

Computación Bio–inspirada

Tema 7: Sistemas P que trabajan a modo de células y a modo de tejidos

David Orellana Martín
Mario de J. Pérez Jiménez

Grupo de Investigación en Computación Natural
Dpto. Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial
Universidad de Sevilla

dorellana@us.es (<http://www.cs.us.es/~dorellana/>)

marper@us.es (<http://www.cs.us.es/~marper/>)

Máster Universitario en Lógica, Computación e Inteligencia Artificial
Curso 2023–2024



Índice

- ♣ Sistemas P que trabajan a modo de células.
 - Sistemas P básicos de transición (introducidos en el tema anterior).
 - Sistemas P con membranas activas.
- ♣ Sistemas P que trabajan a modo de tejidos.
 - Sistemas P de tejidos con reglas symport/antiport.
 - Sistemas P de tejidos con división celular.

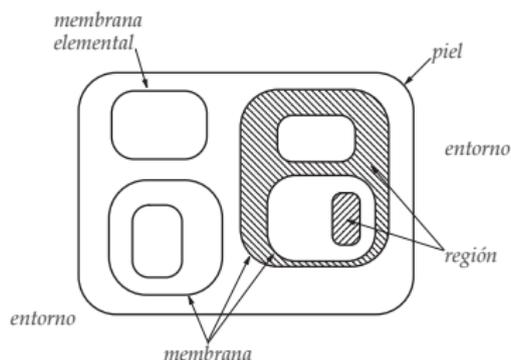
Sistemas P que trabajan a modo de células

Unidades de proceso: **membranas**.

Ingredientes sintácticos:

- ★ Un **alfabeto**, cuyos elementos se denominan **objetos** (y un subalfabeto: de entrada).
- ★ Una **estructura de membranas** (*regiones*): un **árbol enraizado** (formulado explícitamente).
- ★ Un **entorno pasivo**: **recibe** objetos del sistema pero **no envía** objetos al sistema.
- ★ Unos **multiconjuntos de objetos** asociados a cada región.
- ★ Un conjunto de **reglas de evolución** (asociado a cada **membrana** o a cada **etiqueta**).
- ★ Dos "zonas" distinguidas: una **membrana de entrada** y una **zona de salida** (membrana o entorno).

Ejemplo: Una estructura de membranas de grado 8:



Sistemas P que trabajan a modo de células

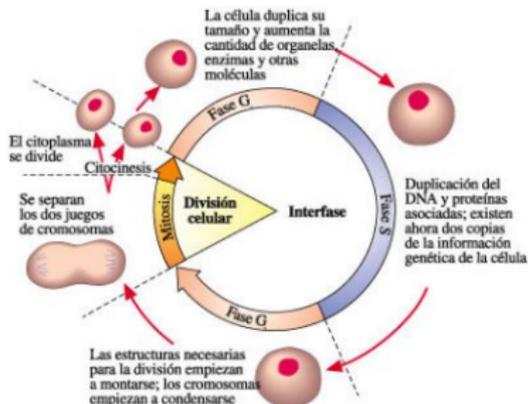
En los sistemas P que trabajan a modo de células

- ♣ Se pueden considerar prioridades.
- ♣ Se pueden considerar polarizaciones $\{0, +, -\}$ asociadas a las membranas.
- ♣ El tipo de reglas proporciona las distintas variantes de sistemas P.
 - Por ejemplo: las reglas de los sistemas P básicos de transición son del tipo $u \rightarrow v$, con $v = (v_1, here)(v_2, out), (v_3, in_j)$ o $v = (v_1, here)(v_2, out), (v_3, in_j)\delta$, siendo u, v_1, v_2, v_3 multiconjuntos sobre Γ .
- ♣ Los **sistemas P básicos de transición** son sistemas P que trabajan a modo de células, si bien su capacidad para resolver problemas está bastante “limitada”.
- ♣ Veamos otros sistemas que trabajan a modo de células que resuelven problemas de forma más “eficiente” que los sistemas P básicos de transición.

El ciclo celular

El **ciclo celular** consta, básicamente, de cuatro fases.

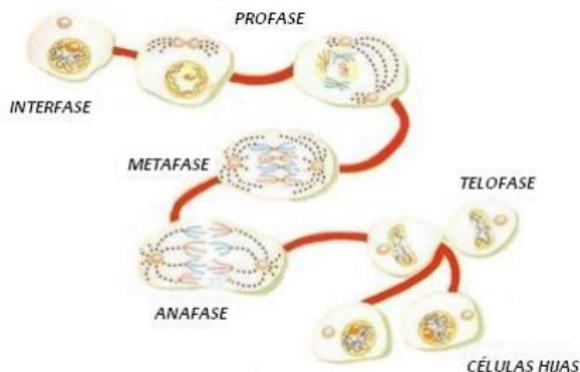
- Primera: Crecimiento de la célula.
- Segunda: Replicación del ADN.
- Tercera: Sigue el crecimiento.
- Cuarta: Mitosis celular.



La mitosis celular

Proceso que permite la “reproducción local” en un organismo vivo.

- ♣ El resultado es la producción de dos células hijas a partir de una célula original.
- ♣ Las células hijas son copias de la célula madre original.



Una abstracción de la mitosis celular ha sido incorporada a la Computación Celular con Membranas a través de una regla de división: **sistemas P con membranas activas**.

Sistemas P con membranas activas (I)

Un **sistema P con membranas activas** de grado $q \geq 1$ es una tupla

$\Pi = (\Gamma, \Sigma, \mu, \mathcal{M}_1, \dots, \mathcal{M}_q, \mathcal{R}, i_{in}, i_{out})$, en donde:

- * Γ es un alfabeto (de trabajo) y Σ es un alfabeto (de entrada) tal que $\Sigma \subsetneq \Gamma$;
- * μ es una **estructura de membranas** de grado q : membranas etiquetadas biyectivamente en $\{1, \dots, q\}$ (supondremos que 1 es la etiqueta de la raíz);
- * $\mathcal{M}_1, \dots, \mathcal{M}_q$ son los multiconjuntos iniciales sobre $\Gamma \setminus \Sigma$ colocados en las q membranas (regiones delimitadas por μ) etiquetadas biyectivamente por $\{1, \dots, q\}$;
- * $i_{in} \in \{1, \dots, q\}$ representa la membrana de **entrada** e $i_{out} \in \{0, 1, \dots, q\}$ representa la **zona de salida**;
- * \mathcal{R} es un conjunto finito de reglas del siguiente tipo:

(a) $[a \rightarrow u]_i^\alpha$ **evolución**

(b) $a []_i^{\alpha_1} \rightarrow [b]_i^{\alpha_2}$ ($i \neq 1$) **comunicación-in**

(c) $[a]_i^{\alpha_1} \rightarrow b []_i^{\alpha_2}$ **comunicación-out**

(d) $[a]_i^\alpha \rightarrow b$ ($i \neq 1$ e $i \neq i_{out}$) **disolución**

(e) $[a]_i^{\alpha_1} \rightarrow [b]_i^{\alpha_2} [c]_i^{\alpha_3}$ ($i \neq 1$, $i \neq i_{out}$ e i membrana elemental) **división**

en donde $1 \leq i \leq q$, $\alpha, \alpha_i \in \{+, -, 0\}$, $a, b, c \in \Gamma$, u multiconjunto sobre Γ .

Sistemas P con membranas activas (II)

Las reglas son aplicadas de acuerdo con los siguientes principios:

- ♣ Las reglas están **asociadas a etiquetas** y pueden ser **usadas** por todas las membranas que tengan esa etiqueta.
- ♣ En cada paso de computación, a una membrana **sólo se le puede aplicar una regla** de los tipos (b), (c), (d) y (e). Y, en tal caso, sólo se aplica una vez.
- ♣ En cada paso de computación, a una membrana se le puede aplicar, simultáneamente, una regla del tipo (a) junto con una de los tipos (b), (c), (d) y (e). En tal caso, esa regla del tipo (a) deberá ser aplicada de manera maximal.
- ♣ La semántica de los sistemas P con membranas activas se define de manera similar a los sistemas P básicos de transición (configuración, paso de transición y computación).

Sistemas P con membranas activas (III)

Los sistemas P con membranas activas verifican:

- ♣ Usan tres cargas eléctricas.
- ♣ **No** usan cooperación ni prioridades.
- ♣ Las reglas están asociadas a etiquetas.
- ♣ La aplicación de una regla **puede modificar** la carga de una membrana.
- ♣ La aplicación de una regla **no modifica** la etiqueta de una membrana.

Sistemas P que trabajan a modo de tejidos (I)

Unidades de proceso: **células**.

Ingredientes sintácticos:

- ★ Un **alfabeto**, cuyos elementos se denominan **objetos** (y dos subalfabetos: de entrada y del entorno).
- ★ Una **estructura** de **células**: un **grafo dirigido** (descrito implícitamente).
- ★ Un **entorno activo**: **recibe** objetos del sistema y **envía** objetos al sistema.
- ★ Unos **multiconjuntos de objetos** asociados a cada célula **y al entorno**.
- ★ Un conjunto de **reglas de evolución** asociado al sistema (que pueden ser de diversos tipos).
- ★ Dos “zonas” distinguidas: una **célula de entrada** y una **zona de salida** (célula o entorno).

Sistemas P que trabajan a modo de tejidos (II)

Un **sistema P de tejidos con reglas de comunicación** de grado $q \geq 1$ es una tupla $\Pi = (\Gamma, \Sigma, \mathcal{E}, \mathcal{M}_1, \dots, \mathcal{M}_q, \mathcal{R}, i_{in}, i_{out})$, en donde:

- * Γ y Σ son alfabetos (de trabajo y de entrada, resp.) tales que $\Sigma \subsetneq \Gamma$.
- * $\mathcal{E} \subsetneq \Gamma$ (alfabeto del entorno: etiquetado por 0) y tal que $\mathcal{E} \cap \Sigma = \emptyset$.
- * $\mathcal{M}_1, \dots, \mathcal{M}_q$ son multiconjuntos sobre $\Gamma \setminus \Sigma$ asociados a cada una de las q células del sistema, etiquetadas biyectivamente por $\{1, \dots, q\}$.
- * \mathcal{R} es un conjunto finito de reglas del tipo **symport/antiport**: $(i, u/v, j)$, con $i, j \in \{0, 1, \dots, q\}$, $i \neq j$, u, v multiconjuntos sobre Γ , $|u| + |v| > 0$;
- * $i_{in} \in \{1, \dots, q\}$ representa la célula de entrada.
- * $i_{out} \in \{0, 1, \dots, q\}$ representa la **zona** de salida (una célula o el entorno).

Reglas symport/antiport

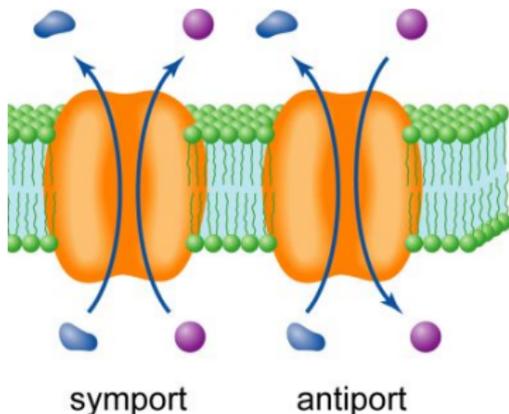
Una regla $(i, u/v, j)$ se dice que es del tipo **symport** si $u = \lambda$ o $v = \lambda$.

- Toda regla *symport* $(i, u/\lambda, j)$ proporciona un arco virtual desde i hasta j .

Una regla $(i, u/v, j)$ se dice que es del tipo **antiport** si $u \neq \lambda$ y $v \neq \lambda$.

- Toda regla *antiport* $(i, u/v, j)$ proporciona dos arcos: uno que va de i a j y otro que va de j a i .

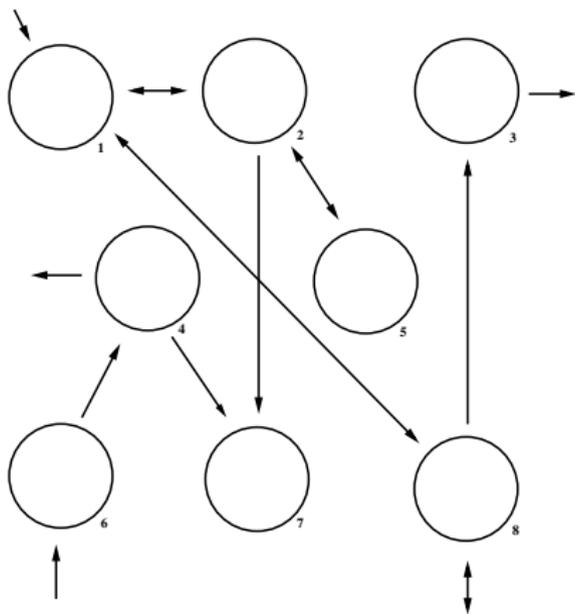
Longitud de la regla de comunicación $(i, u/v, j)$: $|u| + |v|$.



Grafo subyacente a un sistema P de tejidos

Todo sistema P de tejidos tiene asociado un grafo dirigido subyacente:

- ♣ **Nodos:** las células del sistema y el entorno.
- ♣ **Arcos:** se obtienen a partir reglas de la comunicación symport/antiport.



Communication rules: $\left\{ \begin{array}{l} (0, ba^2/\lambda, 1), (0, \lambda/b^4cd, 3), (0, \lambda/ab^3, 4), (0, c/\lambda, 6), (0, a/b^2, 8), (1, c^3/b^2, 2) \\ (1, ad/a, 8), (2, ab/\lambda, 7), (2, b/b^2, 5), (3, \lambda, d^2, 8), (4, \lambda/a, 6), (4, b^2c^2/\lambda, 7) \end{array} \right.$

Semántica de los sistemas P de tejidos (I)

Una **configuración** en un instante determinado es una tupla formada por:

- ★ Los multiconjuntos de objetos sobre Γ asociados a cada célula.
- ★ El multiconjunto de objetos sobre $\Gamma - \mathcal{E}$ asociados con el entorno.

Configuración inicial de $\Pi = (\Gamma, \Sigma, \mathcal{E}, \mathcal{M}_1, \dots, \mathcal{M}_q, \mathcal{R}, i_{in}, i_{out})$:

$$(\mathcal{M}_1, \dots, \mathcal{M}_q; \emptyset)$$

En esta configuración, los objetos del entorno aparecen con infinitas copias.

Configuración inicial de Π **asociada a un multiconjunto** m sobre Σ :

$$(\mathcal{M}_1, \dots, \mathcal{M}_{i_{in}} + m, \dots, \mathcal{M}_q; \emptyset)$$

Una regla $(i, u/v, j)$ es **aplicable** a una configuración del sistema si u está contenido en la zona i y v está contenido en la zona j .

Cuando se aplica $(i, u/v, j)$, los objetos de u son enviados de i a j y, al mismo tiempo, los objetos de v son enviados de j a i .

Configuración de **parada**: ninguna regla del sistema es aplicable a dicha configuración.

Semántica de los sistemas P de tejidos (II)

Sean C y C' dos configuraciones:

- ★ C' se obtiene de C mediante un **paso de transición** ($C \Rightarrow_{\Pi} C'$) si se puede pasar de C a C' aplicando las reglas del sistema (de forma no determinista, paralela y maximal).

Una **computación** es una sucesión (finita o infinita) de configuraciones tal que:

- ★ El primer término es una configuración inicial del sistema y cada uno de los restantes se obtiene del anterior mediante un paso de transición.
- ★ Si la sucesión es finita (*computación de parada*), el último término es una *configuración de parada*.
- ★ Resultado de una computación de parada: codificado por los objetos presentes en la zona de salida.

Sistemas P de tejidos con división celular

Un **sistema P de tejidos con división celular** de grado $q \geq 1$ es una tupla $\Pi = (\Gamma, \Sigma, \mathcal{E}, \mathcal{M}_1, \dots, \mathcal{M}_q, \mathcal{R}, i_{in}, i_{out})$, en donde:

- * Γ y Σ son alfabetos (de trabajo y de entrada, resp.) tales que $\Sigma \subsetneq \Gamma$;
- * $\mathcal{E} \subsetneq \Gamma$ (alfabeto del entorno: etiquetado por 0) y tal que $\mathcal{E} \cap \Sigma = \emptyset$.
- * $\mathcal{M}_1, \dots, \mathcal{M}_q$ son cadenas sobre $\Gamma \setminus \Sigma$ asociadas a cada una de las q células del sistema, etiquetadas biyectivamente por $\{1, \dots, q\}$.
- * \mathcal{R} es un conjunto finito de reglas del tipo:
 - (a) **Reglas symport/antiport:** $(i, u/v, j)$, con $i, j \in \{0, 1, \dots, q\}$, $i \neq j$, $u, v \in \Gamma^*$, $|u + v| \neq 0$.
 - (b) **Reglas de División:** $[a]_i \rightarrow [b]_i[c]_i$, donde $i \in \{1, \dots, q\}$, $i \neq i_{out}$ y $a, b, c \in \Gamma$.
- * $i_{in} \in \{1, \dots, q\}$ representa la célula de entrada.
- * $i_{out} \in \{0, 1, \dots, q\}$ representa la zona de salida (una célula o el entorno).

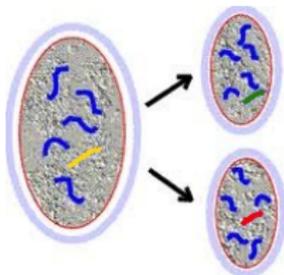
Reglas de división celular

Una regla $[a]_i \rightarrow [b]_i[c]_i$ es aplicable a una célula i de una configuración C si:

- ★ Dicha célula no es la de salida y, además, contiene al objeto a .

Cuando se aplica la regla $[a]_i \rightarrow [b]_i[c]_i$:

- ★ La célula i se divide en dos células con la misma etiqueta.
- ★ En la primera copia, el objeto a es reemplazado por el objeto b .
- ★ En la segunda copia, el objeto a es reemplazado por el objeto c .
- ★ Todos los objetos restantes se replican y se copian en las dos células nuevas.



En un sistema P de tejidos con división celular, las reglas se aplican de forma no determinista, paralela y maximal, pero con una restricción importante:

- ★ Si en una célula se aplica una regla de división, sólo dicha regla se aplicará en ese paso (bloqueo de todas las comunicaciones con otras células y con el entorno).