

# Práctica 1

Agustina Sol Rojas y Antonio Felix Glorioso Ceretti

## Ejercicio 1.

1. ¿Qué es un problema computacional de decisión? ¿Es el tipo de problema más general que se puede formular?

Un problema computacional de decisión es aquel que dependiendo de ciertas condiciones predefinidas deberá responder si o no de acuerdo a la entrada que se reciba. Si, es el tipo de problema mas general que se puede formular ya que la respuesta siempre será sí o no.

2. Dados  $\Sigma = \{a, b, c\}$  y  $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$ , obtener  $\Sigma^* \cap L$ ,  $\Sigma^* \cup L$ , y el complemento de  $L$  con respecto a  $\Sigma^*$ .

$$\Sigma^* = \{\lambda, a, b, c, aa, \dots\}$$

$$\Sigma^* \cap L = L$$

$$\Sigma^* \cup L = \Sigma^*$$

el complemento de  $L$  con respecto a  $\Sigma^*$  es  $\Sigma^* - L$

3. En la clase teórica 1 se hace referencia al problema de satisfactibilidad de las fórmulas booleanas. Formular las tres formas del problema, teniendo en cuenta las tres visiones de MT consideradas: calculadora, aceptadora o reconocedora, y generadora.

Calculadora: Dada una formula con ciertos valores, devuelve el resultado de la misma.

Aceptadora: Dada una fórmula booleana devuelve si es satisfactible o no.

Generadora: Dada una fórmula booleana devuelve los valores que la hacen satisfactible.

4. ¿Qué postula la Tesis de Church-Turing?

Postula que todo aquello que es computable puede ser calculado por una Máquina de Turing o cualquier otro modelo de cómputo equivalente. Es importante mencionar que no se puede construir físicamente ninguna maquina más potente que una MT.

5. ¿Cuándo dos MT son equivalentes? ¿Cuándo dos modelos de MT son equivalentes?

Dos MT son equivalentes si ambas aceptan el mismo lenguaje. Dos modelos de MT son equivalentes si dada una MT de un modelo existe una MT equivalente del otro.

6. ¿En qué difieren entre sí los lenguajes recursivos, los lenguajes recursivamente numerables no recursivos, y los lenguajes no recursivamente numerables?

Un lenguaje es recursivo si y solo si existe una Máquina de Turing **ML** que lo acepta y siempre se detiene.

Un lenguaje es recursivamente numerables no recursivo si y solo si existe una Máquina de Turing **ML** que lo acepta o en su defecto loopea (nunca se detiene).

Un lenguaje es no recursivamente numerable si y solo si no existe una Máquina de Turing **ML** que lo acepte.

7. Probar que  $R \subseteq RE \subseteq \mathcal{L}$ .

$R \subseteq RE \rightarrow$  se puede probar por definición ya que en  $R$  están los lenguajes que tienen MT que los aceptan y siempre se detienen y en  $RE$  los lenguajes que tienen MT que los aceptan. Por lo tanto  $R$  es un subconjunto de  $RE$ .

$RE \subseteq \mathcal{L} \rightarrow$  se puede probar por definición ya que  $\mathcal{L}$  es el conjunto de **todos** los lenguajes definidos sobre el alfabeto  $\Sigma$  y  $RE$  es el conjunto de los lenguajes que tienen MT que los aceptan, por lo tanto  $RE$  es un subconjunto de  $\mathcal{L}$ .

8. ¿Qué lenguajes de la clase CO-RE tienen MT que los aceptan? ¿También los deciden?

Los únicos lenguajes de la clase CO-RE que tienen MT que los aceptan son los lenguajes que pertenecen a  $R$ . Todo lenguaje que este en  $CO-RE - RE$  no posee una Máquina de Turing que lo acepta, si no que en realidad existe una MT que acepta a su complemento (y no necesariamente para).

9. Justificar por qué los lenguajes universal  $\Sigma^*$  y vacío  $\emptyset$  son recursivos.

$\Sigma^*$  es recursivo ya que existe una Máquina de Turing que lo acepta y siempre se detiene, esta es aquella que luego de leer el primer símbolo de cualquier cadena acepta. Esta MT siempre se detiene.

$\emptyset$  es recursivo ya que existe una Máquina de Turing que lo acepta y siempre se detiene, esta es aquella que luego de leer el primer símbolo de cualquier cadena rechaza, haciendo que el lenguaje de la maquina sea vacío. Esta MT siempre se detiene.

10. Justificar por qué un lenguaje finito es recursivo.

Un lenguaje finito es recursivo por definición. Se puede construir una Máquina de Turing que acepte si la entrada coincide con alguno de los elementos del lenguaje o la rechace en el caso contrario.

11. Justificar por qué si  $L1 \in \text{CO-RE}$  y  $L2 \in \text{CO-RE}$ , entonces  $(L1 \cap L2) \in \text{CO-RE}$ .

Si  $L1 \in \text{CO-RE}$  existe un  $L1^c$  que  $\in \text{RE}$ . Si  $L2 \in \text{CO-RE}$  existe un  $L2^c$  que  $\in \text{RE}$ .

$L1^c \cup L2^c \in \text{RE}$  por lema 2

Aplicando la Ley De Morgan:

$L1^c \cup L2^c \in \text{RE} = \neg(L1 \cap L2) \in \text{RE}$

Como  $\neg(L1 \cap L2) \in \text{RE}$  entonces  $(L1 \cap L2) \in \text{CO-RE}$  (por definición)

## Ejercicio 2.

Construir una MT, con cualquier cantidad de cintas, que acepte de la manera más eficiente posible el lenguaje  $L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$ .

Comentario: Plantear primero la idea general.

### 1. Idea general

Utilizamos una MT con 2 cintas.

- Copia las “a” de la primera cinta en la segunda cinta.
- Luego recorre ambas cintas (hacia la izquierda en la segunda cinta y hacia la derecha en la primera cinta) comparando las “a” con las “b”.
- Si la cantidad de “a” es igual a la de “b” ahora compara las “a” de la segunda cinta con las “c” de la primera cinta.

### 2. Construcción de la MT:

La MT  $M = \{Q, \Sigma, \Gamma, \delta, q_0, q_A, q_R\}$

$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_A, q_R\}$

$\Sigma = \{a, b, c\}$

$\Gamma = \{a, b, c, B\}$

$q_0$ : copiar “a” en la segunda cinta.

$q_1$ : comparar la cantidad de “a” con las “b” de la primera cinta.

$q_2$ : comparar la cantidad de “a” con las “c” de la primera cinta.

	a, B	a, a	a, b	a, c	b, B	b, a	b, b	b, c	c, B	c, a	c, b	c, c	B, B
q0	q0 a, R a, R				q1 b, S B, L								qA B, S B, S
q1						q1 b, R a, L			q2 c, S B, R				
q2										q2 c, R a, R			qA B, S B, S

### Ejercicio 3

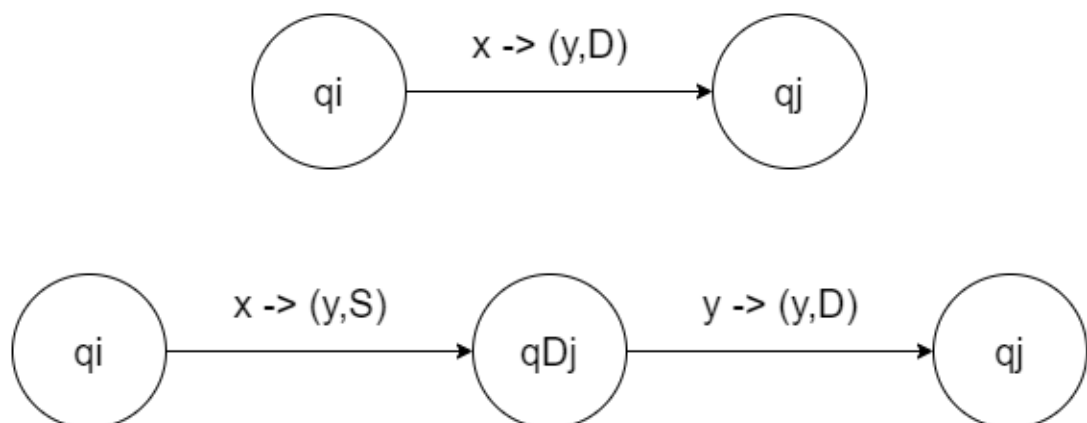
Explicar (informal pero claramente) cómo simular una MT por otra que en un paso no pueda simultáneamente modificar un símbolo y moverse.

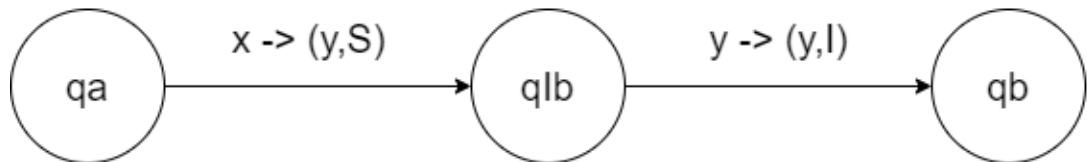
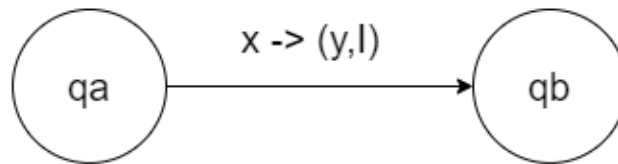
$M = \langle Q, \Sigma, \Gamma, \delta, q_0, q_A, q_R \rangle$

$M' = \langle Q', \Sigma, \Gamma, \delta', q_0, q_A, q_R \rangle$

$\delta': Q' \times \Gamma \rightarrow Q' \cup \{q_A, q_R\} \times \Gamma \times \{D, L, S\}$

- Ambos empiezan en el estado  $q_0$ .  $x, y \in \Gamma$ .  $x \neq y$ .  $q_D, q_L \in Q'$ . (estados que recuerdan cosas)
- Se agregan las siguientes transiciones (solo reemplazan a las transiciones de  $M$  que rompen con la regla de  $M'$ )
- Cuando se quiere cambiar el símbolo y mover el cabezal:





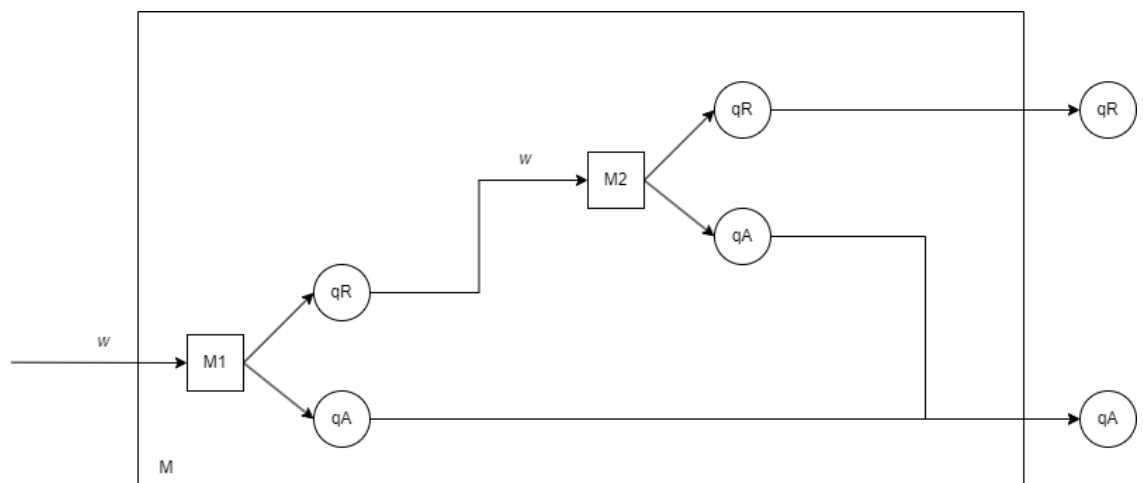
Básicamente hay un estado intermedio que depende de la dirección a donde me quiero mover y del estado al cual voy a pasar (para poder recordar a donde debo ir). Como el símbolo lo cambio antes de pasar a ese estado intermedio, no hace falta recordarlo. Va a haber tantos estados intermedios como direcciones y estados debo recordar.

## Ejercicio 4

1. La clase R es cerrada con respecto a la operación de unión. Ayuda: la prueba es similar a la desarrollada para la intersección.

### 1. Idea general

Dadas dos MT M1 y M2 que respectivamente aceptan L1 y L2 y paran siempre, la idea es construir una MT M que acepte  $L1 \cup L2$  y pare siempre.



### 2. Construcción

- M tiene 2 cintas.

- Dada la entrada  $w$  en la cinta 1,  $M$  hace:
  1. Copia  $w$  en la cinta 2.
  2. Ejecuta  $M_1$  sobre  $w$  en la cinta 2. Si  $M_1$  para en  $q_A$ , entonces  $M$  para en  $q_A$ . Si  $M_1$  para en  $q_R$ , entonces:
    - Borra el contenido de la cinta 2 y copia de nuevo  $w$  en la cinta 2.
    - Ejecuta  $M_2$  sobre  $w$  en la cinta 2. Si  $M_2$  para en  $q_R$ , entonces  $M$  para en  $q_R$ . Si  $M_2$  para en  $q_A$ , entonces  $M$  para en  $q_A$ .
  3. Prueba de correctitud de la construcción.

$$L = L_1 \cup L_2$$

$M$  reconoce solo las entradas que son reconocidas por  $M_1$  o  $M_2$ , es decir, reconoce las entradas que son reconocidas por alguna de las dos máquinas (la unión). Si se trata de una entrada que es aceptada por ambas máquinas o que es rechazada por una máquina pero no por la otra,  $M$  la va a aceptar. Si se trata de una entrada rechazada por ambas máquinas,  $M$  la va a rechazar. Por lo tanto  $L = L_1 \cup L_2$

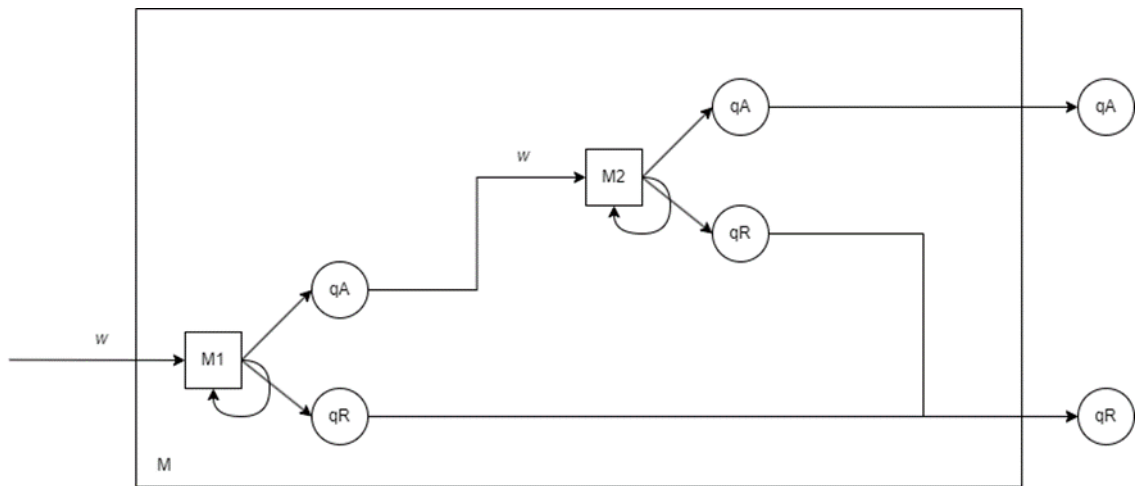
$$L \in R$$

Como  $M_1$  o  $M_2$  siempre se van a detener,  $M$  al ser una MT que simula la ejecución de las mismas y hace un copiado o borrado finito, siempre se va a detener.

2. La clase RE es cerrada con respecto a la operación de intersección. Ayuda: la prueba es similar a la desarrollada para la clase R.

1. Idea general

Dadas dos MT  $M_1$  y  $M_2$  que respectivamente aceptan  $L_1$  y  $L_2$ , la idea es construir una MT  $M$  que acepte  $L_1 \cap L_2$  ( $L = L_1 \cap L_2$ ).



## 2. Construcción

- M tiene 2 cintas.
- Dada la entrada  $w$  en la cinta 1, M hace:
  1. Copia  $w$  en la cinta 2.
  2. Ejecuta M1 sobre  $w$  en la cinta 2. Si M1 para en  $q_R$ , entonces M para en  $q_R$ . Si M1 loopea entonces M loopeara (rechaza). Si M1 para en  $q_A$ , entonces:
    - Borra el contenido de la cinta 2 y copia de nuevo  $w$  en la cinta 2.
    - Ejecuta M2 sobre  $w$  en la cinta 2. Si M2 para en  $q_R$ , entonces M para en  $q_R$ . Si M2 loopea entonces M loopeara (rechaza). Si M2 para en  $q_A$ , entonces M para en  $q_A$

## 3. Prueba de correctitud de la construcción.

$$L = L_1 \cap L_2$$

M reconoce solo las entradas que son reconocidas por M1 y M2, es decir, reconoce las entradas que son reconocidas por ambas maquinas (la intersección). Si se trata de una entrada que es rechazada por una maquina pero no por la otra, M no la va a aceptar. Si se trata de una entrada rechazada por ambas maquinas, M la va a rechazar. Por lo tanto  $L = L_1 \cap L_2$

$$L \in RE$$

Como  $L = L(M)$ , existe una máquina que lo acepta. Si M1 o M2 se quedan loopeando M se va a quedar loopeando.

## Ejercicio 5

Sean  $L_1$  y  $L_2$  dos lenguajes recursivamente numerables de números naturales codificados en unario (por ejemplo, el número 5 se representa con 11111). Probar que también es recursivamente numerable el lenguaje  $L = \{x \mid x \text{ es un número natural codificado en unario, y existen } y, z, \text{ tales que } y + z = x, \text{ con } y \in L_1, z \in L_2\}$ .

### 1. Idea general

El lenguaje  $L_1 \bullet L_2$  contiene todas las cadenas  $w = x_1x_2$ , tales que la subcadena  $x_1 \in L_1$  y la subcadena  $x_2 \in L_2$ .

Sea  $M_1$  una MT que acepta el lenguaje  $L_1$  y  $M_2$  una MT que acepta el lenguaje  $L_2$ . Hay que construir una MT  $M$  que acepte el lenguaje  $L_1 \bullet L_2$ .

Dado un input  $w$  con  $n$  símbolos,  $M$  hace:

- $M$  ejecuta  $M_1$  a partir de los primeros 0 símbolos de  $w$ , y  $M_2$  a partir de los últimos  $n$  símbolos de  $w$ . Si en ambos casos se acepta, entonces  $M$  acepta.
- Si no,  $M$  hace lo mismo que en (1) pero ahora con el 1er símbolo y los últimos  $(n - 1)$  símbolos de  $w$ . Si en ambos casos se acepta, entonces  $M$  acepta.
- Si no,  $M$  hace lo mismo que en (1) pero ahora con los primeros 2 y los últimos  $(n - 2)$  símbolos de  $w$ . Si en ambos casos se acepta, entonces  $M$  acepta.

Y así siguiendo, con 3 y  $(n - 3)$ , 4 y  $(n - 4)$ , ..., hasta llegar a  $n$  y 0 símbolos de  $w$ . Si en ninguno de los casos se acepta, entonces  $M$  rechaza.

Como existe la posibilidad de loops por parte de  $M_1$  y  $M_2$ ,  $M$  debe ejecutarlas "en paralelo":

$M$  primero debe hacer ejecuciones de 1 paso de  $M_1$  y  $M_2$  con todas las posibles particiones de  $w$ , luego ejecuciones de 2 pasos con todas las particiones, luego ejecuciones de 3 pasos con todas las particiones, y así siguiendo hasta eventualmente aceptar.

### 2. Construcción

- $M$  tiene 3 cintas.
- En la cinta 1 tiene la entrada  $w$ .
- En las cintas 2 y 3 ejecuta  $M_1$  y  $M_2$ , respectivamente.
- El  $K$  inicial es 1
- La MT  $M$  hace:



1. Copia  $w$  de la cinta 1 a las cintas 2 y 3 realizando la división del input a partir de los primeros 0 símbolos de  $w$ , y  $M_2$  a partir de los últimos  $n$  símbolos de  $w$ .
2. Ejecuta  $k$  pasos de  $M_1$  en la cinta 2.
3. Ejecuta  $k$  pasos de  $M_2$  en la cinta 3.
4. Si  $M_1$  y/o  $M_2$  rechazan, dependiendo del estado de la máquina hay dos opciones:
  - Si todavía no se hicieron todas las posibles particiones del input, se continúa dividiendo el input, se copia en las cintas 2 y 3, y se vuelve al punto 2 con el mismo  $k$ .
  - Si se hicieron todas las particiones del input:
    - Si solo una máquina rechaza, se incrementa  $k$  (la cantidad de pasos) y se vuelve al punto 1 partiendo desde la división inicial de input.
    - Si ambas máquinas rechazaron entonces  $M$  rechaza.
5. Si se ejecutaron los  $k$  pasos de ambas máquinas y ninguna rechazo o acepto se incrementa  $k$  y se vuelve al punto 1.

- $M$  acepta si ambas máquinas aceptan.
- En cada iteración memoriza los estados y posiciones de las 2 ejecuciones

### 3. Prueba de correctitud de la construcción.

$$L = L_1 \cdot L_2$$

$M$  reconoce solo las entradas donde ambas subcadenas son reconocidas por  $M_1$  y  $M_2$ .

- Si  $w$  pertenece a  $L_1 \cdot L_2$  entonces  $w$  puede ser dividida en dos partes  $x_1$  y  $x_2$ , donde  $x_1$  pertenece a  $L_1$  y  $x_2$  pertenece a  $L_2$ . Por lo tanto  $M_1$  aceptará a  $x_1$  y  $M_2$  aceptará a  $x_2$ , lo que llevará a  $M$  a aceptar  $w$ .
- Si  $w$  no pertenece a  $L_1 \cdot L_2$ , por construcción  $M_1$  o  $M_2$  eventualmente rechazarán, lo que llevará a  $M$  a rechazar  $w$ .

$$L \in RE$$

Si alguna máquina en algún punto rechaza loopando,  $M$  va a loopear. Si ambas máquinas aceptan,  $M$  va a aceptar.

## Ejercicio 6

Dada una MT  $M_1$  con alfabeto  $\Sigma = \{0, 1\}$ :

1. Construir una MT  $M_2$  que determine si  $L(M_1)$  tiene al menos una cadena.
2. ¿Se puede construir además una MT  $M_3$  para determinar si  $L(M_1)$  tiene a lo sumo una cadena? Justificar.

1. M2 va a generar todos los inputs en forma de pares  $(i, j)$  en orden de su suma,  $i+j$ , y entre los de igual suma en orden creciente de  $i$  ( $i$  es la cadena y  $j$  son los pasos por ejecutarse sobre esa cadena). Ej:  $(1, 1)$ ;  $(1, 2)$ ;  $(2, 1)$ ;  $(1, 3)$ ;  $(2, 2)$ ;  $(3, 1)$ , ...

Por cada par  $(i, j)$  generado se simulan  $j$  pasos de la MT M1 sobre el  $w_i$  generado. Si M1 acepta la cadena  $i$  en esos  $j$  pasos, M2 acepta.

Lo que va a suceder es que, luego de que se ejecute la maquina con la cadena  $i$  en  $j$  pasos, se va a pasar a la siguiente en el orden de la suma, la maquina nunca se va a quedar loopeando sobre el mismo input.

2. No se puede construir una MT M3 porque en la situación en la que se debería aceptar ( $L(M1)$  tiene una sola cadena) nunca se terminaría de hacer ya que se va a seguir buscando una segunda cadena y loopeara, rechazando.