



UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE CÓRDOBA

DEPARTAMENTO DE
INFORMÁTICA Y ANÁLISIS NUMÉRICO

PROGRAMACIÓN DECLARATIVA

INGENIERÍA INFORMÁTICA

ESPECIALIDAD DE COMPUTACIÓN

CUARTO CURSO

PRIMER CUATRIMESTRE

Tema 2.- Expresiones y funciones

Primera
parte:
Scheme

Tema 1.- Introducción al Lenguaje Scheme

Tema 2.- **Expresiones y Funciones**

Tema 3.- Predicados y sentencias condicionales

Tema 4.- Iteración y Recursión

Tema 5.- Tipos de Datos Compuestos

Tema 6.- Abstracción de Datos

Tema 7.- Lectura y Escritura

Segunda
parte: Prolog

Tema 8.- Introducción al Lenguaje Prolog

Tema 9.- Elementos Básicos de Prolog

Tema 10.- Listas

Tema 11.- Reevaluación y el “corte”

Tema 12.- Entrada y Salida

Primera parte: Scheme

Tema 1.- Introducción al Lenguaje Scheme

Tema 2.- Expresiones y Funciones

Tema 3.- Predicados y sentencias condicionales

Tema 4.- Iteración y Recursión

Tema 5.- Tipos de Datos Compuestos

Tema 6.- Abstracción de Datos

Tema 7.- Lectura y Escritura

Índice

1. Elementos básicos de Scheme
2. Expresiones
3. Funciones o procedimientos definidos por el programador
4. Procedimientos anónimos: la forma especial “lambda”
5. Definición de variables locales: la forma especial “let”

Índice

1. Elementos básicos de Scheme
2. Expresiones
3. Funciones o procedimientos definidos por el programador
4. Procedimientos anónimos: la forma especial “lambda”
5. Definición de variables locales: la forma especial “let”

1. Elementos básicos de Scheme

- Caracteres
- Cadenas de caracteres
- Números
- Identificadores

1. Elementos básicos de Scheme

- Caracteres
- Cadenas de caracteres
- Números
- Identificadores

1. Elementos básicos de Scheme

- Caracteres

- Letras
- Dígitos
- Caracteres alfabéticos extendidos
- Espacios en blanco
- Punto y coma
- Caracteres especiales

1. Elementos básicos de Scheme

- Caracteres

- Letras

- *a, b, ..., z, A, B, ..., Z*

- Las letras mayúsculas y minúsculas son consideradas iguales

- **Excepciones**

- ❑ Forman parte de una cadena: “Cadena”

- ❑ Forman parte de un literal : 'Literal

- ❑ Están precedidos de una barra inclinada: \A

1. Elementos básicos de Scheme

- Caracteres
 - Dígitos
 - 0, 1, 2, ..., 9

1. Elementos básicos de Scheme

- Caracteres

- Caracteres alfabéticos extendidos

- + - . * / < = > ! ? : \$ _ & ~ ^

- Algunos poseen un significado especial

- Pueden formar parte de un identificador

- Fin-de-mes, estrella*, saldo.final, etc.

- Convenios de notación

- ✓ !: se asocia a una función que modifica una variable: `editar!`

- ✓ ?: se asocia a un identificador que es un predicado: `persona?`

1. Elementos básicos de Scheme

- Caracteres

- Espacios en blanco

- Espacios en blanco, tabuladores, saltos de línea y saltos de página.
 - Se utilizan para
 - ❑ mejorar la legibilidad del programa
 - ❑ separar los “componentes léxicos”
 - Son significativos cuando forman parte de una cadena de caracteres:
 - ❑ “Cadena con espacios”

1. Elementos básicos de Scheme

- Caracteres

- Punto y coma: “;”

- Se utiliza para crear comentarios de una línea

- ; Ejemplo de comentario de una línea

- ;; Más realce: dos puntos y comas

- Si aparece en una cadena de caracteres, **pierde** su significado especial

- “Punto y coma → ; que **no** inicia un comentario”

1. Elementos básicos de Scheme

- Caracteres

- Caracteres especiales

- Punto: .
- Más y menos: + -
- Paréntesis: ()
- Comilla simple: ' *Backquote*: `
- Coma: ,
- Coma y arroba: ,@
- Comillas dobles: “ ”
- Barra: \
- Corchetes y llaves: [] { }
- Sostenido: #

1. Elementos básicos de Scheme

- Caracteres

- Caracteres especiales

- Punto: .

- Forma parte de

- ✓ Identificadores: `saldo.final`

- ✓ Números: `2.5`

- ✓ Pares : `(a . b)`

- Indica el comienzo de parámetros opcionales

- (lambda (x1 x2 x3 . z))*

1. Elementos básicos de Scheme

- Caracteres

- Caracteres especiales

- + -

- Operadores **prefijos** de adición y sustracción

- ✓ (+ 3 4)

- ✓ (- 10 7)

- Pueden formar parte de

- ✓ identificadores: **fin-de-mes**, **iva+irpf**

- ❖ **Observación**: no debe haber espacios

- ✓ números: **-32**

1. Elementos básicos de Scheme

- Caracteres

- Caracteres especiales

- Paréntesis: ()

- Delimitadores de

- ✓ Expresiones aritméticas: (* 2 (+ a 1))

- ✓ Listas: (a b c d)

1. Elementos básicos de Scheme

- Caracteres

- Caracteres especiales

- Comilla simple: '

- Permite definir un literal

- ✓ *'dato*

1. Elementos básicos de Scheme

- Caracteres

- Caracteres especiales

- *Backquote*: `

- Usado para indicar datos “casi” constantes.
- Permite construir una lista o vector en los que no se conocen todavía todos sus elementos
- Este carácter es equivalente al comando *quasiquote* y se usa junto con “coma y coma y arroba”: ``,``, ``,`@`

(continúa) →

1. Elementos básicos de Scheme

- Caracteres

- Caracteres especiales

- *Backquote:*

(define c 3)

`(a b ,c)

→ *(a b 3)*

(define c 3)

(quasiquote (a b ,c))

→ *(a b 3)*

1. Elementos básicos de Scheme

- Caracteres

- Caracteres especiales

- Coma: ,

- Coma y arroba: , @

- Se utilizan junto con *backquote* para evaluar datos “casi” constantes

- ✓ , → evalúa una expresión

- ✓ ,@ → evalúa una lista

1. Elementos básicos de Scheme

- Caracteres

- Caracteres especiales

- Coma: ,

- Coma y arroba: ,@

- `#(10 5 ,(sqrt 4) ,@(map sqrt '(16 9)) 8)

- ➔ #(10 5 2 4 3 8)

1. Elementos básicos de Scheme

- Caracteres

- Caracteres especiales

- Comillas dobles: " "

- Delimita cadenas de caracteres

- ✓ "Cadena maravillosa"

1. Elementos básicos de Scheme

- Caracteres

- Caracteres especiales

- Barra inclinada: \

- Permite indicar constantes de tipo carácter

- ✓ \a

- También se usa como carácter de escape dentro de una cadena de caracteres

- ✓ " Mi \"gran\" amigo"

1. Elementos básicos de Scheme

- Caracteres

- Caracteres especiales

- *Corchetes y llaves:* [] { }

- Caracteres reservados para futuras ampliaciones del lenguaje.

1. Elementos básicos de Scheme

- Caracteres

- Caracteres especiales

- *Sostenido (almohadilla) (1/3): #*

- *Constantes lógicas:*

- ✓ *#t: verdadero*

- ✓ *#f: falso*

- *Carácter constante:*

- ✓ *#\a*

- *Inicio de un vector:*

- ✓ *#(1 1 1)*

1. Elementos básicos de Scheme

- Caracteres

- Caracteres especiales

- *Sostenido (almohadilla) (2/3): #*

- *Indica que el número es exacto: #e*

- ✓ > #e1e2

- 100

- *Indica que el número es inexacto: #i*

- ✓ > #i1e2

- 100.0

1. Elementos básicos de Scheme

- Caracteres

- Caracteres especiales

- *Sostenido (almohadilla) (3/3) : #*

- ❑ *Número binario: #b101*

- ❑ *Número octal: #o323*

- ❑ *Número decimal: #d910*

- ❑ *Número hexadecimal: #fff*

1. Elementos básicos de Scheme

- Caracteres
- Cadenas de caracteres
- Números
- Identificadores

1. Elementos básicos de Scheme

- Cadenas de caracteres

- Secuencias de caracteres delimitadas por comillas (").
- Las comillas pueden formar parte de una cadena de caracteres si van precedidas de la barra inclinada (\).

- Ejemplos

- "esto es una cadena"
- "dato 3 "
- "Querida \"Marta\": "
- "100"
- "==>"

1. Elementos básicos de Scheme

- Caracteres
- Cadenas de caracteres
- **Números**
- Identificadores

1. Elementos básicos de Scheme

- **Números**
 - Enteros
 - Racionales
 - Reales
 - Complejos

1. Elementos básicos de Scheme

- Números

- Enteros:

- 4, -56, 209,...

- binarios: `#b101` (5 en base 10)

- octales: `#o101` (65 en base 10)

- decimales: 101 ó `#d101`

- hexadecimales: `#x101` (257 en base 10)

- `#f` ó `#F` (15 en base 10)

1. Elementos básicos de Scheme

- Números
 - Racionales
 - $5/3$, $-9/7$, $37/17$, ...
 - Reales
 - 34.7 , -93.001 , 3.0 , ...
 - Complejos
 - $2+3i$, $7.5-3.4i$, $+i$, -...

1. Elementos básicos de Scheme

- Caracteres
- Cadenas de caracteres
- Números
- **Identificadores**

1. Elementos básicos de Scheme

- Identificadores

- Secuencia de letras, dígitos y caracteres “alfabéticos extendidos” que no comienza por un número.
- Ejemplos:
 - *nuevo*
 - *lista->vector*
 - *X2*
 - *grande?*
 - *cambiar?*
 - *fin-de-mes*

1. Elementos básicos de Scheme

- Identificadores

- Secuencia de letras, dígitos y caracteres “alfabéticos extendidos” que no comienza por un número.
- Ejemplos: identificadores válidos pero no recomendables

- +
- **
- <=?
- ...

1. Elementos básicos de Scheme

- Identificadores

- No se distinguen las letras mayúsculas y minúsculas
- Los siguientes identificadores representan el mismo objeto:
 - *nuevo*
 - *NUEVO*
 - *Nuevo*
 - *NueVo*
 - *NuEvO*

1. Elementos básicos de Scheme

- **Identificadores**

- Los identificadores son utilizados para representar
 - Palabras claves
 - Variables
 - Funciones
 - Símbolos

1. Elementos básicos de Scheme

- Identificadores

- Palabras claves

=> *and* *begin* *case*
cond *define* *delay* *do*
else *if* *lambda* *let*
letrec *let** *not* *or*
quasiquote *quote* *set!*
unquote *unquote-splicing*

1. Elementos básicos de Scheme

- Identificadores

- Variables

- Uso de palabras claves como variables

- ❑ Algunos intérpretes permiten que las palabras claves sean usadas como variables

- ❑ **No** es recomendable:

- ✓ Limita la portabilidad

- ✓ Aumenta la ambigüedad

- ✓ Ejemplo: (*define* **define** 9)

1. Elementos básicos de Scheme

- Identificadores

- **Símbolo**

- Representar un símbolo cuando aparece como un literal o dentro de un literal.

- 'uno

- (*quote* uno)

Índice

1. Elementos básicos de Scheme
2. Expresiones
3. Funciones o procedimientos definidos por el programador
4. Procedimientos anónimos: la forma especial “lambda”
5. Definición de variables locales: la forma especial “let”

2. Expresiones

- Descripción
- Tipos de expresiones



2. Expresiones

- Descripción
- Tipos de expresiones



2. Expresiones

- Descripción

- Una expresión una **instrucción** que devuelve un **valor**.
- Las expresiones son escritas mediante una **notación prefija** delimitada por **paréntesis**
- Un programa escrito en **Scheme** es una **secuencia** de
 - expresiones
 - y definiciones de funciones y variables.

2. Expresiones

- Descripción
- Tipos de expresiones



2. Expresiones

- Tipos de expresiones
 - Literales
 - Variables
 - Operadores, funciones o procedimientos
 - Formas especiales

2. Expresiones

- Tipos de expresiones
 - Literales
 - Variables
 - Operadores, funciones o procedimientos
 - Formas especiales

2. Expresiones

- Tipos de expresiones

- Literales

- Los literales son expresiones que se **autoevalúan**

- Cada expresión se evalúa a un dato cuya **representación gráfica** es equivalente a la expresión.

2. Expresiones

- Tipos de expresiones

- Literales

- Tipos de literales

- Números

- Cadenas

- Constantes lógicas (*#t* y *#f*)

- Definidos usando la comilla o *quote*

2. Expresiones

- Tipos de expresiones

- Literales

- Ejemplos (1/4)

Literal

"muestra"

(quote muestra)

'muestra'

valor

"muestra"

muestra

muestra

2. Expresiones

- Tipos de expresiones

- Literales

- Ejemplos (2/4)

Literal

3

(quote 3)

'3

20.5

(quote 20.5)

'20.5

valor

3

3

3

20.5

20.5

20.5

2. Expresiones

- Tipos de expresiones

- Literales

- Ejemplos (3/4)

Literal

(quote (a b c))

'(a b c)

(quote ())

'()

valor

(a b c)

(a b c)

()

()

2. Expresiones

- Tipos de expresiones

- Literales

- Ejemplos (4/4)

Literal

(quote "hola")
"hola"

#t
(quote #t)
'#t

valor

"hola"
"hola"

#t
#t
#t

2. Expresiones

- Tipos de expresiones
 - Literales
 - **Variables**
 - Operadores, funciones o procedimientos
 - Formas especiales

2. Expresiones

- Tipos de expresiones

- **Variable**

- **Identificador** que tiene asociada una **posición de memoria** en la que se puede almacenar un valor.

2. Expresiones

- Tipos de expresiones

- Variable

- Declaración o definición

(*define* <nombre> <expresión>)

- <nombre> es un identificador

- <expresión> es una expresión de Scheme

2. Expresiones

- Tipos de expresiones

- **Variable**

- **define**

- ❑ Reserva una posición de memoria que asocia a la variable.
 - ❑ Si la variable ya existe entonces sólo se produce la asignación del valor.

2. Expresiones

- Tipos de expresiones

- **Variable**

- Se usan las **reglas de ámbito léxico o estático** para determinar el valor de una variable.
 - El valor dependerá del **contexto más próximo** que **contenga** a la variable.

2. Expresiones

- Tipos de expresiones

- Variable

- Ejemplos:

(define x 10)

x

→ 10

(define y 20)

y

→ 20

2. Expresiones

- Tipos de expresiones

- Variable

- Modificación

- Definiendo de nuevo la variable

(define a 12)

a → 12

(define a 15)

a → 15

- Uso de la forma especial **set!**

(define a 12)

(set! a 15)

a → 15

2. Expresiones

- Tipos de expresiones

- **Variable**

- **set!**

- ❑ El símbolo de admiración "!" indica que la forma especial modifica el valor de la variable
- ❑ **No** se puede utilizar la forma especial set! sobre una variable que **no** haya sido **previamente** definida o declarada.

- ❑ **Observación:**

- ✓ la programación funcional se caracteriza por **evitar el uso de set!**

2. Expresiones

- Tipos de expresiones

- Variable

- **Scheme**: un lenguaje **débilmente tipificado** o dinámicamente tipificado,
 - ❑ Los tipos no están asociados a las variables
 - ❑ Los **tipos** están asociados a los **valores**
 - ❑ Una variable puede ser definida con un valor de un cierto tipo y después se le puede asignar el valor de otro tipo.

2. Expresiones

- Tipos de expresiones

- Variable

- **Scheme:** un lenguaje débilmente tipificado o dinámicamente tipificado

- Ejemplo:

(define clave "luna-roja")
clave → *"luna-roja"*

(define clave 10)
clave → *10*

(set! clave 'x)
clave → *x*

2. Expresiones

- Tipos de expresiones
 - Literales
 - Variables
 - **Operadores, funciones o procedimientos**
 - Formas especiales

2. Expresiones

- Tipos de expresiones

- **Operadores, funciones o procedimientos**

- Secuencia de una o más expresiones encerradas entre paréntesis.

2. Expresiones

- Tipos de expresiones

- Operadores, funciones o procedimientos

- Sintaxis

(*<operador>* *<operando₁>* ...)

- ❑ Se utiliza la **notación prefija**

- ❑ Operador:

- ✓ Predefinido: +, *, *sqrt*, *expt*, *acos*, ...

- ✓ Definido por el programador

- ❑ Operando: expresión más simple

2. Expresiones

- Tipos de expresiones

- **Operadores, funciones o procedimientos**

- **Evaluación**

1. Se evalúan el operador y los operandos

- a. Se usa un orden no especificado

- b. Se utilizan las reglas de ámbito estático

- c. Se obtienen un procedimiento y unos argumentos.

2. Se aplica el procedimiento a los argumentos generando el resultado final de la expresión.

2. Expresiones

- Tipos de expresiones

- **Operadores, funciones o procedimientos**

- Los procedimientos definidos por el programador y los suministrados por el intérprete tienen el **mismo tratamiento**.
- Se aconseja **no redefinir** operadores predefinidos por el lenguaje.

- **Ventajas:**

- Eficiencia
- Portabilidad

2. Expresiones

- Tipos de expresiones

- Operadores, funciones o procedimientos

- Ejemplos: suma

- Admite cero argumentos

$(+) \rightarrow 0$

- Un argumento

$(+ 3) \rightarrow 3$

- Dos argumentos

$(+ 3 4) \rightarrow 7$

2. Expresiones

- Tipos de expresiones

- Operadores, funciones o procedimientos

- Ejemplos: suma

- Tres o más argumentos

$(+ 2.7 10 5.0 7) \rightarrow 24.7$

$(+ 4 5 12 7 6) \rightarrow 34$

2. Expresiones

- Tipos de expresiones

- Operadores, funciones o procedimientos

- Ejemplos: suma

- Los argumentos pueden ser sub-expresiones

$$(+ (+ 2.5 4) (+ 3.0 9)) \rightarrow 18.5$$

- Utilización de la forma “sangrada”

$$\begin{aligned} & (+ \\ & \quad (+ 2.5 4) \\ & \quad (+ 3.0 9) \\ &) \end{aligned} \rightarrow 18.5$$

2. Expresiones

- Tipos de expresiones

- Operadores, funciones o procedimientos

- Ejemplos: suma

- Equivalencia

$$(+ (+ 2.5 4) (+ 3.0 9)) \rightarrow 18.5$$

$$(+ 2.5 4 3.0 9) \rightarrow 18.5$$

2. Expresiones

- Tipos de expresiones

- Operadores, funciones o procedimientos

- Ejemplos: suma

- Observación:

- **Siempre** hay que separar el operador de los argumentos usando espacios en blanco

(+3 7 5)

→ Error

2. Expresiones

- Tipos de expresiones

- Operadores, funciones o procedimientos

- Ejemplos: producto

- Cero argumentos

$(*) \rightarrow 1$

- Un argumento

$(* 2) \rightarrow 2$

- Dos argumentos

$(* 2 3) \rightarrow 6$

- Tres o más argumentos

$(* 3 4.0 1.5 2) \rightarrow 36.0$

2. Expresiones

- Tipos de expresiones

- Operadores, funciones o procedimientos

- Ejemplos: producto

- Expresiones anidadas

$(* (* 3.5 3) (* 7 2.5)) \rightarrow 119.75$

- Expresiones “sangradas”

$(*
 (* 3.5 3)
 (* 7 2.5)
) \rightarrow 119.75$

2. Expresiones

- Tipos de expresiones

- Operadores, funciones o procedimientos

- Ejemplos: producto

- Equivalencia

$$(* (* 3.5 3) (* 7 2.5)) \rightarrow 119.75$$

$$(* 3.5 3 7 2.5) \rightarrow 119.75$$

2. Expresiones

- Tipos de expresiones

- Operadores, funciones o procedimientos

- Ejemplos: diferencia

- No admite cero argumentos

- $(-) \rightarrow \text{Error}$

- Un argumento

- $(- 3) \rightarrow -3$

- Dos argumentos

- $(- 10 3) \rightarrow 7$

2. Expresiones

- Tipos de expresiones

- Operadores, funciones o procedimientos

- Ejemplos: diferencia

- Tres o más argumentos

$$(- 10 2 3 4) \rightarrow 1$$

- Equivalente a

$$(- 10 (+ 2 3 4)) \rightarrow 1$$

2. Expresiones

- Tipos de expresiones

- Operadores, funciones o procedimientos

- Ejemplos: diferencia

- Anidamiento de expresiones

$$(- (- 100 25) (- 3 12)) \rightarrow 84$$

$$\begin{array}{l} (- \\ \quad (- 100 25) \\ \quad (- 3 12) \\) \end{array} \rightarrow 84$$

2. Expresiones

- Tipos de expresiones

- Operadores, funciones o procedimientos

- Ejemplos: división

- No admite cero argumentos

$(/) \rightarrow \text{Error}$

- Un argumento

$(/ 9) \rightarrow \frac{1}{9}$

$(/ 9.0) \rightarrow 0.11111111$

2. Expresiones

- Tipos de expresiones

- Operadores, funciones o procedimientos

- Ejemplos: división

- Dos argumentos

$$(/ 10 2) \rightarrow 5$$

$$(/ 10 3) \rightarrow 3 \frac{1}{3}$$

(Nota: *scheme* hace una suma $3 + \frac{1}{3}$)

$$(/ 10 3) \rightarrow 3.333333$$

2. Expresiones

- Tipos de expresiones

- Operadores, funciones o procedimientos

- Ejemplos: división

- Tres o más argumentos

$(/ 60 3 4) \rightarrow 5$

- Equivalente a

$(/ 60 (* 3 4)) \rightarrow 5$

2. Expresiones

- Tipos de expresiones

- Operadores, funciones o procedimientos

- Ejemplos:

- Anidamiento de expresiones

(+
 (* 2
 (- 7 4)
)
 (/ 10 2)
)
→ 11

2. Expresiones

- Tipos de expresiones
 - Operadores, funciones o procedimientos
 - Ejemplos: expresiones con variables

(define pi 3.141592)
pi → 3.141592

(define radio 10)
radio → 10

(pi (* radio radio))* → 314.1592

2. Expresiones

- Tipos de expresiones
 - Operadores, funciones o procedimientos
 - Ejemplos: expresiones con variables

```
(define area  
  (* pi (* radio radio))  
)
```

```
area → 314.1592
```

2. Expresiones

- Tipos de expresiones

- Operadores, funciones o procedimientos

- Ejemplos: expresiones con variables

(/

(* 4 pi (* radio radio radio))

3

) → 4188.7893

(define volumen

(/

(* 4 pi (* radio radio radio))

3

)

)

volumen → 4188.7893

2. Expresiones

- Tipos de expresiones
 - Operadores, funciones o procedimientos
 - Ejemplos:

(define mejor-pi (/ 355.0 113.0))

mejor-pi → 3.1415929

2. Expresiones

- Tipos de expresiones

- Operadores, funciones o procedimientos

- Ejemplos: *funciones predefinidas*

(sqrt 2) → 1.4142135623730951

(- pi (acos -1.0)) → 0

(exp 1) → 2.718281828459045

(expt 2 3) → 8

2. Expresiones

- Tipos de expresiones
 - Literales
 - Variables
 - Operadores, funciones o procedimientos
 - **Formas especiales**

2. Expresiones

- Tipos de expresiones

- **Formas especiales**

- Expresiones que tienen al principio una palabra clave del lenguaje *scheme*.

2. Expresiones

- Tipos de expresiones

- Formas especiales

- Tipos

- Crean un nuevo contexto de ámbito léxico
✓ *do, lambda, let, let* y letrec*

- Controlan la ejecución
✓ *begin, case, cond, do, if, and, or*

- Manejo de errores
✓ *assert, bkpt y error.*

- Extensiones sintácticas
✓ *macro y syntax*

Índice

1. Elementos básicos de Scheme
2. Expresiones
3. Funciones o procedimientos definidos por el programador
4. Procedimientos anónimos: la forma especial “lambda”
5. Definición de variables locales: la forma especial “let”

3. Funciones o procedimientos definidos por el programador

- Definición de funciones o procedimientos
- Evaluación mediante el modelo de sustitución
- Definiciones internas y estructuras de bloque

3. Funciones o procedimientos definidos por el programador

- Definición de funciones o procedimientos
- Evaluación mediante el modelo de sustitución
- Definiciones internas y estructuras de bloque

3. Funciones o procedimientos definidos por el programador

- Definición de funciones o procedimientos

- Asocia una expresión compuesta a un identificador dentro de un contexto léxico o estático

- Sintaxis

```
(define (<nombre> <argumentos>)  
        <cuerpo>  
)
```

- donde

- ❑ <nombre>: identificador de Scheme
- ❑ <argumentos>: parámetros de la función
- ❑ <cuerpo>

- ✓ *declaración de variables*

- ✓ *declaración de funciones internas*

- ✓ una o más expresiones

3. Funciones o procedimientos definidos por el programador

- Definición de funciones o procedimientos

- Ejemplos

```
(define (cuadrado x)  
  (* x x)  
)
```

- Se invoca el procedimiento "cuadrado"

(*cuadrado* 2) → 4

(*cuadrado* 3.0) → 9.0

(*cuadrado* (+ 3 6)) → 81

(*cuadrado* (*cuadrado* 4)) → 256

3. Funciones o procedimientos definidos por el programador

- Definición de funciones o procedimientos

- Ejemplos

- Llamando a la función “cuadrado” con variables

(define x 3)

(define y 4)

(+

(cuadrado x)

(cuadrado y)

)

→ 25

3. Funciones o procedimientos definidos por el programador

- Definición de funciones o procedimientos

- **Ejemplos**

- Uso de "cuadrado" para definir otra función

```
(define (suma-de-cuadrados x y)  
  (+  
    (cuadrado x)  
    (cuadrado y)  
  )  
)
```

```
(suma-de-cuadrados 3 4) → 25
```

3. Funciones o procedimientos definidos por el programador

- Definición de funciones o procedimientos

- Ejemplos

- Uso de "suma-de-cuadrados" para definir otra función:

```
(define (f z)  
    (suma-de-cuadrados (* z 2) (/ z 2))  
)
```

```
(f (* 2 5))                    → 425
```

3. Funciones o procedimientos definidos por el programador

- Definición de funciones o procedimientos
- Evaluación mediante el modelo de sustitución
- Definiciones internas y estructuras de bloque

3. Funciones o procedimientos definidos por el programador

- Evaluación mediante el método de sustitución
 - **Modelos**
 - Evaluación según el orden de aplicación (*applicative-order evaluation*).
 - Evaluación según el orden normal (*normal-order evaluation*).

3. Funciones o procedimientos definidos por el programador

- Evaluación mediante el método de sustitución
 - **Evaluación en el orden de aplicación: pasos**
 - Evalúa los argumentos y después aplica la función
 1. Se evalúan los valores de los argumentos (en un orden no determinado).
 2. Se aplica la función a los valores de los argumentos.

3. Funciones o procedimientos definidos por el programador

- Evaluación mediante el método de sustitución
 - Evaluación en el orden de aplicación: ejemplo (1/3)
 - Evaluación de $(f (* 2 5))$
 1. Evaluación del valor de z : 10
 2. Aplicación de f a 10
(*suma-de-cuadrados* (* 10 2) (/ 10 2))
 3. Evaluación de los parámetros de *suma-de-cuadrados* (en un orden no determinado)
(*suma-de-cuadrados* 20 5)
 - ...

3. Funciones o procedimientos definidos por el programador

- Evaluación mediante el método de sustitución
 - Evaluación en el orden de aplicación: ejemplo (2/3)
 - Evaluación de $(f (* 2 5))$

4. Aplicación del suma-de-cuadrados a los parámetros 20 y 5
 $(+ (\textit{cuadrado 20}) (\textit{cuadrado 5}))$

5. Aplicación de la función “cuadrado” a sus argumentos
 $(+ (* 20 20) (* 5 5))$

...

3. Funciones o procedimientos definidos por el programador

- Evaluación mediante el método de sustitución
 - Evaluación en el orden de aplicación: ejemplo (3/3)
 - Evaluación de $(f\ 10)$

6. Evaluación de las expresiones

$(+ 400\ 25)$

425

3. Funciones o procedimientos definidos por el programador

- Evaluación mediante el método de sustitución
 - **Evaluación en el orden de aplicación**
 - **Observaciones**
 - ❑ Este modelo permite comprender cómo se aplica una función.
 - ❑ Se utiliza un contexto o ámbito local para la evaluación de los parámetros formales.

3. Funciones o procedimientos definidos por el programador

- Evaluación mediante el método de sustitución
 - **Evaluación en el orden normal: pasos**
 - Se expande completamente y después se reduce
 1. Se sustituye cada función o argumento por expresiones cada vez más simples.
 - ✓ Se obtiene una expresión compuesta exclusivamente por operadores primitivos
 2. Se evalúa la expresión con los operadores primitivos.

3. Funciones o procedimientos definidos por el programador

- Evaluación mediante el método de sustitución

- Evaluación en el orden normal: ejemplo

- Evaluación de $(f (* 2 5))$

1. Sustitución de f y z

$(suma-de-cuadrados (* (* 2 5) 2) (/ (* 2 5) 2))$

2. Sustitución de “suma-de-cuadrados”

$(+ (cuadrado (* (* 2 5) 2)) (cuadrado (/ (* 2 5) 2))$

3. Sustitución de “cuadrado”

$(+ (* (* (* 2 5) 2) (* (* 2 5) 2)) (* (/ (* 2 5) 2) (/ (* 2 5) 2))$
)

3. Funciones o procedimientos definidos por el programador

- Evaluación mediante el método de sustitución

- Evaluación en el orden normal: ejemplo

- Evaluación de $(f (* 2 5))$

- 4. Evaluación de las expresiones

$(+ (* (* (10 2) (* 10 2)) (* (/ 10 2) (/ 10 2)))$

$(+ (* 20 20) (* 5 5))$

$(+ 400 25)$

425

3. Funciones o procedimientos definidos por el programador

- Evaluación mediante el método de sustitución
 - **Comparación del orden normal y el orden aplicativo**
 - El proceso es diferente pero el resultado es el mismo
 - El “orden normal”
 - ❑ Es más **ineficiente**, porque realiza más operaciones
 - ✓ Por ejemplo: evalúa cuatro veces la expresión $(* 2 5)$
 - ❑ Necesita más recursos de memoria

3. Funciones o procedimientos definidos por el programador

- Evaluación mediante el método de sustitución
 - Variantes de la evaluación en orden normal
 - Evaluación retardada (*delayed evaluation*)
 - ☐ Es útil si se manejan “estructuras infinitas de datos”
 - Evaluación de llamada por necesidad (*call by need evaluation*)
 - ☐ Impide evaluaciones múltiples que surgen en la evaluación en orden normal estricta.

3. Funciones o procedimientos definidos por el programador

- Definición de funciones o procedimientos
- Evaluación mediante el modelo de sustitución
- Definiciones internas y estructuras de bloque

3. Funciones o procedimientos definidos por el programador

- Definiciones internas y estructuras de bloque
 - **Contexto o ámbito léxico de una función**
 - Regla de anidamiento más cercano
 - Si un identificador aparece en una función entonces su significado se determina
 1. Comprobando si es una variable local o función interna
 2. O si es un parámetro formal
 3. O buscando en el contexto léxico más próximo que engloba a la función.

3. Funciones o procedimientos definidos por el programador

- Definiciones internas y estructuras de bloque
 - Contexto o ámbito léxico de una función
 - Ejemplo 1

```
(define (prueba x)
```

```
  (* 2 x)
```

```
)
```

```
(prueba 3) → 6
```

3. Funciones o procedimientos definidos por el programador

- Definiciones internas y estructuras de bloque
 - Contexto o ámbito léxico de una función
 - Ejemplo 2

```
(define (prueba x)
```

```
  (define x 9)
```

```
  (* 2 x)
```

```
)
```

```
(prueba 3) → 18
```

3. Funciones o procedimientos definidos por el programador

- Definiciones internas y estructuras de bloque
 - Contexto o ámbito léxico de una función
 - Ejemplo 3

```
(define (area radio)  
  (define pi (/ 355.0 113.0))  
  (* pi radio radio)  
)  
(area 1) → 3.1415929203539825
```

3. Funciones o procedimientos definidos por el programador

- Definiciones internas y estructuras de bloque
 - Contexto o ámbito léxico de una función
 - Ejemplo 4

```
(define pi (/ 355.0 113.0))
```

```
(define (area radio)  
  (* pi radio radio)  
)
```

```
(area 1) → 3.1415929203539825
```

3. Funciones o procedimientos definidos por el programador

- Definiciones internas y estructuras de bloque
 - **Contexto o ámbito léxico de una función**
 - **Funciones anidadas**
 - ❑ Una función también puede incluir la definición de otras funciones internas o auxiliares.
 - ❑ Las funciones internas o auxiliares sólo son **accesibles dentro del contexto** en el que han sido definidas.

3. Funciones o procedimientos definidos por el programador

- Definiciones internas y estructuras de bloque
 - Contexto o ámbito léxico de una función
 - Funciones anidadas

□ Ejemplo 5

```
(define (hipotenusa cateto1 cateto2)
```

```
  (define (cuadrado x) (* x x))
```

```
  (sqrt (+
```

```
    (cuadrado cateto1)
```

```
    (cuadrado cateto2)
```

```
  )
```

```
)
```

```
)
```

```
(hipotenusa 3 4) → 5
```

```
(cuadrado 2) → Error
```

3. Funciones o procedimientos definidos por el programador

- Definiciones internas y estructuras de bloque
 - Contexto o ámbito léxico de una función
 - Funciones **no** anidadas

□ Ejemplo 6

```
(define (cuadrado x) (* x x))
```

```
(define (hipotenusa cateto1 cateto2)
```

```
  (sqrt (+
```

```
    (cuadrado cateto1)
```

```
    (cuadrado cateto2)
```

```
  )
```

```
)
```

```
)
```

```
(hipotenusa 3 4) → 5
```

```
(cuadrado 2) → 4
```

3. Funciones o procedimientos definidos por el programador

- Definiciones internas y estructuras de bloque
 - Contexto o ámbito léxico de una función
 - Funciones anidadas

□ Ejemplo 7

```
(define (volumen radio)
  ;; variable local
  (define pi (/ 355.0 113.0))
  ;; función auxiliar
  (define (cubo x) (* x x x))
  ;;
  (/ (* 4 pi (cubo radio)) 3)
)
```

(*volumen* 1) → 4.18879056047198

Índice

1. Elementos básicos de Scheme
2. Expresiones
3. Funciones o procedimientos definidos por el programador
4. Procedimientos anónimos: la forma especial “lambda”
5. Definición de variables locales: la forma especial “let”

4. Procedimientos anónimos: la forma especial “lambda”

- Descripción

- Permite crear una función sin nombre

- **Utilidad**

- Funciones auxiliares **temporales**

- Evita definir funciones que nunca serán utilizadas fuera del contexto en el que han sido declaradas.

- Funciones con **parámetros opcionales**

- **Nota:** se explicará más adelante

4. Procedimientos anónimos: la forma especial “lambda”

- Descripción

- Sintaxis

- (*lambda* (<argumentos>) <cuerpo>)

- donde

- <argumentos>

- ✓ parámetros de la función

- <cuerpo>

- ✓ declaración de variables

- ✓ declaración de funciones internas

- ✓ una o más expresiones

4. Procedimientos anónimos: la forma especial “lambda”

- Descripción

- Equivalencia

```
(define (cubo x)  
  (* x x x)  
)
```

```
(define cubo  
  (lambda (x) (* x x x))  
)
```

4. Procedimientos anónimos: la forma especial “lambda”

- Descripción
 - Ejemplo:

```
(  
  (lambda (x y z)  
    (* x y (+ 3 z)))  
  2 3 4  
)  
→ 42
```


4. Procedimientos anónimos: la forma especial “lambda”

- Descripción

- Ejemplo

```
(define (volumen radio)  
  ;; variable local  
  (define pi (/ 355.0 113.0))  
  ;;  
  (/   
     (* 4.0  
       pi  
       ((lambda (x) (* x x x)) radio)  
     )  
     3.0  
  )  
)  
(volumen 1) → 4.18879056047198
```

4. Procedimientos anónimos: la forma especial “lambda”

- Descripción

- Ejemplo

- No es obligatorio el uso de lambda
(*define* (volumen radio)

;; variable local

(*define* pi (/ 355.0 113.0))

;;

(/

(* 4

pi

(* radio radio radio)

)

3)

)

4. Procedimientos anónimos: la forma especial “lambda”

- Descripción

- Se recomienda el uso de *lambda* si un **parámetro** está asociado a una **expresión compleja** que se **repite** muchas veces.

4. Procedimientos anónimos: la forma especial “lambda”

- Descripción

- Ejemplo

```
(define (volumen circunferencia)  
  (define pi (/ 355.0 113.0))  
    (/   
      (* 4  
        pi  
        ((lambda (x) (* x x x))  
          (/ circunferencia 2 pi)  
        )  
      )  
    )  
  )  
)
```

4. Procedimientos anónimos: la forma especial “lambda”

- Descripción

- Ejemplo: variable local que calcula el radio

```
(define (volumen circunferencia)
```

```
  (define pi (/ 355.0 113.0))
```

```
  (define radio (/ circunferencia 2 pi))
```

```
    (/
```

```
      (* 4
```

```
        pi
```

```
        ((lambda (x) (* x x x))
```

```
          radio
```

```
      )
```

```
    )
```

```
  )
```

```
)
```

```
)
```

Índice

1. Elementos básicos de Scheme
2. Expresiones
3. Funciones o procedimientos definidos por el programador
4. Procedimientos anónimos: la forma especial “lambda”
5. Definición de variables locales: la forma especial “let”

5. Definición de variables locales: la forma especial “let”

- Introducción
- Descripción
- Comparación entre “*let*” y “*define*”
- Forma especial “*let**”

5. Definición de variables locales: la forma especial “let”

- Introducción
- Descripción
- Comparación entre “*let*” y “*define*”
- Forma especial “*let**”

5. Definición de variables locales: la forma especial “let”

- Introducción

- La forma especial *lambda* también se utiliza para definir variables locales.
- A menudo, las funciones necesitan variables distintas de las que han sido enlazadas como parámetros formales.

5. Definición de variables locales: la forma especial “let”

- Introducción

- **Ejemplo (1/5)**

- Uso de “la fórmula de Herón” para calcular el área de un triángulo.

$$\text{área} = \sqrt{s(s-a)(s-b)(s-c)}$$

- donde

- a, b y c: lados del triángulo

- s: semi-perímetro = $(a + b + c) / 2$

5. Definición de variables locales: la forma especial “let”

- Introducción

- Ejemplo (2/5)

- Primera versión: variable local creada con *define*

```
(define (Heron a b c)  
  ;; variable local: semi-perímetro  
  (define s (/ (+ a b c) 2.0))  
  ;;  
  (sqrt (* s (- s a) (- s b) (- s c))))  
)
```

5. Definición de variables locales: la forma especial “let”

- Introducción

- **Ejemplo (3/5)**

- Segunda versión: función auxiliar

```
(define (Heron a b c)  
  :: función auxiliar  
  (define (auxiliar s)  
    (sqrt (* s (- s a) (- s b) (- s c))  
  )  
  :: llamada a la función auxiliar  
  (auxiliar (/ (+ a b c) 2.0))  
)
```

5. Definición de variables locales: la forma especial “let”

- Introducción

- **Ejemplo (4/5)**

- Tercera versión: función anónima (lambda)

```
(define (Heron a b c)  
  ( (lambda (s)  
    (sqrt (* s (- s a) (- s b) (- s c))  
  )  
  (/ (+ a b c) 2.0)  
)
```

5. Definición de variables locales: la forma especial “let”

- Introducción

- Ejemplo (5/5)

- Cuarta versión: forma especial “let”

```
(define (Heron a b c)  
  (let ;; variable local de let  
    (  
      (s (/ (+ a b c) 2.0))  
    )  
    ;; cuerpo de let  
    (sqrt (* s (- s a) (- s b) (- s c)))  
  )  
)
```

5. Definición de variables locales: la forma especial “let”

- Introducción
- Descripción
- Comparación entre “*let*” y “*define*”
- Forma especial “*let**”

5. Definición de variables locales: la forma especial “let”

- Descripción

- **Forma especial *let***

- Constructor de enlace de variables que extiende el contexto léxico actual.
 - Permite la definición de variables locales
 - Permite evaluar expresiones en un ámbito léxico específico.

5. Definición de variables locales: la forma especial “let”

- Descripción
 - Sintaxis

```
(let ;; zona de variables locales  
  (  
    (<variable1> <expresión1>)  
    (<variable2> <expresión2>)  
    ...  
    (<variablen> <expresiónn>)  
  )  
  ;; cuerpo de let  
  <cuerpo>  
)
```

5. Definición de variables locales: la forma especial “let”

- Descripción

- Semántica

- **Paso 1:** se evalúan las expresiones en un orden no determinado (“evaluación en paralelo”)
 - El ámbito de cada variable local se circunscribe al **cuerpo** de *let* y, por tanto, **no** incluye a las expresiones que asociadas a las variables.
- **Paso 2:** el valor de cada expresión se **asigna** a la variable correspondiente.
- **Paso 3:** evalúa el **cuerpo** en el contexto extendido que incluye las variables de *let*.

5. Definición de variables locales: la forma especial “let”

- Descripción
 - Sintaxis

(let **;; zona de variables locales**

(
 (*<variable₁>* *<expresión₁>*)
 (*<variable₂>* *<expresión₂>*)
 ...
 (*<variable_n>* *<expresión_n>*)
)
;; cuerpo de let
<cuerpo>
)

The diagram illustrates the syntax of the 'let' construct. It shows a list of variable assignments enclosed in parentheses, followed by the body of the 'let' construct. Blue arrows indicate the flow of evaluation: one arrow points from the opening parenthesis to the first assignment, another from the first assignment to the second, and so on, showing a sequential evaluation of the expressions. A large arrow on the left points from the opening parenthesis to the closing parenthesis, indicating the overall structure of the 'let' form.

5. Definición de variables locales: la forma especial “let”

- Descripción

- Forma especial de “lambda” equivalente a “let”

```
(  
  (lambda (<variable1> <variable2> ... <variablen>)  
    <cuerpo>  
  )  
  <expresión1>  
  <expresión2>  
  ...  
  <expresiónn>  
)
```

5. Definición de variables locales: la forma especial “let”

- Descripción

- **Ejemplo (1/5)**

- Se desea computar la función

$$f(x, y) = x (1 + x y)^2 + y (1 - y) + (1 + x y) (1 - y)$$

- Se utilizará dos variables locales: a y b.

- ✓ $a = 1 + x y$

- ✓ $b = 1 - y$

- quedando

- ✓ $f(x, y) = x a^2 + y b + a b$

5. Definición de variables locales: la forma especial “let”

- Descripción

- Ejemplo (2/5)

- Primera versión: uso de “*define*”

```
(define (f x y)
```

```
;; variables locales
```

```
(define a (+ 1 (* x y)))
```

```
(define b (- 1 y))
```

```
;;
```

```
(+
```

```
  (* x (square a))
```

```
  (* y b)
```

```
  (* a b)
```

```
)
```

```
)
```

5. Definición de variables locales: la forma especial “let”

- Descripción

- Ejemplo (3/5)

- Segunda versión: función auxiliar

(define (f x y)

;; función local

(define (auxiliar a b)

(+ (x (square a))*

(y b)*

(a b)*

)

)

;; llamada a la función local

(auxiliar (+ 1 (x y)) (- 1 y))*

)

5. Definición de variables locales: la forma especial “let”

- Descripción

- Ejemplo (4/5)

- Tercera versión: uso de lambda

```
(define (f x y)
```

```
  ( (lambda (a b)
```

```
    (+
```

```
      (* x (square a))
```

```
      (* y b)
```

```
      (* a b)
```

```
    )
```

```
  )
```

```
(+ 1 (* x y)) (- 1 y)
```

```
)
```

```
)
```


5. Definición de variables locales: la forma especial “let”

- Descripción

- Ejemplo (5/5)

- Cuarta versión: uso de *let*

```
(define (f x y)
```

```
  (let (
```

```
    (a (+ 1 (* x y)) )
```

```
    (b (- 1 y) )
```

```
  )
```

```
  (+ (* x (square a))
```

```
    (* y b)
```

```
    (* a b)
```

```
  )
```

```
)
```

```
)
```

5. Definición de variables locales: la forma especial “let”

- Introducción
- Descripción
- Comparación entre “*let*” y “*define*”
- Forma especial “let*”

5. Definición de variables locales: la forma especial “let”

- Comparación entre “*let*” y “*define*”

1. Ámbito de las variables

- El ámbito creado por **define** abarca **todo el contexto** en el que puede ser ejecutado.
- **let (lambda)** crea un ámbito específico para las variables locales
 - ❑ El **ámbito** de una variable declarada con **let** es el **cuerpo de let**.
 - ❑ **let** permite construir expresiones que enlazan variables tan localmente como sea posible.

5. Definición de variables locales: la forma especial “let”

- Comparación entre “*let*” y “*define*”

- **Ejemplo**

- Supóngase que **x** (externa) tiene el valor 5 y que se evalúa la siguiente expresión

```
(+ ;; primer sumando = 33
```

```
  (let (  
    (x 3)  
  )
```

```
    (+ x (* x 10))
```

```
  )
```

```
;; segundo sumando = 5
```

```
x
```

```
)
```

```
→ 38
```

5. Definición de variables locales: la forma especial “let”

- Comparación entre “*let*” y “*define*”

2. Asignación de valores iniciales

- *define*

- ✓ Realiza una evaluación **secuencial** de las expresiones de las variables
- ✓ Una expresión asociada a una variable **puede** usar los valores de las variables anteriores

- *let*

- ✓ Evalúa en **paralelo** (o no determinado) las expresiones de las variables
- ✓ Una expresión de una variable **no** puede usar los valores de las variables anteriores.

5. Definición de variables locales: la forma especial “let”

- Comparación entre “*let*” y “*define*”

- **Ejemplo (1/2)**

- En un contexto externo, “*x*” vale 2
- Se evalúa la siguiente expresión

(let

;; variables locales

(

(x 3)

(y (+ x 2)) ;; “y” toma el valor 4

)

;; cuerpo de let

(x y)*

)

→ 12

5. Definición de variables locales: la forma especial “let”

- Comparación entre “*let*” y “*define*”

- **Ejemplo (2/2)**

- Por el contrario, la siguiente secuencia

```
(define x 3)  
(define y (+ x 2))
```

```
;;  
(* x y)
```

→ 15

5. Definición de variables locales: la forma especial “let”

- Introducción
- Descripción
- Comparación entre “*let*” y “*define*”
- Forma especial “*let**”

5. Definición de variables locales: la forma especial “let”

- Forma especial “*let**”

- **Descripción**

- Variante de la forma especial **let** que sí permite evaluar las variables locales de forma secuencial o consecutiva.

- **Reglas de contexto**

- El ámbito de cada variable local se extiende desde su inicialización hasta el cuerpo de **let***.
- Por tanto,
 - la evaluación de la segunda variable se realiza en un contexto en el cual la primera variable enlace es visible,
 - y así sucesivamente.

5. Definición de variables locales: la forma especial “let”

- Forma especial “*let**”

- **Ejemplo**

```
(let* (  
  (x 3)  
  (y (+ x 2))  
)  
  ;;  
  (* x y)  
)  
→ 15
```

5. Definición de variables locales: la forma especial “let”

- Forma especial “*let**”

- **Sintaxis:** similar a la de *let*

(*let** ;; *zona de variables locales*

(

(*<variable₁>* *<expresión₁>*)

(*<variable₂>* *<expresión₂>*)

...

(*<variable_n>* *<expresión_n>*)

)

;; *cuerpo de let**

<cuerpo>

)

5. Definición de variables locales: la forma especial “let”

- Forma especial “**let***”

- **Ejemplo: let y let* (1/2)**

```
(let ( ;; variables locales de let
      (x 2)
      (y 3)
    )
```

;; cuerpo de let

```
(let* ( ;; variables locales de let*
        (x 7)
        (z (+ x y))
      )
```

*;; cuerpo de let**

```
(* z x)
```

```
)
```

→ 70

5. Definición de variables locales: la forma especial “let”

- Forma especial “**let***”

- **Ejemplo: let y let* (2/2)**

```
(let ( ;; variables locales de let
      (x 2)
      (y 3)
    )
```

```
;; cuerpo de let
```

```
(let* ( ;; variables locales de let*
        (z (+ x y))
        (x 7)
      )
```

```
;; cuerpo de let*
```

```
(* z x)
```

```
)
```

```
)
```

→ 35



UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE CÓRDOBA

DEPARTAMENTO DE
INFORMÁTICA Y ANÁLISIS NUMÉRICO

PROGRAMACIÓN DECLARATIVA

INGENIERÍA INFORMÁTICA

ESPECIALIDAD DE COMPUTACIÓN

CUARTO CURSO

PRIMER CUATRIMESTRE

Tema 2.- Expresiones y funciones