

## CLASE 3 - 10/2/2025

### Recursión

#### Observación

Dado un conjunto inductivo, sabemos exactamente como se construyen sus elementos. Esta información sirve para:

- Probar propiedades de los elementos del conjunto (inducción)
- Definir funciones sobre sus elementos (recursión)

#### Definición (función)

Tenemos varias formas de ver lo que es una función en este contexto:

1. Una función es una relación que asocia un único elemento del codominio a cada elemento del dominio.
2. Una función es un mecanismo de cómputo que para cada valor de entrada (valor del dominio) devuelve **efectivamente** un valor de salida (valor del codominio).

**Observación:** Donde efectivamente significa que la función termina de computar en un tiempo finito para cualquier elemento del dominio

#### Esquema de recursión primitiva para $\mathbb{N}$ (informal)

Sea  $\mathbb{N} \subseteq \mathbb{R}$  definido inductivamente por:

1.  $0 \in \mathbb{N}$
2. Si  $n \in \mathbb{N}$ , entonces  $n + 1 \in \mathbb{N}$

Planteamos el esquema de recursión primitiva (ERP) para  $\mathbb{N}$  de la siguiente forma:

Sea  $B$  un conjunto cualquiera. Entonces para definir una única función  $F : \mathbb{N} \rightarrow B$  basta con:

1.  $F(0) = \dots$
2.  $F(n + 1) = \dots F(n) \dots n \dots$

Donde lo dado por los puntos suspensivos es lo que se debe completar para definir la función  $F$ .

#### Ejemplo 1 (ERP)

Definamos el factorial de un número usando el ERP para  $\mathbb{N}$ .

1.  $F(0) = 1$
2.  $F(n + 1) = F(n) \cdot (n + 1)$

#### Ejemplo 2 (ERP)

Sea  $L_1 \subset \{a, b\}^*$  definido inductivamente por:

1.  $a \in L_1$
2. Si  $w \in L_1$ , entonces  $bwb \in L_1$

Planteemos el ERP para  $L_1$ .

1.  $F(a) = \dots$
2.  $F(bwb) = \dots F(w) \dots w \dots$

### Ejemplo 3 (ERP)

Sea  $\sum^* \subseteq \sum^*$  definido inductivamente por:

1.  $\varepsilon \in \sum^*$
2. Si  $w \in \sum^*$  y  $x \in \sum$ , entonces  $xw \in \sum^*$

Planteemos el ERP para  $\sum^*$ .

1.  $F(\varepsilon) = \dots$
2.  $F(xw) = \dots F(w) \dots x \dots w \dots$

### Ejemplo 1 (funciones definidas usando ERP)

Definamos la función  $F : \sum^* \rightarrow \mathbb{N}$  que cuenta la cantidad de letras  $a$  en una palabra.

1.  $F(\varepsilon) = 0$
2.  $F(xw) = F(w) + 1$

### Ejemplo 2 (funciones definidas usando ERP)

Definamos la función  $F : \sum^* \rightarrow \{0, 1\}$  que indica si una palabra es vacía

1.  $F(\varepsilon) = 1$
2.  $F(xw) = 0$

### Ejemplo 3 (funciones definidas usando ERP)

Definamos la función  $F : \sum^* \rightarrow \sum^*$  que nos devuelve el espejo de una palabra. Por ejemplo  $F(ab) = abba$ .

1.  $F(\varepsilon) = \varepsilon$
2.  $F(xw) = x \cdot F(w) \cdot x$

**Observación:** En este caso, no podemos afirmar que la función está bien definida, ya que definimos  $\sum^*$  con la inserción por la izquierda, y en este caso la función también inserta a la derecha. A priori no podemos confirmar que un elemento tras la inserción por la derecha también forme parte de  $\sum^*$ .

### Definición (ERP formalizado para $\mathbb{N}$ )

(H) Sea  $B$  un conjunto y:

1.  $f_0 \in B$
2.  $f_s : \mathbb{N} \times B \rightarrow B$

(T) Entonces existe una función única  $F : \mathbb{N} \rightarrow B$  tal que:

1.  $F(0) = f_0$
2.  $F(n+1) = f_s(n, F(n))$

**Ejemplo (factorial)** Factorial:  $f_0 = 1$  y  $f_s(n, x) = x \cdot (n + 1)$ , entonces: -  $F(0) = 1$  -  $F(n + 1) = f_s(n, F(n)) = F(n) \cdot (n + 1)$

**Definición (ERP para  $L_1$ )**

(H) Sea  $B$  un conjunto y:

1.  $f_a \in B$
2.  $f_s : L_1 \times B \rightarrow B$

(T) Entonces existe una función única  $F : L_1 \rightarrow B$  tal que:

1.  $F(a) = f_a$
2.  $F(bwb) = f_s(w, F(w))$

**Definición (ERP para  $\sum^*$ )**

(H) Sea  $B$  un conjunto y:

1.  $f_\varepsilon \in B$
2.  $f_s : \sum \times \sum^* \times B \rightarrow B$

(T) Entonces existe una función única  $F : \sum^* \rightarrow B$  tal que:

1.  $F(\varepsilon) = f_\varepsilon$
2.  $F(xw) = f_s(x, w, F(w))$

**Ejemplo (función espejo)** Espejo:  $f_\varepsilon = \varepsilon$  y  $f_s(x, w, y) = x \cdot y \cdot x$ , entonces: -  $F(\varepsilon) = \varepsilon$  -  $F(xw) = f_s(x, w, F(w)) = x \cdot F(w) \cdot x$

**Definición (definición inductiva libre)**

Decimos que una definición es libre cuando cada elemento del conjunto, se forma de una única manera.

Dado  $\mathbb{X}$  un conjunto inductivo definido por:

1.  $3 \in \mathbb{X}$
2. Si  $x \in \mathbb{X}$ , entonces  $x - 2 \in \mathbb{X}$
3. Si  $x, y \in \mathbb{X}$ , entonces  $x + y \in \mathbb{X}$

No deberíamos usar definiciones inductivas no libres para definir funciones. Por ejemplo, si definimos  $f : \mathbb{X} \rightarrow \mathbb{N}$  con las ecuaciones:

1.  $f(3) = 0$
2.  $f(n - 2) = 0$
3.  $f(x + y) = 1 + f(x) + f(y)$

No podemos afirmar que la función está bien definida, ya que pueden haber múltiples formas de llegar a un mismo elemento de  $\mathbb{N}$ .

**Resumen (ERP)**

Para definir  $f : A \rightarrow B$  se debe

- definir  $f$  para los objetos base de  $A$ , y
- definir  $f$  en los objetos obtenidos de aplicar cláusulas inductivas usando el valor de  $f$  en objetos inmediatamente anteriores

### Resumen (ERG - Esquema de recursión general)

Para definir  $f : A \rightarrow B$  se debe

- definir  $f$  para los objetos base de  $A$ , y
- definir  $f$  en los objetos obtenidos de aplicar cláusulas inductivas usando el valor de  $f$  obtenido para objetos estrictamente menores

### Ejemplo (ERG)

Sea  $FIBO : \mathbb{N} \rightarrow \mathbb{N}$  definida por:

1.  $FIBO(0) = 0$
2.  $FIBO(1) = 1$
3.  $FIBO(n + 2) = FIBO(n + 1) + FIBO(n)$

Veamos las condiciones que cumple para ser una función:

- **Exhaustividad:** Todo natural es cero, uno, o de la forma  $n + 2$ ; hay alguna regla que lo computa
- **No superposición:** Ser cero, uno, o de la forma  $n + 2$  son condiciones mutuamente incompatibles; es decir, cada cómputo está únicamente determinado.
- **Terminación:** Usando el orden habitual tenemos que  $n < n + 2$  y  $n + 1 < n + 2$

### Resumen

Sea  $A$  un conjunto definido inductivamente.

- Si la definición es libre, se puede aplicar sin problemas el esquema de recursión primitiva.
- Si la definición no es libre, hay superposición. Hay que probar que los casos repetidos dan el mismo resultado.
- Si se usa un esquema de recursión general hay que probar exhaustividad, no superposición y terminación