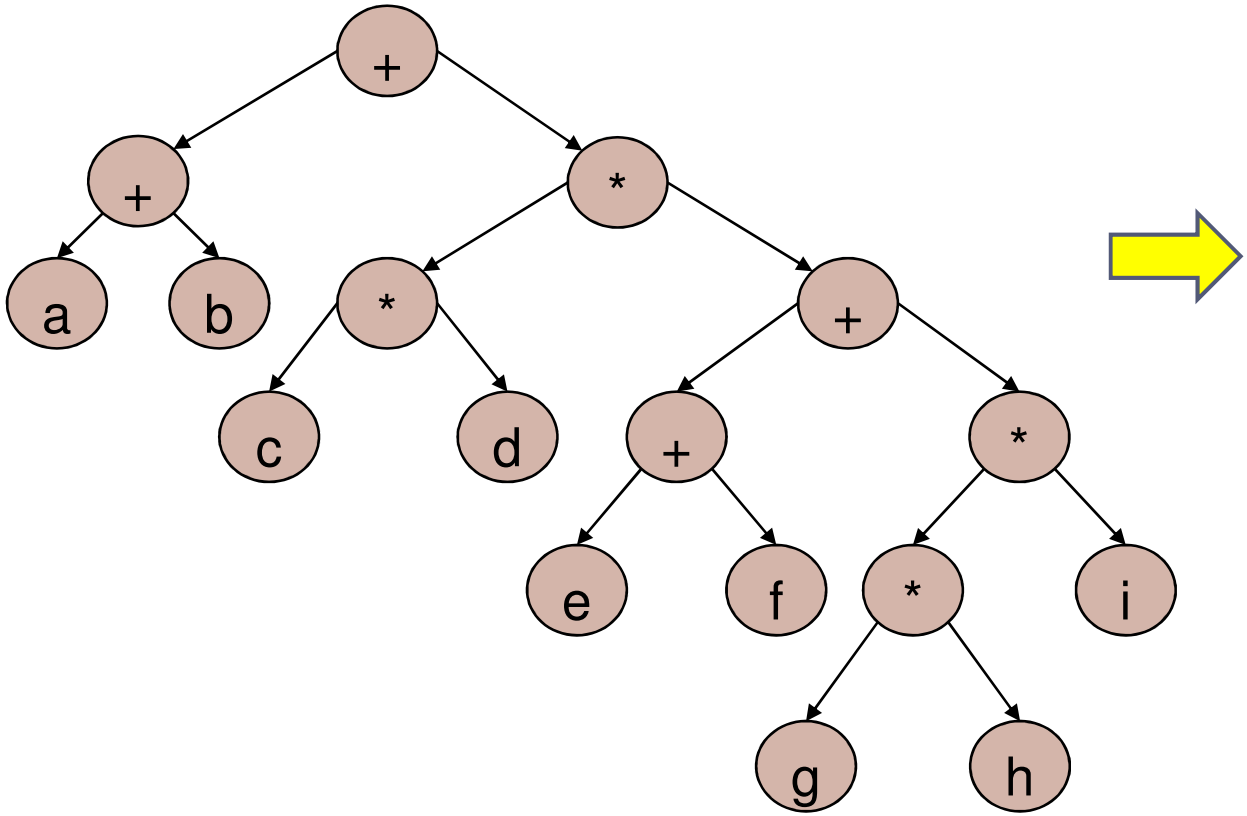
# Reordenamiento de código

a + b + c * d * ( e + f + g * h * i )



# Reordenamiento de código

a + b + c * d * ( e + f + g * h * i )



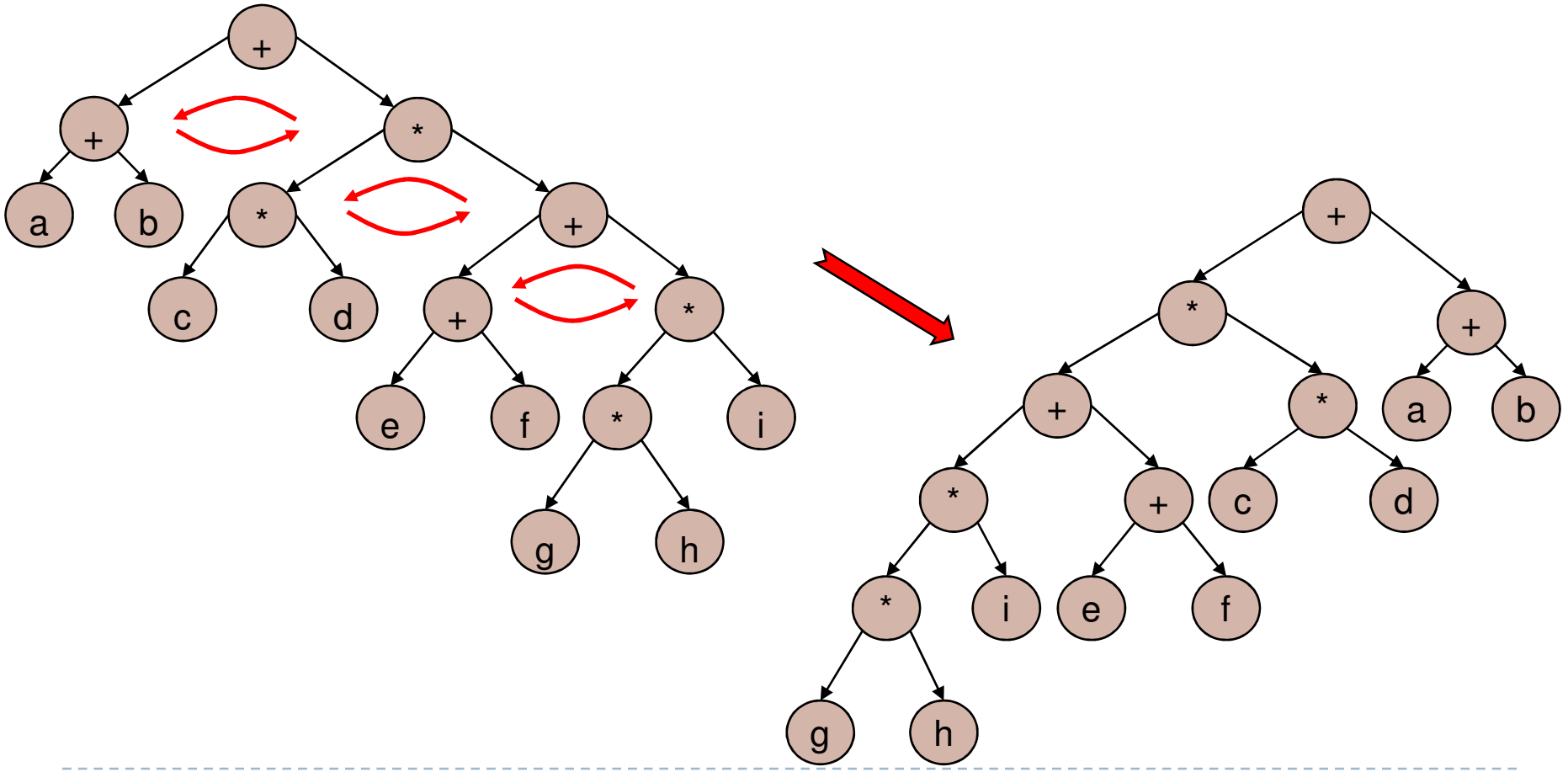

```
MOV R1, a
ADD R1, b
MOV R2, c
MUL R2, d
MOV R3, e
ADD R3, f
MOV R4, g
MUL R4, h
MUL R4, i
ADD R3, R4
MUL R2, R3
ADD R1, R2
```

# Reordenamiento de código – Paso 1

- Se evalúa la profundidad de las ramas de cada nodo (algoritmo de Nakata)
  - Si la rama izquierda tiene menor profundidad que la derecha, se invierten las ramas, siempre que el operador sea conmutativo.
- Se repite hasta que no se produzcan más inversiones.

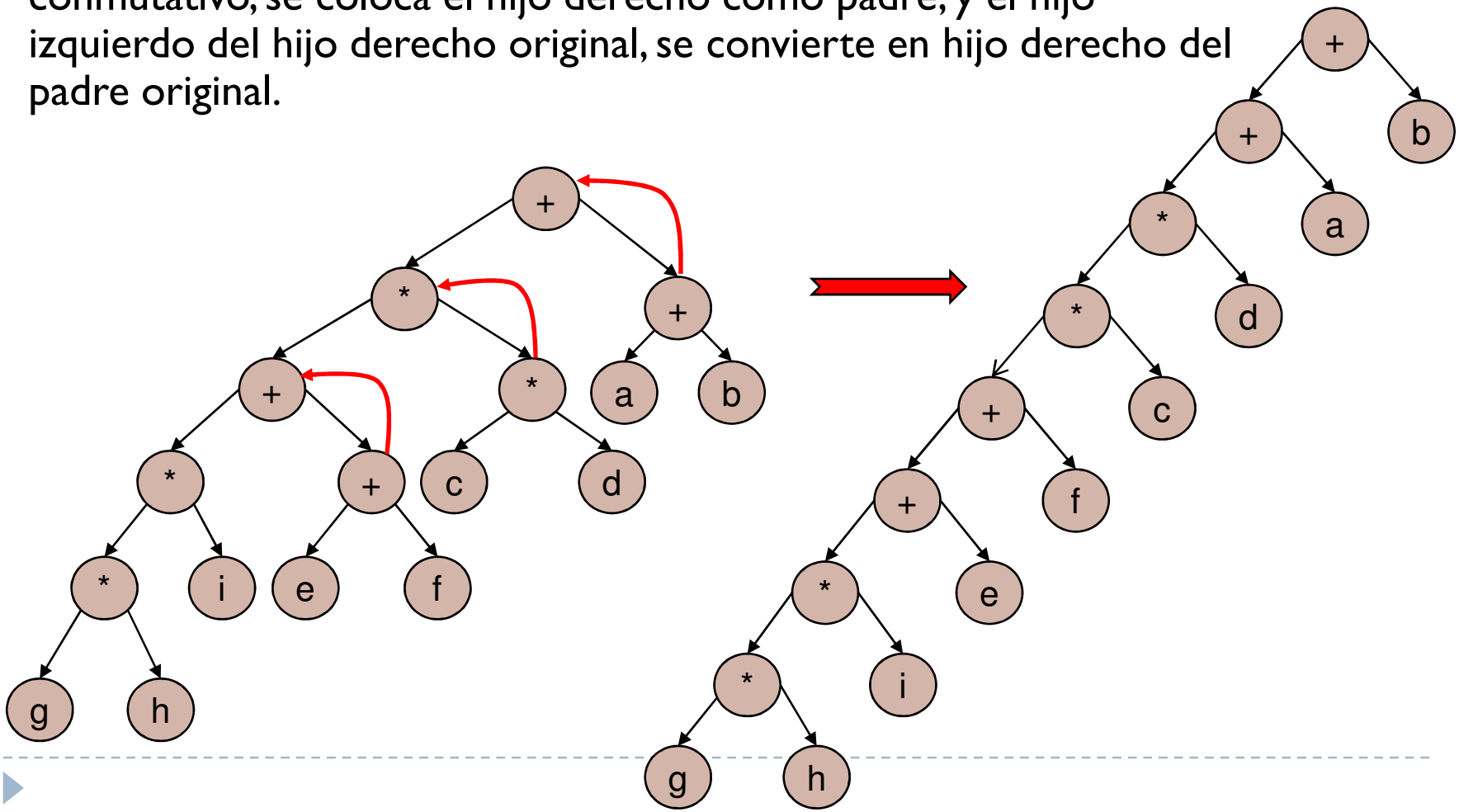
# Reordenamiento de código – Paso 1

a + b + c * d * ( e + f + g * h * i )

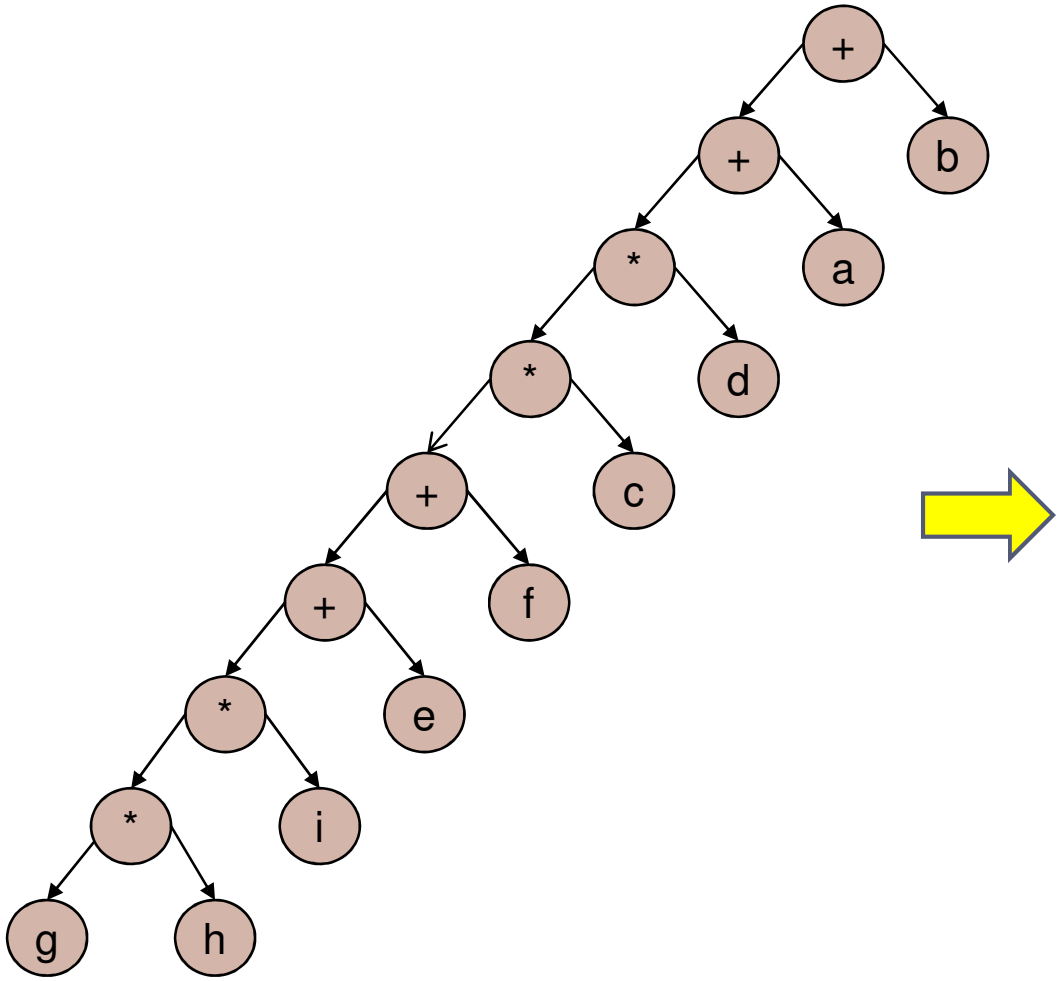


# Reordenamiento de código – Paso 2

- Si el hijo derecho es igual al padre y se trata de un operador conmutativo, se coloca el hijo derecho como padre, y el hijo izquierdo del hijo derecho original, se convierte en hijo derecho del padre original.



# Reordenamiento de código




MOV R1, g
MUL R1, h
MUL R1, i
ADD R1, e
ADD R1, f
MUL R1, c
MUL R1, d
ADD R1, a
ADD R1, b

# Reordenamiento de código

- Desventaja:
  - Puede cambiar situaciones de overflow

- Ejemplo: a + b + c * d * e ⟹ d * e * c + a + b

  con

  a=30000

  b=-30000

  c=5000

  d=2

  e=2

***OVERFLOW!!***

# Otras optimizaciones

- Reducción no simple
  - 2 * a * 3
- Redundancia no simple
  - z = a * b + 7 + b * a
- Propagación de copias de constantes
  - a := 2
  - b := a * 3 $\rightarrow$ b := 6
- Reducción de esfuerzo
  - a^2 es menos costoso hacer a * a
- Código muerto (IF, WHILE, Asignación)

# Ejercicios

- Considerar las siguientes expresiones en las que existen operaciones redundantes:
  - a * b * c – d + a * b
  - a * b – d + c * a * b
  - a * b * c * f – d + b * c
- ¿Qué optimizaciones de redundancia se pueden hacer en cada expresión?
- ¿Y si la gramática fuera recursiva a derecha?

# Ejercicios

- Considerar la optimización redundancia realizada sobre los tercetos terminados.
- Si existen más de dos ocurrencias de la operación redundante en la expresión:
  - ¿Se podrán optimizar todas las ocurrencias?
  - ¿Cómo se realizaría?
  - ¿Tendrá algún impacto la optimización en la Traducción a Assembler?
    - Usando variables auxiliares
    - Usando seguimiento de registros

# ¿PREGUNTAS?