

# Práctico 1: Cálculo Proposicional y Expresiones Cuantificadas

Algoritmos y Estructuras de Datos I  
1<sup>er</sup> cuatrimestre 2017

Un objetivo de esta guía es retomar la práctica del cálculo proposicional y de predicados, e introducirnos al cálculo con cuantificadores generales. Otro objetivo es recuperar la práctica en la definición de funciones recursivas y demostraciones por inducción. Lograr familiaridad con los axiomas y teoremas del cálculo, y habilidad en las demostraciones es necesario para poder encarar la tarea de derivación y demostración de programas que encararemos de aquí en adelante.

1. Demostrará los siguientes teoremas del cálculo proposicional utilizando únicamente los axiomas del digesto. Cuando el axioma se aplique en una subfórmula, subrayala para ayudar a distinguir la corrección del paso aplicado. Por ejemplo, la siguiente es una demostración de  $(p \neq (q \neq r)) \equiv ((p \neq q) \neq r)$ :

$$\begin{aligned} & (p \neq (q \neq r)) \\ \equiv & \{ \text{Definición de } \neq \} \\ & \neg(p \equiv (q \neq r)) \\ \equiv & \{ \text{Definición de } \neq \} \\ & \neg(p \equiv \neg(q \equiv r)) \\ \equiv & \{ \text{Definición de } \neg \} \\ & \neg(p \equiv \neg q \equiv r) \\ \equiv & \{ \text{Definición de } \neq \} \\ & (p \equiv \neg q) \neq r \\ \equiv & \{ \text{Definición de } \neq \} \\ & \neg(p \equiv q) \neq r \\ \equiv & \{ \text{Definición de } \neq \} \\ & (p \neq q) \neq r \end{aligned}$$

- a) *Idempotencia de la conjunción:*  $p \wedge p \equiv p$ .
- b) *Neutro de la conjunción:*  $p \wedge True \equiv p$ .
- c) *Absorción de la conjunción:*  $p \wedge (p \vee q) \equiv p$

2. Los siguientes teoremas van a ser de mucha utilidad a lo largo de toda la materia, por lo tanto es útil recordarlos. Demostralos utilizando los axiomas y teoremas del cálculo proposicional listados en el digesto (y cualquier otro teorema que se te ocurra y demuestres, claro). Tené en cuenta las siguientes ayudas que pueden serte útiles:

- Si hay que demostrar una equivalencia, puede ser mejor comenzar con el término más *complejo* e intentar llegar al termino más simple.
- La Regla Dorada siempre es útil cuando el teorema incluye la conjunción, ya que permite obtener una fórmula que incluye la disjunción, para la cual existen mas reglas.
- Las reglas de distributividad ayudan a eliminar paréntesis.
- Para resolver un teorema se pueden utilizar los demás teoremas ya demostrados, sobre todo si tienen la misma *pinta*.

- a) *Debilitamiento para  $\wedge$ :*  $p \wedge q \Rightarrow p$ .
- b) *Debilitamiento para  $\vee$ :*  $p \Rightarrow p \vee q$ .
- c) *Relación entre  $\Rightarrow$  y  $\vee$ :*  $p \Rightarrow q \equiv \neg p \vee q$ .
- d) *Contrarrecíproca:*  $p \Rightarrow q \equiv \neg q \Rightarrow \neg p$ .
- e) *De Morgan para  $\wedge$ :*  $\neg(p \wedge q) \equiv \neg p \vee \neg q$
- f) *De Morgan para  $\vee$ :*  $\neg(p \vee q) \equiv \neg p \wedge \neg q$

- g) Distributividad de  $\vee$  con  $\wedge$ :  $p \vee (q \wedge r) \equiv (p \vee q) \wedge (p \vee r)$
- h) Distributividad de  $\wedge$  con  $\vee$ :  $p \wedge (q \vee r) \equiv (p \wedge q) \vee (p \wedge r)$
- i) Intercambio para  $\Rightarrow$ :  $p \Rightarrow (q \Rightarrow r) \equiv p \wedge q \Rightarrow r$ .
- j) Implicación de la disyunción:  $p \vee q \Rightarrow r \equiv (p \Rightarrow r) \wedge (q \Rightarrow r)$ .
- k) Distributividad de  $\Rightarrow$  con respecto a  $\wedge$ :  $p \Rightarrow (q \wedge r) \equiv (p \Rightarrow q) \wedge (p \Rightarrow r)$ .

3. Para cada una de las siguientes fórmulas, describí su significado utilizando el lenguaje natural.

- a)  $\langle \forall i : 0 \leq i < \#xs : xs.i > 0 \rangle$
- b)  $\langle \exists i : 0 \leq i < \#xs : xs.i = x \rangle$
- c)  $\langle \forall i : 0 \leq i < \#xs : \langle \exists j : 0 \leq j < \#ys : xs.i = ys.j \rangle \rangle$
- d)  $\langle \forall i : 0 \leq i < \#xs - 1 : xs.i = xs.(i + 1) \rangle$

**Observación:** Las desigualdades de la forma  $A \leq B < C$  son abuso de notación para  $(A \leq B) \wedge (B < C)$ .

4. Para cada uno de los ítems del ejercicio anterior, evaluá la fórmula en las siguientes listas:

- a)  $xs = [-5, -3, 4, 8]$
- b)  $xs = [11, 2, 5, 8]$

Para el ítem b), considerar  $x = 5$ . Para el ítem c), considerar  $ys = [2, -3, 11, 5, 8]$ .

**Ejemplo:** Fórmula 4.a) aplicada a  $xs = [-5, -3, 4, 8]$ :

$$\begin{aligned}
 & \langle \forall i : 0 \leq i < \#xs : xs.i > 0 \rangle \\
 \equiv & \{ \text{calculo rango sabiendo que } \#xs = 4 \} \\
 & \langle \forall i : i \in \{0, 1, 2, 3\} : xs.i > 0 \rangle \\
 \equiv & \{ \text{aplico el término a cada elemento del rango} \} \\
 & (xs.0 > 0) \wedge (xs.1 > 0) \wedge (xs.2 > 0) \wedge (xs.3 > 0) \\
 \equiv & \{ \text{evalúo las indexaciones con } xs = [-5, -3, 4, 8] \} \\
 & (-5 > 0) \wedge (-3 > 0) \wedge (4 > 0) \wedge (8 > 0) \\
 \equiv & \{ \text{evalúo las desigualdades} \} \\
 & False \wedge False \wedge True \wedge True \\
 \equiv & \{ \text{resuelvo las conjunciones} \} \\
 & False
 \end{aligned}$$

5. Escribí fórmulas para las siguientes expresiones en lenguaje natural.

- a) Todos los elementos de  $xs$  e  $ys$  son iguales (*¡jojo! ¡sujeta a interpretación!*).
- b) Todos los elementos de  $xs$  ocurren en  $ys$ .
- c) Todos los elementos de  $xs$  ocurren en  $ys$  en la misma posición.

6. Para cada una de las siguientes fórmulas, describí su significado utilizando el lenguaje natural.

- a)  $\langle \prod i : 1 \leq i \leq n : i \rangle$
- b)  $\langle \frac{\sum i : 0 \leq i < \#xs : xs.i}{\#xs} \rangle$
- c)  $\langle \text{Max } i : 0 \leq i < \#xs : xs.i \rangle < \langle \text{Min } i : 0 \leq i < \#ys : ys.i \rangle$
- d)  $\langle \exists i, j : (2 \leq i < n) \wedge (2 \leq j < n) : i * j = n \rangle$

7. Para cada uno de los ítems del ejercicio anterior, evaluá respectivamente con los siguientes valores:

- a)  $n = 5$ .
- b)  $n = 5$ .
- c)  $xs = [6, 9, 3, 9, 8]$ .
- d)  $xs = [-3, 9, 8], ys = [6, 7, 8]$ .

8. Definí recursivamente una función  $todos : [Bool] \rightarrow Bool$  que verifica que todos los elementos de una lista son  $True$ , es decir, que satisface la siguiente especificación:

$$todos.xs \equiv \langle \forall i : 0 \leq i < \#xs : xs.i \rangle$$

9. Suponiendo que  $f : A \rightarrow Bool$  es una función fija cualquiera, y  $xs : [A]$ . Caracterizá con una fórmula la siguiente función recursiva:

$$algunof : [A] \rightarrow Bool$$

$$\begin{aligned} algunof.[] &= False \\ algunof.(x \triangleright xs) &= f.x \vee algunof.xs \end{aligned}$$

10. Enunciá los axiomas de *rango vacío*, *rango unitario*, *partición de rango* y *término constante* para cada uno de los siguientes cuantificadores:

- |   |                            |                           |
|---|----------------------------|---------------------------|
| a) Cuantificador universal ( $\forall$ )  | d) Productoria ( $\prod$ ) | g) Intesección ( $\cap$ ) |
| b) Cuantificador existencia ( $\exists$ ) | e) Máximo (Max)            |                           |
| c) Sumatoria ( $\sum$ )                   | f) Mínimo (Min)            | h) Unión ( $\cup$ )       |

11. Demostrá los teoremas de Separación de Término para un cuantificador arbitrario:

- a)  $\langle \bigoplus i : 0 \leq i < n + 1 : T.i. \rangle = \langle \bigoplus i : 0 \leq i < n : T.i. \rangle \oplus T.n$   
b)  $\langle \bigoplus i : 0 \leq i < n + 1 : T.i. \rangle = T.0 \oplus \langle \bigoplus i : 0 \leq i < n : T.(i + 1) \rangle$

12. Considerá una función  $sumalista : [Num] \rightarrow Num$  que suma todos los elementos de una lista. Por un lado, escribí una especificación que caracterice esta función, utilizando el cuantificador  $\Sigma$ . Por otro lado, escribí un programa recursivo que compute la función.

13. Definí recursivamente las siguientes funciones.

- a) La función *paratodo*, que dada una lista de valores  $xs : [A]$  y un predicado  $T : A \rightarrow Bool$ , determina si todos los elementos en  $xs$  hacen verdadero el predicado  $T$ , es decir:

$$\begin{aligned} paratodo : [A] \rightarrow (A \rightarrow Bool) \rightarrow Bool \\ paratodo.xs.T \equiv \langle \forall i : 0 \leq i < \#xs : T.(xs.i) \rangle \end{aligned}$$

Puede ser de ayuda recordar la función del ejercicio 8.

- b) La función *existe*, que dada una lista de valores  $xs : [A]$  y un predicado  $T : A \rightarrow Bool$ , determina si algún elemento en  $xs$  hace verdadero el predicado  $T$ , es decir:

$$\begin{aligned} existe : [A] \rightarrow (A \rightarrow Bool) \rightarrow Bool \\ existe.xs.T \equiv \langle \exists i : 0 \leq i < \#xs : T.(xs.i) \rangle \end{aligned}$$

Puede ser de ayuda recordar la función del ejercicio 9.

- c) La función *sumatoria*, que dada una lista de valores  $xs : [A]$  y una función  $T : A \rightarrow Num$  (toma elementos de  $A$  y devuelve números), calcula la suma de la aplicación de  $T$  a los elementos en  $xs$  es decir:

$$\begin{aligned} sumatoria : [A] \rightarrow (A \rightarrow Num) \rightarrow Num \\ sumatoria.xs.T \equiv \langle \sum i : 0 \leq i < \#xs : T.(xs.i) \rangle \end{aligned}$$

- d) La función *productoria*, que dada una lista de valores  $xs : [A]$  y una función  $T : A \rightarrow Num$ , calcula el producto de la aplicación de  $T$  a los elementos de  $xs$ , es decir:

$$\begin{aligned} productoria : [A] \rightarrow (A \rightarrow Num) \rightarrow Num \\ productoria.xs.T \equiv \langle \prod i : 0 \leq i < \#xs : T.(xs.i) \rangle \end{aligned}$$

14. Todas las funciones del ejercicio 13 son similares entre sí: cada una aplica la función término  $T$  a todos los elementos de una lista, y luego aplica algún operador entre todos ellos, obteniéndose así el resultado final. Para el caso de la lista vacía, se devuelve el elemento neutro.

Guiándote por esta observación, definí de manera recursiva la función *quantGen* (denota la cuantificación generalizada) que tomando como argumento un operador, su elemento neutro, una lista de elementos y una función término, aplica el operador a los elementos de la lista, transformados por la función término:

$$\text{quantGen} : (B \rightarrow B \rightarrow B) \rightarrow B \rightarrow [A] \rightarrow (A \rightarrow B) \rightarrow B$$

$$\text{quantGen}. \oplus .z.xs.T = \langle \bigoplus i : 0 \leq i < \#xs : T.(xs.i) \rangle$$

15. Podemos definir un cuantificador de *conteo*  $N$  utilizando la sumatoria:

$$\langle N i : R.i : T.i \rangle \doteq \langle \sum i : R.i \wedge T.i : 1 \rangle$$

- Enunciá y demostrá las reglas de *rango vacío*, *rango unitario* y *partición de rango* para  $N$ .
- Demostrá que  $\langle \sum i : R.i \wedge T.i : k \rangle = \langle N i : R.i : T.i \rangle * k$
- ¿Que reglas de los cuantificadores generales no valen?  
¿Por que?

16. Demostrá la siguiente relación entre los cuantificadores de máximo y mínimo:

$$z = \langle \text{Min } i : R.i : -T.i \rangle \equiv z = -\langle \text{Max } i : R.i : T.i \rangle$$

17. Demuestra el siguiente teorema sobre  $\forall$ , utilizando los axiomas y teoremas del digesto:

- *Intercambio para  $\forall$  (generalizada)*:  $\langle \forall i : R.i \wedge S.i : T.i \rangle \equiv \langle \forall i : R.i : S.i \Rightarrow T.i \rangle$
- *Instanciación de  $\forall$* :  $\langle \forall i : T.i \rangle \Rightarrow T.x$ , cuando  $x$  no está cuantificada.  
¿Como sería la regla de instanciación para  $\exists$ ? Enunciala y demostrala.

18. Escribí fórmulas para las siguientes expresiones en lenguaje natural. Responder: ¿Qué tipo tiene cada expresión?

- $n$  es potencia de 2.
- $n$  es el elemento más grande de  $xs$ .
- El producto de los elementos pares de  $xs$ .
- La suma de los elementos en posición par de  $xs$ .

19. (**Separación de un término 2D**) Suponga que  $\bigoplus$  es un cuantificador asociado a un operador genérico  $\oplus$ , que es conmutativo y asociativo (así como el  $\forall$  es el cuantificador asociado a la conjunción  $\wedge$ ). Demuestre las siguientes reglas:

- $\langle \bigoplus i, j : 0 \leq i < j < n + 1 : T.i.j \rangle =$   
 $\langle \bigoplus i, j : 0 \leq i < j < n : T.i.j \rangle \oplus \langle \bigoplus i : 0 \leq i < n : T.i.n \rangle$
- $\langle \bigoplus i, j : 0 \leq i < j < n + 1 : T.i.j \rangle =$   
 $\langle \bigoplus j : 0 \leq j < n : T.0.(j + 1) \rangle \oplus \langle \bigoplus i, j : 0 \leq i \leq j < n : T.(i + 1).(j + 1) \rangle$

**Ayuda:** Escribir las desigualdades en el rango  $0 \leq i \leq j < n + 1$  como  $0 \leq i \wedge i \leq j \wedge j < n + 1$ , aplicar anidado, partición de rango y rango unitario en una de las variables. Puede ser útil esquematizar el rango en ejes cartesianos para visualizar el resultado.