



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE CIENCIAS

ESTRUCTURAS DISCRETAS

LICENCIATURA EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

TAREA 01: NATURALES, INDUCCIÓN Y RECUSIÓN.

Primer Parcial

Autores:

Ramírez Mendoza Joaquín Rodrigo
Villalobos Juárez Gontran Eliut
Treviño Puebla Héctor Jerome

Agosto 2024

Tarea 01: Naturales, inducción y recursión

Ramírez Mendoza Joaquín Rodrigo
Villalobos Juárez Gontran Eliut
Treviño Puebla Héctor Jerome

4 de septiembre de 2024

1.- Demostrar por inducción que para todo natural n se cumple la siguiente igualdad:

$$\sum_{k=0}^n 2^k = 2^{n+1} - 1$$

Demostración por Inducción sobre n

1) **Caso Base:** $n=0$

$$\begin{aligned}\sum_{k=0}^0 2^k &= 2^{0+1} - 1 \\ 2^0 &= 2^1 - 1 \\ 1 &= 1\end{aligned}$$

2) **Hipótesis de Inducción:** Se cumple para n

$$\sum_{k=0}^n 2^k = 2^{n+1} - 1$$

3) **Paso Inductivo:** Por demostrar que se cumple para $n+1$

$$\sum_{k=0}^{n+1} 2^k = 2^{(n+1)+1} - 1$$

$$\sum_{k=0}^{n+1} 2^k = 2^{n+2} - 1$$

$$\sum_{k=0}^n 2^k + 2^{n+1} = 2^{n+2} - 1$$

$$\text{Por H.I. } \sum_{k=0}^n 2^k = 2^{n+1} - 1$$

$$2^{n+1} - 1 + 2^{n+1} = 2^{n+2} - 1$$

$$2^1(2^{n+1}) - 1 = 2^{n+2} - 1$$

$$2^{(n+1)+1} - 1 = 2^{n+2} - 1$$

$$2^{n+2} - 1 = 2^{n+2} - 1$$

Por lo tanto Demostramos que se cumple para toda n que:

$$\sum_{k=0}^n 2^k = 2^{n+1} - 1$$

2.- Demostrar que para todo natural n se cumple la igualdad:

$$\sum_{k=0}^n k(k+1) = \frac{n(n+1)(n+2)}{3}$$

Demostración por Inducción sobre n

1) Caso Base: $n=0$

$$\sum_{k=0}^0 k(k+1) = \frac{0(0+1)(0+2)}{3}$$

$$0(0+1) = \frac{0(1)(2)}{3}$$

$$0(1) = \frac{0}{3}$$

$$0 = 0$$

2) Hipótesis de Inducción: Se cumple para n

$$\sum_{k=0}^n k(k+1) = \frac{n(n+1)(n+2)}{3}$$

3) Paso Inductivo: Por demostrar que se cumple para $n+1$

$$\sum_{k=0}^{n+1} k(k+1) = \frac{(n+1)((n+1)+1)((n+1)+2)}{3}$$

$$\sum_{k=0}^{n+1} k(k+1) = \frac{(n+1)(n+2)(n+3)}{3}$$

$$\sum_{k=0}^n k(k+1) + (n+1)((n+1)+1) = \frac{(n+1)(n+2)(n+3)}{3}$$

$$\sum_{k=0}^n k(k+1) + (n+1)(n+2) = \frac{(n+1)(n+2)(n+3)}{3}$$

$$\text{Por H.I. } \sum_{k=0}^n k(k+1) = \frac{n(n+1)(n+2)}{3}$$

$$\frac{n(n+1)(n+2)}{3} + (n+1)(n+2) = \frac{(n+1)(n+2)(n+3)}{3}$$

$$\frac{n(n+1)(n+2) + 3(n+1)(n+2)}{3} = \frac{(n+1)(n+2)(n+3)}{3}$$

$$\frac{(n+1)(n+2)(n+3)}{3} = \frac{(n+1)(n+2)(n+3)}{3}$$

Por lo tanto Demostramos que se cumple para toda n que:

$$\sum_{k=0}^n k(k+1) = \frac{n(n+1)(n+2)}{3}$$

3.- Para todo $n \in N$ se tiene que $2^{2n} - 1$ es múltiplo de 3.

Demostración por Inducción sobre n

1) Caso Base: $n=0$

$$2^{2(0)} - 1$$

$$2^0 - 1$$

$$1 - 1$$

$$\frac{0}{3} = 0$$

$$0$$

0 es múltiplo de 3, se cumple el Caso Base.

2) Hipótesis de Inducción: La propiedad se cumple para n

$2^{2n} - 1$ es Múltiplo de 3

$$\frac{2^{2n} - 1}{3} \in N$$

3) Paso Inductivo: Por demostrar que se cumple para $n+1$

$$2^{2(n+1)} - 1$$

$$2^{2n+2} - 1$$

$$(2^{2n})(2^2) - 1$$

$$(2^{2n})(4) - 1$$

$$(4)(2^{2n}) - 1$$

$$(4)(2^{2n}) - 4 + 3$$

$$((4)(2^{2n}) - 4) + 3$$

$$(4)(2^{2n} - 1) + 3$$

Por H.I. $2^{2n} - 1$ es Múltiplo de 3

4 por un Múltiplo de 3 es Múltiplo de 3 más 3 sigue siendo un número de 3

Por lo tanto Demostramos que se cumple para toda n que:

$2^{2n} - 1$ es Múltiplo de 3

4.- Demostrar que para todo natural $n \geq 24$, $n = 6p + 5q$ con $p, q \in \mathbb{N}$.

Demostración por Inducción sobre n

1) **Caso Base:** $n = 24$

$$24 = 6(4) + 5(0), p = 4, q = 0 \quad 24 = 24 + 0 \cdot 5 = 24$$

2) **Hipótesis de Inducción:** Se cumple para n

$$n = 6p + 5q \text{ con } p, q \in \mathbb{N}$$

3) **Paso Inductivo:** Por demostrar que se cumple para $n+1$

$$n + 1 = 6p' + 5q'$$

$$n + 1 = 6p + 5q + 1$$

$$n + 1 = 6p + 5(q - i) + 5 + 1$$

$$n + 1 = 6p + 5(q - i) + 6$$

$$n + 1 = (6p + 6) + 5(q - i)$$

$$n + 1 = 6(p + 1) + 5(q - i)$$

$$n + 1 = 6p' + 5q'$$

$$p' = p + 1, p' \in \mathbb{N}$$

$$q' = q - i, q' \in \mathbb{N}$$

Por lo tanto Demostramos que se cumple para toda n que:

$$n \geq 6p + 5q, n \geq 24 \text{ con } p, q \in \mathbb{N}$$

5.- Demostrar por inducción la siguiente igualdad:

$$\sum_{k=1}^n k^3 = \left(\sum_{k=1}^n k \right)^2$$

Demostración por Inducción sobre n

1) **Caso Base:** $n = 1$

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^1 k^3 &= \left(\sum_{k=1}^1 k \right)^2 \\ 1^3 &= (1)^2 \\ 1 &= 1 \end{aligned}$$

2) **Hipótesis de Inducción:** La propiedad se cumple para n

$$\sum_{k=1}^n k^3 = \left(\sum_{k=1}^n k \right)^2$$

3) **Paso Inductivo:** Por demostrar que se cumple para $n+1$

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^{n+1} k^3 &= \left(\sum_{k=1}^{n+1} k \right)^2 \\ \sum_{k=1}^{n+1} k^3 &= \left(\frac{(n+1)((n+1)+1)}{2} \right)^2 \\ \sum_{k=1}^{n+1} k^3 &= \left(\frac{(n+1)(n+2)}{2} \right)^2 \\ \sum_{k=1}^n k^3 + (n+1)^3 &= \left(\frac{(n+1)(n+2)}{2} \right)^2 \end{aligned}$$

$$\text{Por H.I. } \sum_{k=1}^n k^3 = \left(\sum_{k=1}^n k \right)^2$$

$$\left(\sum_{k=1}^n k \right)^2 + (n+1)^3 = \left(\frac{(n+1)(n+2)}{2} \right)^2$$

$$\text{Y sabemos que: } \sum_{k=1}^n k = \frac{n(n+1)}{2}$$

$$\left(\frac{n(n+1)}{2} \right)^2 + (n+1)^3 = \left(\frac{(n+1)(n+2)}{2} \right)^2$$

$$\frac{n^2(n+1)^2}{2^2} + (n+1)^3 = \left(\frac{(n+1)(n+2)}{2} \right)^2$$

$$\frac{n^2(n+1)^2}{4} + (n+1)^3 = \left(\frac{(n+1)(n+2)}{2} \right)^2$$

$$\frac{n^2(n+1)^2 + (4)(n+1)^3}{4} = \left(\frac{(n+1)(n+2)}{2} \right)^2$$

$$\frac{(n+1)^2(n^2 + 4(n+1))}{4} = \left(\frac{(n+1)(n+2)}{2} \right)^2$$

$$\begin{aligned}\frac{(n+1)^2(n^2+4n+4)}{4} &= \left(\frac{(n+1)(n+2)}{2}\right)^2 \\ \frac{(n+1)^2(n+2)^2}{4} &= \left(\frac{(n+1)(n+2)}{2}\right)^2 \\ \left(\frac{(n+1)(n+2)}{2}\right)^2 &= \left(\frac{(n+1)(n+2)}{2}\right)^2\end{aligned}$$

Por lo Tanto demostramos que se cumple para toda n que:

$$\sum_{k=1}^n k^3 = \left(\sum_{k=1}^n k\right)^2$$

6.- Demostrar que para los números de Fibonacci se cumple la siguiente igualdad para toda n natural:

$$F_{n+2} - 1 = \sum_{k=0}^n F_k$$

Demostración por Inducción sobre n

1) Caso Base: $n = 0$

$$\begin{aligned} F_{0+2} - 1 &= \sum_{k=0}^0 F_k \\ F_2 - 1 &= F_0 \\ 1 - 1 &= 0 \\ 0 &= 0 \end{aligned}$$

2) Hipótesis de Inducción: La propiedad se cumple para n

$$F_{n+2} - 1 = \sum_{k=0}^n F_k$$

3) Paso Inductivo: Por demostrar que se cumple para $n+1$

$$\begin{aligned} F_{(n+1)+2} - 1 &= \sum_{k=0}^{n+1} F_k \\ F_{n+3} - 1 &= \sum_{k=0}^{n+1} F_k \\ F_{(n+3)-1} + F_{(n+3)-2} - 1 &= \sum_{k=0}^{n+1} F_k \\ F_{n+2} + F_{n+1} - 1 &= \sum_{k=0}^{n+1} F_k \\ F_{n+2} - 1 + F_{n+1} &= \sum_{k=0}^{n+1} F_k \end{aligned}$$

Por H.I. $F_{n+2} - 1 = \sum_{k=0}^n F_k$

$$\begin{aligned} \sum_{k=0}^n F_k + F_{n+1} &= \sum_{k=0}^{n+1} F_k \\ \sum_{k=0}^{n+1} F_k &= \sum_{k=0}^{n+1} F_k \end{aligned}$$

Por lo Tanto demostramos que se cumple para toda n que:

$$F_{n+2} - 1 = \sum_{k=0}^n F_k$$

7.- Demostrar que la suma es conmutativa; esto es, que para toda $m, n \in \mathbb{N}$ se cumple que: $m + n = n + m$ (se debe probar que $s(m + n) = s(m) + n$, es decir, que la definición de suma también se puede hacer por la izquierda).

Demostración por inducción sobre n para $s(m + n) = s(m) + n$

a) **Caso base:** $n = 0$

$$s(m + 0) = s(m) \quad (1)$$

$$= s(m) + 0 \quad (2)$$

b) **Hip. Ind.:** Sup. que $s(m + n) = s(m) + n$

c) **P.D. que se cumple para:** $s(m + s(n)) = s(m) + s(n)$

$$s(m + (n + 1)) = s((m + n) + 1) \quad (3)$$

$$= s(s(m + n)) \quad (4)$$

$$\mathbf{H.I} = s(s(m) + n) \quad (5)$$

$$= s(m + 1) + n \quad (6)$$

$$= (m + 1) + 1 + n \quad (7)$$

$$= m + 1 + n + 1 \quad (8)$$

$$= s(m) + s(n) \blacksquare \quad (9)$$

Por inducción sobre n para $m + n = n + m$

a) **Caso base:** $n = 0$

$$m + 0 = m = \quad (10)$$

$$= 0 + m \quad (11)$$

b) **Hip. Ind.:** Sup. que $m + n = n + m$

c) **P.D. que se cumple para:** $m + s(n) = s(n) + m$

$$m + s(n) = s(n) + m \quad (12)$$

$$m + s(n) = m + (n + 1) \quad (13)$$

$$= (m + n) + 1 \quad (14)$$

$$= s(m + n) \quad (15)$$

$$\mathbf{H.I} = s(n + m) \quad (16)$$

$$\mathbf{Por\ el\ inciso\ anterior} = s(n) + m \blacksquare \quad (17)$$

$$\therefore \forall n, m \in \mathbb{N}, m + n = n + m$$

8.- Demostrar que el producto es asociativo: $k \cdot (m \cdot n) = (k \cdot m) \cdot n$, para toda k, m naturales y $n \geq 1$ (HINT: se usa la propiedad distributiva).

Por inducción sobre n en la propiedad distributiva. **a) Caso base:** $n = 0$

$$\begin{aligned}(k + m)0 &= 0 \\ &= 0 + 0 \\ &= k(0) + m(0)\end{aligned}$$

b) Hip. Ind.: Sup. que $(k + m)n = k \cdot n + m \cdot n$

c) P.D. que se cumple para: $(k + m)s(n) = k \cdot s(n) + m \cdot s(n)$

$$\begin{aligned}(k + m)s(n) &= s(k + m(n + 1)) \\ &= (k + m)n + (k + m)\end{aligned}$$

$$\text{Por H.I} = k \cdot n + m \cdot n + (k + m)$$

$$\text{Por asociatividad de la suma} = (k \cdot n + k) + (m \cdot n + m)$$

$$= k(n + 1) + m(n + 1)$$

$$= k \cdot s(n) + m \cdot s(n) \blacksquare$$

Por inducción sobre n para $k \cdot (m \cdot n) = (k \cdot m) \cdot n$

a) Caso base: $n = 1$

$$\begin{aligned}k(m \cdot 1) &= k \cdot m \\ &= (k \cdot m)1\end{aligned}$$

b) Hip. Ind.: Sup. que $k \cdot (m \cdot n) = (k \cdot m) \cdot n$

c) Paso inductivo: P.D. que se cumple para: $k \cdot (m \cdot s(n)) = (k \cdot m) \cdot s(n)$

$$k \cdot (m \cdot s(n)) = k \cdot (m \cdot (n + 1))$$

$$\text{Por distributición con la suma} = k \cdot (m \cdot n + m)$$

$$\text{Por distributición con la suma} = k \cdot (m \cdot n) + k \cdot (m)$$

$$\text{Por H.I} = (k \cdot m) \cdot n + k \cdot (m)$$

$$= (k \cdot m) \cdot (n + 1) \blacksquare$$

$$\therefore \forall k, m, n \in \mathbb{N}, k \cdot (m \cdot n) = (k \cdot m) \cdot n$$

9.- Defínase la siguiente sucesión recursivamente:

- Base $a_1 = 1, a_2 = 3$
- Recursión $a_n = a_{n-1} + 2 \cdot a_{n-2}$

Demostrar que para toda n , a_n es impar.

a) **Caso base:** $a_1 = 1$

$$\begin{aligned} a_1 &= 1 \\ &= 2(0) + 1 \\ a_2 &= 3 = 2(1) + 1 \end{aligned}$$

b) **Hip. Ind.:** Sup. que se cumple para

$$\begin{aligned} k \leq n, a_k &= a_{k-1} + 2a_{k-2} \\ a_k &= 2m + 1 \end{aligned}$$

c) **Paso inductivo:** P.D. que se cumple para: $k + 1, a_{k+1} = 2m' + 1$

$$\begin{aligned} a_{k+1} &= a_{(k+1)-1} + 2 \cdot a_{(k+1)-2} \\ &= a_k + 2 \cdot a_{k-1} \end{aligned}$$

$$\text{Por H.I. } = 2m_1 + 1 + 2(2m_2 + 1)$$

$$= 2m_1 + 1 + 4m_2 + 2$$

$$= 2(m_1 + 2m_2 + 1) + 1$$

Notemos que $(m_1 + 2m_2 + 1)$ es entero

$$= 2m' + 1 \blacksquare$$

\therefore existe un k entero tal que $a_n = 2k + 1$

$\therefore \forall a_n \in \mathbb{N}, a_n = 2k + 1$ es impar

10.- Demostrar que la concatenación de las listas tienen las siguientes propiedades:

a) Es asociativa, esto es que para toda lista l_1, l_2 y l_3 se cumple que:

$$l_1 \sqcup (l_2 \sqcup l_3) = (l_1 \sqcup l_2) \sqcup l_3$$

b) Define la función de agregar elementos; esto es:

$$(a : l) = [a] \sqcup l$$

a) Demostración estructural sobre la lista l

1) Caso Base: $l = []$

$$[] \sqcup (l_2 \sqcup l_3) = (l_2 \sqcup l_3) \tag{18}$$

$$= ([] \sqcup l_2) \sqcup l_3 \tag{19}$$

2) Hipótesis de Inducción: Suponemos que

$$l_1 \sqcup (l_2 \sqcup l_3) = (l_1 \sqcup l_2) \sqcup l_3$$

3) Paso Inductivo: Por demostrar que $(a : l_1) \sqcup (l_2 \sqcup l_3) = ((a : l_1) \sqcup l_2) \sqcup l_3$

$$\text{Entonces } (a : l_1) \sqcup (l_2 \sqcup l_3) = (a : (l_1 \sqcup (l_2 \sqcup l_3))) \tag{20}$$

$$\text{Por H.I } l_1 \sqcup (l_2 \sqcup l_3) = (l_1 \sqcup l_2) \sqcup l_3 \tag{21}$$

$$= (a : ((l_1 \sqcup l_2) \sqcup l_3)) \tag{22}$$

$$= (a : (l_1 \sqcup l_2)) \sqcup l_3 \tag{23}$$

$$= ((a : l_1) \sqcup l_2) \sqcup l_3 \blacksquare \tag{24}$$

$$\tag{25}$$

\therefore demostramos que para toda lista l_1, l_2 y l_3 , la operación de concatenación \sqcup es conmutativa

b) Define la función de agregar elementos; esto es:

$$(a : l) = [a] \sqcup l$$

Sea una lista con un elemento a que queremos combinar a la lista l y supongamos que l es una lista de elementos. Entonces nuestra función $cons(a, l)$, donde a será la cabeza y l la cola de de la lista.

Ejemplo:

$$l = [3, 8, 2, 1] \text{ y } a = 1$$

$$cons(a, l) = [1] \sqcup [3, 8, 2, 1] = [1, 3, 8, 2, 1]$$

Nuestra función sería de la forma $cons(a, l) = [a] \sqcup l$

Demostración por Inducción a la lista:

1) Caso Base:

$$cons(a, []) = [a] = [a] \sqcup []$$

2) Hipótesis de Inducción: Suponemos que

$$cons(a, l) = [a] \sqcup l$$

concatena correctamente para cualquier lista l

3) Paso Inductivo: Por demostrar que se cumple para $cons(a, (b : l)) = [a] \sqcup (b : l)$

Por H.I sabemos que la función $cons$ concatena correctamente la cadena, entonces la función regrestorna el valor de $[a] \sqcup l$

$$\therefore cons(a, (b : l)) = [a] \sqcup (b : l) \tag{26}$$

11.- Demostrar las propiedades de la función de reverso de lista

- a) $\text{rev}(l_1 \sqcup l_2) = \text{rev}(l_2) \sqcup \text{rev}(l_1)$
 b) $\text{rev}(\text{rev}(l))$

Inducción estructurada.

- 1) Base: $l_1 = []$

$$\text{rev}([] \sqcup l_2) = \text{rev}(l_2) = \text{rev}(l_2) \sqcup []$$

Así que se cumple que $\text{rev}([] \sqcup l_2) = \text{rev}(l_2) \sqcup \text{rev}([])$.

- 2) Hipótesis de inducción

Supongamos que se cumple $\text{rev}(l_1 \sqcup l_2) = \text{rev}(l_2) \sqcup \text{rev}(l_1)$.

- 3) Demostración

Por demostrar que $a : l_1$:

$$\text{rev}((a : l_1) \sqcup l_2) = \text{rev}(l_2) \sqcup \text{rev}(a : l_1)$$

$$\text{rev}((a : l_1) \sqcup l_2) = \text{rev}(a : (l_1 \sqcup l_2))$$

$$\text{rev}(a : (l_1 \sqcup l_2)) = \text{rev}(l_1 \sqcup l_2) \sqcup [a]$$

Por hipótesis de inducción:

$$\text{rev}(l_1 \sqcup l_2) = \text{rev}(l_2) \sqcup \text{rev}(l_1)$$

$$\text{rev}(l_2) \sqcup \text{rev}(l_1) \sqcup [a] = \text{rev}(l_2) \sqcup \text{rev}(a : l_1)$$

$$\text{rev}((a : l_1) \sqcup l_2) = \text{rev}(l_2) \sqcup \text{rev}(a : l_1)$$

$$\text{rev}(\text{rev}(l)) = l$$

Base: $l = []$

$$\text{rev}(\text{rev}([])) = []$$

Inducción Supongamos que la propiedad se cumple para l :

$$\text{rev}(\text{rev}(l)) = l$$

Demostración:

$$\text{rev}(\text{rev}(a : l)) = \text{rev}(\text{rev}(l) \sqcup [a])$$

$$\text{rev}(\text{rev}(l) \sqcup [a]) = \text{rev}([a] \sqcup \text{rev}(l)) = \text{rev}(\text{rev}(l)) \sqcup [a]$$

Por hipótesis de inducción:

$$\text{rev}(\text{rev}(l)) = l$$

$$l \sqcup [a] = a : l$$

$$\text{rev}(\text{rev}(a : l)) = a : l$$

12. Sea T un árbol binario con un $l = \text{leaves}(T)$ hojas y $h = \text{depth}(T) \geq 1$ de profundidad.

- a) Demostrar que el número de nodos es igual a $2l - 1$.
- b) Demostrar que $\text{leaves}(T) \leq 2^{h-1}$

Demostración por Inducción estructural sobre árboles binarios.

Para a):

$$nn(T) = 2l - 1$$

1) Caso Base: $T = \text{tree}(\text{void}, c, \text{void})$

$$nn(T) = nn(\text{void}) + nn(\text{void}) + 1$$

$$\text{leaves}(\text{tree}(\text{void}, c, \text{void})) = \text{leaves}(\text{void}) + \text{leaves}(\text{void}) + 1$$

$$nn(\text{void}) + nn(\text{void}) + 1 = 2(\text{leaves}(\text{void}) + \text{leaves}(\text{void}) + 1) - 1$$

$$0 + 0 + 1 = 2(0 + 0 + 1) - 1$$

$$1 = 2(1) - 1$$

$$1 = 2 - 1$$

$$1 = 1$$

2) Hipótesis de Inducción: Suponemos que se cumple para T_1 y T_2

$$nn(T_1) = 2l_1 - 1 \text{ y } nn(T_2) = 2l_2 - 1$$

3) Paso Inductivo: Por Demostrar que se cumple T

$$T = \text{tree}(T_1, c, T_2)$$

$$nn(T) = 2l_T - 1$$

$$nn(T_1) + nn(T_2) + 1 = 2l_T - 1$$

$$\textbf{Por H.I.: } nn(T_1) = 2l_1 - 1 \text{ y } nn(T_2) = 2l_2 - 1$$

$$2l_1 - 1 + 2l_2 - 1 + 1 = 2l_T - 1$$

$$2l_1 + 2l_2 - 1 - 1 + 1 = 2l_T - 1$$

$$2l_1 + 2l_2 - 1 = 2l_T - 1$$

$$2(l_1 + l_2) - 1 = 2l_T - 1$$

Sabemos que:

$$\text{leaves}(T) = \text{leaves}(T_1) + \text{leaves}(T_2) = l_1 + l_2$$

Entonces:

$$2l_T - 1 = 2l_T - 1$$

Por lo tanto: Demostramos que se cumple para todo T que:

$$nn(T) = 2l - 1$$

Para b):

$$leaves(T) \leq 2^{h-1}$$

1) **Caso Base:** $T = tree(void, c, void)$

$$leaves(T) = leaves(void) + leaves(void) + 1$$

$$depth(tree(void, c, void)) = 1 + \max[depth(void), depth(void)]$$

Entonces:

$$leaves(void) + leaves(void) + 1 \leq 1 + \max[depth(void), depth(void)]$$

$$0 + 0 + 1 \leq 1 + \max[0, 0]$$

$$1 \leq 1$$

2) **Hipótesis de Inducción:** Suponemos que se cumple para T_1 y T_2

$$leaves(T_1) \leq 2^{h_1-1} \text{ y } leaves(T_2) \leq 2^{h_2-1}$$

3) **Paso Inductivo:** Por Demostrar que se cumple para T

$$T = tree(T_1, c, T_2)$$

$$\blacksquare h_T = depth(T) = 1 + \max(depth(T_1), depth(T_2))$$

$$\blacksquare h_T = 1 + \max(h_1, h_2)$$

$$leaves(T) \leq 2^{h_T-1}$$

$$leaves(T_1) + leaves(T_2) \leq 2^{h_T-1}$$

$$\textbf{Por H.I.}: leaves(T_1) \leq 2^{h_1-1} \text{ y } leaves(T_2) \leq 2^{h_2-1}$$

$$leaves(T_1) + leaves(T_2) \leq 2^{h_1-1} + 2^{h_2-1}$$

Notar que:

$$\blacksquare h_1 \leq \max(h_1, h_2)$$

$$\blacksquare h_2 \leq \max(h_1, h_2)$$

$$2^{h_1-1} + 2^{h_2-1} \leq 2^{\max(h_1, h_2)-1} + 2^{\max(h_1, h_2)-1}$$

$$2^{\max(h_1, h_2)-1} + 2^{\max(h_1, h_2)-1} = (2^1)(2^{\max(h_1, h_2)-1})$$

$$(2^1)(2^{\max(h_1, h_2)-1}) = 2^{\max(h_1, h_2)-1+1}$$

$$2^{1+\max(h_1, h_2)-1}$$

Recordemos que:

$$1 + \max(h_1, h_2) = h_T$$

Entonces:

$$2^{1+\max(h_1, h_2)-1} = 2^{h_T-1}$$

Por lo Tanto: Demostramos que se cumple para todo árbol T que:

$$leaves(T) \leq 2^{h-1}$$

13.- Con la gramática de expresiones aritméticas, genera las derivaciones y los árboles de las siguientes expresiones:

3 a) $2 \cdot x + 3 \cdot y + z$ b) $(x + y) \cdot (a + b)$ c) $x + 2 \cdot b + 1$

Derivaciones

a) $2 \times x + 3 \times y + z$

Derivación:

Iniciamos con Tree. Descomponemos Tree en $T1 + T2$. Descomponemos cada término:

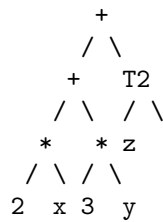
$$T1 = 2 \times x$$

$$T2 = 3 \times y + z$$

Cada operación se deriva de un subárbol:

$$2 \times x \text{ se deriva como } T1 = (\text{void} \times \text{void})$$

$$3 \times y \text{ y } z \text{ se derivan de forma similar.}$$



b) $(x + y) \times (a + b)$

Derivación:

Iniciamos con Tree. Descomponemos Tree en $T1 \times T2$. Descomponemos cada término:

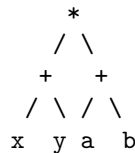
$$T1 = (x + y)$$

$$T2 = (a + b)$$

Cada operación se deriva de un subárbol:

$$x + y \text{ se deriva como } T1 = (T1 + T2)$$

$$a + b \text{ se deriva de forma similar.}$$



c) $x + 2 \times b + 1$

Derivación:

Iniciamos con Tree. Descomponemos Tree en $T1 + T2$. Descomponemos cada término:

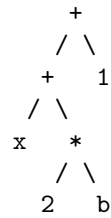
$$T1 = x$$

$$T2 = 2 \times b + 1$$

Cada operación se deriva de un subárbol:

$2 \times b$ se deriva como $T1 = (\text{void} \times \text{void})$

1 se deriva como una hoja $T2 = \text{void}$.



14.- Demostrar que para todo natural a, b con $b > 0$ se cumple que la función:

$$div(a, b) = \begin{cases} (0, a) & \text{si } a < b \\ f(div(a - b, b)) & \text{si } a \geq b \end{cases} \quad (27)$$

donde $f(x, r) = (x + 1, r)$ cumple que $div(a, b) = (x, r)$ con $a = x \cdot b + r$

Inducción sobre los pasos del algoritmo.

a) Caso base: En 0 pasos, tenemos que $a < b \therefore$ Regresa $x = 0$ y $r = a$. \therefore queremos ver que $a = b \cdot 0 + a = 0 + a = a$ y $a = r < b$

b) Hip. Ind.: Sup. que el algoritmo en n pasos regresa c y r tal que $a = bx + r$.

c) Paso inductivo: P.D. que se cumple para $n + 1$ pasos. Entonces tenemos que aplicar la función

$$f(x_n, r_n) = (x + 1, r) = x_{n+1}, r_{n+1}$$

Donde

$$\begin{aligned} b \cdot c_{n+1} + r_{n+1} &= b(n + 1) + r_n - b \\ &= b(x_n) + b + r_n - b \\ &= b(x_n) + r_n \end{aligned}$$

Por H.I $= a$

\therefore el algoritmo termina $\Rightarrow \forall a, b \in \mathbb{N}(b > 0)$ se cumple la función

15. Demuestra que la siguiente funcion recursiva para lista de enteros:

$$\max(a : []) = a$$

$$\max(a : l) = \begin{cases} a & \text{si } a \geq \max(l) \\ \max(l) & \text{si } a < \max(l) \end{cases}$$

Regresa siempre el Valor máximo de la lista.

Por inducción sobre los pasos del algoritmo.

1) Caso Base:

En 0 pasos $\rightarrow \max(a : []) = a$

Regresa a que es el máximo de la lista que solo contiene a .

2) Hipótesis de Inducción:

Suponemos que el algoritmo sobre cualquier lista l en n pasos regresa $\max(l)$, es decir, el valor máximo de la lista.

3) Paso Inductivo: Por Demostrar que se cumple para $(a : l)$ que la función \max regresa el valor máximo. Entonces para $n + 1$ pasos, se aplica para la lista.

$$\max(l') = \max(a : l)$$

Debemos evaluar en dos casos:

$$\max(a : l) = \begin{cases} a & \text{si } a \geq \max(l) \\ \max(l) & \text{si } a < \max(l) \end{cases}$$

Para el Caso en que $a \geq \max(l)$ se toma el valor a , Puesto que por [H.I.] sabemos que de la lista l la función $\max(l)$ nos dará el valor máximo, al comparar este con a tendremos el caso en que a es mayor, por lo que podemos tomar a y también en el caso en que $a = \max(l)$. Así en este caso tenemos el valor máximo de la lista y la función termina.

Para el Caso en que $\max(l) > a$ también podemos afirmar que por [H.I.] se cumple tenemos el valor máximo de la lista $\max(a : l)$ puesto que a no es mayor al máximo del resto de la lista, luego la función termina.

Se cumple para ambos casos.

Por lo tanto: Podemos afirmar que el algoritmo \max regresa el valor máximo para toda lista l . El algoritmo $\max(l)$ es parcialmente completo y correcto.