Programación Funcional

Pedro O. Pérez M., PhD.

Implementación de métodos computacionales
Tecnológico de Monterrey

pperezm@tec.mx

07-2023

Contenido I

Contenido II

Lenguajes de programación funcional

En la práctica, los lenguajes funcionales...

- Todo lo modelan con funciones: definiciones y llamadas, la secuencia es una composición de funciones.
- No manejan variables, sólo parámetros.
- No manejan asignación de valores.
- No utilizan iteraciones, sólo recursividad.
- Almacenan todo en listas encadenadas y con asociaciones dinámicas.
- Tratan a las funciones como a los datos: son argumentos, resultados, estructuras.

Conceptualmente, los lenguajes funcionales...

- Son **declarativos**:
  - Expresan qué resolver y no cómo resolverlo.
- Son de **muy alto nivel de abstracción**:
  - Alejados del modelo de Von Nuemann y apegados al pensamiento "natural" humano.
  - Requieren mayor esfuerzo de traducción y pueden consumir muchos recursos en la ejecución.
- Tienen **transparencia referencial**:
  - No hay efectos laterales en memoria que alteren el significado de un programa.
- Son **minimalistas**:
  - Fácil lectura, mantenimiento, **paralelización** y comprobación.

Los lenguajes funcionales...

- Existen desde **1958** con la creación de **LisP** (**List P**rocessing).
- Tienen diferentes grados de hibridez al combinarse con diversos paradigmas. **Haskell** es uno de los consideramos más puro de todos los lenguajes funcionales.
- Han adquirido mayor importancia y popularidad por sus ventajas en el desarrollo de aplicaciones de **Inteligencia Artificial** y **Ciencia de datos**.

Estilo de Programación Funcional

El estilo de la programación funcional se puede usar en los lenguajes imperativos.

```
int factorial (int n)
{ int fact, j;
  fact = 1;
  for (j = 2; j<=n; j++)
     fact = fact * j;
  return fact;
};
```

```
int factorial (int n)
{
   if (n == 0)
     return 1;
   else
     return (n*factorial(n-1));
};
```

Estilo imperativo:

- Uso de variables y asignaciones.
- Uso de ciclos (iteraciones).
- Posible efecto lateral si usáramos variables globales.

Estilo funcional:

- No hay variables ni asignaciones.
- Uso de la recursividad.
- No hay efectos laterales al no usar variables globales.

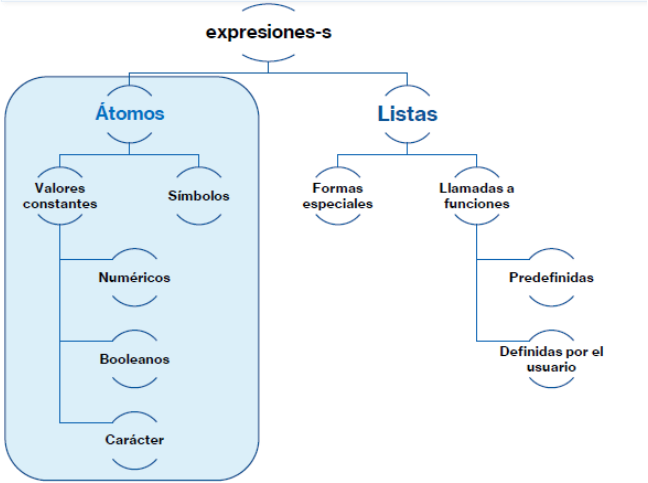
Scheme

- **Scheme** es un lenguaje funcional sencillo, minimalista, para aprender ágilmente el nuevo paradigma.
- Es un dialecto de **Lisp** creado en 1975 por Steele y Sussman (MIT).

Iniciando con Scheme...

- Toda su sintaxis se reduce al formato de una **lista** que es una **expresión-s**.
  - Las listas se delimitan con **paréntesis** y puede tener cero o más elementos.
  - Una lista es una expresión-s cuyos elementos son a su vez una expresión-s.
- Tiene pocas reglas **semánticas**, pues es un lenguaje tipado débil (no hay declaraciones de tipos de datos).

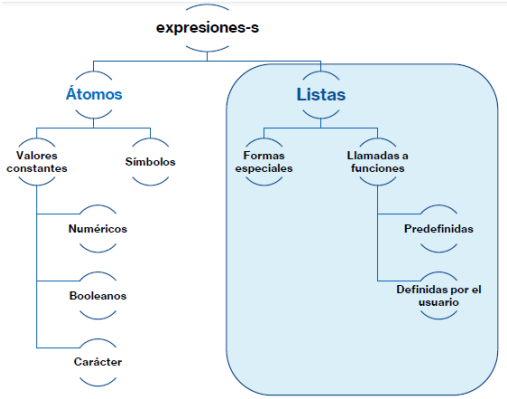
expresiones-s en Scheme



Átomos:

- La evaluación de una constante genera como resultado el valor de la propia constante.
- La evaluación de un símbolo genera como resultado el valor asociado a ese símbolo.
- Un símbolo es un identificador que se construye con cualquier carácter, excepto:

  ( ) [ ] { } ; , ‘ “ # \



Sintaxis de las listas

<Lista> ::= (<Elemento>)

<Elemento> ::= átomo <Elemento>

<Elemento> ::= <Lista> <Elemento>

<Elemento> ::= ϵ

El **primer elemento** en la lista es el **símbolo** que identifica a la **función** o la **forma especial** que se desea evaluar, y los siguientes elementos o datos necesarios para la evaluación.

Funciones predefinidas

- Aritméticas: +, -, *, /, remainder, quotient, sqrt, etc.
- Relacionales: <, <=, >, >=, =.
- Lógicas: and, or, not.
- Predicados: positive?, zero?, even?, null?, char?, etc.
- Manejo de listas: car, cdr, cons, list.
- Manejo de funciones: map, apply.

Expresiones aritméticas en Scheme

- No hay operadores, sólo **funciones multiparámetro** que se aplican sobre los argumentos. **Importante: el formato es prefijo**.
- Ejemplos:
  - `(+)`
  - `(- 8)`
  - `(+ 3 4)`
  - `(+ 2 3 4 5 6 7 8)`
  - `(/ (+ 2 3) 5)`
  - `(+ (/ 2 3) 5)`
  - `(/ (- 7 3) (* 2 5))`

La forma especial `define`

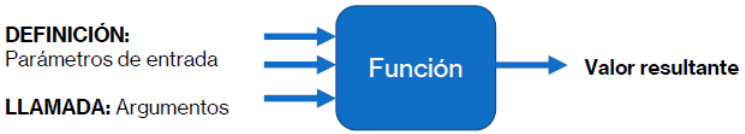
- Sintaxis: `(define símbolo expresión)`.
- Evalúa la expresión y el valor resultante lo asocia con el símbolo, de tal forma que el símbolo queda definido en el ambiente de trabajo.

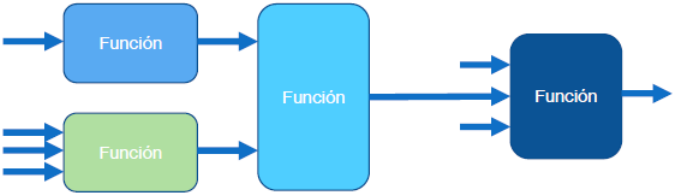
Ejemplos

Vamos a desarrollar las siguientes funciones:

1. La función `sum` recibe como entrada dos números, a y b. La función regresa la suma de ambos.
2. La función `area-of-triangle` recibe como entada la base y altura de un triángulo. La función regresa el área del triángulo.

En el paradigma funciona, todo es una función...





Ejemplos

Vamos a desarrollar las siguientes funciones:

1. La función `area-of-ring` recibe como entrada el radio interno y externo del anillo. La función regresa el área del anillo.
2. La función `volume-of-cylinder` recibe como entra el radio u la altura de un cilindro. La función regresa el volumen del mismo.

Actividad de programación 2

Revisa la actividad en Canvas.

La forma especial quote

- Sintaxis: `(quote símbolo)`.
- Sirve para NO evaluar el símbolo, generando como resultado el propio símbolo. Útil para manejar a los símbolos como datos.
- Puede abreviarse con una comilla y sin necesidad de utilizar a la lista.
- `(quote abc)` es equivalente a `'abc`.

La forma especial `if`

- Sintaxis: `(if predicado if-true if-false)`.
- Se evalúa el predicado, si su valor es verdadero se evalúa la expresión consecuente; si es falso, se evalúa la expresión alternativa.
- Un **predicado** es una expresión que genera un valor booleano al evaluarse.
- A este tipo de evaluación se le conoce como **evaluación floja** (**lazy evaluation**), pues no se evalúa lo que no es necesario.

Ejemplos

Vamos a desarrollar las siguientes funciones:

1. La función `max2` recibe como entrada dos números, a y b. La función regresa el mayor de ambos números.
2. La función `max3` recibe como entrada tres números, a, b y c. La función regresa el mayor de los tres números.

La forma especial `cond`

- Sintaxis: `(cond (`*predicado*$_1$`,` *expresion*$_1$`), (`*predicado*$_2$`,` *expresion*$_2$`), (else` *expresion*$_n$`))`.
- Forma de evaluación: evalúa la primera secuencia de expresiones cuyo predicado sea verdadero; si ningún predicado se cumple, evalúa la expresión del `else`

Ejemplos

Vamos a desarrollar las siguientes funciones:

1. la función **interest** recibe como entrada el saldo de una cuenta bancaria de un banco. El banco paga un 4 % fijo para saldos de hasta \$1000, un 4.5 % fijo anual para saldos de hasta \$5000 y un 5 % fijo para saldos de más de \$5000.
2. La función `how-many` recibe como entrada los coeficientes, a, b y c, de una ecuación cuadrática. La función determina cuántas soluciones tiene la ecuación. Asumiendo que a no es 0, la ecuación tiene:
   - 2 soluciones, si $b^2 > 4ac$.
   - 1 solución, si $b^2 = 4ac$.
   - 0 soluciones, si $b^2 < 4ac$.

Actividad de programación 3

Revisa la actividad en Canvas.

Recursividad en Scheme

- Ya conocemos las herramientas necesarias del lenguaje:
  - Definición y llamadas de funciones.
  - Decisiones con las formas especiales **if** y **cond**.
- Lo importante es **desarrollar el pensamiento recursivo** para la solución de problemas.
- Esto va más allá del uso de lenguaje, es un cambio de paradigma mental.

Para pensar recursivamente:

- Paso 1.
  - Analizar cuál es el **caso más simple o pequeño** del problema que se quiere resolver.
  - Este caso debe de tener una **solución clara y directa, no recursiva**.
  - Este caso se considera el **caso base** de la recursividad, y determina una **condición de salida** de la repetición implícita que se dá en la recursividad.
- Paso 2.
  - Analizar cómo se resuelve el **problema general**, **suponiendo** que ya se tiene "algo" que resuelve el **siguiente caso más pequeño del problema**.
  - Este caso plantea la **solución recursiva** del problema.
  - La solución al siguiente caso más pequeño, se programa con la **llamada recursiva**, que se integra a la solución general del caso.

Ejemplos

Vamos a desarrollar las siguientes funciones:

1. La función que obtiene la sumatoria desde 0 hasta n.
2. La función que despliega n veces el letrero "hola".
3. La función que despliega la secuencia desde n hasta 1.
4. La función que cuenta la cantidad de dígitos de un número entero.

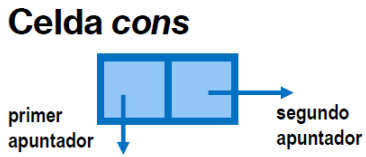
Actividad de programación 4

Revisa la actividad en Canvas.

Listas en Scheme

La herramienta "universal" para representar y trabajar con estructuras de datos.
Sintaxis de las listas
<Lista> ::= (<Elemento>)
<Elemento> ::= átomo <Elemento>
<Elemento> ::= <Lista> <Elemento>
<Elemento> ::= ϵ

Representación interna

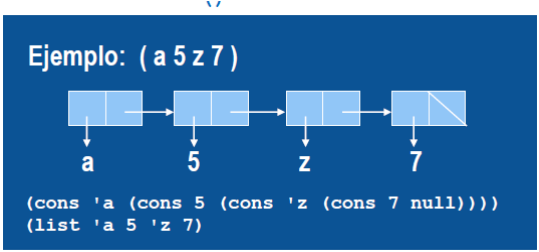


- Las listas están almacenadas internamente en memoria dinámica, utlizando nodos encadenados llamados **"celdas cons"**.
- Una **"celda cons"** consiste de dos apuntadores; ambos pueden apuntar a átomos o a otra "celda cons".
- `null` o `'()` es un valor atómico que representa a la lista vacía.

Construcción de una lista

Visualmente,

- Utilizar la forma especial **quote** con la lista.
- Ejemplos: '(1 2 3 4), '(((a 1) (B 2) (+ 4 X))), '().



Funcionalmente,

- Función primitiva de bajo nivel: **cons**.
  - Formato: `(cons arg1 arg2)`.
  - Crea una **"celda cons"** en memoria, en donde el apuntador apunta a **arg1** y el segundo argumento a **arg2**.
- Función primitiva de alto nivel: **list**.
  - Formato: `(list arg1 arg2 arg3 ...)`.
  - Crea una lista propia en la que cada argumento se convierte en un elemento de la lista (en el orden correspondiente).

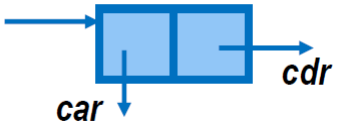
Tipos de listas

- Lista propia. Es aquella cuyo último nodo de la lista apunta a la lista vacía. Visualmente utiliza el formato normal. Ejemplo: `(1 2 3 4)`.
- Lista impropia. Es aquella donde el último nodo de la lista apunta a un átomo diferente a la lista vacía. Sólo se puede construir con la función **cons**. Visualmente termina con un punto antes del último dato. Ejemplo: `(a . 1)`. *Útil cuando se requiere una estructura para almacenar un par de datos relacionados.*
- Lista plana. Es aquella que únicamente contiene átomos en todos los primeros apuntadores de sus **"celdas cons"**. Visualmente no tiene lista anidadas. Ejemplos: `(1 2 3 4)`, `(a . 1)`.
- Lista imbricada (o profunda). Es aquella cuyos elementos no son solo átomos, sino que sus primero apuntadores de sus **"celdas cons"** apuntan a otras listas de cualquier tipo. Visualmente es una lista con listas anidadas. Ejemplo: `((a 1) (b 2) ((1) (z d)))`. *Permite representar cualquier estructura de datos no lineales y/o complejos.*

Acceso a una lista

Función **car**

- Formato: `(car lista)`.
- Genera como resultado el primero elemento de la lista, es decir, el valor apuntado por el primer apuntador de la primera "**celda cons**" de la lista.



Función **cdr**

- Formato: `(cdr lista)`.
- Genera como resultado el "**resto**" **de la lista**, es decir, el valor apuntado por el segundo apuntadora de la primera "**celda cons**" de la lista.

```
(car (cons X Y))  -->  X

(cdr (cons X Y))  -->  Y

(cons (car X) (cdr X))  -->  X
```

¿Porqué **car** y **cdr**?

- **Lisp** fue implementado original en la computadora **IBM 704** en 1958.
- Esta computadora tuvo un soporte especial para dividir una palabra de máquina de 36 bits en cuatro partes, una "address part" y "decrement part" de 15 bits cada una y una "prefix part" y "tag part" de tres bits cada una.
- El lenguaje Lisp se definió asociando esta parte técnica:
  - **car**: Abreviación de "**C**ontents of the **A**ddress part of **R**egister number".
  - **cdr**: Abreviación de "**C**ontents of the **D**ecrement part of **R**egister number".
- Otros lenguajes han sustituido estos nombres por: **first**/**rest** o **head**/**tail**.

Lenguajes como Scheme permiten simplificar las composiciones entre ambas funciones, combinando hasta cuatro a's o d's entre la c y la r

Ejemplo: `(cadddr lista)`
es equivalente a `(car (cdr (cdr (cdr lista))))`

Ejercicios

- ¿Cómo se accede el segundo elemento de una lista?
- ¿Cómo acceder al dato “b” en la lista : (a (b c)?
- ¿Qué resultado se obtiene de: (cddr '(a (b c)))?
- ¿Cómo accede al dato “c” en la lista : (a (b c))?
- ¿Qué resultado se obtiene de : (cons (cadr '(a (b c) d)) (list 'e))?

Unión de 2 listas

Función primitiva de alto nivel: **append**

- Formato: `(append lista1 lista2)`
- Genera una lista que es el resultado de encadenar la `lista1` con la `lista2`, es decir, la última "**celda cons**" de la primera lista apuntará con su segundo apuntador a la primera "**celda cons**" de la segunda lista.
- Sólo se puede utilizar con listas propias.
- Ejemplo: `(append '(1 2 3) (cons 'a (list 'b 'c)))` genera como resultado `(1 2 3 a b c)`.