

Robótica modular y locomoción



Juan González Gómez
Escuela Politécnica Superior
Universidad Autónoma de Madrid

ÍNDICE

1. **Introducción**
2. Módulos
3. Osciladores
4. Locomoción en 1D
5. Locomoción en 2D
6. Simulación
7. Conclusiones y trabajo futuro

El problema de la locomoción (I)

- Desarrollo y construcción de un robot móvil lo más versátil posible capaz de desplazarse de un punto a otro con independencia del terreno



Arquitectura

Nivel superior

- *Percepción del entorno*
- *Planificación de trayectorias*
- *Navegación*
- *Toma de decisiones*

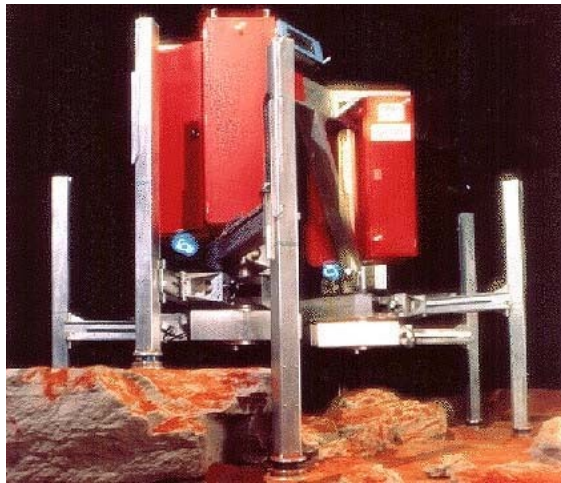
Nivel inferior

- *Coordinación*
- *Morfología*
- *Modos de caminar*

Problema de la locomoción (II)

Enfoque clásico:

- Estudiar el terreno
 - Diseñar la mecánica
 - Implementar Modos de caminar
- NASA interesada en este problema
 - Exploración de planetas
 - Ej. Robots Ambler y Dante II



(Ambler, Krotkov et al, 1989)



(Dante II, Bares et al, 1994)

Problema de la locomoción (III)

Vídeos: 1,2

Enfoque bio-inspirado:

- Copiar a los animales de la naturaleza

Boston Dynamics

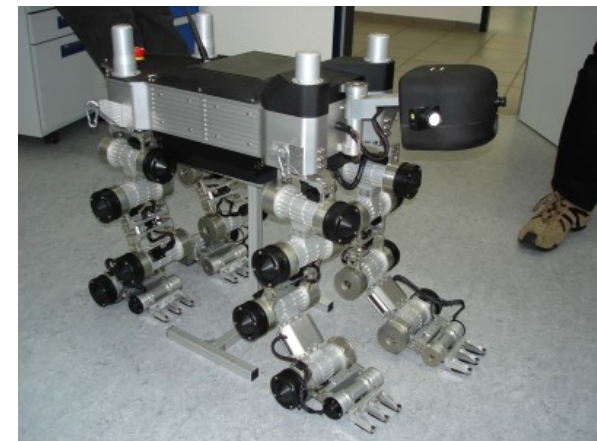


(**BigDog**, Raibert et al. 2008)

Robotic Lab at DFKI Bremen



(**Scorpio**, Dirk et al. 2007)



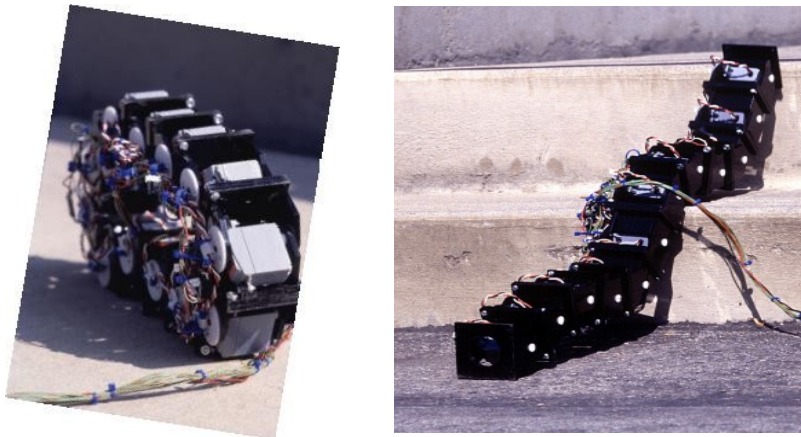
(**Aramies**, Sastra. 2008)

Problema de la locomoción (IV)

Enfoque nuevo: Robots modulares auto-configurables

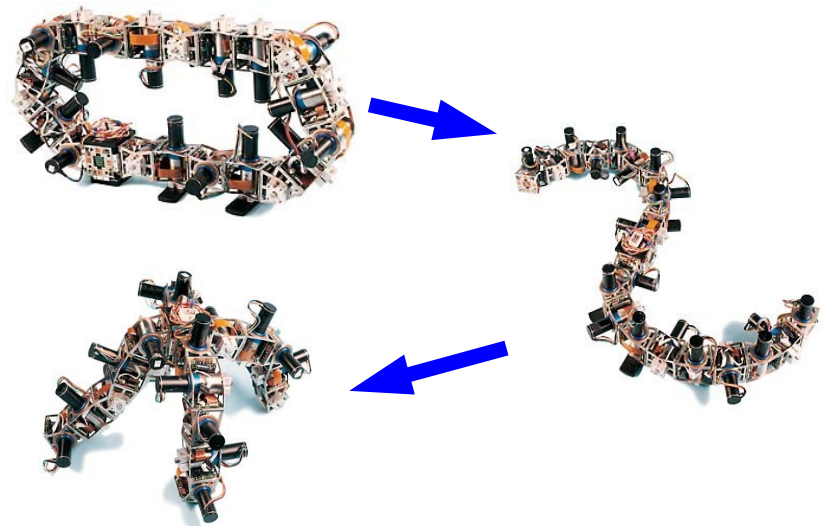
- Los robots cambian su forma para adaptarse al terreno

Auto-configuración simple en Polybot G1. De rueda a serpiente



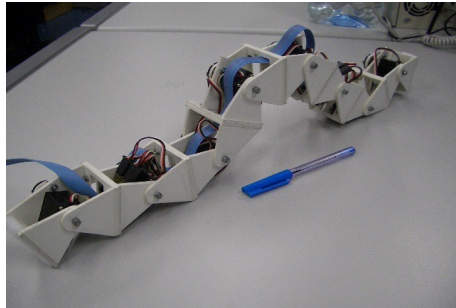
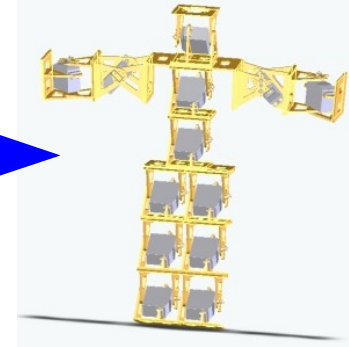
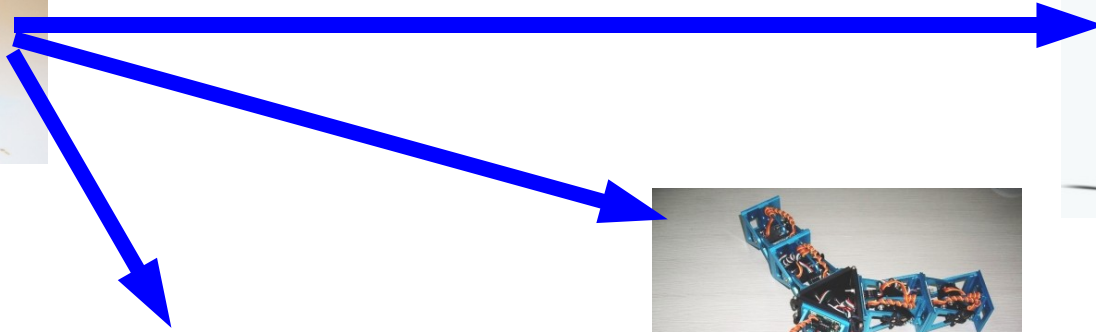
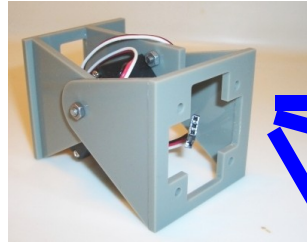
(Polybot G1, Yim et al. 1997)

Auto-configuración compleja: de rueda a serpiente y luego a robot de cuatro patas



(Polybot G2, Yim et al. 2000)

Robótica modular



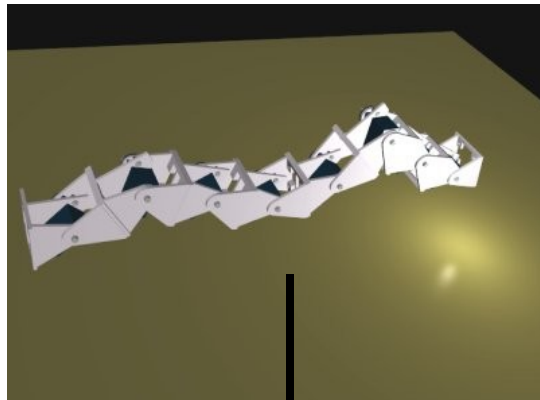
- Dos aspectos importantes
 - **Morfología** del robot
 - **Controlador** de la locomoción

Morfología (I)

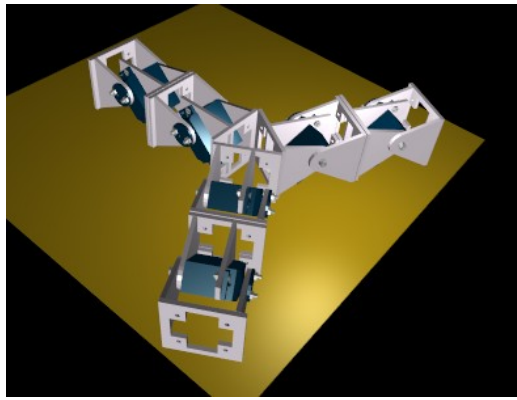
- Cada morfología tiene sus propias capacidades locomotivas
- El número de posibles configuraciones crece exponencialmente con el número de módulos
- Necesario establecer una clasificación

Clasificación de robots modulares

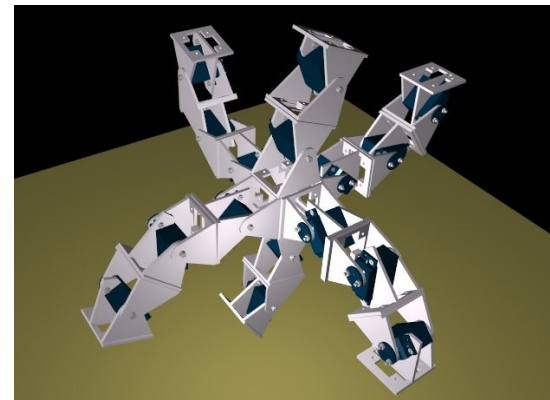
Topología en 1D



Topología en 2D



Topología en 3D

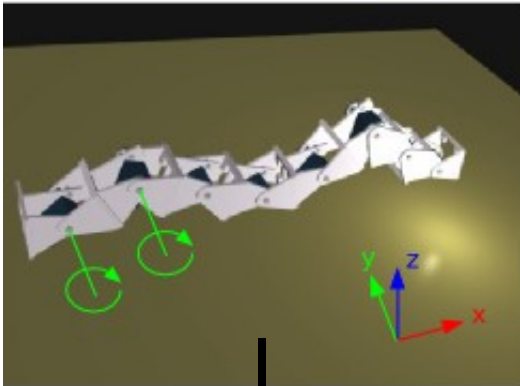


Robots ápodos

Morfología (II)

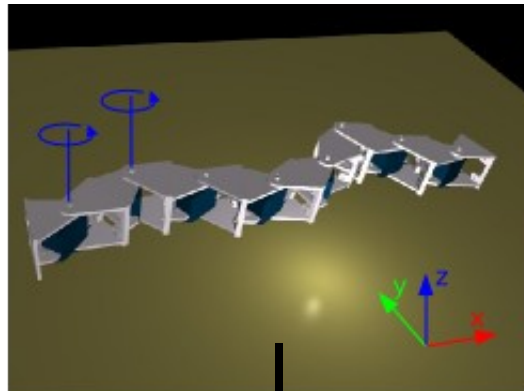
Clasificación de los robots con topología en 1D (**Robots ápodos**)

Cabeceo-cabeceo



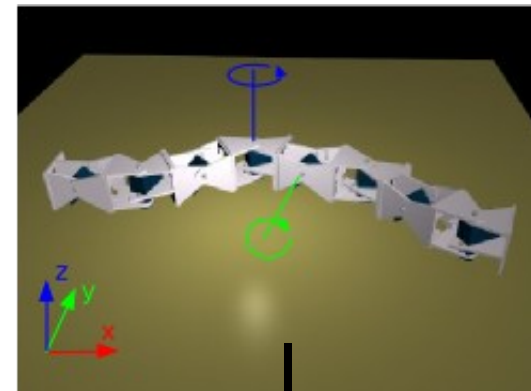
Para el estudio
de la locomoción
en 1D

Viraje-viraje



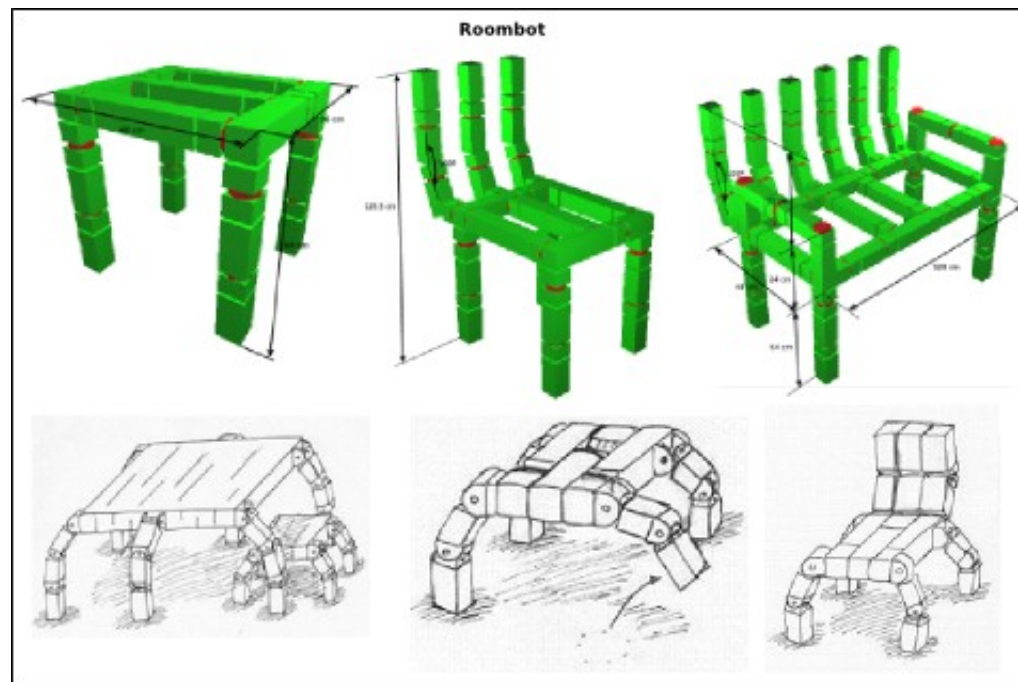
Estos robots necesitan
pieles artificiales
especiales o ruedas
pasivas para
desplazarse

Cabeceo-viraje



Para el estudio
de la locomoción
en 2D

Robots modulares y objetos sólidos

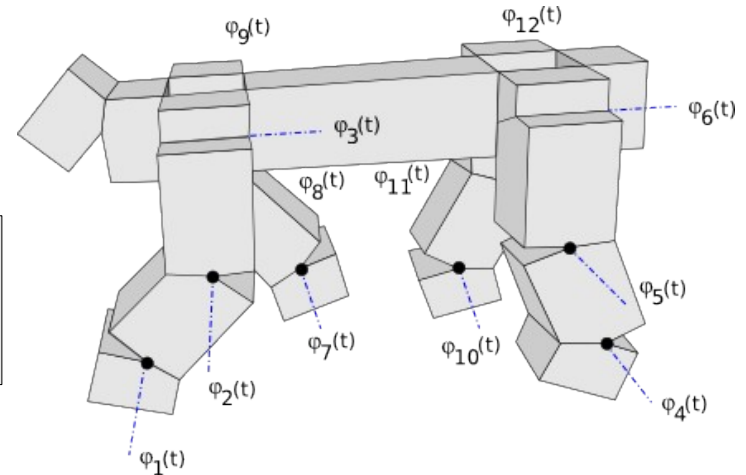


- Creación de objetos sólidos a partir de módulos
- Ej. **RoomBot**, (Arredondo et al.). Bioinspired Robotics Lab at EPFL
- Muebles auto-configurables capaces de moverse :-)

Controladores de locomoción

- **Problema de la coordinación:**

Cálculo de los ángulos de las articulaciones para moverse de diferentes maneras: $\varphi_i(t)$

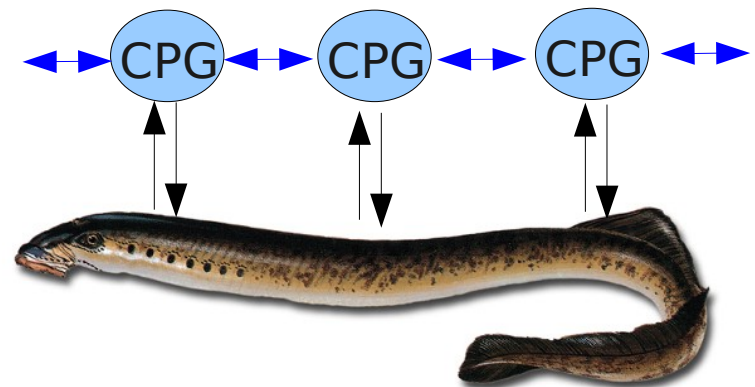


- **Enfoque clásico:** Modelado matemático

- Cálculo mediante cinemática inversa
- Desventajas: Ecuaciones sólo válidas para morfologías específicas

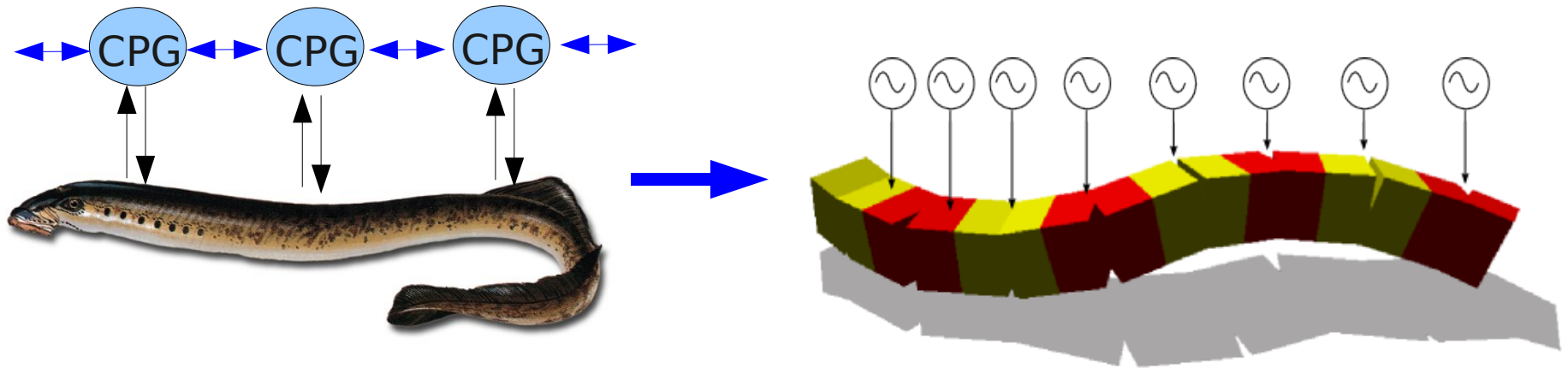
- **Controladores bio-inspirados:** CPGs

- Generadores centrales de patrones
- Controlas las actividades rítmicas de los músculos
- Ej. Locomoción de la Lamprea

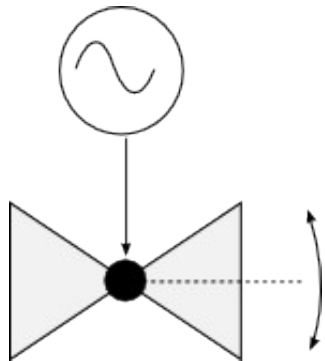


Osciladores sinusoidales

- Los CPGs los reemplazamos por un modelo simplificado



- Osciladores sinusoidales:



$$\varphi_i(t) = A_i \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \psi_i\right) + O_i$$

- **Ventajas:**

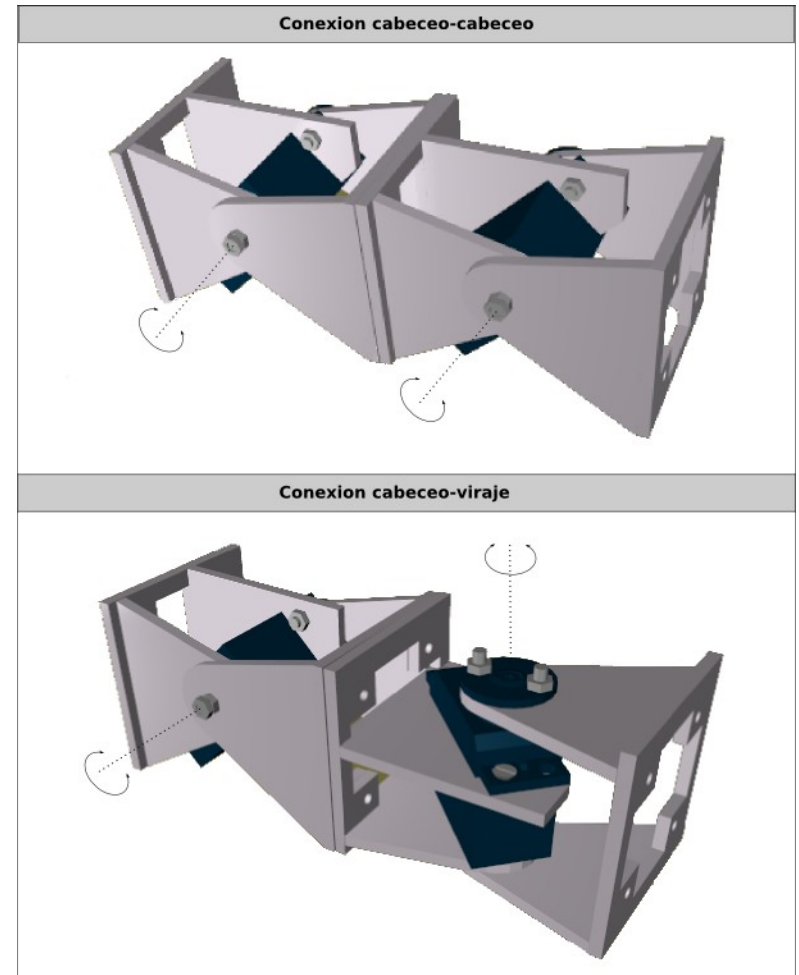
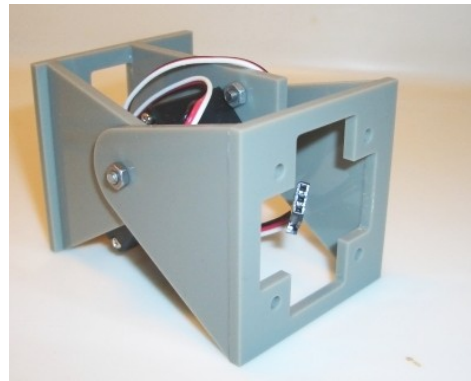
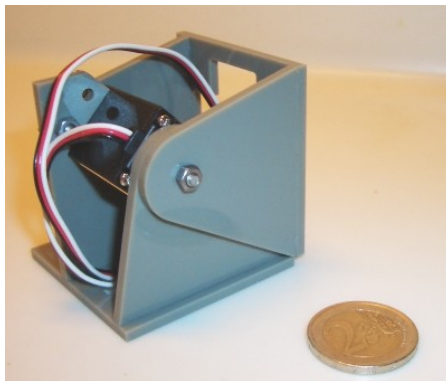
- Pocos recursos necesarios para su implementación

ÍNDICE

1. Introducción
2. **Módulos**
3. Osciladores
4. Locomoción en 1D
5. Locomoción en 2D
6. Simulación
7. Conclusiones y trabajo futuro

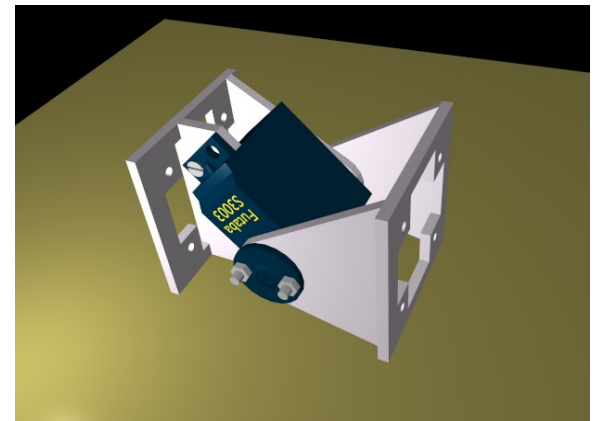
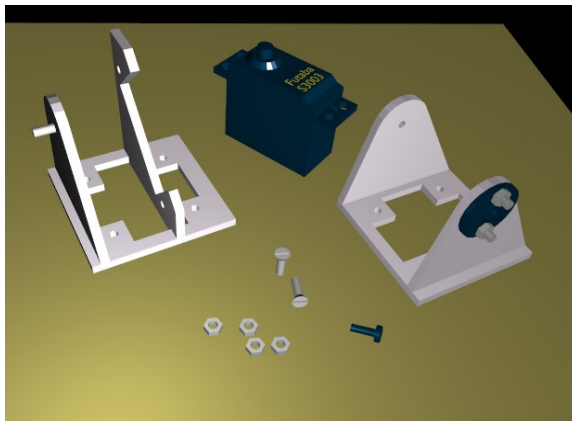
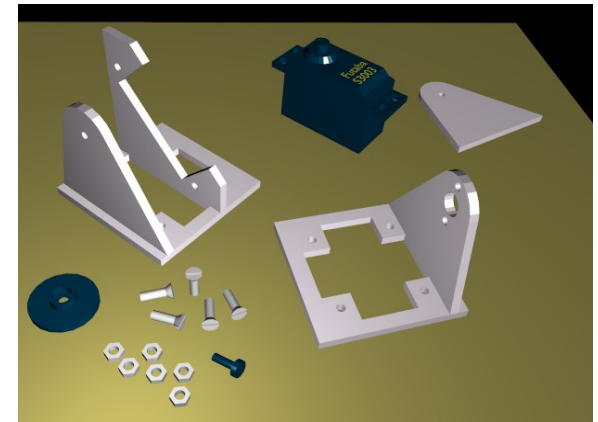
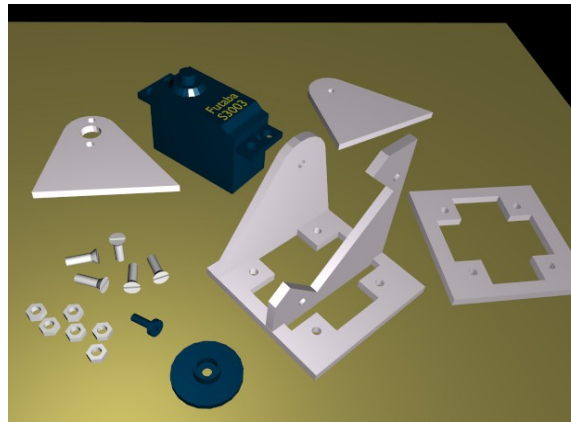
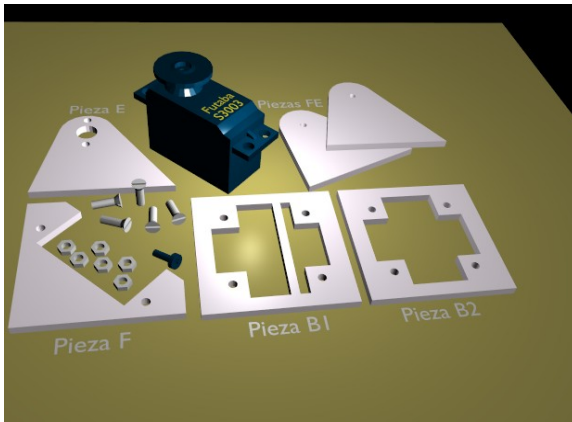
Primera generación: Módulos Y1

- Un grado de libertad
- Fáciles de construir
- Baratos
- Servo: Futaba 3003
- Material: Plástico de 3mm
- Tamaño: 52x52x72mm
- Libres



Construcción de los Módulos Y1

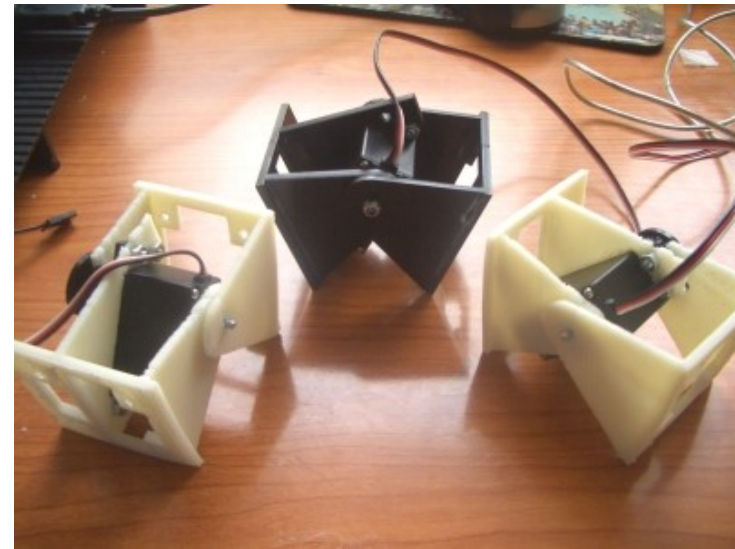
Demo qcad



- Cortar las piezas: Corte por láser, corte “a mano”
- Pegarlas
- Montar el servo

Módulos REPY-1: Versión “imprimible”

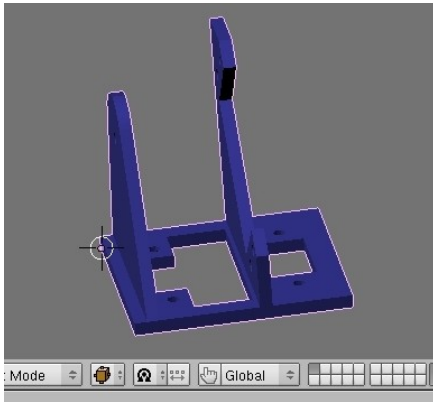
- Fabricación mediante una **impresora 3D** casera: Reprap
- Material: Plástico ABS (el mismo que usa Lego)
- Acabado “tosco”
- Cada módulo tiene dos partes: la cabeza y el módulo
- Tiempo de impresión: 1h y media (45 minutos cada pieza)
- Tiempo de montaje: 5 minutos
- Compatibles con los módulos Y1



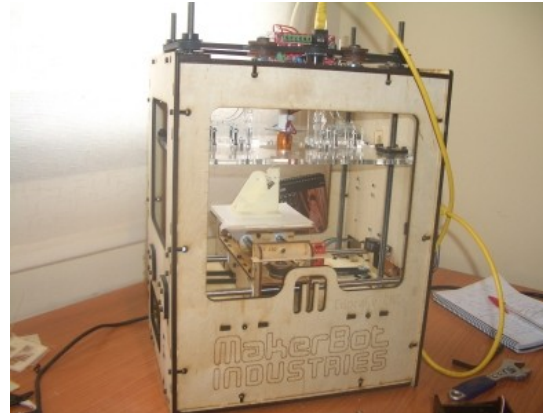
Módulos REPY-1: Fabricación

Demo Blender

Pieza virtual
(Blender)



Impresión



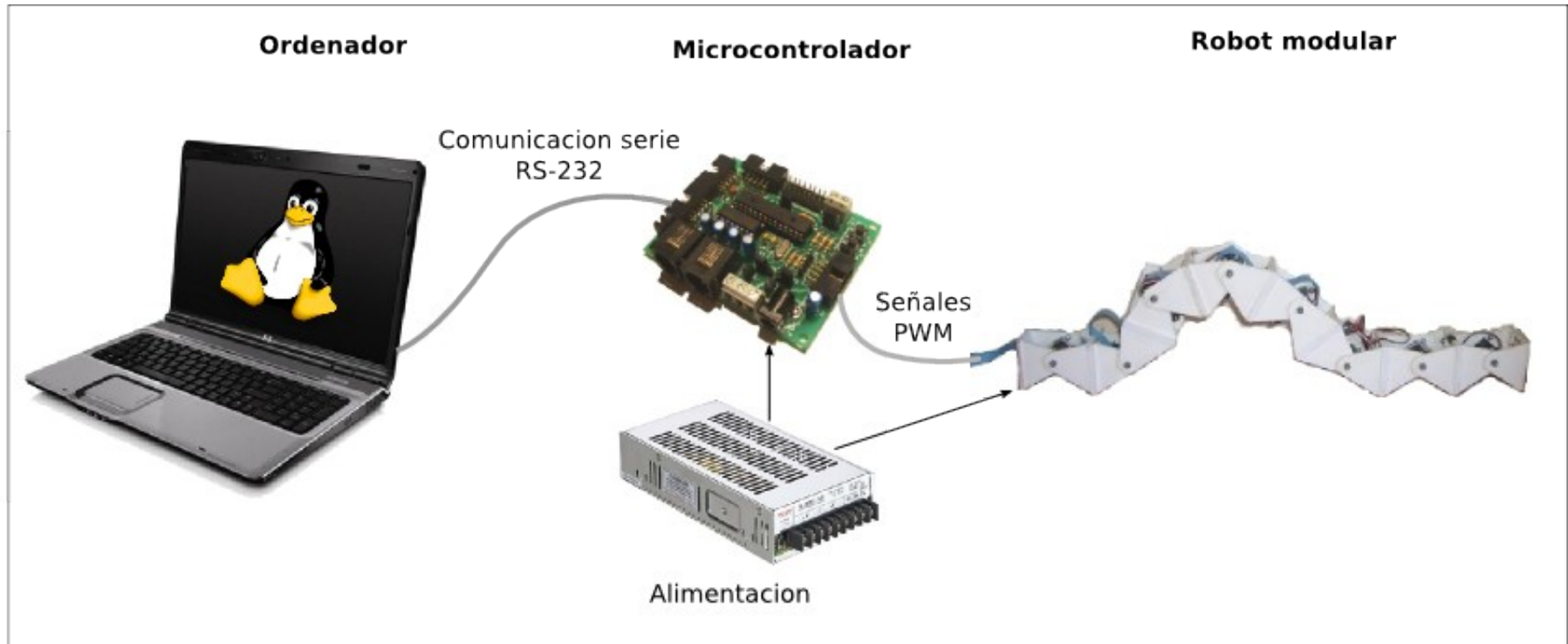
Pieza real



Montaje



Electrónica y control

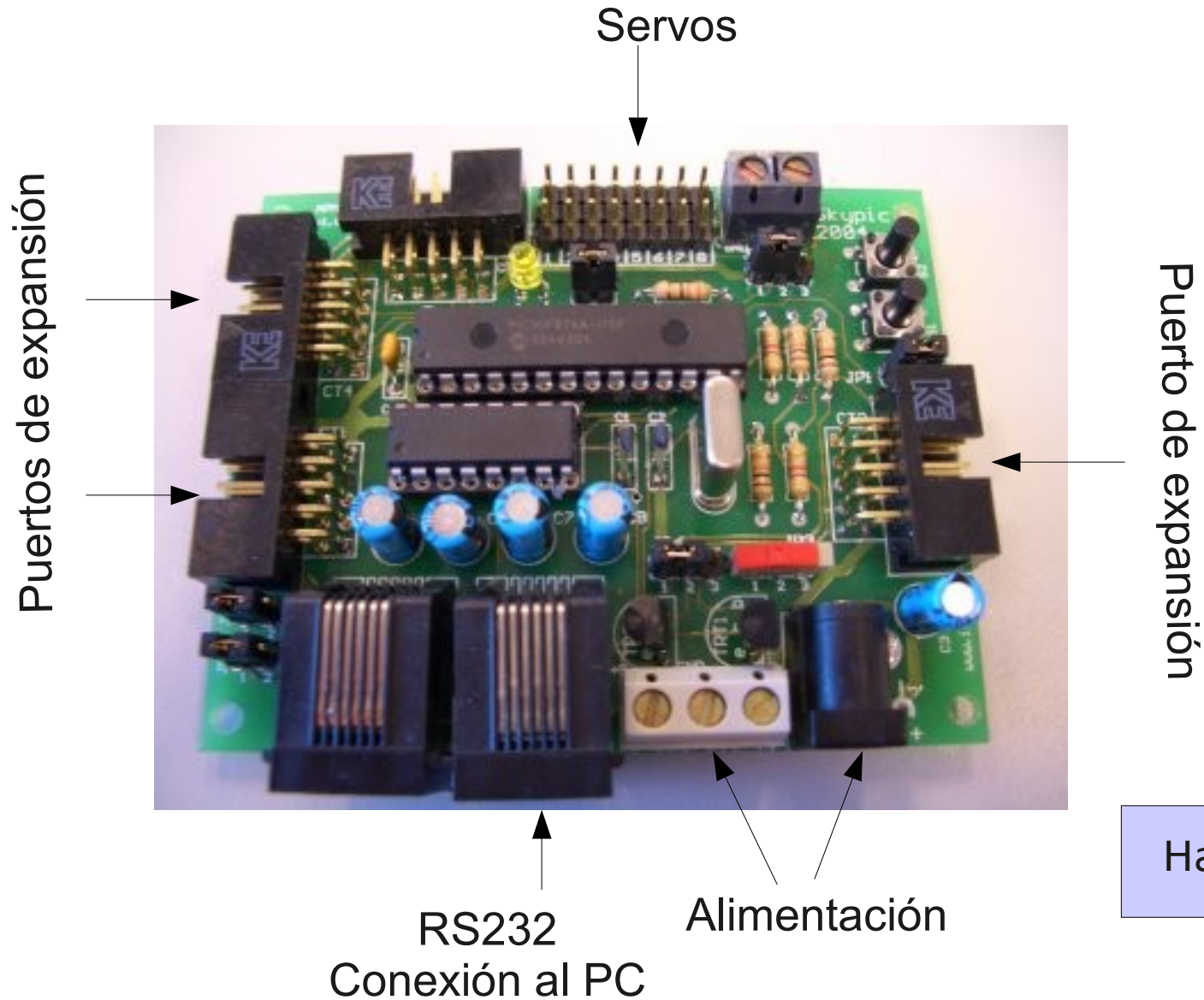


- Electrónica y alimentación fuera del robot
- Control desde el PC
- Esta primera versión se ha usado para probar la viabilidad de los controladores

Electrónica: Tarjeta Skypic

Demo

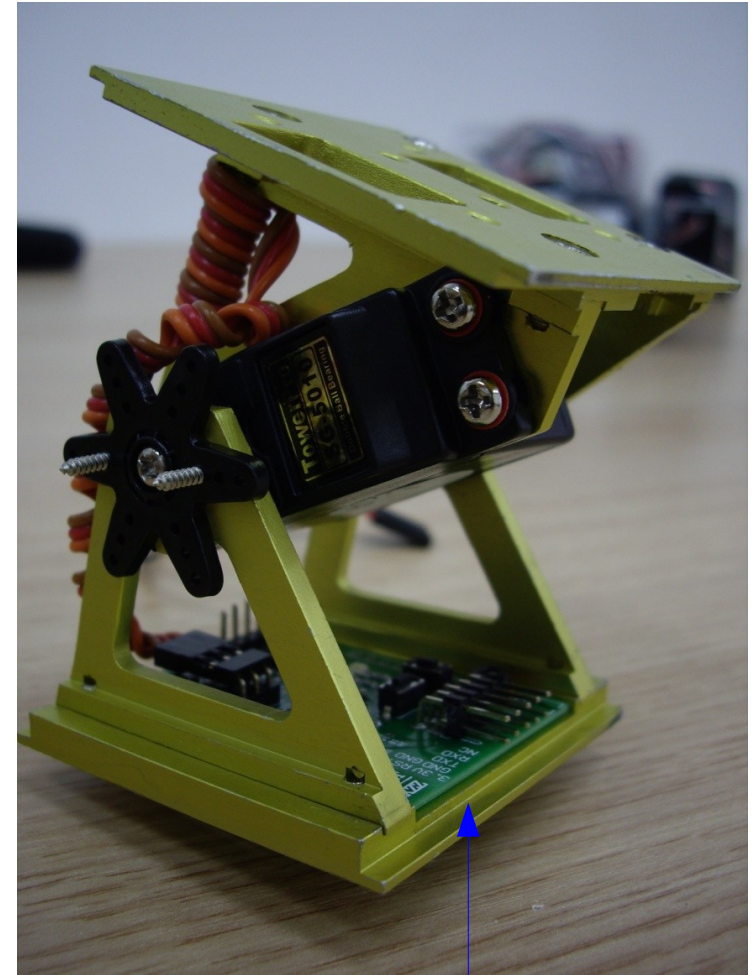
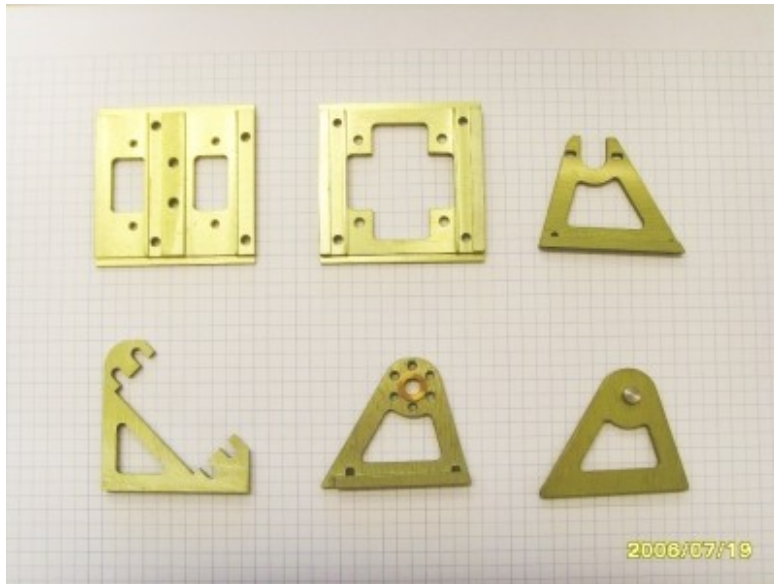
- Microcontrolador **PIC16F876A** de Microchip



Hardware libre

Segunda generación: Módulos Cube-M

- Hechos en aluminio
- Fáciles de montar
- Electrónica y sensores se pueden situar dentro
- Desarrollada en colaboración con la **Universidad de Hamburgo**



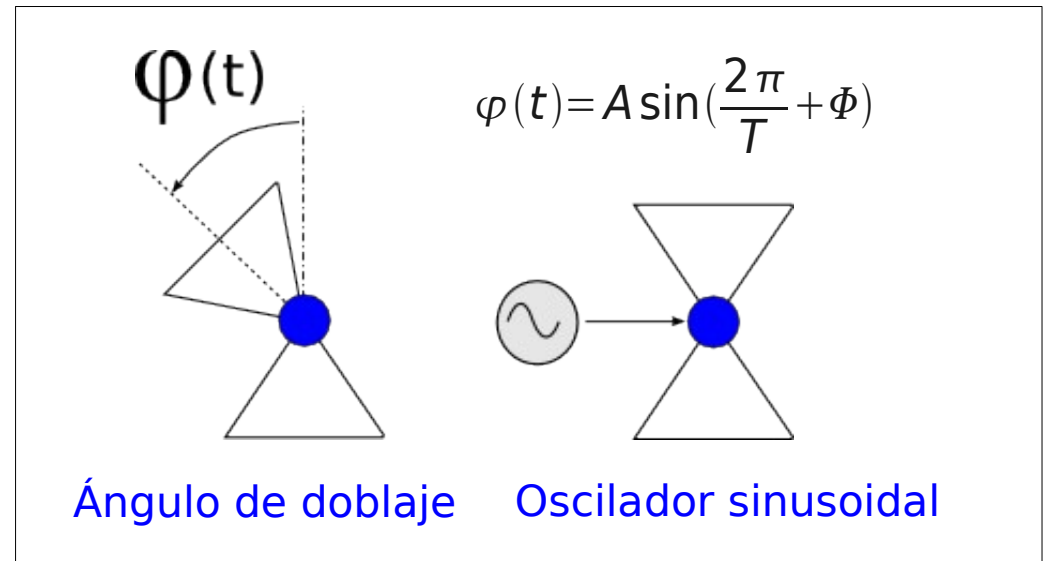
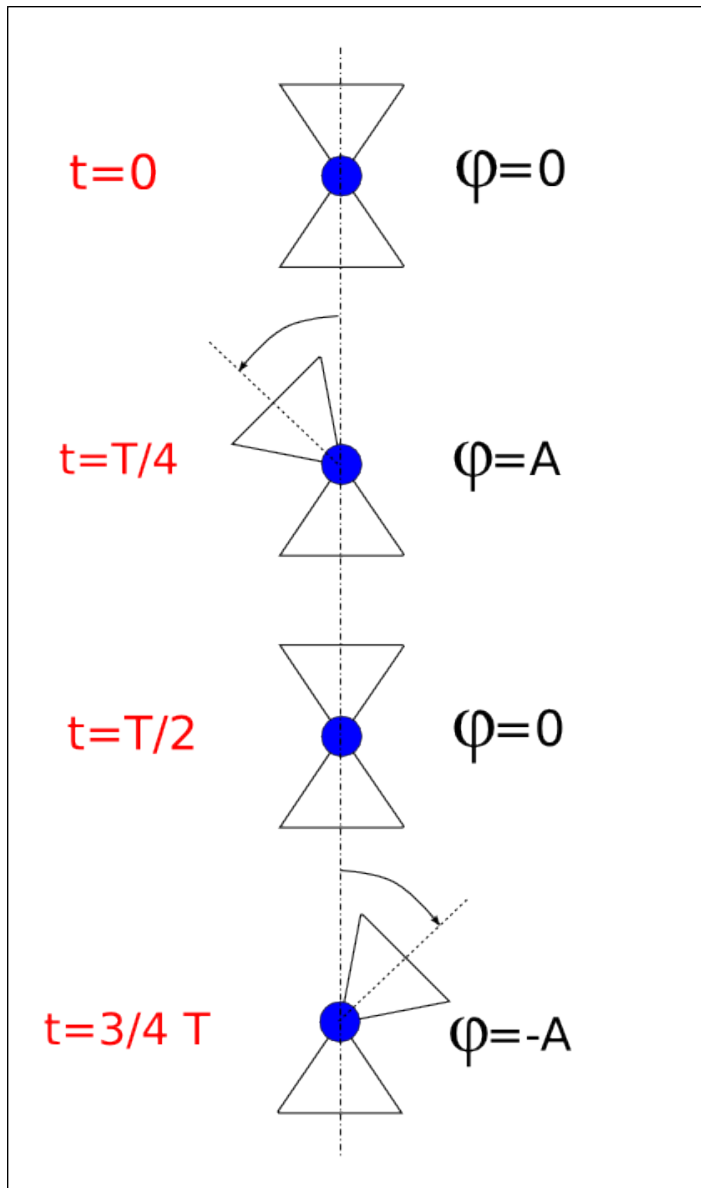
Electrónica

ÍNDICE

1. Introducción
2. Módulos
3. **Osciladores**
4. Locomoción en 1D
5. Locomoción en 2D
6. Simulación
7. Conclusiones y trabajo futuro

Oscilación de un módulo

Demo

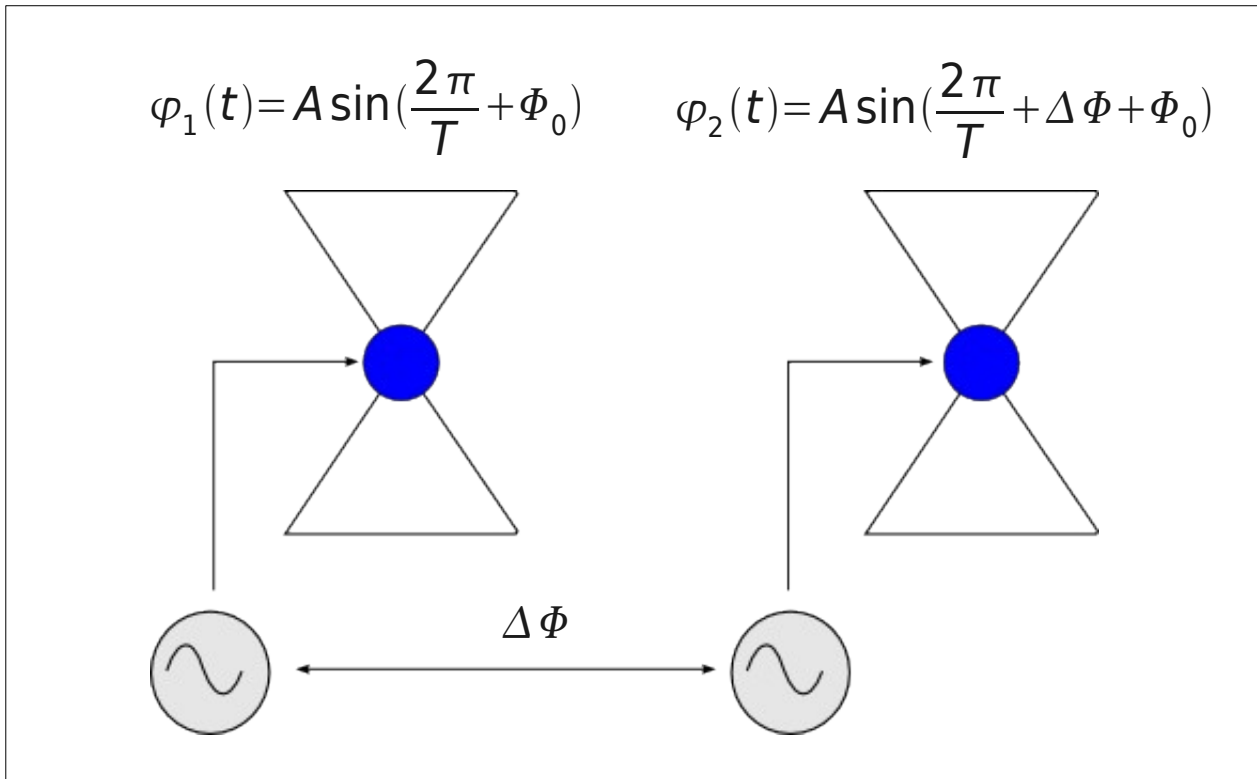


Parámetros:

- **Amplitud:** A Ángulo de doblaje máximo
- **Periodo:** T Frecuencia de oscilación
- **Fase inicial:** Φ Ángulo de doblaje inicial

En régimen permanente la fase inicial no tiene importancia

Oscilación de varios módulos (I)



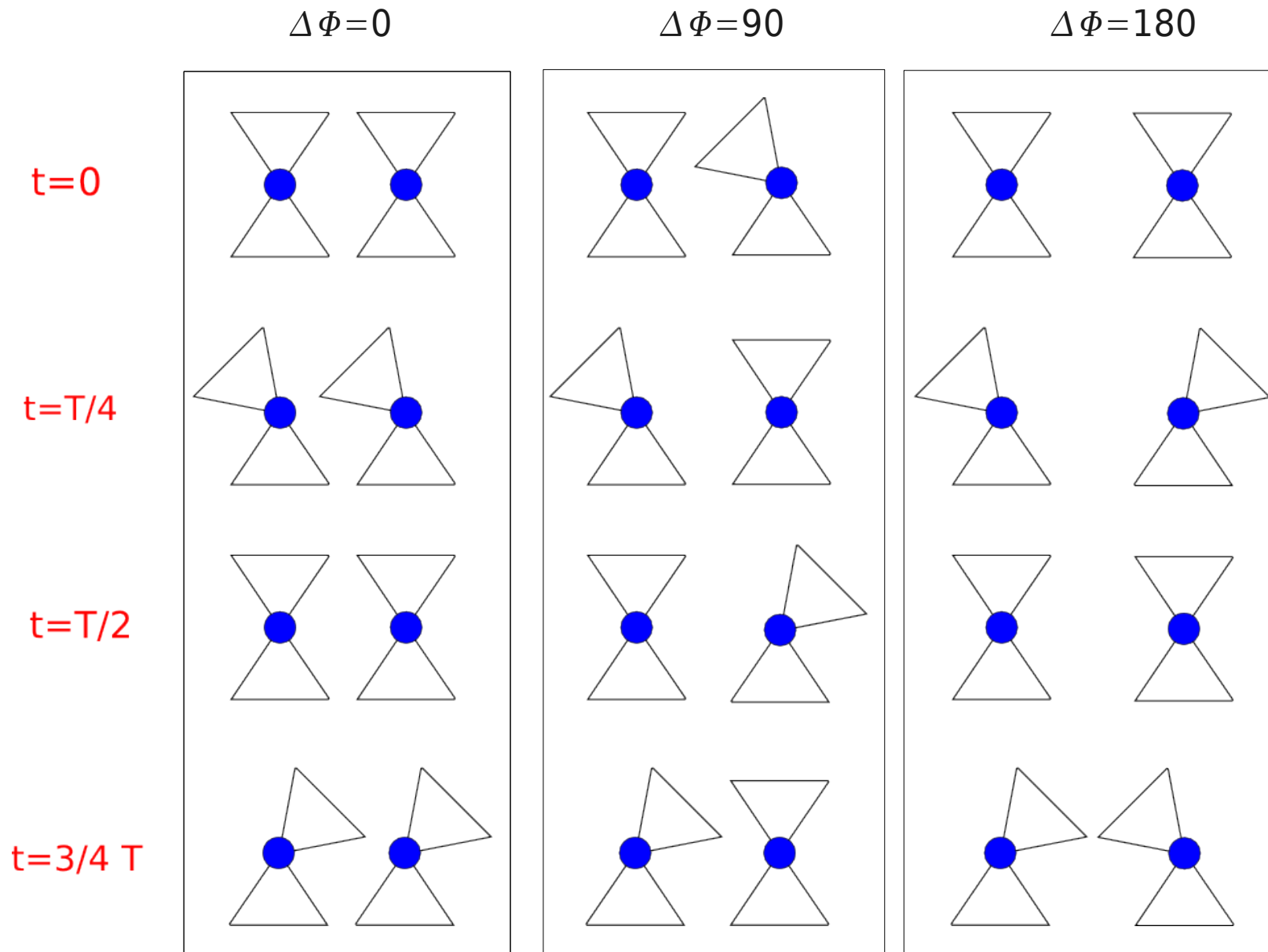
Nuevo parámetro:

- **Diferencia de fase:** $\Delta\Phi$

Establece el movimiento relativo de un módulo respecto a otro

Oscilación de dos módulos (II)

Demo



ÍNDICE

1. Introducción
2. Módulos
3. Osciladores
4. **Locomoción en 1D**
5. Locomoción en 2D
6. Simulación
7. Conclusiones y trabajo futuro

Configuración mínima

Problema de la configuración mínima:

¿Cuántos módulos son necesarios para construir un robot modular con topología de 1D capaz de moverse en línea recta?

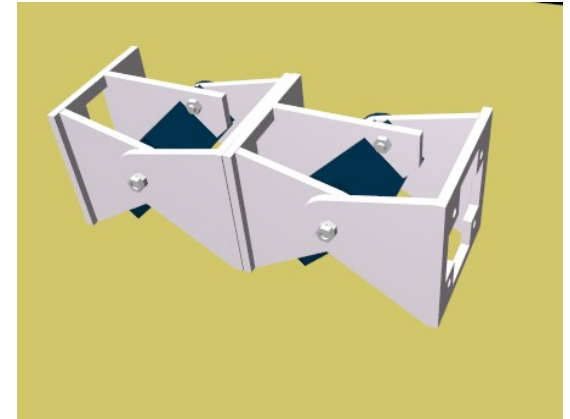
¿¿¿???

Minicube-I

Demo

- **Morfología**

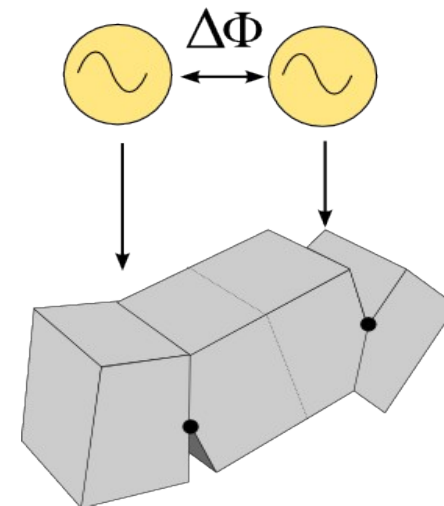
2 modules con conexión
cabeceo-cabeceo



- **Controlador:**

- Dos generadores iguales
- Parámetros.

$A, \Delta\Phi, T$



Minicube-I (I)

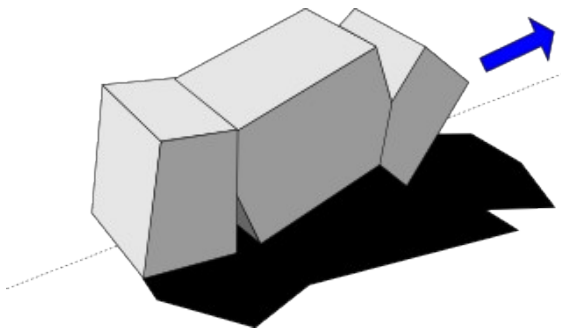
Osciladores y locomoción:

- **Periodo** --> Velocidad
- **Amplitud** --> Paso
- **Diferencia de fase** --> Coordinación

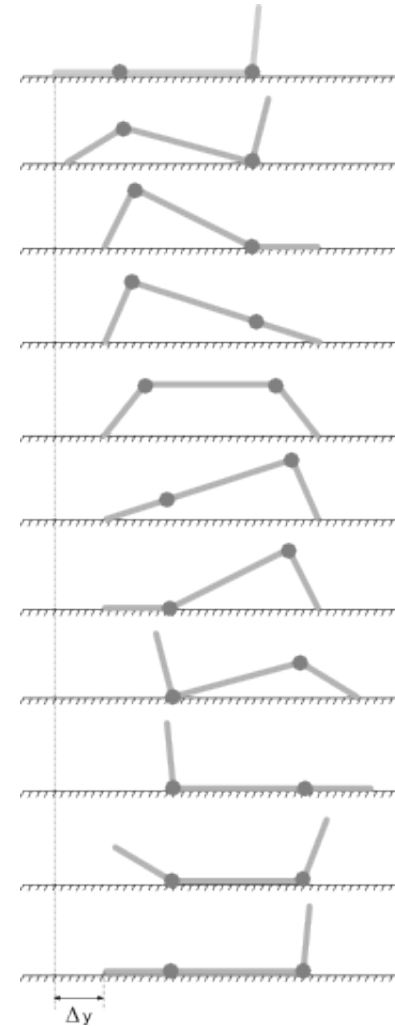
Espacio de control

- Dos dimensiones: $A, \Delta\Phi$
- Periodo lo tomamos constante

Valores típicos: $A=40, \Delta\Phi=120$



Modelo alámbrico



Oruga de 3 módulos

Demo

- **Morfología:** 3 Módulos Cube-M con conexión cabeceo-cabece
- **Controlador:** 3 osciladores iguales



- Estudio de la locomoción de las orugas

Mayor eficiencia:

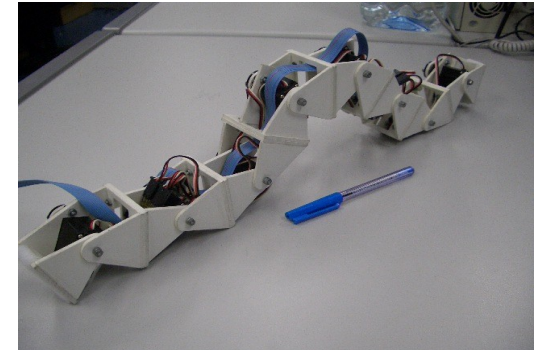
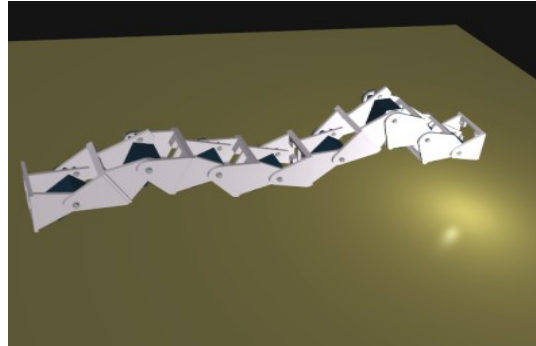
- $A=40$ grados
- $\Delta\Phi=125$

Cube Revolutions (I)

Vídeo

- **Morfología:**

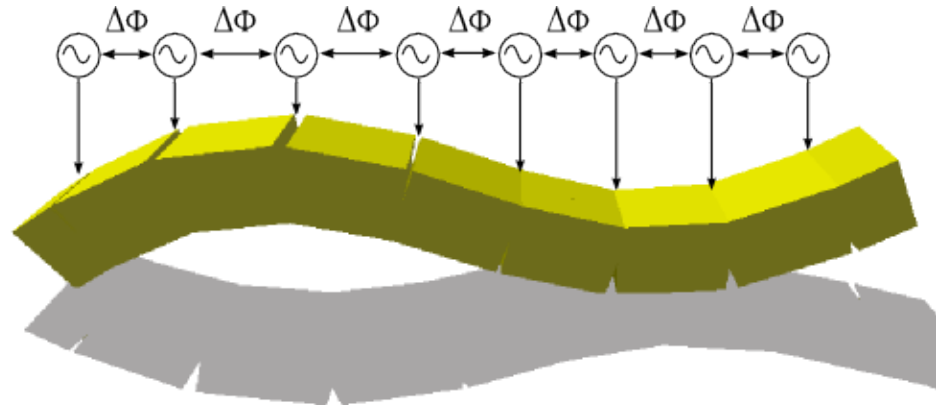
8 módulos con conexión
cabeceo-cabeceo



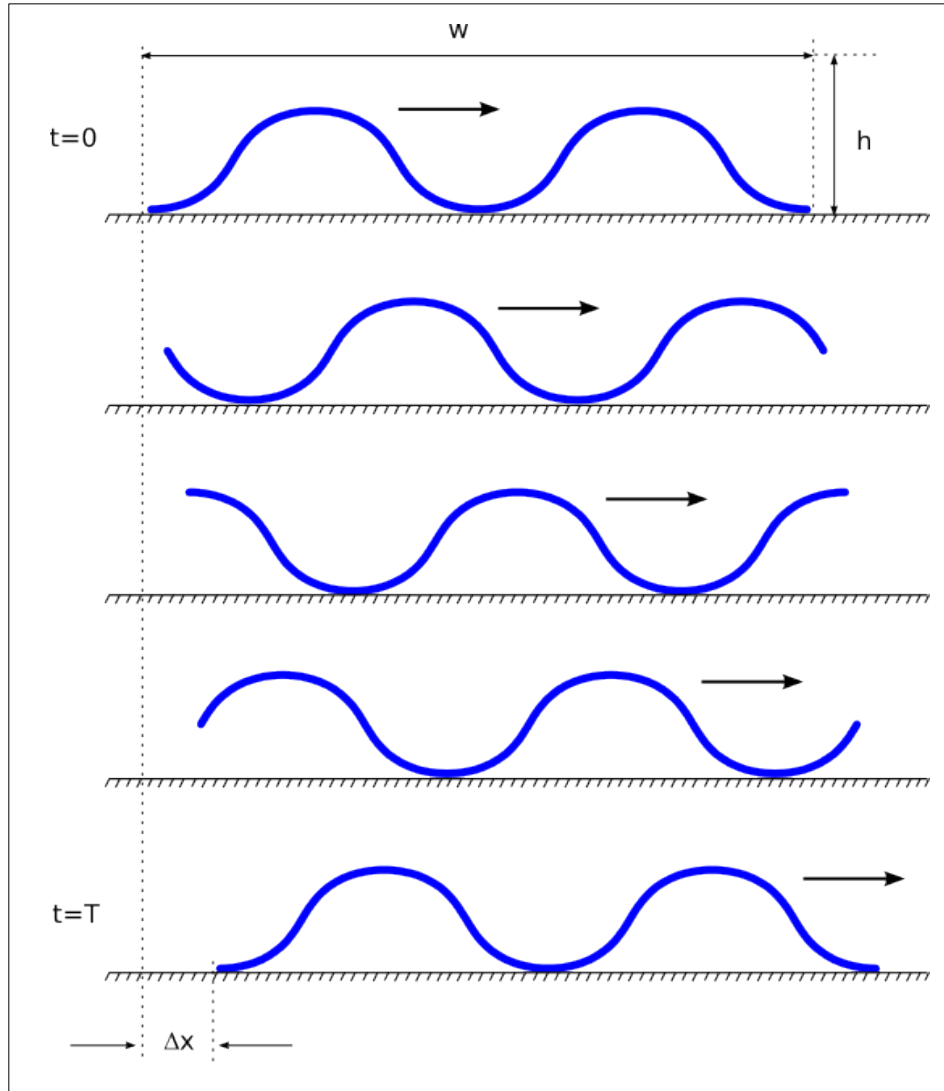
- **Control:**

- 8 generadores iguales
- Parámetros:

$$A, \Delta\Phi, T$$



Mecanismo de locomoción



- **Mecanismo:** propagación de ondas
- **Forma del robot:** curva serpentinoide

Algunas ecuaciones:

- **Paso:** Δx
- **Velocidad media:** $V = \frac{\Delta x}{T}$
- **Cálculo del paso:**

$$\Delta x = \frac{l}{k} - \int_0^{\frac{l}{k}} \cos\left(\alpha \cos\left(\frac{2\pi k}{l}s\right)\right) ds$$

ÍNDICE

1. Introducción
2. Módulos
3. Osciladores
4. Locomoción en 1D
5. **Locomoción en 2D**
6. Simulación
7. Conclusiones y trabajo futuro

Configuración mínima

Problema de la configuración mínima:

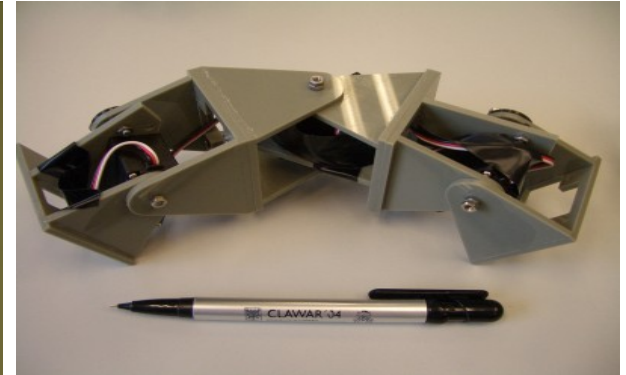
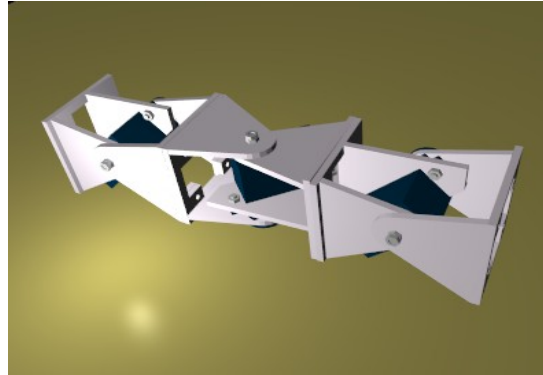
¿Cuántos módulos son necesarios para construir un robot modular con topología de 1D capaz de moverse en un plano?

¿Cuántos tipos de movimientos diferentes puede realizar?

¿¿¿???

- **Morfología:**

Tres módulos con
conexión cabeceo-viraje

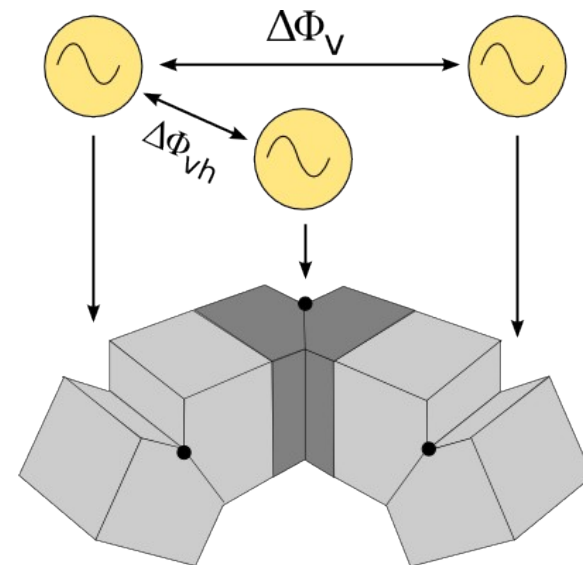


- **Control:**

- Tres generadores sinusoidales

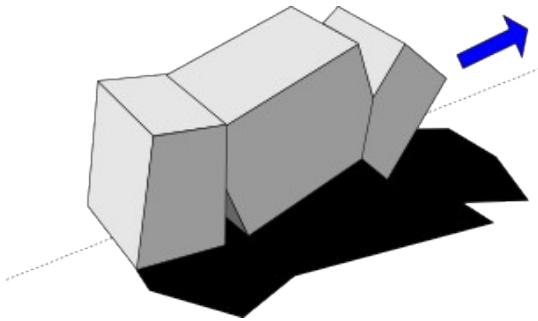
- Parámetros:

$$A_v, A_h, \Delta\Phi_v, \Delta\Phi_{vh}, T$$



Minicube-II (II)

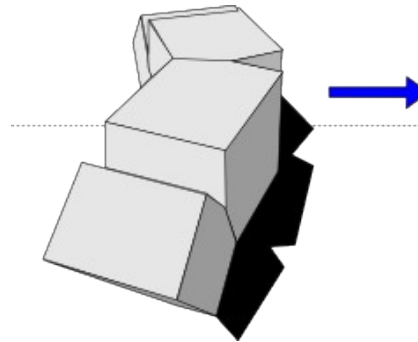
Línea recta



$$A_v = 40, A_h = 0$$

$$\Delta \Phi_v = 120$$

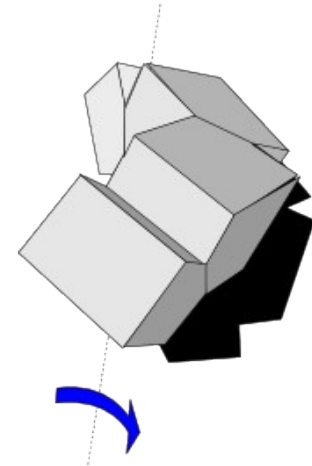
Desplazamiento lateral



$$A_v = A_h < 40$$

$$\Delta \Phi_{vh} = 90, \Delta \Phi_v = 0$$

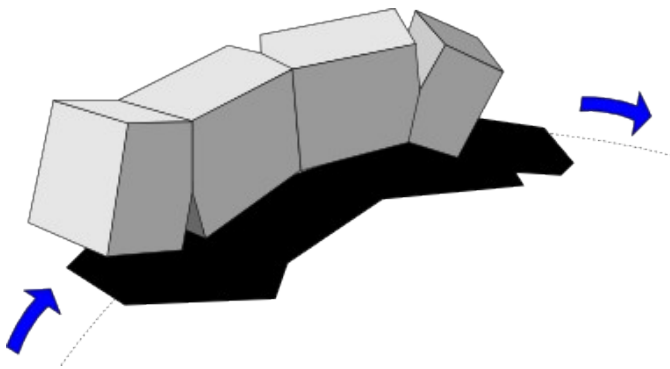
Rodar



$$A_v = A_h > 60$$

$$\Delta \Phi_{vh} = 90, \Delta \Phi_v = 0$$

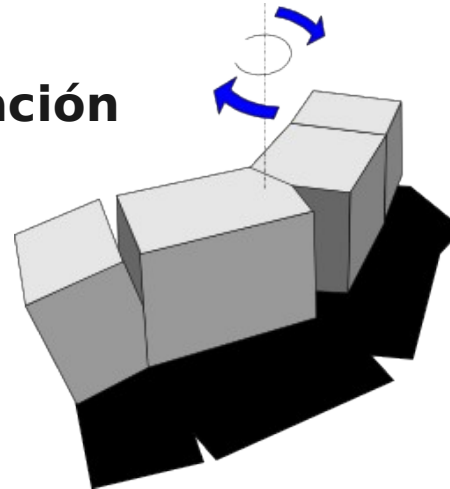
Arco



$$A_v = 40, A_h = 0$$

$$O_h = 30, \Delta \Phi_v = 120$$

Rotación



$$A_v = 10, A_h = 40$$

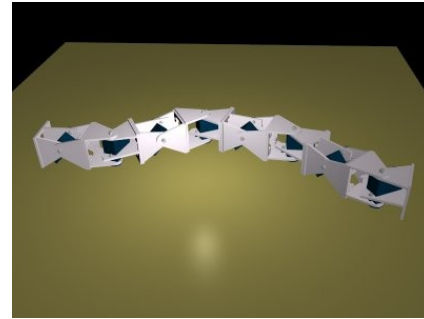
$$\Delta \Phi_{vh} = 90, \Delta \Phi_v = 180$$

Hypercube (I)

Demostración

- **Morfología:**

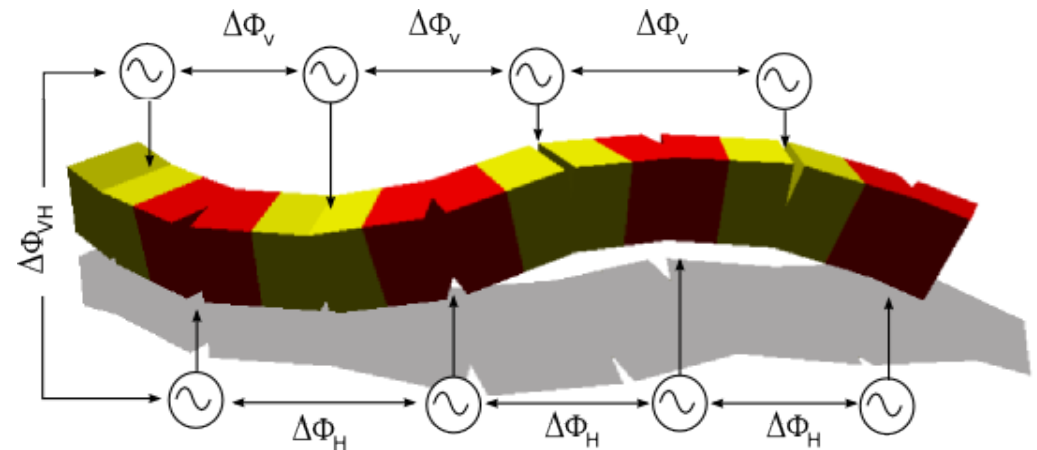
8 módulos con conexión
cabeceo-viraje



- **Control:**

- 8 generadores iguales
- Parámetros:

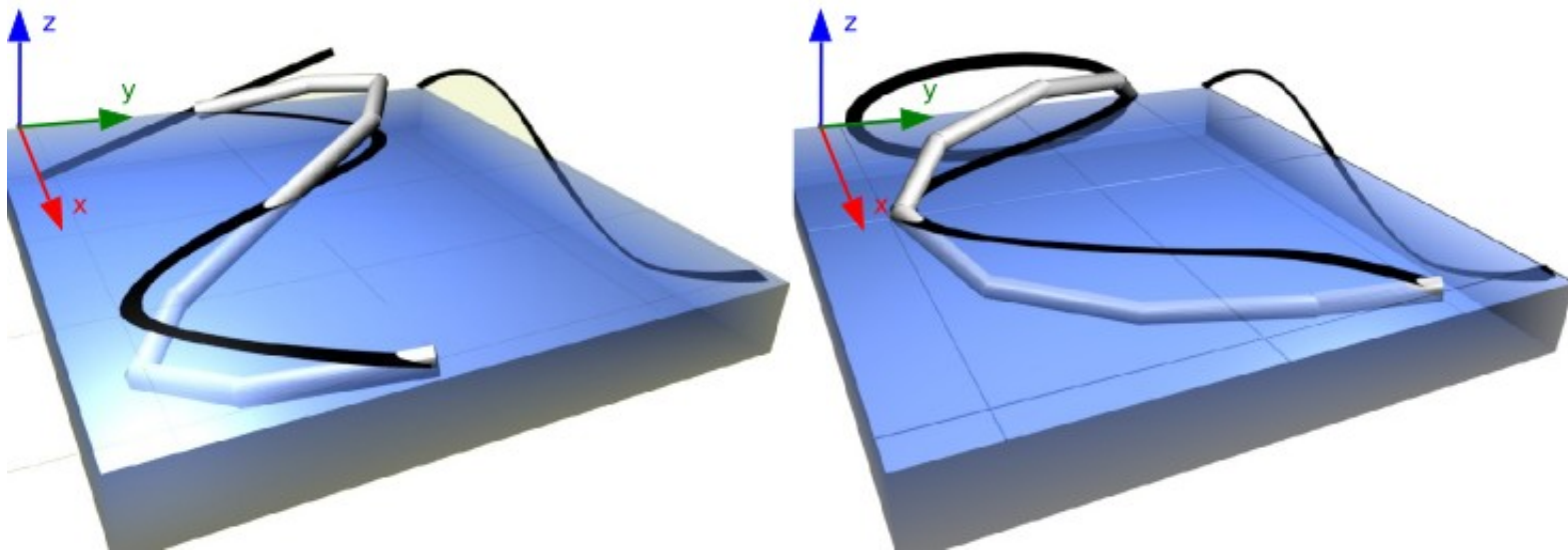
$$A_h, A_v, \Delta\Phi_h, \Delta\Phi_v, \Delta\Phi_{vh}, T$$



Hypercube (II)

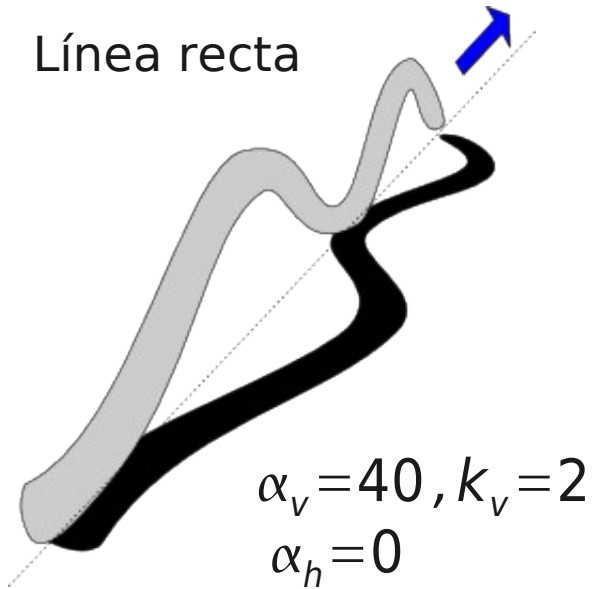
Mecanismo de locomoción

- Onda corporal tridimensional



Hypercube (III)

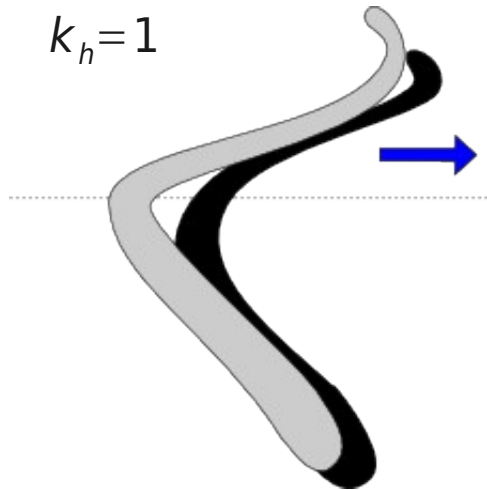
Línea recta



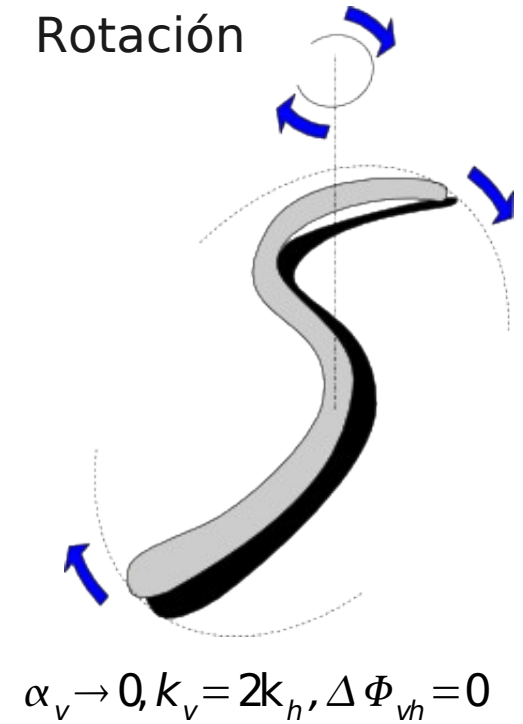
Desplazamiento lateral

$$\alpha_v \rightarrow 0, k_v = k_h, \Delta \Phi_{vh} = 90$$

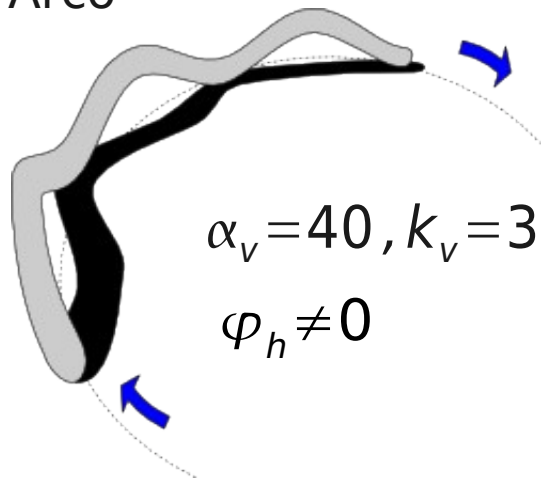
$$k_h = 1$$



Rotación

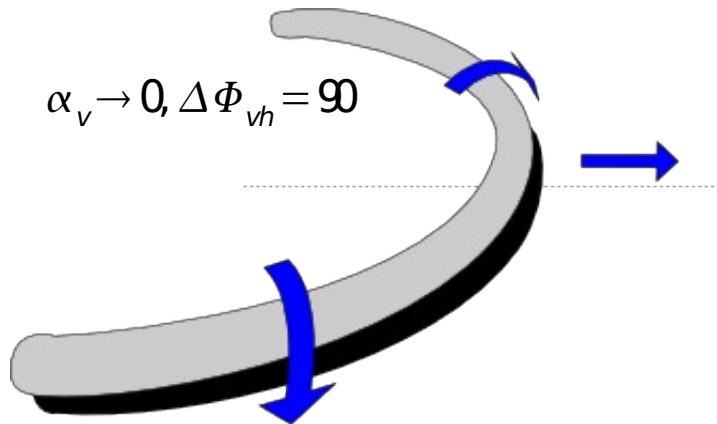


Arco

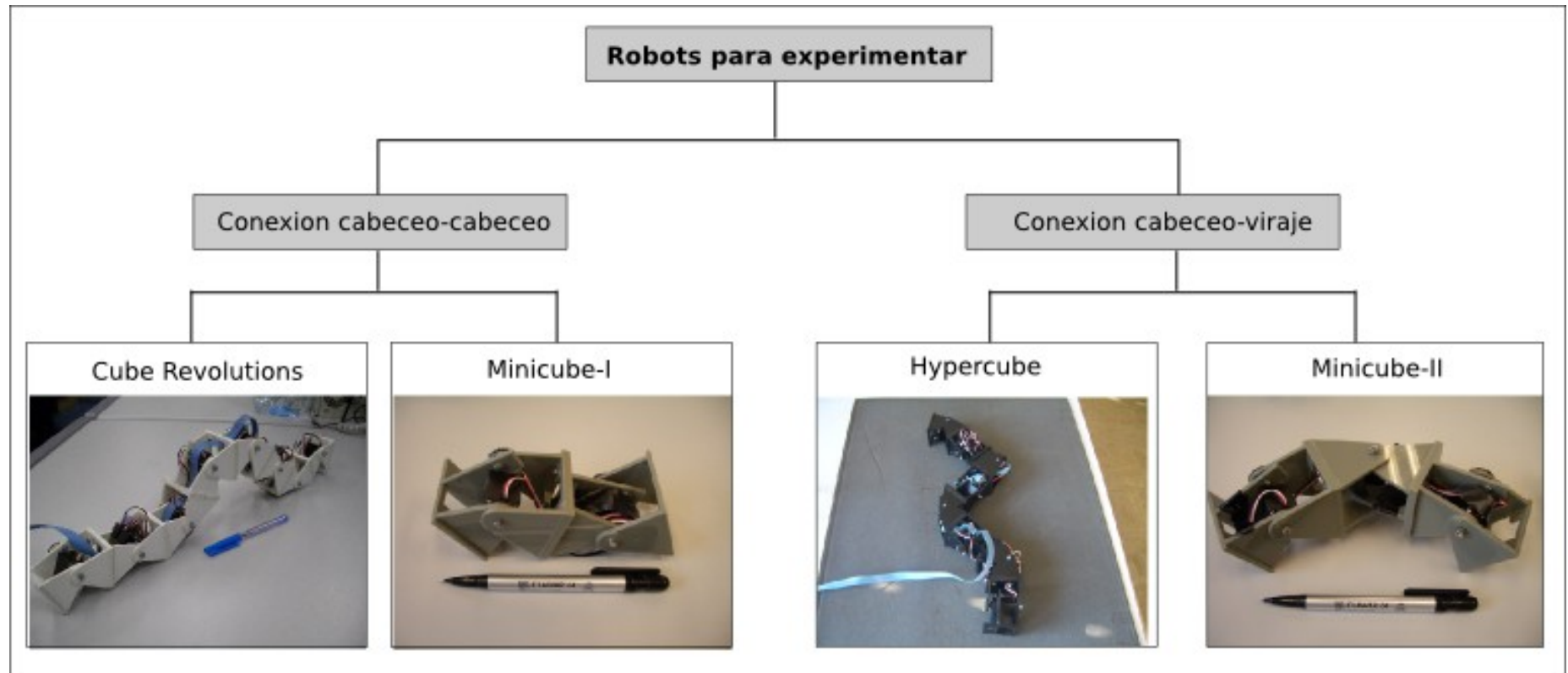


Rodar

$$\alpha_v \rightarrow 0, \Delta \Phi_{vh} = 90$$



Resumen de los robots



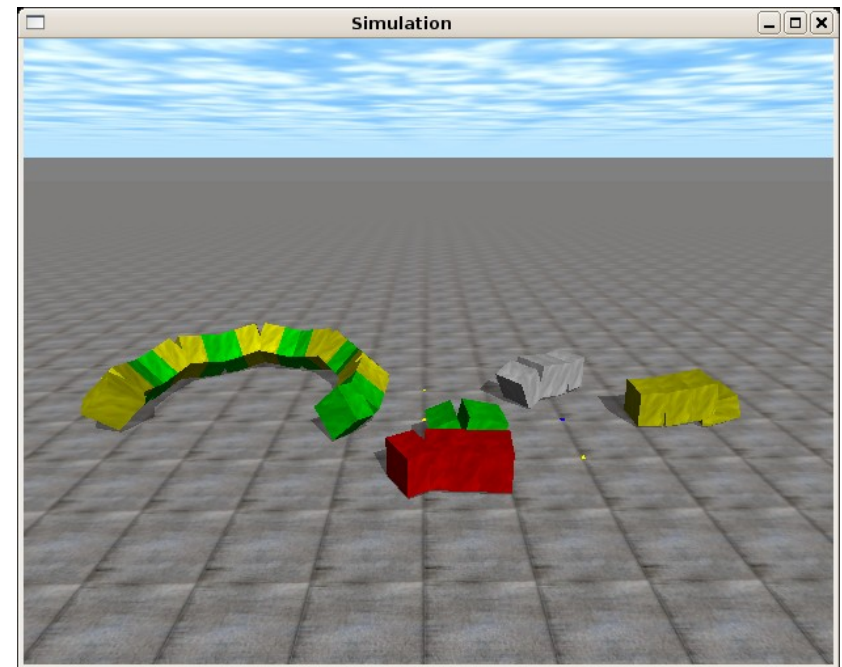
ÍNDICE

1. Introducción
2. Módulos
3. Osciladores
4. Locomoción en 1D
5. Locomoción en 2D
6. **Simulación**
7. Conclusiones y trabajo futuro

Simulación (I)

¿Cómo hemos encontrado las soluciones?

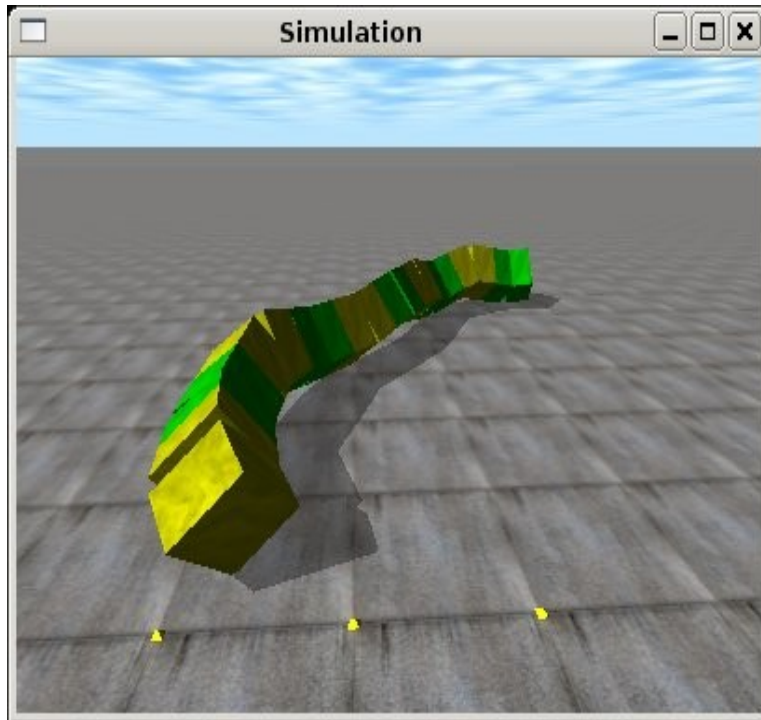
- Búsquedas en los espacios de control
- Utilización de algoritmos genéticos (PGAPack)
- Función de evaluación: Paso del robot
- Motor físico: Open Dynamics Engine (ODE)
- Descarte de soluciones
- **Comprobación en robots reales**



Simulación (II)

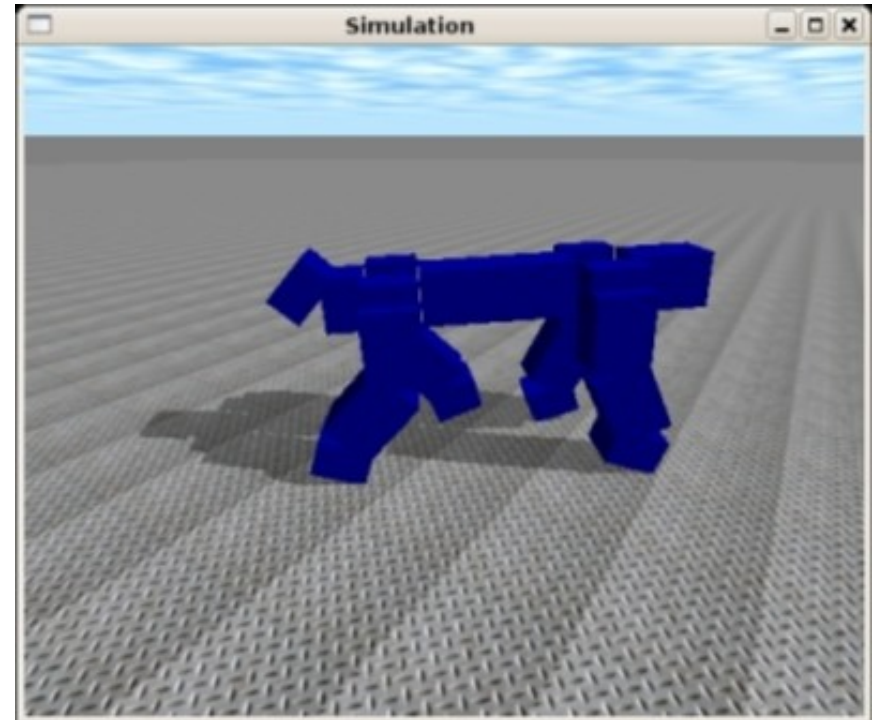
Demostración

Cube-simulator



- Lenguaje: C
- Sólo topologías 1D
- Juan González

MRSuite

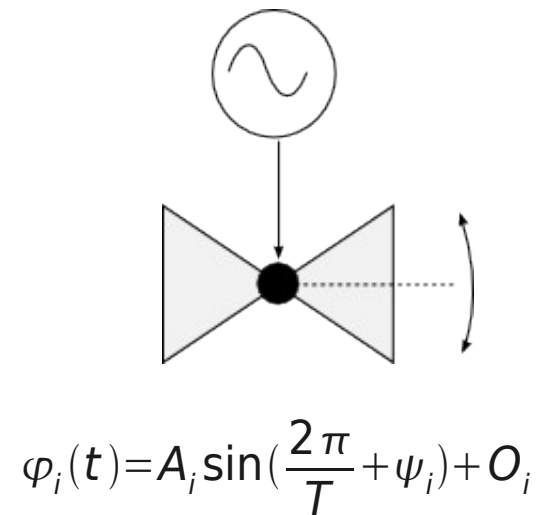
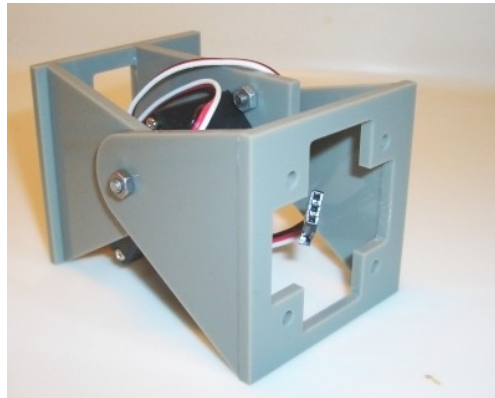
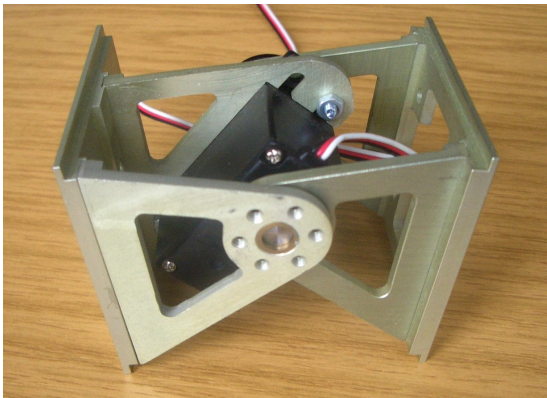


- Lenguaje: Python
- Topologías 1D y 2D
- Rafael Treviño

Conclusiones

El modelo basado en **generadores sinusoidales es válido** para la locomoción de robots modulares con topología de 1D

- Requiere muy pocos recursos para su implementación
- Se consiguen movimientos muy suaves y naturales
- Se pueden realizar diferentes tipos de movimientos



Trabajo actual

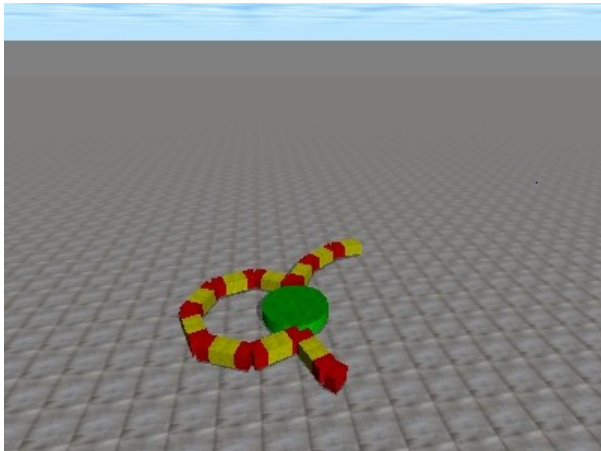
Locomoción de topologías 2D



Orugas trepadoras



Agarre con robots modulares



Nuevos módulos



Donde encontrar más información...

- Todo lo tengo publicado en mi página personal bajo licencia libre: artículos, planos, hardware, software, presentaciones, etc.

www.iearobotics.com/juan

- O me podéis mandar un correo a mi dirección personal:

juan@iearobotics.com

Muchas gracias por vuestra atención
:-)



Robótica modular y locomoción



Juan González Gómez
Escuela Politécnica Superior
Universidad Autónoma de Madrid