Algoritmos y Estructuras de Datos I

Primer cuatrimestre de 2023

Departamento de Computación - FCEyN - UBA

Lógica proposicional

Habíamos visto...

Objetivo: Aprender a programar en lenguajes funcionales y en lenguajes imperativos.

- Especificar problemas.
  - Describirlos en un lenguaje semiformal.
- Pensar algoritmos para resolver los problemas.
  - En esta materia nos concentramos en programas para tratamiento de secuencias principalmente.
- Empezar a razonar acerca de estos algoritmos y programas.
  - Veremos conceptos de testing.

Definición (Especificación) de un problema

problema *nombre*(*parámetros*) :tipo de dato del resultado{
  requiere *etiqueta* { condiciones sobre los parámetros de entrada }
  asegura *etiqueta* { condiciones sobre los parámetros de salida }
}

- *nombre*: nombre que le damos al problema
  - será resuelto por una función con ese mismo nombre
- *parámetros*: lista de parámetros separada por comas, donde cada parámetro contiene:
  - Nombre del parámetro
  - Tipo de datos del parámetro
- *tipo de dato del resultado*: tipo de dato del resultado del problema (inicialmente especificaremos funciones)
  - En los asegura, podremos referenciar el valor devuelto con el nombre de **res**
- *etiquetas*: son nombres opcionales que nos servirán para nombrar declarativamente a las condiciones de los requiere o aseguras.

Definición (Especificación) de un problema

- *Sobre los requiere*
  - Describen todas las condiciones y posibles valores o casuísticas de los parámetros de entrada.
  - Puede haber más de un requiere (recomendamos una condición por renglón). Se asume que valen todos juntos (es una conjunción).
  - Evitar contradicciones (un requiere no debería contradecir a otro).
- *Sobre los asegura*
  - Describen todas las condiciones y posibles valores o casuísticas de los parámetros de salida y entrada/salida en función de los parámetros de entrada.
  - Puede haber más de un asegura (recomendamos una condición por renglón). Se asume que valen todos juntos (es una conjunción).
  - Evitar contradicciones (un asegura no debería contradecir a otro).

Antes de continuar... hablemos de lógica proposicional

- Si bien no utilizaremos un lenguaje formal para especificar... ¿Es lo mismo decir...?
  - Mañana llueve e iré a comprar un paragüas
  - Si mañana llueve iré a comprar un paragüas
  - O mañana no llueve o no iré a comprar un paragüas
  - Compraré un paragüas por si mañana llueve
  - Si compro un paragüas, mañana llueve

Lógica proposicional

- Es la lógica que habla sobre las proposiciones.
- Son oraciones que tienen un valor de verdad, Verdadero o Falso (aunque vamos a usar una variación).
- Sirve para poder deducir el valor de verdad de una proposición, a partir de conocer el valor de otras.

Lógica proposicional - Sintaxis

- Símbolos:

$$\text{True} \;,\; \text{False} \;,\; \neg \;,\; \wedge \;,\; \vee \;,\; \rightarrow \;,\; \leftrightarrow \;,\; (\;,\;)$$

- Variables proposicionales (infinitas)

$$p \;,\; q \;,\; r \;,\; \ldots$$

- Fórmulas
  1. True y False son fórmulas
  2. Cualquier variable proposicional es una fórmula
  3. Si A es una fórmula, $\neg A$ es una fórmula
  4. Si $A_1, A_2, \ldots, A_n$ son fórmulas, $(A_1 \wedge A_2 \wedge \cdots \wedge A_n)$ es una fórmula
  5. Si $A_1, A_2, \ldots, A_n$ son fórmulas, $(A_1 \vee A_2 \vee \cdots \vee A_n)$ es una fórmula
  6. Si A y B son fórmulas, $(A \rightarrow B)$ es una fórmula
  7. Si A y B son fórmulas, $(A \leftrightarrow B)$ es una fórmula

Ejemplos

¿Cuáles son fórmulas?

- $p \vee q$ no
- $(p \vee q)$ sí
- $p \vee q \rightarrow r$ no
- $(p \vee q) \rightarrow r$ no
- $((p \vee q) \rightarrow r)$ sí
- $(p \rightarrow q \rightarrow r)$ no

Semántica clásica

- Dos valores de verdad: "verdadero" (V) y "falso" (F).
- Interpretación:
  - True siempre vale V.
  - False siempre vale F.
  - $\neg$ se interpreta como "no", se llama negación.
  - $\wedge$ se interpreta como "y", se llama conjunción.
  - $\vee$ se interpreta como "o"(no exclusivo), se llama disyunción.
  - $\rightarrow$ se interpreta como "si... entonces", se llama implicación.
  - $\leftrightarrow$ se interpreta como "si y solo si", se llama doble implicación o equivalencia.

Semántica clásica: tablas de verdad

Conociendo el valor de las variables proposicionales de una fórmula, podemos calcular el valor de verdad de la fórmula.

p	$\neg p$
V	F
F	V

p	q	$(p \wedge q)$
V	V	V
V	F	F
F	V	F
F	F	F

p	q	$(p \vee q)$
V	V	V
V	F	V
F	V	V
F	F	F

p	q	$(p \rightarrow q)$
V	V	V
V	F	F
F	V	V
F	F	V

p	q	$(p \leftrightarrow q)$
V	V	V
V	F	F
F	V	F
F	F	V

Ejemplo: tabla de verdad para $((p \wedge q) \rightarrow r)$

p	q	r	$(p \wedge q)$	$((p \wedge q) \rightarrow r)$
1	1	1	1	1
1	1	0	1	0
1	0	1	0	1
1	0	0	0	1
0	1	1	0	1
0	1	0	0	1
0	0	1	0	1
0	0	0	0	1

Tautologías, contradicciones y contingencias

- Una fórmula es una tautología si siempre toma el valor V para valores definidos de sus variables proposicionales.
  Por ejemplo, $((p \wedge q) \rightarrow p)$ es tautología:

p	q	$(p \wedge q)$	$((p \wedge q) \rightarrow p)$
V	V	V	V
V	F	F	V
F	V	F	V
F	F	F	V

- Una fórmula es una contradicción si siempre toma el valor F para valores definidos de sus variables proposicionales.
  Por ejemplo, $(p \wedge \neg p)$ es contradicción:

p	$\neg p$	$(p \wedge \neg p)$
V	F	F
F	V	F

- Una fórmula es una contingencia cuando no es ni tautología ni contradicción.

Equivalencias entre fórmulas

- Dos fórmulas A y es B son equivalentes (y se escribe $A \equiv B$) si y sólo si, $A \leftrightarrow B$ es una tautologia.
- **Teorema.** Las siguientes fórmulas son tautologías.

1. Doble negación
   $(\neg\neg p \leftrightarrow p)$
2. Idempotencia
   $((p \wedge p) \leftrightarrow p)$
   $((p \vee p) \leftrightarrow p)$
3. Asociatividad
   $(((p \wedge q) \wedge r) \leftrightarrow (p \wedge (q \wedge r)))$
   $(((p \vee q) \vee r) \leftrightarrow (p \vee (q \vee r)))$
4. Conmutatividad
   $((p \wedge q) \leftrightarrow (q \wedge p))$
   $((p \vee q) \leftrightarrow (q \vee p))$
5. Distributividad
   $((p \wedge (q \vee r)) \leftrightarrow$
   $((p \wedge q) \vee (p \wedge r)))$
   $((p \vee (q \wedge r)) \leftrightarrow$
   $((p \vee q) \wedge (p \vee r)))$
6. Reglas de De Morgan
   $(\neg(p \wedge q) \leftrightarrow (\neg p \vee \neg q))$
   $(\neg(p \vee q) \leftrightarrow (\neg p \wedge \neg q))$

Relación de fuerza

- Decimos que A es más fuerte que B cuando $(A \to B)$ es tautología.
- También decimos que A fuerza a B o que B es más débil que A.
- Por ejemplo,

1. ¿$(p \wedge q)$ es más fuerte que p? Sí
2. ¿$(p \vee q)$ es más fuerte que p? No
3. ¿p es más fuerte que $(q \to p)$? Sí
   Pero notemos que si q está indefinido y p es verdadero entonces $(q \to p)$ está indefinido.
4. ¿p es más fuerte que q? No
5. ¿p es más fuerte que p? Sí
6. ¿hay una fórmula más fuerte que todas? Sí, False
7. ¿hay una fórmula más débil que todas? Sí, True

Expresión bien definida

- Toda expresión está bien definida si todas las proposiciones valen T o F.
- Sin embargo, existe la posibilidad de que haya expresiones que no estén bien definidas.
  - Por ejemplo, la expresión $x/y = 5$ no está bien definida si $y = 0$.
- Por esta razón, necesitamos una lógica que nos permita decir que está bien definida la siguiente expresión
  - $y = 0 \vee x/y = 5$
- Para esto, introducimos tres valores de verdad:

1. verdadero (V)
2. falso (F)
3. indefinido ($\perp$)

Semántica trivaluada (secuencial)

Se llama secuencial porque ...

- los términos se evalúan de izquierda a derecha,
- la evaluación termina cuando se puede deducir el valor de verdad, aunque el resto esté indefinido.

Introducimos los operadores lógicos $\wedge_L$ (y-luego, o *conditional and*, o **cand**), $\vee_L$ (o-luego o *conditional or*, o **cor**).

p	q	$(p \wedge_L q)$
V	V	V
V	F	F
F	V	F
F	F	F
V	$\perp$	$\perp$
F	$\perp$	F
$\perp$	V	$\perp$
$\perp$	F	$\perp$
$\perp$	$\perp$	$\perp$

p	q	$(p \vee_L q)$
V	V	V
V	F	V
F	V	V
F	F	F
V	$\perp$	V
F	$\perp$	$\perp$
$\perp$	V	$\perp$
$\perp$	F	$\perp$
$\perp$	$\perp$	$\perp$

Semántica trivaluada (secuencial)

¿Cuál es la tabla de verdad de $\rightarrow_L$?

p	q	$(p \rightarrow_L q)$
V	V	V
V	F	F
F	V	V
F	F	V
V	$\perp$	$\perp$
F	$\perp$	V
$\perp$	V	$\perp$
$\perp$	F	$\perp$
$\perp$	$\perp$	$\perp$

Entonces...

Lógica proposicional y lógica trivaluada

- Convención: Dado que nuestros tipos de datos siempre tendrán como valor posible el indefinido o $\perp$, en general, asumiremos que estamos utilizando la lógica trivaluada por default.
- Es decir, salvo en los casos dónde se indique lo contrario:
  - $\wedge$ podrá ser interpretado como $\wedge_L$ directamente
  - y así con todos los operadores vistos.

Entonces... hablando de lógica proposicional

- ¿Es lo mismo decir...?
  - Mañana llueve e iré a comprar un paragüas
  - Si mañana llueve iré a comprar un paragüas
  - O mañana no llueve o no iré a comprar un paragüas
  - Compraré un paragüas por si mañana llueve
  - Si compro un paragüas, mañana llueve

Entonces... hablando de lógica proposicional

- Si llamamos:
  - a = Mañana llueve
  - b = Iré a comprar un paragüas
- Mañana llueve e iré a comprar un paragüas
  Lo podriamos modelar como: $a \wedge b$
- Si mañana llueve iré a comprar un paragüas
  Lo podriamos modelar como: $a \rightarrow b$
- O mañana no llueve o no iré a comprar un paragüas
  Lo podriamos modelar como: $\neg a \vee \neg b$
- Compraré un paragüas por si mañana llueve
  - ¡A veces es dificil desambigüar!
  - Por si mañana llueve es una nueva proposición
- Si compro un paragüas, mañana llueve
  Lo podriamos modelar como: $b \rightarrow a$

Práctia 1: Ejercicio 4

Determinar el valor de verdad de las siguientes proposiciones:

a) $(\neg a \vee b)$

b) $(c \vee (y \wedge x) \vee b)$

cuando el valor de verdad de a, b y c es *verdadero*, mientras que el de x e y es *falso*.

Práctia 1: Ejercicio 5

Determinar, utilizando tablas de verdad, si las siguientes fórmulas son tautologías, contradicciones o contingencias.

b) $(p \wedge \neg p)$

d) $((p \vee q) \rightarrow p)$

i) $((p \wedge (q \vee r)) \leftrightarrow ((p \wedge q) \vee (p \wedge r)))$

Práctia 1: Ejercicio 6

Determinar la relación de fuerza de los siguientes pares de fórmulas:

1. *True*, *False* *False*
2. $(p \wedge q)$, $(p \vee q)$ $(p \wedge q)$
3. *True*, *True* *True*
4. p, $(p \wedge q)$ $(p \wedge q)$
7. p, q Ninguna es más fuerte

$\alpha = (p \wedge q)$
$\beta = (p \vee q)$

p	q	α	β	$\alpha \rightarrow \beta$	$\beta \rightarrow \alpha$
0	0	0	0	1	1
0	1	0	1	1	0
1	0	0	1	1	0
1	1	1	1	1	1

$\alpha = (p \wedge q)$

p	q	α	$\alpha \rightarrow p$	$p \rightarrow \alpha$
0	0	0	1	1
0	1	0	1	1
1	0	0	1	0
1	1	1	1	1

Práctia 1: Ejercicio 7

Usando reglas de equivalencia (conmutatividad, asociatividad, De Morgan, etc) determinar si los siguientes pares de fórmulas son equivalencias. Indicar en cada paso qué regla se utilizó.

2.
- $(p \vee q) \wedge (p \vee r)$
- $(\neg p \rightarrow (q \wedge r))$

$$(\neg p \rightarrow (q \wedge r))$$
$$\downarrow \text{Reemplazo implicación}$$
$$(p \vee (q \wedge r))$$
$$\downarrow \text{Distributiva}$$
$$((p \vee q) \wedge (p \vee r))$$

Práctia 1: Ejercicio 7

Usando reglas de equivalencia (conmutatividad, asociatividad, De Morgan, etc) determinar si los siguientes pares de fórmulas son equivalencias. Indicar en cada paso qué regla se utilizó.

6. - $\neg(p \wedge (q \wedge s))$
   - $(s \rightarrow (\neg p \vee \neg q))$

$$\neg(p \wedge (q \wedge s))$$
$$\downarrow \text{De Morgan}$$
$$(\neg p \vee \neg(q \wedge s))$$
$$\downarrow \text{De Morgan}$$
$$(\neg p \vee \neg q \vee \neg s)$$
$$\downarrow \text{Conmutativa}$$
$$(\neg s \vee \neg p \vee \neg q)$$
$$\downarrow \text{Reemplazo implicación}$$
$$(s \rightarrow (\neg p \vee \neg q))$$

Práctia 1: Ejercicio 12

Sean las variables proposicionales f, e y m con los siguientes significados:

- $f \equiv$ "es fin de semana"
- $e \equiv$ "Juan estudia"
- $m \equiv$ "Juan escucha música"

Escribir usando lógica proposicional las siguientes oraciones:

1. "Si es fin de semana, Juan estudia o escucha música, pero no ambas cosas" $f \rightarrow ((e \vee m) \wedge \neg(e \wedge m))$
2. "Si no es fin de semana entonces Juan no estudia" $\neg f \rightarrow \neg e$
3. "Cuando Juan estudia los fines de semana, lo hace escuchando música" $(f \wedge e) \rightarrow m$

Práctia 1: Ejercicio 19

Determinar los valores de verdad de las siguientes proposiciones cuando el valor de verdad de b y c es *verdadero*, el de a es *falso* y el de x e y es *indefinido*:

a) $(\neg x \vee_L b)$

c) $\neg(c \vee y)$

g) $(\neg c \wedge_L \neg y)$

Práctia 1: Ejercicio 20

Determinar los valores de las siguientes fórmulas de Lógica Ternaria cuando el valor de verdad de p es *verdadero*, el de q es *falso* y el de r es *indefinido*:

a) $((9 \leq 9) \wedge p)$

d) $((3 > 9) \vee (r \wedge (q \wedge p)))$

i) $(p \wedge ((5 - 7 + 3 = 0)) \leftrightarrow (2^2 - 1 > 3)))$

Práctia 1: Ejercicio 21

Sean p, q y r tres variables de las que se sabe que:

- p y q nunca están indefinidas,
- r se indefine sii q es *verdadera*

Proponer, para cada ítem, una fórmula que nunca se indefina, utilizando siempre las tres variables. Cada fórmula debe ser verdadera si y solo sí se cumple que:

b) Ninguna es verdadera.

d) Sólo p y q son verdaderas.

Presentemos nuestro lenguaje de especificación

Problemas y Especificaciones

Inicialmente los problemas resolveremos con una computadora serán planteados como funciones. Es decir:

- Dados ciertos datos de entrada, obtendremos un resultado
- Más adelante en la materia, extenderemos el tipo de problemas que podemos resolver...

Definición (Especificación) de un problema

problema *nombre*(*parámetros*) : tipo de dato del resultado {
  requiere *etiqueta*: { condiciones sobre los parámetros de entrada }
  asegura *etiqueta*: { condiciones sobre los parámetros de salida }
}

- *nombre*: nombre que le damos al problema
  - será resuelto por una función con ese mismo nombre
- *parámetros*: lista de parámetros separada por comas, donde cada parámetro contiene:
  - Nombre del parámetro
  - Tipo de datos del parámetro
- *tipo de dato del resultado*: tipo de dato del resultado del problema (inicialmente especificaremos funciones)
  - En los asegura, podremos referenciar el valor devuelto con el nombre de **res**
- *etiquetas*: son nombres opcionales que nos servirán para nombrar declarativamente a las condiciones de los requiere o aseguras.

Definición (Especificación) de un problema

- *Sobre los requiere*
  - Describen todas las condiciones y posibles valores o casuísticas de los parámetros de entrada.
  - Puede haber más de un requiere (recomendamos una condición por renglón). Se asume que valen todos juntos (es una conjunción).
  - Evitar contradicciones (un requiere no debería contradecir a otro).
- *Sobre los asegura*
  - Describen todas las condiciones y posibles valores o casuísticas de los parámetros de salida y entrada/salida en función de los parámetros de entrada.
  - Puede haber más de un asegura (recomendamos una condición por renglón). Se asume que valen todos juntos (es una conjunción).
  - Evitar contradicciones (un asegura no debería contradecir a otro).

¿Cómo contradicciones?

problema *soyContradictorio*$(x : \mathbb{Z}) : \mathbb{Z}\{$
requiere esMayor: $\{x > 0\}$
requiere esMenor: $\{x < 0\}$
asegura esElSiguiente: $\{res + 1 = x\}$
asegura esElAnterior: $\{res - 1 = x\}$
$\}$

Ejemplos

problema *raizCuadrada*$(x : \mathbb{R}) : \mathbb{R}$ $\{$
requiere: $\{x \geq 0\}$
asegura: $\{res * res = x \land res \geq 0\}$
$\}$

problema *sumar*$(x : \mathbb{Z}, y : \mathbb{Z}) : \mathbb{Z}$ $\{$
requiere: $\{True\}$
asegura: $\{res = x + y\}$
$\}$

problema *restar*$(x : \mathbb{Z}, y : \mathbb{Z}) : \mathbb{Z}$ $\{$
requiere: $\{True\}$
asegura: $\{res = x - y\}$
$\}$

problema *cualquieramayor*$(x : \mathbb{Z}) : \mathbb{Z}$ $\{$
requiere: $\{True\}$
asegura: $\{res > x\}$
$\}$

¿Por qué nuestro lenguaje será semiformal?: Ejemplos

problema *raizCuadrada*$(x : \mathbb{R}) : \mathbb{R}$ $\{$
requiere: $\{x$ debe ser mayor o igual que $0\}$
asegura: $\{res$ debe ser mayor o igual que $0\}$
asegura: $\{res$ elevado al cuadrado será $x\}$
$\}$

problema *sumar*$(x : \mathbb{Z}, y : \mathbb{Z}) : \mathbb{Z}$ $\{$
requiere: $\{-\}$
asegura: $\{res$ es la suma de x e $y\}$
$\}$

problema *restar*$(x : \mathbb{Z}, y : \mathbb{Z}) : \mathbb{Z}$ $\{$
requiere: {Siempre cumplen}
asegura: $\{res$ es la resta de x menos $y\}$
$\}$

problema *cualquieramayor*$(x : \mathbb{Z}) : \mathbb{Z}$ $\{$
requiere: {Vale para cualquier valor posible de $x\}$
asegura: $\{res$ debe tener cualquier valor mayor a $x\}$
$\}$

El contrato

- **Contrato:** *El programador escribe un programa P tal que si el usuario suministra datos que hacen verdadera la precondición, entonces P termina en una cantidad finita de pasos retornando un valor que hace verdadera la postcondición.*
- El programa P es correcto para la especificación dada por la precondición y la postcondición exactamente cuando se cumple el contrato.
- Si el usuario no cumple la precondición y P se cuelga o no cumple la poscondición...
  - ¿El usuario tiene derecho a quejarse?
  - ¿Se cumple el contrato?
- Si el usuario cumple la precondición y P se cuelga o no cumple la poscondición...
  - ¿El usuario tiene derecho a quejarse?
  - ¿Se cumple el contrato?

Interpretando una especificación

- problema $raizCuadrada(x : \mathbb{R}) : \mathbb{R}$ {
  requiere: {x debe ser mayor o igual que 0}
  asegura: {res debe ser mayor o igual que 0}
  asegura: {res elevado al cuadrado será x}
  }
- ¿Qué significa esta especificación?
- Se especifica que si el programa `raizCuadrada` se comienza a ejecutar en un estado que cumple $x \geq 0$, entonces el programa **termina** y el estado final cumple $res * res = x$ y $res \geq 0$.

Otro ejemplo

Dados dos enteros **dividendo** y **divisor**, obtener el cociente entero entre ellos.

problema $cociente(dividendo : \mathbb{Z}, divisor : \mathbb{Z}) : \mathbb{Z}$ {
requiere: $\{divisor > 0\}$
asegura: $\{res * divisor \leq dividendo\}$
asegura: $\{(res + 1) * divisor > dividendo\}$
}

Qué sucede si ejecutamos con ...

- dividendo $= 1$ y divisor $= 0$?
- dividendo $= -4$ y divisor $= -2$, y obtenemos $res = 2$?
- dividendo $= -4$ y divisor $= -2$, y obtenemos $res = 0$?
- dividendo $= 4$ y divisor $= -2$, y el programa no termina?

Tipos de datos

- Un **tipo de datos** es un conjunto de valores (el conjunto base del tipo) provisto de una serie de operaciones que involucran a esos valores.
- Para hablar de un elemento de un tipo T en nuestro lenguaje, escribimos un término o expresión
  - Variable de tipo T (ejemplos: x, y, z, etc)
  - Constante de tipo T (ejemplos: 1, -1, $\frac{1}{5}$, 'a', etc)
  - Función (operación) aplicada a otros términos (del tipo T o de otro tipo)
- Todos los tipos tienen un elemento distinguido: $\perp$ o Indef

Tipos de datos de nuestro lenguaje de especificación

- Básicos
  - Enteros ($\mathbb{Z}$)
  - Reales ($\mathbb{R}$)
  - Booleanos (Bool)
  - Caracteres (Char)
- Enumerados
- Uplas
- Secuencias

Tipo $\mathbb{Z}$ (números enteros)

- Su conjunto base son los números enteros.
- Constantes: $0 \;;\; 1 \;;\; -1 \;;\; 2 \;;\; -2 \;;\; \dots$
- Operaciones aritméticas:
  - $a + b$ (suma); $a - b$ (resta); abs(a) (valor absoluto)
  - $a * b$ (multiplicación); a div b (división entera);
  - a mod b (resto de dividir a a por b), a^b o pot(a,b) (potencia)
  - a / b (división, da un valor de $\mathbb{R}$)
- Fórmulas que comparan términos de tipo $\mathbb{Z}$:
  - $a < b$ (menor)
  - $a \leq b$ o a <= b (menor o igual)
  - $a > b$ (mayor)
  - $a \geq b$ o a >= b (mayor o igual)
  - $a = b$ (iguales)
  - $a \neq b$ (distintos)

Tipo $\mathbb{R}$ (números reales)

- Su conjunto base son los números reales.
- Constantes: $0 \;;\; 1 \;;\; -7 \;;\; 81 \;;\; 7{,}4552 \;;\; \pi \dots$
- Operaciones aritméticas:
  - Suma, resta y producto (pero no div y mod)
  - a/b (división)
  - $\log_b(a)$ (logaritmo)
  - Funciones trigonométricas
- Fórmulas que comparan términos de tipo $\mathbb{R}$:
  - $a < b$ (menor)
  - $a \leq b$ o a <= b (menor o igual)
  - $a > b$ (mayor)
  - $a \geq b$ o a >= b (mayor o igual)
  - $a = b$ (iguales)
  - $a \neq b$ (distintos)

Tipo Bool (valor de verdad)

- Su conjunto base es $\mathbb{B} = \{\textbf{true}, \textbf{false}\}$.
- Conectivos lógicos: !, &&, ||, con la semántica bi-valuada estándar.
- Fórmulas que comparan términos de tipo Bool:
  - $a = b$
  - $a \neq b$ (se puese escribir $a\ != b$)

Tipo Char (caracteres)

- Sus elementos son las letras, dígitos y símbolos.
- Constantes: 'a', 'b', 'c', $\dots$, 'z', $\dots$, 'A', 'B', 'C', $\dots$, 'Z', $\dots$, '0', '1', '2', $\dots$, '9' (en el orden dado por el estándar ASCII).
- Función ord, que numera los caracteres, con las siguientes propiedades:
  - $\text{ord}('a') + 1 = \text{ord}('b')$
  - $\text{ord}('A') + 1 = \text{ord}('B')$
  - $\text{ord}('1') + 1 = \text{ord}('2')$
- Función char, de modo tal que si c es cualquier char entonces $\text{char}(\text{ord}(c)) = c$.
- Las comparaciones entre caracteres son comparaciones entre sus órdenes, de modo tal que $a < b$ es equivalente a $\text{ord}(a) < \text{ord}(b)$.

Tipos enumerados

- Cantidad finita de elementos.
  Cada uno, denotado por una constante.

  enum *Nombre* { *constantes* }

- *Nombre* (del tipo): tiene que ser nuevo.
- *Constantes*: nombres nuevos separados por comas.
- Convención: todos en mayúsculas.
- `ord`(a) da la posición del elemento en la definición (empezando de 0).
- Inversa: se usa el nombre del tipo funciona como inversa de `ord`.

Ejemplo de tipo enumerado

Definimos el tipo `Día` así:

```
enum Día {
  LUN, MAR, MIER, JUE, VIE, SAB, DOM
}
```

Valen:

- $\text{ord}(\text{LUN}) = 0$
- $\text{Día}(2) = \text{MIE}$
- $\text{JUE} < \text{VIE}$