

Vida Artificial & Sistemas Complejos

Auto-ensamblaje

Autor: Daniel Rodríguez Cárdenas

Vida Artificial – (Alife)
Departamento de Ingeniería de Sistemas e Industrial
Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional de Colombia

30 de noviembre de 2017



Outline

- 1 Introducción
- 2 Auto-ensamblaje en la naturaleza
- 3 Auto-ensamblaje Estocástico
- 4 Auto-ensamblaje Programado
- 5 El modelo de ensamblaje de figuras (Tiles) y ADN
- 6 Ejemplos de auto-ensamblaje en máquinas - Robots modulares



Outline

- 1 Introducción
- 2 Auto-ensamblaje en la naturaleza
- 3 Auto-ensamblaje Estocástico
- 4 Auto-ensamblaje Programado
- 5 El modelo de ensamblaje de figuras (Tiles) y ADN
- 6 Ejemplos de auto-ensamblaje en máquinas - Robots modulares



Auto-ensamblaje

Definición

Auto-ensamblaje es el proceso durante el cual, una colección de componentes relativamente simples, empezando desde un estado “desorganizado”, se combinan de manera autónoma hasta lograr una estructura compleja.[6, 4].

Durante el auto-ensamblaje, no existe una guía o dirección, los componentes experimentan únicamente una interacción local, obedeciendo a un conjunto de reglas simples.



Auto-ensamblaje

Definición II

Los sistemas auto-ensamblados abundan en la naturaleza; es un proceso que se ve desde la creación de los copos de nieve hasta las estructuras biológicas (ej. virus) y galaxias. La naturaleza crea muchas de las estructuras conocidas usando el auto-ensamblaje [5]



(a)



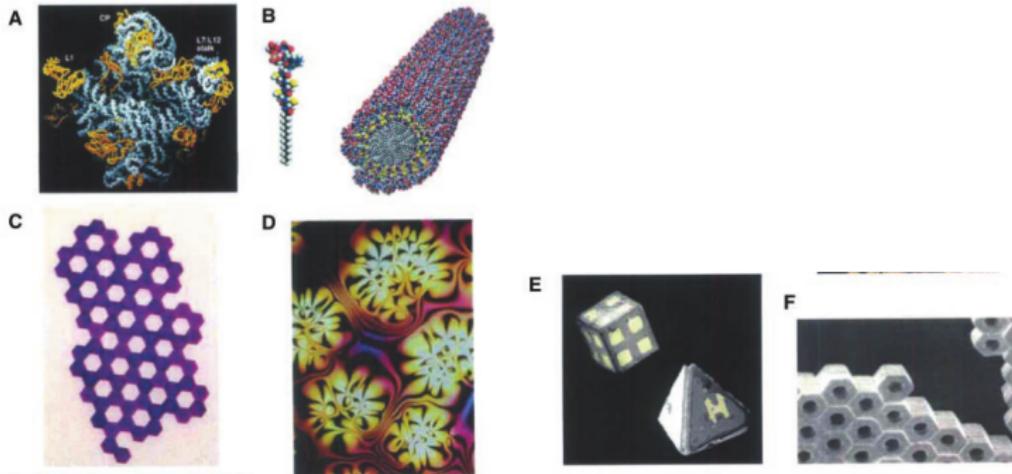
(b)



Tipos de auto-ensamblaje

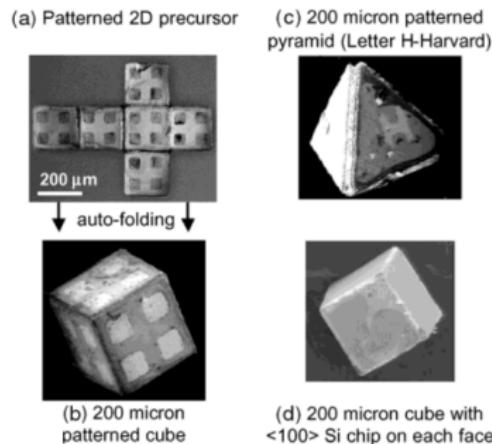
Estático

(A) Cristal de ribosoma.(B) Peptido auto-ensamblado (C)Polímero-ensamble de agua y Perfluorodecalin (E, F) Ensamble de metales [6]



Tipos de auto-ensamblaje

Estático

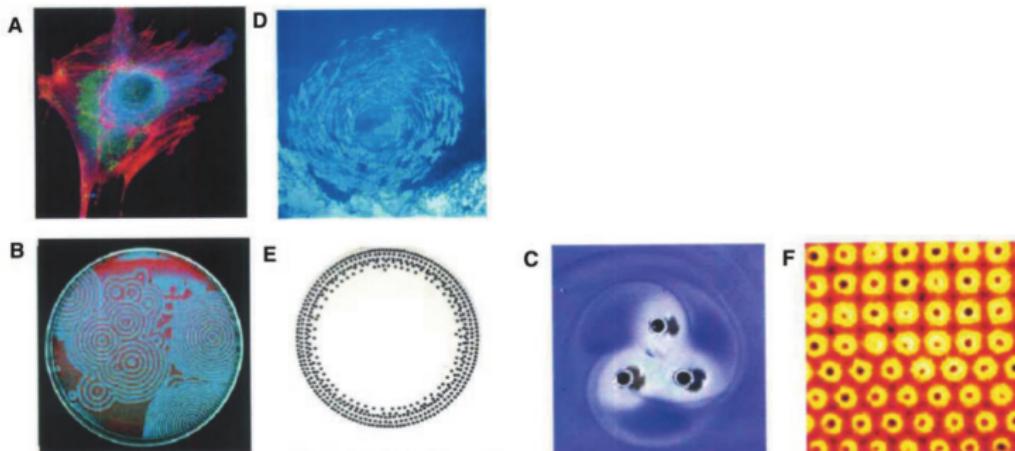


Auto ensamblaje de metales, al modificar la electro-disposición de la capa externa del metal[2].



Tipos de auto-ensamblaje

Dinámico



(A) La célula. (B) Reacción, difución. (C) Discos magnéticos de 3mm
(D) Cardúmen [6]



Tipos de auto-ensamblaje

¿Porqué estudiarlo?

- ① Porque habla de la transición del orden al desorden.
- ② Las células se auto-ensamblan: el entendimiento de la vida requiere el entendimiento sobre el auto-ensamblaje.
- ③ El auto-ensamblaje es una de las pocas estrategias que se tienen para ensamblar nano-estructuras.
- ④ La fabricación de robots se beneficia con el auto-ensamblaje.
- ⑤ El auto-ensamblaje es común entre los sistemas multicomponente y dinámicos, desde materiales inteligentes, estructuras auto-reparables hasta redes y sensores.



Outline

- 1 Introducción
- 2 Auto-ensamblaje en la naturaleza
- 3 Auto-ensamblaje Estocástico
- 4 Auto-ensamblaje Programado
- 5 El modelo de ensamblaje de figuras (Tiles) y ADN
- 6 Ejemplos de auto-ensamblaje en máquinas - Robots modulares

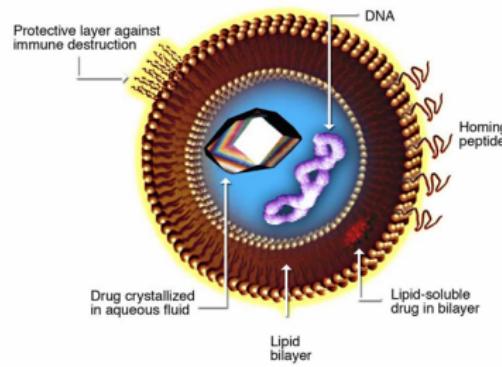


Auto-ensamblaje en la naturaleza

Liposoma

En la naturaleza se presenta autoensamblaje en muchas escalas, principalmente en la reparación de tejidos orgánicos, la fabricación de nanosistemas orgánicos e incluso la aparición de nuevos organismos. [6]

Liposome for Drug Delivery



Outline

- 1 Introducción
- 2 Auto-ensamblaje en la naturaleza
- 3 Auto-ensamblaje Estocástico
- 4 Auto-ensamblaje Programado
- 5 El modelo de ensamblaje de figuras (Tiles) y ADN
- 6 Ejemplos de auto-ensamblaje en máquinas - Robots modulares



Auto-ensamblaje Estocástico

Definición

Enlace de ejemplo: <https://www.youtube.com/watch?v=uuXuvOhqInQ>

Es capaz de formar estructuras espontáneamente a partir de racimos de proteínas sin ser distribuido o unido a posiciones específicas en células activamente. Este simple mecanismo organizativo, conocido como auto-ensamblaje estocástico, se relaciona con los patrones de auto-organización de primera descritos en 1952 por el informático británico Alan Turing [6]



Outline

- 1 Introducción
- 2 Auto-ensamblaje en la naturaleza
- 3 Auto-ensamblaje Estocástico
- 4 Auto-ensamblaje Programado
- 5 El modelo de ensamblaje de figuras (Tiles) y ADN
- 6 Ejemplos de auto-ensamblaje en máquinas - Robots modulares



Auto-ensamblaje Programado

¿Qué es?

Planteamiento original del problema:

- ¿Cómo podemos diseñar patrones y estructuras globales complejas a partir de interacciones locales?

Nuevo planteamiento del problema:

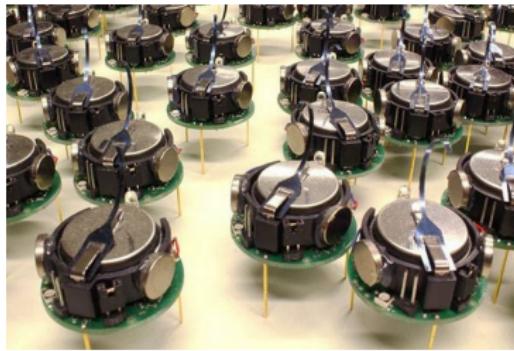
- ¿Cómo diseñamos un comportamiento local que alcance determinadas metas globales?
- ¿Cuáles son los paradigmas de la programación local y global?
- ¿Pueden los componentes individuales decidir activamente la posibilidad de enlazar con otros?



Auto-ensamblaje Programado

Ejemplo 1

Enlace ejemplo: <https://www.youtube.com/watch?v=xK54Bu9HFRw>



El algoritmo que dirige a esos robots termita no ha sido aún demostrado en un enjambre muy grande. De hecho, sólo unas pocas manadas de robots han superado hasta la fecha los 100 miembros, debido a las limitaciones algorítmicas en la coordinación de una cantidad tan grande, y al coste y el trabajo implicados en fabricar los dispositivos físicos.



Auto-ensamblaje Programado

Ejemplo 2 (Grammar)

$\begin{array}{c} a \\ \diagup \quad \diagdown \\ a \quad a \end{array}$	$\begin{array}{c} a \\ \diagup \quad \diagdown \\ a \quad a \end{array} \Rightarrow \begin{array}{c} b \\ \diagup \quad \diagdown \\ c \quad c \end{array} - \begin{array}{c} a \\ \diagup \quad \diagdown \\ a \quad b \end{array}$	(r ₁)
$\begin{array}{c} a \\ \diagup \quad \diagdown \\ b \quad c \end{array}$	$\begin{array}{c} b \\ \diagup \quad \diagdown \\ c \quad c \end{array} - \begin{array}{c} a \\ \diagup \quad \diagdown \\ e \quad e \end{array}$	(r ₂)
$\begin{array}{c} b \\ \diagup \quad \diagdown \\ c \quad a \end{array} - \begin{array}{c} a \\ \diagup \quad \diagdown \\ e \quad e \end{array} \Rightarrow \begin{array}{c} b \\ \diagup \quad \diagdown \\ d \quad c \end{array} - \begin{array}{c} a \\ \diagup \quad \diagdown \\ e \quad e \end{array}$	(r ₃)	
$\begin{array}{c} b \\ \diagup \quad \diagdown \\ c \quad a \end{array} - \begin{array}{c} a \\ \diagup \quad \diagdown \\ b \quad b \end{array} \Rightarrow \begin{array}{c} d \\ \diagup \quad \diagdown \\ c \quad a \end{array} - \begin{array}{c} a \\ \diagup \quad \diagdown \\ e \quad b \end{array}$	(r ₄)	
$\begin{array}{c} c \\ \diagup \quad \diagdown \\ a \quad b \end{array} - \begin{array}{c} c \\ \diagup \quad \diagdown \\ a \quad a \end{array} \Rightarrow \begin{array}{c} e \\ \diagup \quad \diagdown \\ a \quad b \end{array} - \begin{array}{c} c \\ \diagup \quad \diagdown \\ a \quad e \end{array}$	(r ₅)	
$\begin{array}{c} a \\ \diagup \quad \diagdown \\ b \quad c \end{array} - \begin{array}{c} b \\ \diagup \quad \diagdown \\ d \quad d \end{array} \Rightarrow \begin{array}{c} a \\ \diagup \quad \diagdown \\ e \quad c \end{array} - \begin{array}{c} b \\ \diagup \quad \diagdown \\ e \quad e \end{array}$	(r ₆)	
$\begin{array}{c} e \\ \diagup \quad \diagdown \\ c \quad a \end{array} - \begin{array}{c} a \\ \diagup \quad \diagdown \\ e \quad e \end{array} \Rightarrow \begin{array}{c} e \\ \diagup \quad \diagdown \\ c \quad b \end{array} - \begin{array}{c} a \\ \diagup \quad \diagdown \\ d \quad b \end{array}$	(r ₇)	
$\begin{array}{c} b \\ \diagup \quad \diagdown \\ e \quad a \end{array} - \begin{array}{c} a \\ \diagup \quad \diagdown \\ b \quad b \end{array} \Rightarrow \begin{array}{c} b \\ \diagup \quad \diagdown \\ e \quad c \end{array} - \begin{array}{c} a \\ \diagup \quad \diagdown \\ c \quad d \end{array}$	(r ₈)	
$\begin{array}{c} a \\ \diagup \quad \diagdown \\ b \quad d \end{array} - \begin{array}{c} b \\ \diagup \quad \diagdown \\ e \quad e \end{array} \Rightarrow \begin{array}{c} a \\ \diagup \quad \diagdown \\ b \quad d \end{array} - \begin{array}{c} c \\ \diagup \quad \diagdown \\ a \quad b \end{array}$	(r ₉)	
$\begin{array}{c} c \\ \diagup \quad \diagdown \\ a \quad d \end{array} - \begin{array}{c} c \\ \diagup \quad \diagdown \\ a \quad a \end{array} \Rightarrow \begin{array}{c} c \\ \diagup \quad \diagdown \\ a \quad d \end{array} - \begin{array}{c} c \\ \diagup \quad \diagdown \\ b \quad b \end{array}$	(r ₁₀)	

(g)

(h)

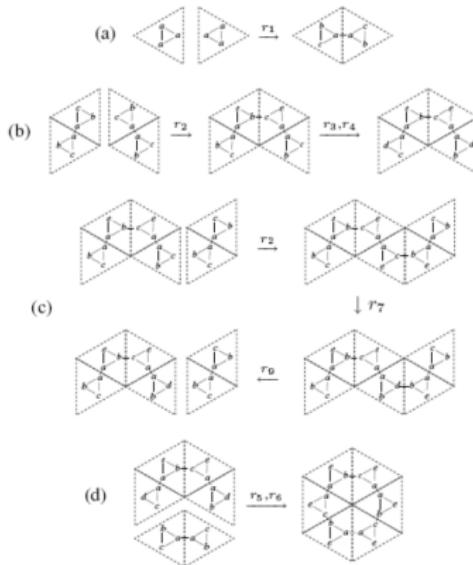


Fig. 3. The steps in the self-assembly of a hexagon using the rules described in Section V. Note that the geometry of the embedding represented here is for convenience. Graph grammars are purely topological, describing only the way the network topology of the system changes.



Outline

- 1 Introducción
- 2 Auto-ensamblaje en la naturaleza
- 3 Auto-ensamblaje Estocástico
- 4 Auto-ensamblaje Programado
- 5 El modelo de ensamblaje de figuras (Tiles) y ADN
- 6 Ejemplos de auto-ensamblaje en máquinas - Robots modulares

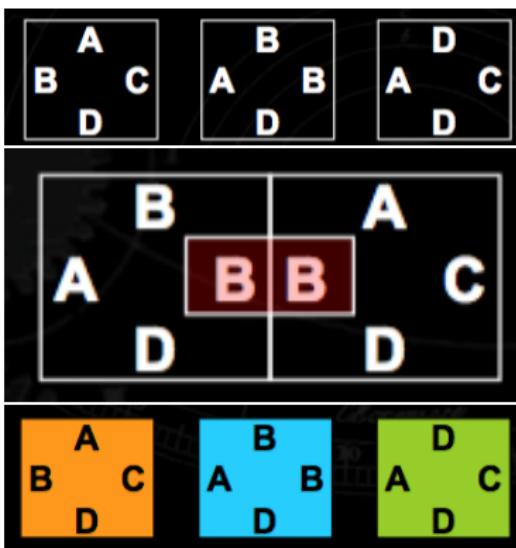


El modelo de ensamblaje de figuras (Tiles)

- Son un arreglo de figuras que cubren un plano.
- Las figuras se ensamblan de acuerdo a unas reglas: sus lados deben ser complementarios.
- El problema de las figuras: dado un conjunto finito de figuras , existe un ensamblaje valido para un plano dado (comprobado insoluble).



El modelo de ensamblaje de figuras (Tiles)



El modelo de ensamblaje de figuras (Tiles)

Definición

Definition

Dado un conjunto finto $\Sigma \mid \text{null} \in \Sigma$ es el dominio de las reglas de unión de una figura. Una figura t es una 4-tupla $(\sigma N, \sigma S, \sigma E, \sigma W) \in \Sigma^4$. Una función de fortaleza entre las uniones $g : \Sigma \times \Sigma \rightarrow \mathbb{N}$ para todo $\sigma \in \Sigma$ $g(\text{null}, \sigma) = 0$ denota la fuerza del enlace. Para todo $\sigma \neq g(\sigma, \sigma) = 1$ y para todo $\sigma' \neq \sigma, g(\sigma, \sigma') = 0$ y un sistema S una tripleta (T, g, τ) donde T es el conjunto de figuras incluido el vacío, g la función de fuerza y $\tau \in \mathbb{N}$ la temperatura.



Auto-ensamblaje - computación

Resta

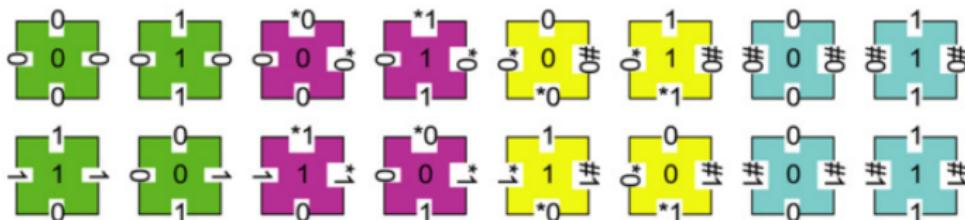


Figure: Figuras para computar la resta [1]



Auto-ensamblaje - computación

Resta

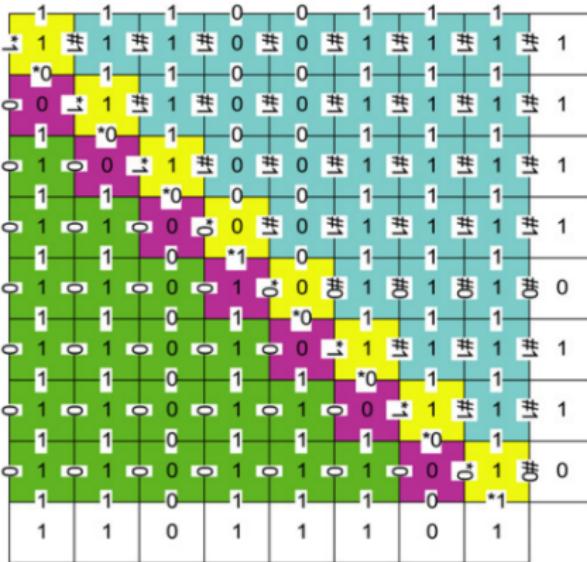
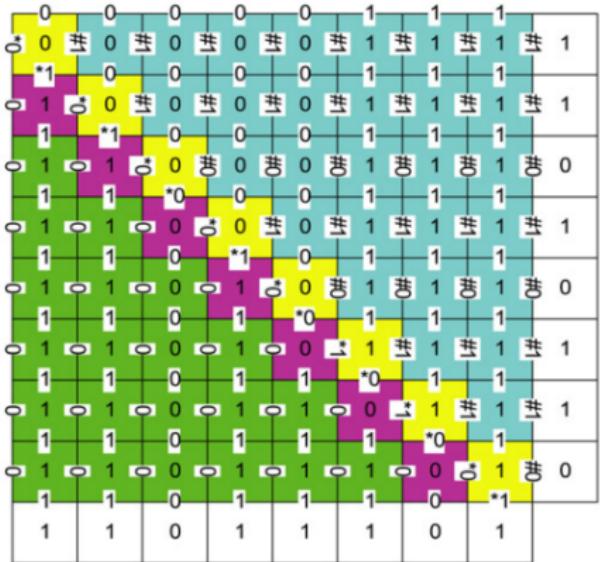


Figure: Resta entre 221-214 y entre 221 y 246



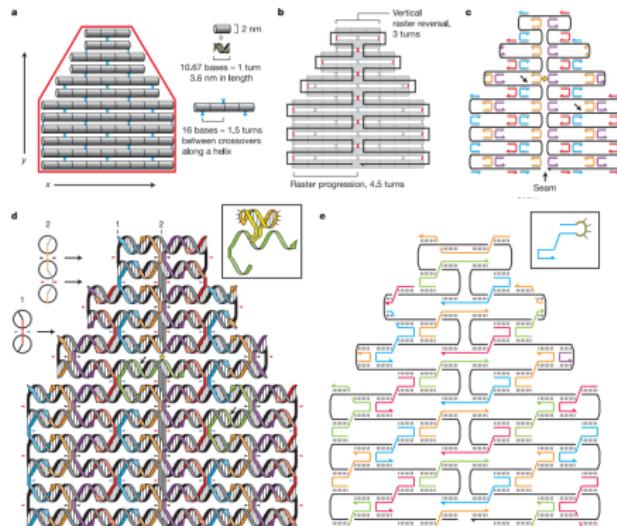
Auto-ensamblaje ADN I

¿Porqué ADN?

	DNA	Current computer
Information density (bits/nm ³)	~1	~10 ⁻¹¹
Parallelism (operations/sec)	~10 ¹⁸	~10 ¹²
Energy expenditure (J/operation)	~10 ⁻¹⁹	~10 ⁻⁹



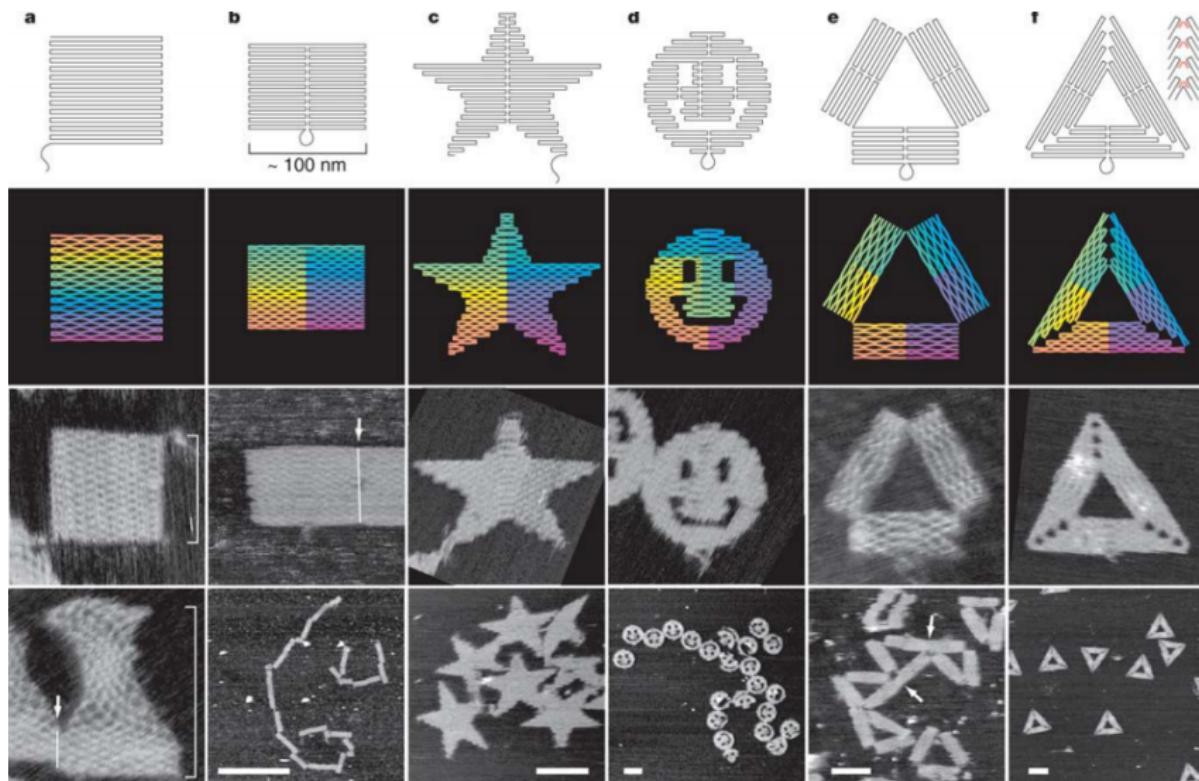
Auto-ensamblaje ADN II



Ensamblaje de ADN plantilla[5]



Auto-ensamblaje ADN III



Outline

- 1 Introducción
- 2 Auto-ensamblaje en la naturaleza
- 3 Auto-ensamblaje Estocástico
- 4 Auto-ensamblaje Programado
- 5 El modelo de ensamblaje de figuras (Tiles) y ADN
- 6 Ejemplos de auto-ensamblaje en máquinas - Robots modulares



Robots Modulares

Robots

Los robots modulares conforman una rama de los sistemas robóticos cooperativos. Un robot modular puede ser definido como “un sistema robótico construido por un conjunto de elementos estandarizados (o bloques constructivos) ” normalmente llamados módulos, y que se pueden organizar de diferentes formas para lograr diferentes estructuras y realizar diversas tareas[3].



Robots Modulares

Objetivos al diseñar y construir robots modulares:

- Reusabilidad y reconfigurabilidad
- Auto-reconfiguración y auto-ensamblaje
- Escalabilidad
- Confiabilidad y Robustez

Aplicaciones para los robots modulares:

- Exploración Espacial: Por su capacidad de auto-reparación y la robustez.
- Búsqueda y rescate en terreno de difícil acceso: Por su alta capacidad de adaptación.



Ejemplos de auto-ensamblaje en máquinas

Robots

Un sencillo robot de bajo costo llamado: Kilobot permitió a los investigadores producir un enjambre de 1024 robots para probar comportamientos colectivos.

El Kilobot tiene una locomoción no convencional utilizando motores de vibración, y se comunica utilizando la luz infrarroja reflejada; cada robot tiene capacidades simples, y es susceptible a muchos errores. Para compensar esto, deben trabajar juntos.



Kilobots

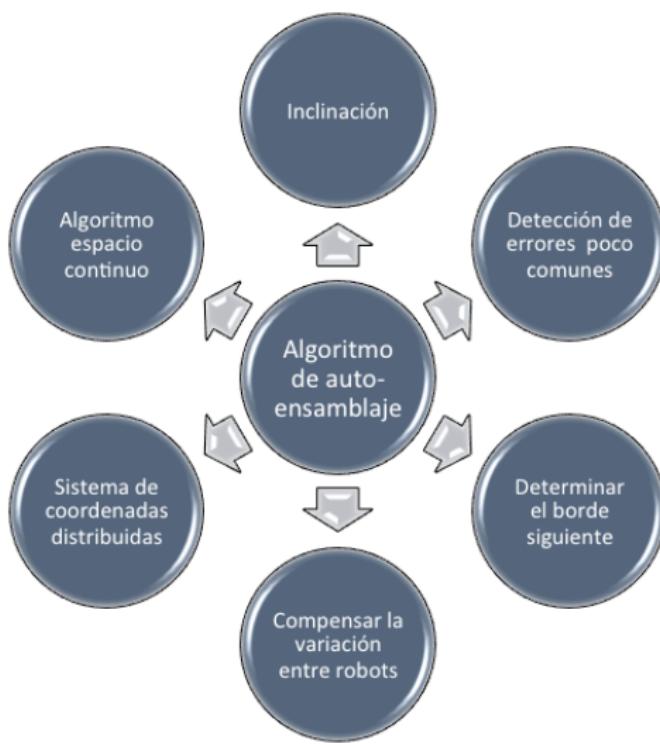
Para lograr esto se ha diseñado un algoritmo para auto-ensamblaje programable en grandes enjambres donde el usuario puede dar una forma deseada a todos los robots. Este algoritmo produce robots para armar consistentemente la forma deseada sin la intervención humana, a través de enjambres.

<https://www.youtube.com/watch?v=-Q14d-c65CY>



Kilobots

Algoritmo



Kilobots

Pasos

- ① Para iniciar el proceso de ensamblaje, un usuario coloca 4 semillas de robots para marcar la posición donde la forma debe armarse.
- ② Se ubican robots en el borde exterior de la forma arbitraria, inician grupos de partida por turnos de movimientos.
- ③ Los robots se van moviendo, siguiendo el borde hasta que entran en la forma deseada, como lo determina un sistema de coordenadas colectivamente construido.
- ④ Una vez dentro de la forma, los robots se mueven hasta que o bien están a punto de salir de la misma, o se golpeen con el robot anterior. Cuando esto ocurre se unen a la forma.



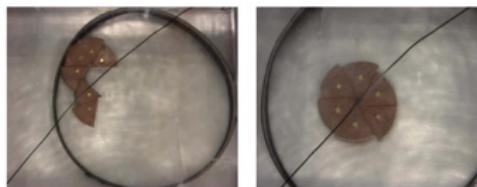
Tribolon

Pertenece a los sistemas modulares robóticos: Tribolon, se denomina a un solo módulo, que consiste básicamente en una forma de caucho espumado y un pequeño vibrador. La energía del vibrador se proporciona a través de una antena que toca una especie de techo de aluminio, conectado a una fuente de alimentación.

Imanes unidos a los módulos permiten que ellos se atraigan o se repelen entre sí. A causa de la vibración, los módulos que se mueven, y dependiendo de la forma de los módulos, emergen diferentes comportamientos, como la agrupación o la rotación.



Ejemplos Tribolon

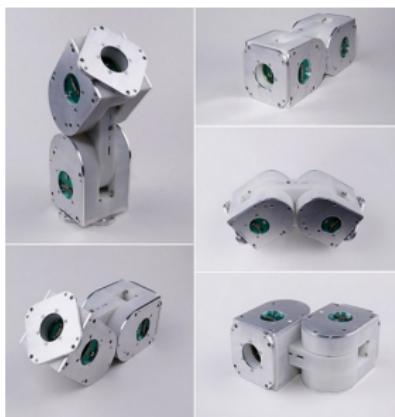


https://www.youtube.com/watch?v=I3xyIAAp0_o

[https:](https://www.youtube.com/watch?v=u8jExRePCbg&feature=youtu.be)



Los módulos tienen capacidad de auto-reconfiguración de modo que un grupo de los módulos pueden construir una estructura robótica generando movimiento dinámico.



<https://www.youtube.com/watch?v=edX-rppn34o>

<https://youtu.be/4oSavAHf0dg>



Estos sistemas que pueden adaptarse a sí mismos al ambiente externo cambiando su configuración. También pueden auto-repararse mediante el uso de módulos de repuesto sin ayuda externa, debido a su estructura modular homogénea.



Tienen diversas aplicaciones, especialmente para estructuras o robots que deben operar en ambientes extremos, inaccesibles a los seres humanos, por ejemplo, en el espacio o en alta mar, o en las plantas nucleares.



Biobots

Biobot, es la abreviatura de: robot biológico, esto consiste en dirigir las cucarachas por control remoto y hacer que caminen, se paren y cambien de dirección. Se insertan los electrodos en las antenas y cercos (órganos sensoriales situados en la parte trasera de las cucarachas).

Se utilizan impulsos eléctricos para estimular las células sensoriales de las antenas, haciéndoles creer que hay un obstáculo que esquivar.

<https://www.youtube.com/watch?v=kb5av6tbNXM>

<https://www.youtube.com/watch?v=R-IzkGA9hTc>



Motivación e inspiración:

- ① Versatilidad y adaptabilidad: Nuevas morfologías que se adaptan mejor para la tarea
- ② Robustez: Las partes son intercambiables (auto-reparación)
- ③ Bajo coste: Muchas copias de algunos tipos de módulos



Robotica espacial

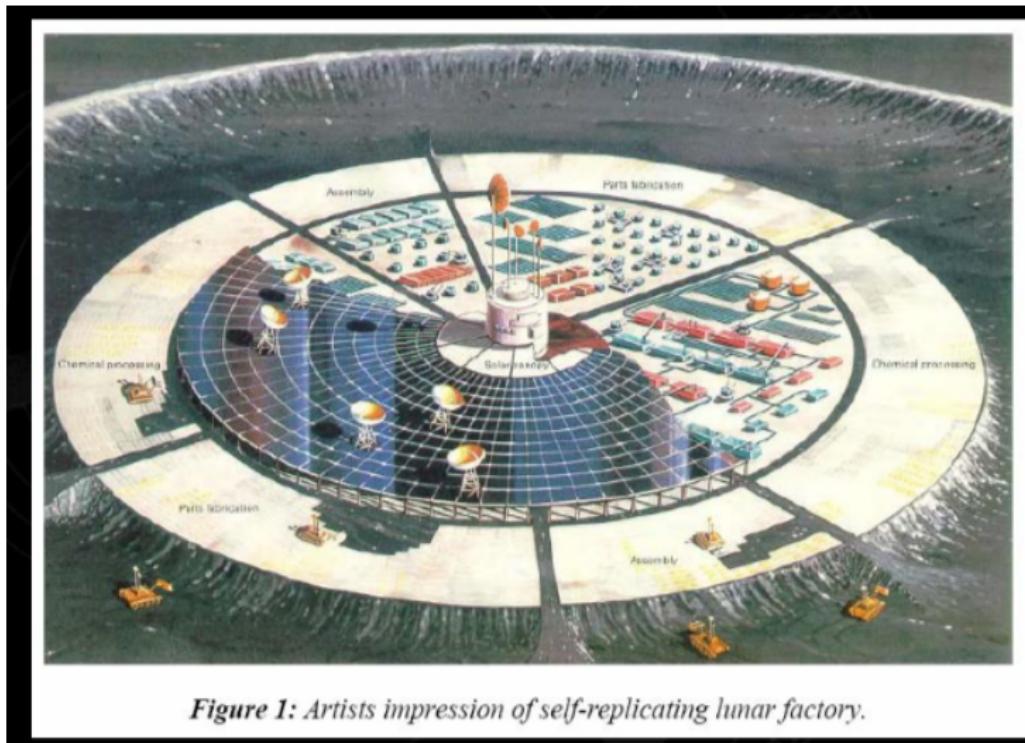


Figure 1: Artist's impression of self-replicating lunar factory.



References I

-  Yuriy Brun, *Solving NP-complete problems in the tile assembly model*, Theoretical Computer Science **395** (2008), 31–46.
-  Vikram Kavthekar David H. Gracias, *Fabrication of Micrometer-Scale, Patterned Polyhedra by Self-Assembly*, Advandec Materials **14** (2002), 235–238.
-  Rodrigo Moreno García, *Diseno y simulación de un algoritmo para el control de un robot modular tipo cadena*, Master's thesis, Universidad Nacional de Colombia, 2010.
-  Steven M Kautz and James I Lathrop, *Self-assembly of the discrete Sierpinski carpet and related fractals (Preliminary version)* arXiv : 0901 . 3189v1 [cs . OH] 21 Jan 2009, 1–17.
-  Paul W. K. Rothemund, *Folding DNA to create nanoscale shapes patterns*, Nature (2006).



References II



George M Whitesides and Bartosz Grzybowski, *Self-assembly at all scales.*, Science (New York, N.Y.) **295** (2002), no. 5564, 2418–2421.



Gracias!

¿Preguntas?

