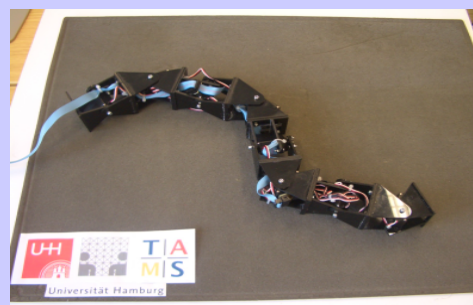
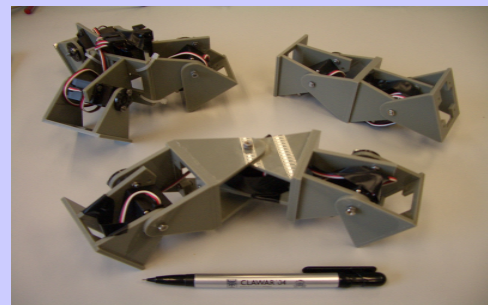
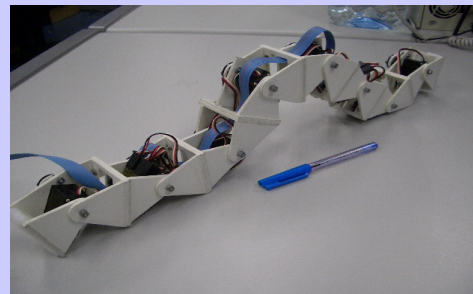
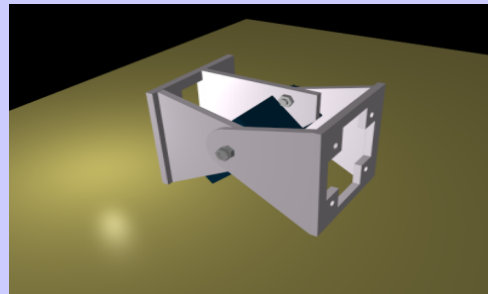


Robótica Modular y Locomoción

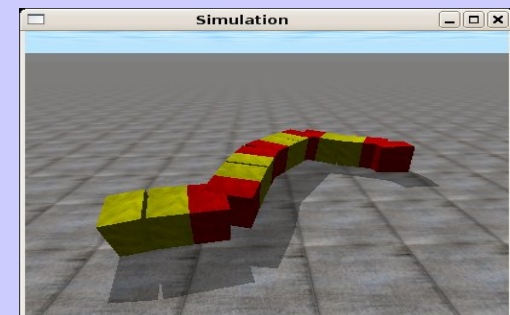
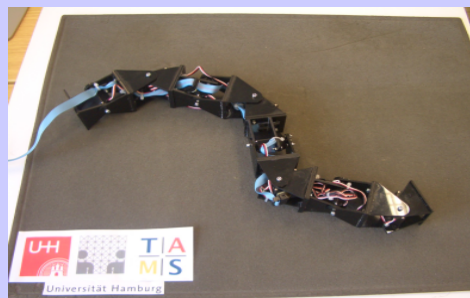
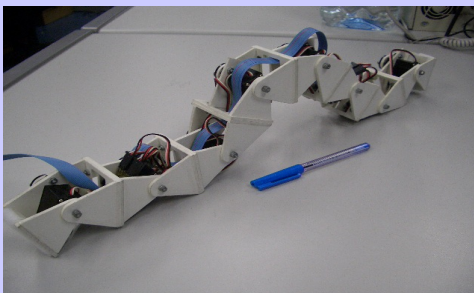
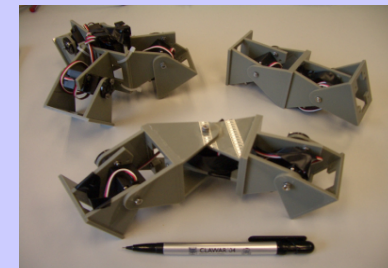
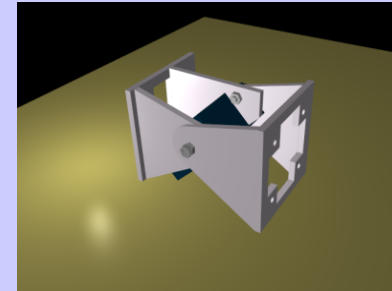


Juan González Gómez

Escuela Politécnica Superior
Universidad Autónoma de Madrid

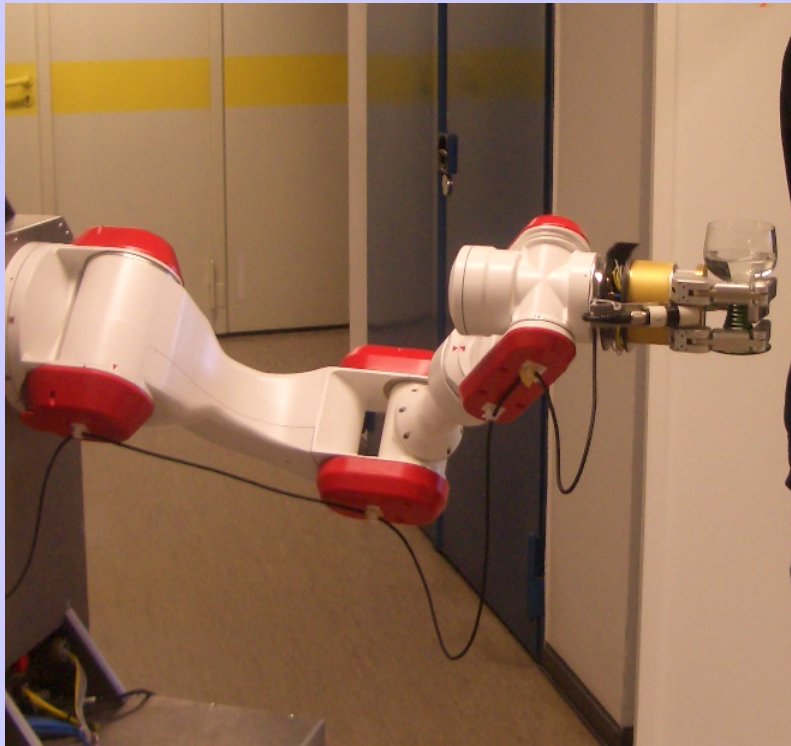
índice

- **Introducción**
- **Módulos Y1**
- **Configuraciones mínimas**
- **Robot Cube Revolutions**
- **Robot Hypercube**
- **Simulación**



Areas principales de investigación en robótica

- **Manipulación:** Robots que pueden interactuar con objetos



Robots industriales
Robots de servicio

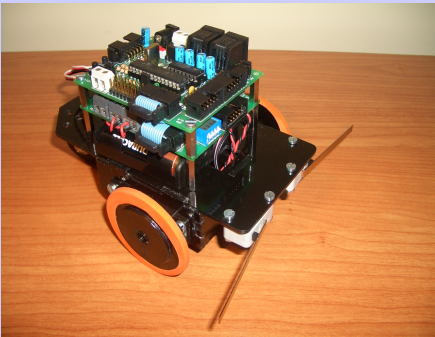
- **Locomoción:** Capacidad de los robots para desplazarse de un lugar a otro.



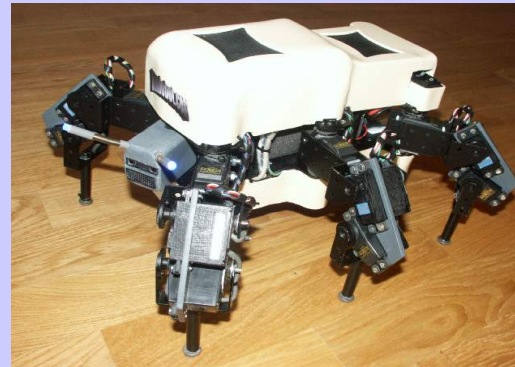
Robots móviles

Locomoción(I): Clasificación de los robots móviles

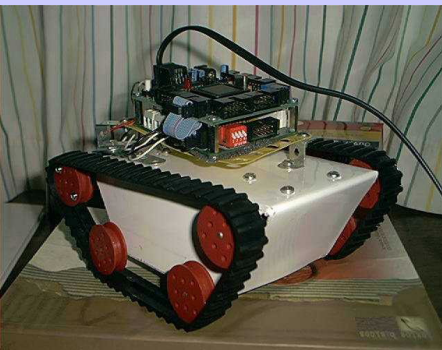
- Los robots móviles se pueden clasificar según los elementos que emplean para realizar la locomoción:



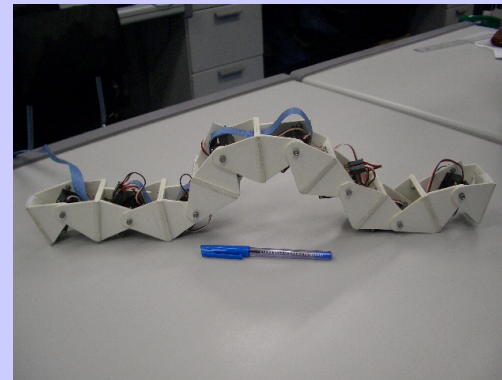
- Ruedas



- Patas



- Orugas



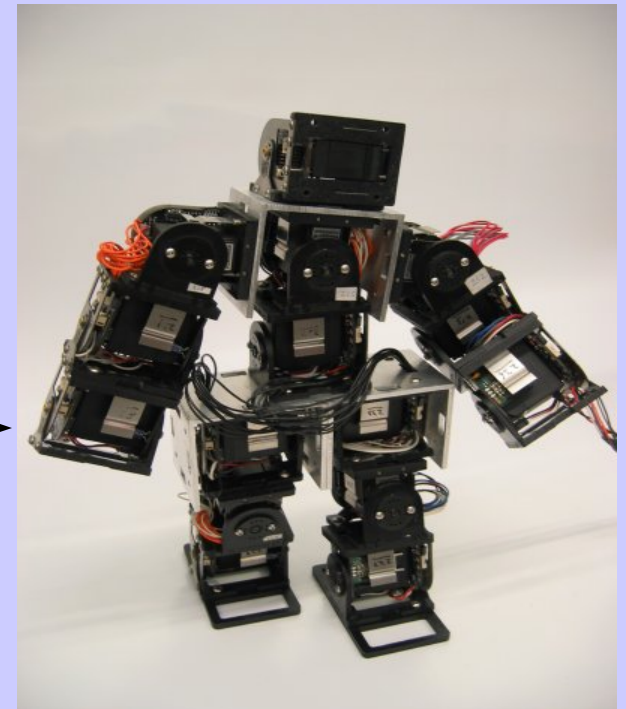
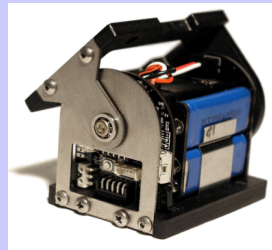
- Otros

Robótica Modular (I)

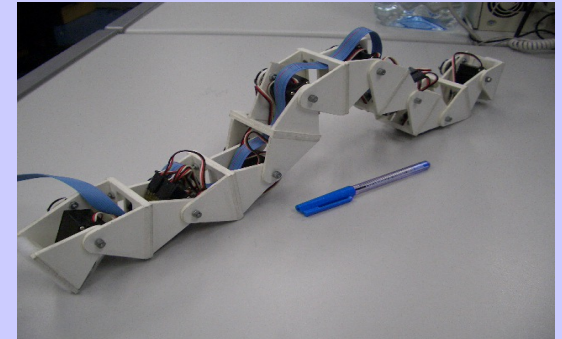
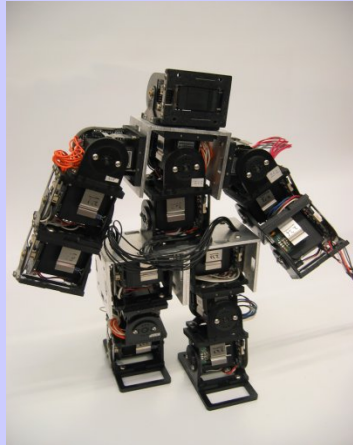
- Diseño específico



- Diseño modular



Robótica Modular (II)



- **Ventajas:**

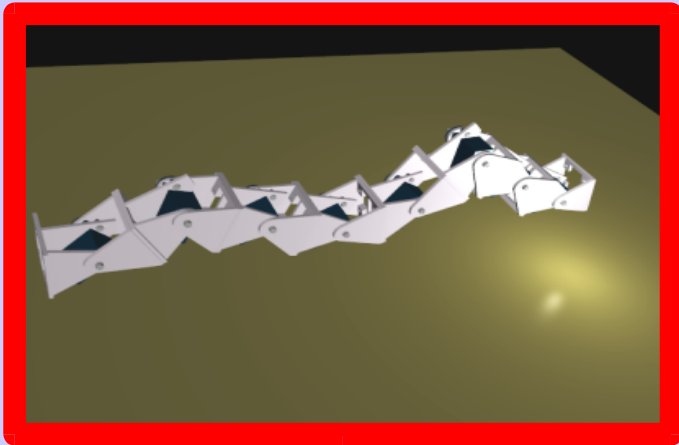
- Versatilidad
- Prototipado rápido
- Prueba de nuevas ideas

Muy buenas plataformas para el estudio de la locomoción

Robótica modular y locomoción

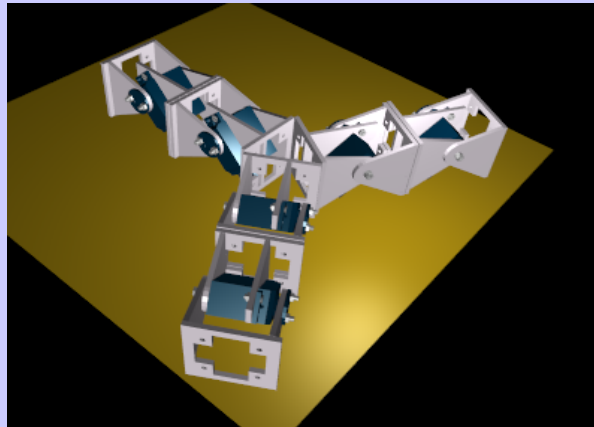
ROBOTS MODULARES

Topologías 1D



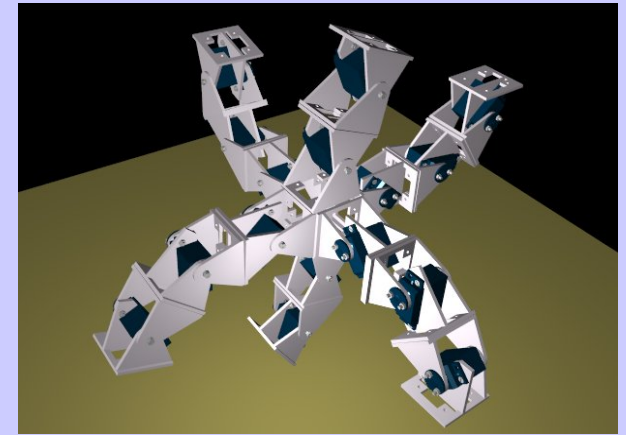
Cadenas de módulos
(gusanos, serpientes,
brazos, patas...)

Topología 2D



Dos o más cadenas de
módulos conectadas en
diferentes ejes

Topologías 3D



Resto de configuraciones

Problemas a resolver

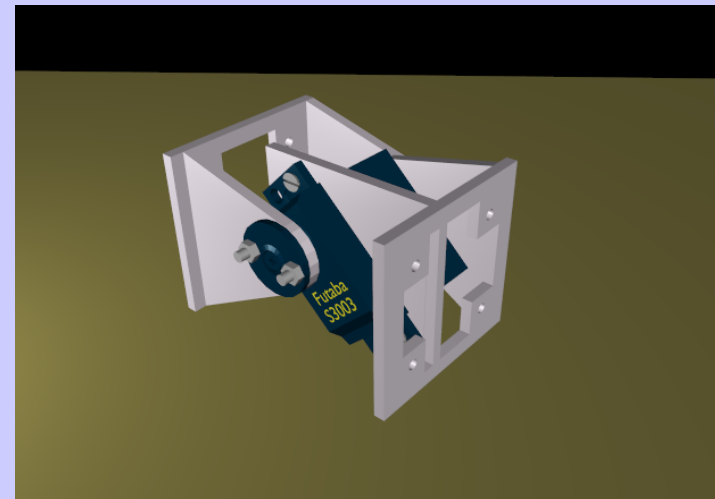
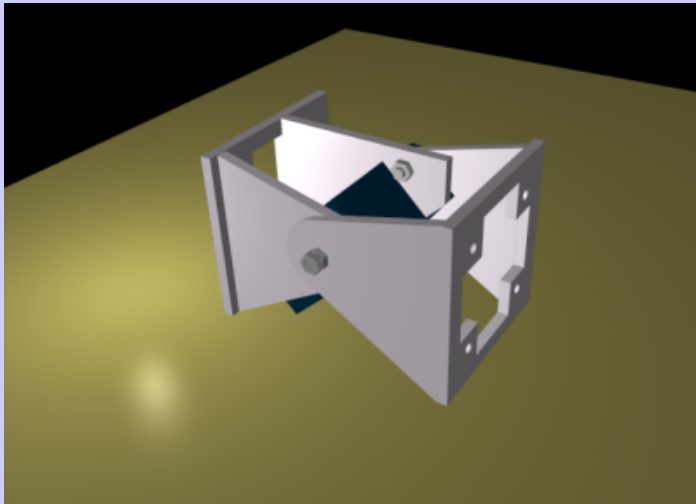
- **Problema de la coordinación:**

¿Cómo hacemos para coordinar el movimiento de los módulos para que los robots se desplacen?

- **Problema de las configuraciones mínimas:**

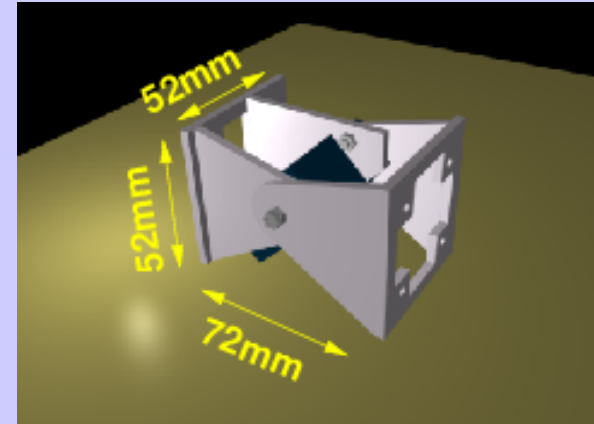
¿Cual es el robot con el menor número de módulos que se puede mover?

Módulos Y1

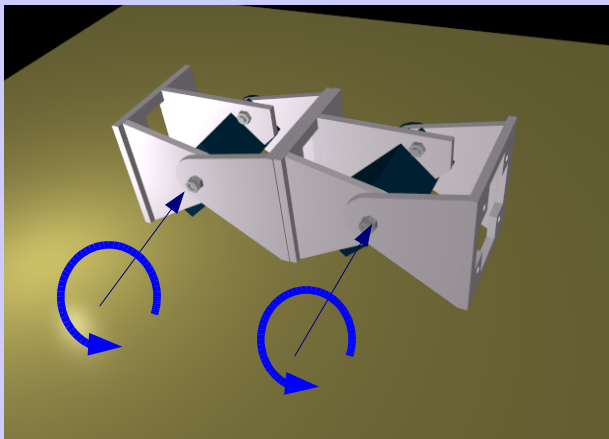


Características

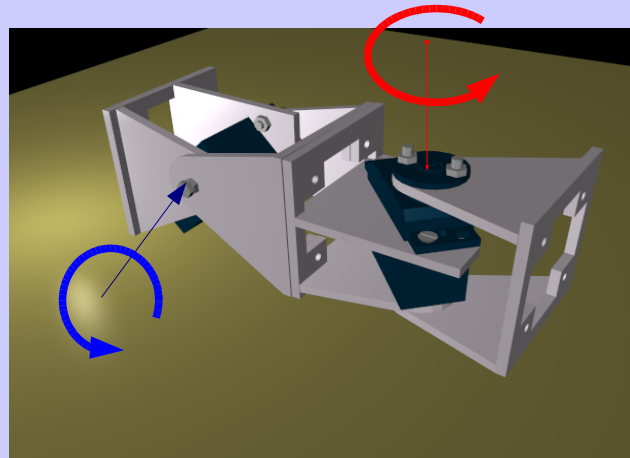
- **Material:** Plástico de 3mm
- **Servo:** Futaba 3003
- **Dimensiones:** 52x52x72mm
- **Rango de rotación:** 180 degrees
- **Dos tipos de conexión:**



Misma orientación:

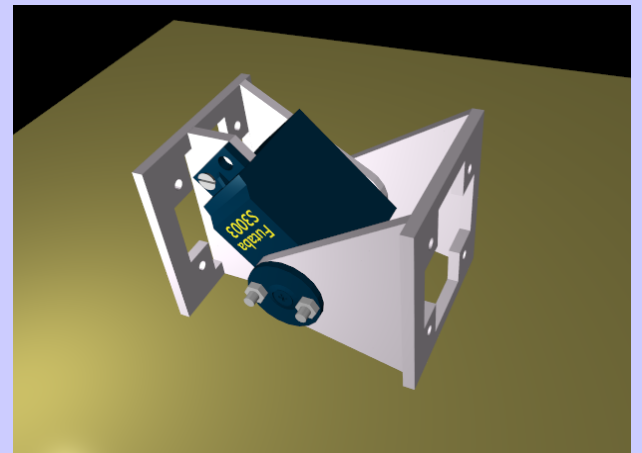
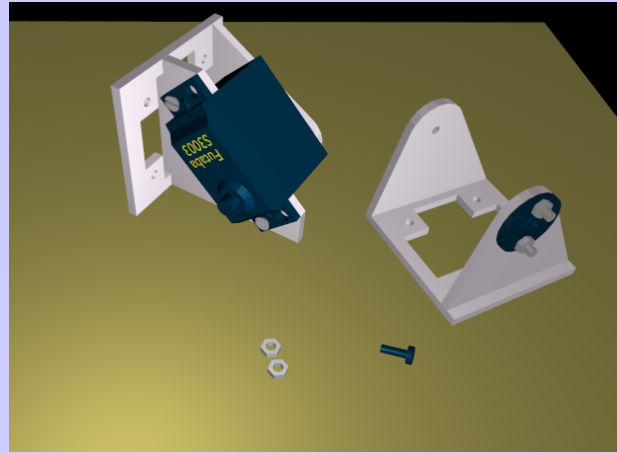
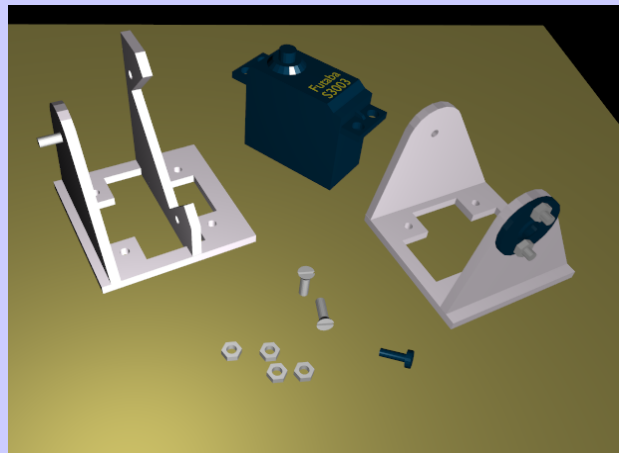
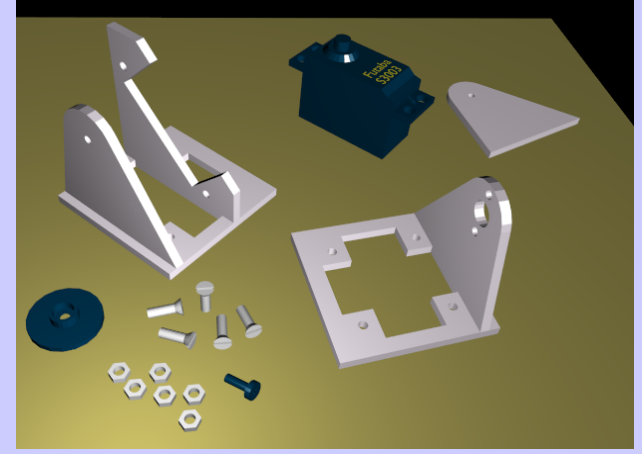
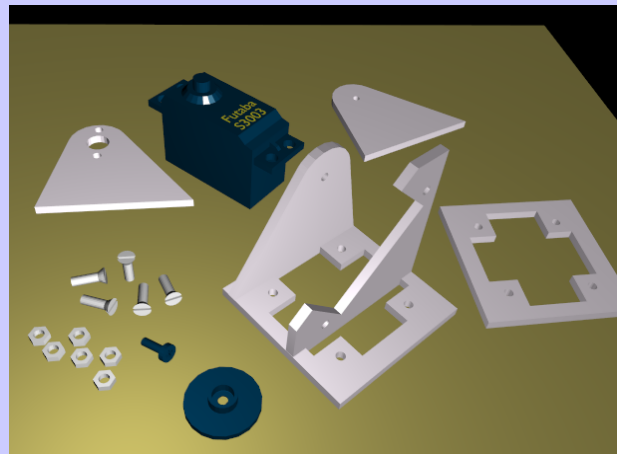
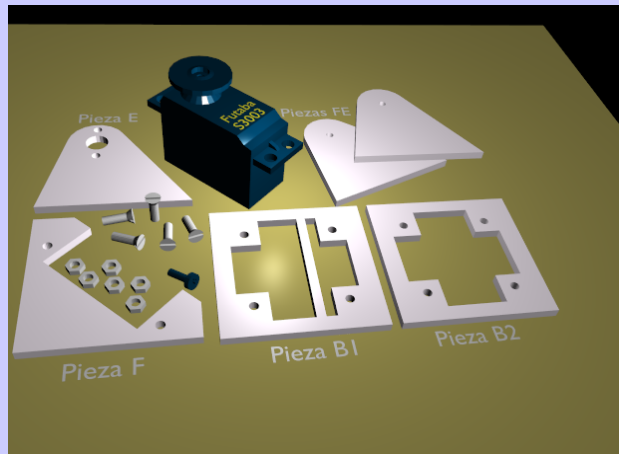


Rotación de 90 grados:

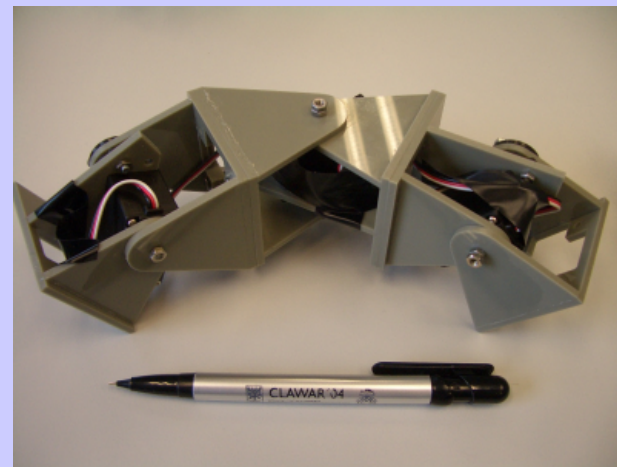
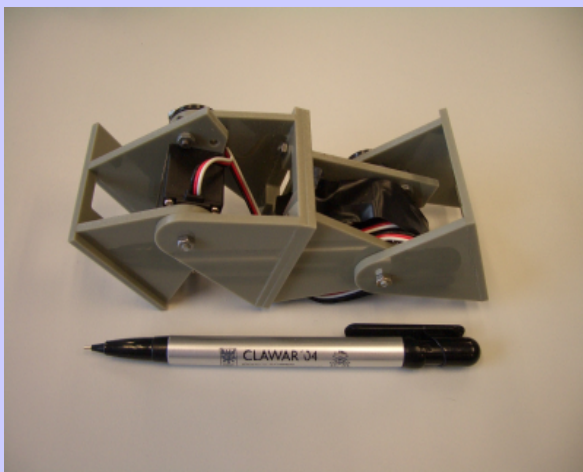


Vídeo

Construcción en 6 pasos...



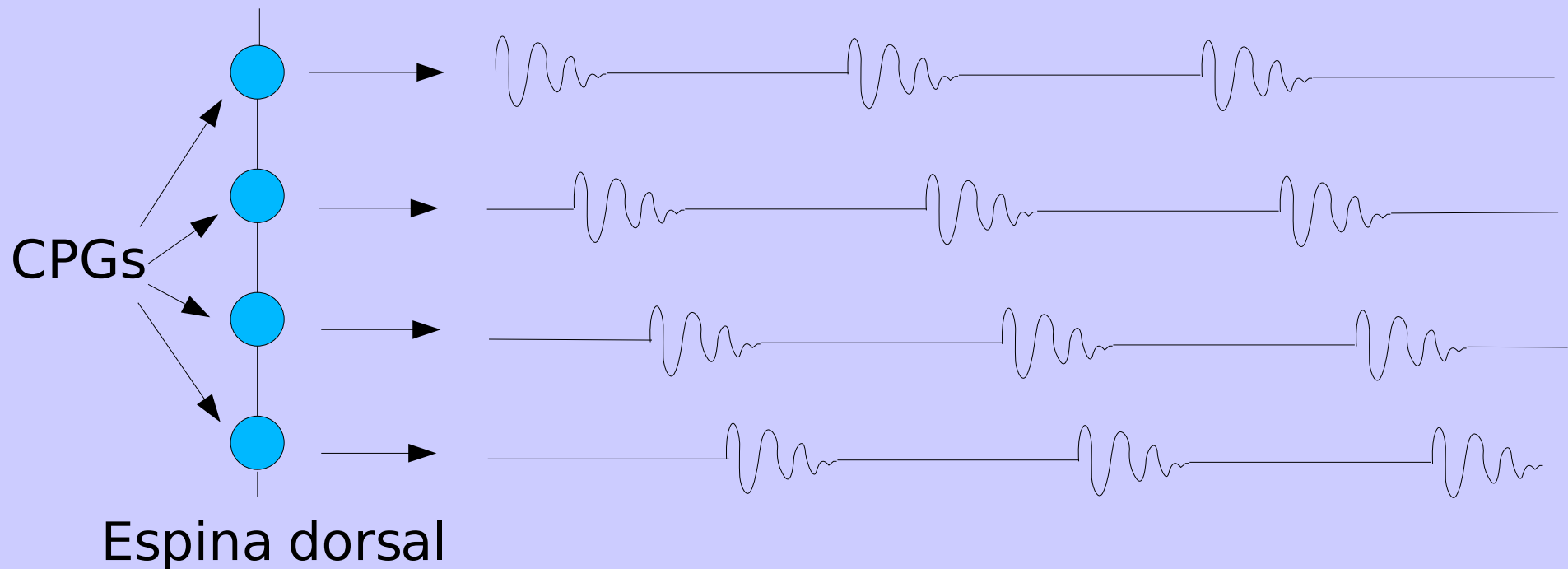
Configuraciones mínimas



Problema de la coordinación:

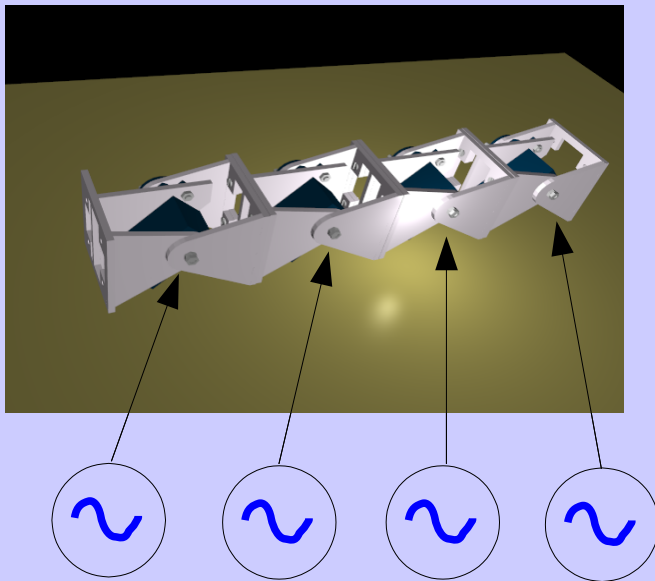
Generadores centrales de patrones (CPGs)

- Vamos a inspirarnos en la naturaleza: tomaremos ideas de la **Biología**
- Los vertebrados tienen en la espina dorsal un conjunto de neuronas llamadas **CPGs**
- Los CPGs son unos **osciladores neuronales** que generan señales periódicas que se aplican a los músculos, haciendo que los animales se muevan

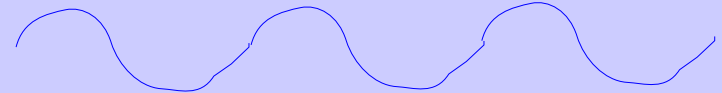


Generadores sinusoidales

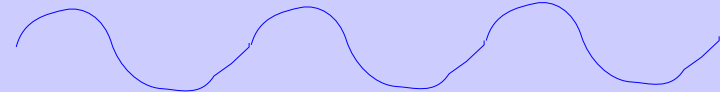
- ¿Por qué no utilizar un modelo simplificado de CPG?
- Utilizaremos un oscilador que controle cada módulo del robot
- El oscilador más sencillo es una onda sinusoidal



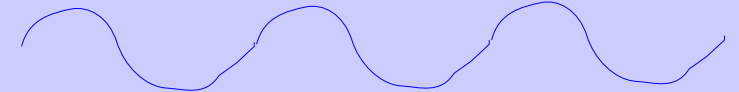
Módulo 1



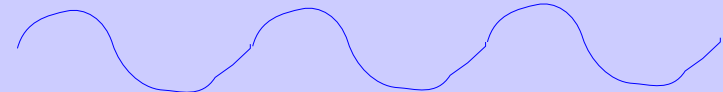
Módulo 2



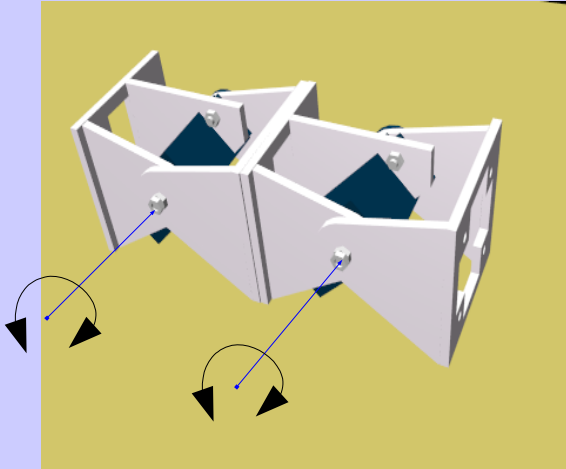
Módulo 3



Módulo 4

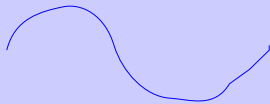


Solución 1: Configuración Pitch-Pitch (PP)

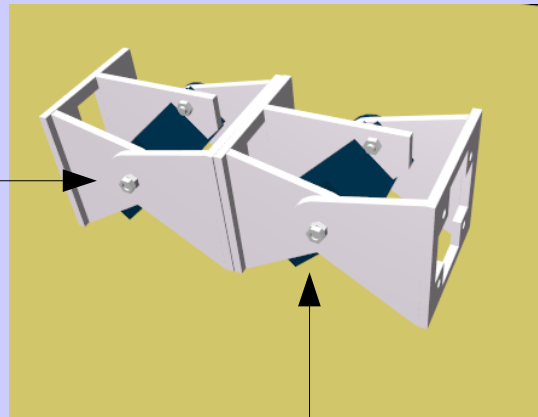
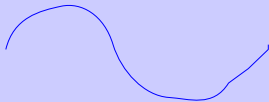


- Sólo se necesitan dos módulos para avanzar en línea recta
- Los parametros que tenemos son:
 - Amplitud
 - Frecuencia
 - Diferencia de fase

$$\phi_1 = A \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T} t\right)$$



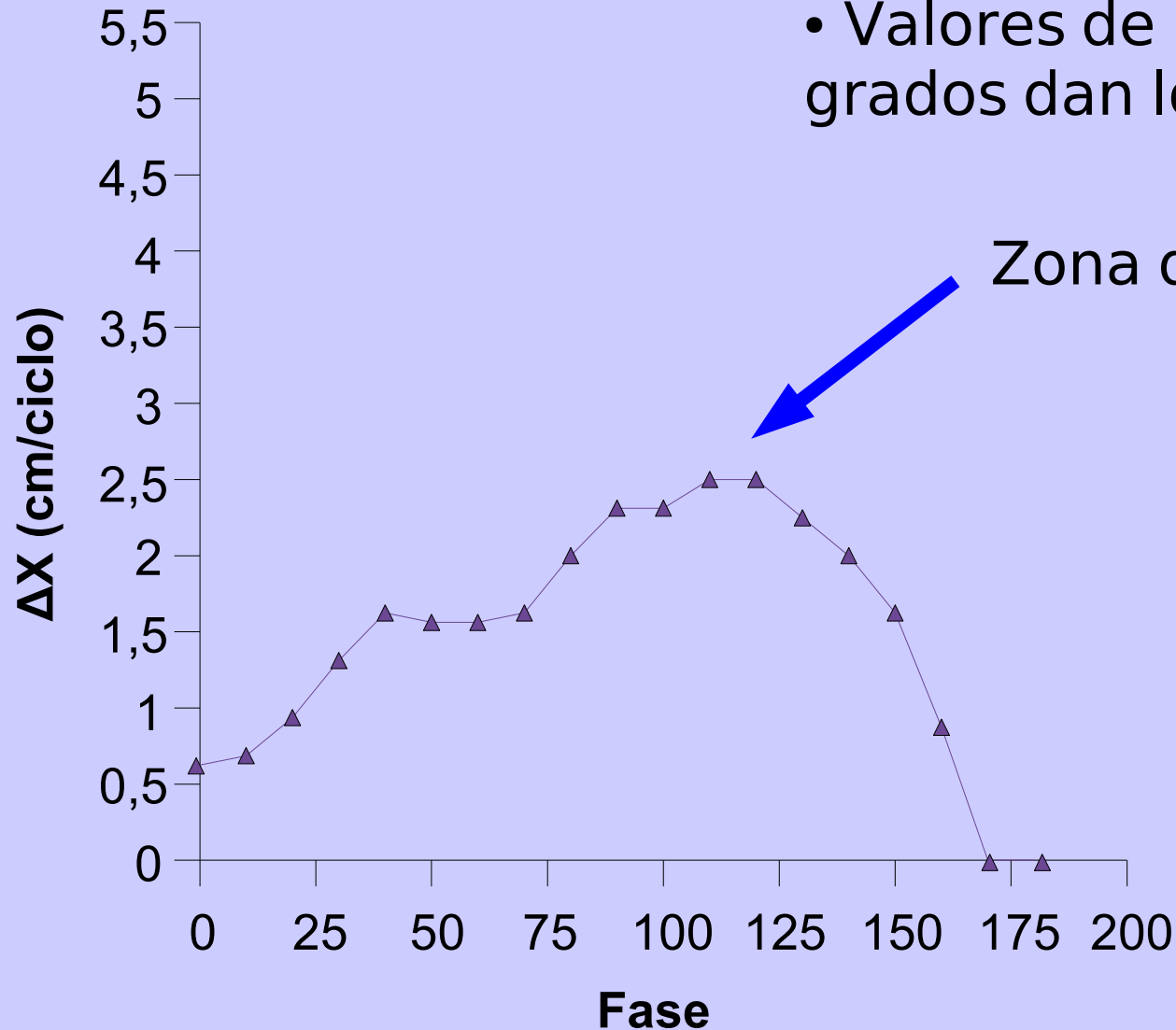
$$\phi_2 = A \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T} t + \Delta\phi\right)$$



Demo

Variación de la diferencia de fase

- Valores de F entre 100 y 130 grados dan los mejores resultados



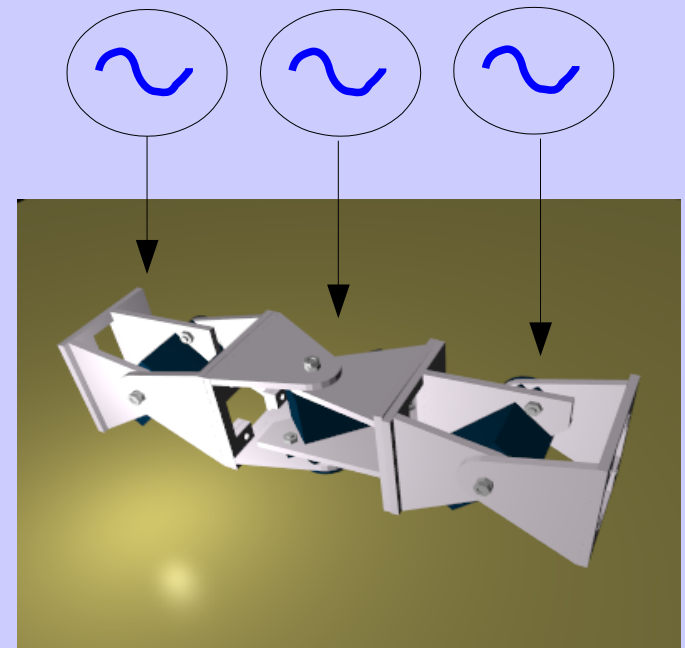
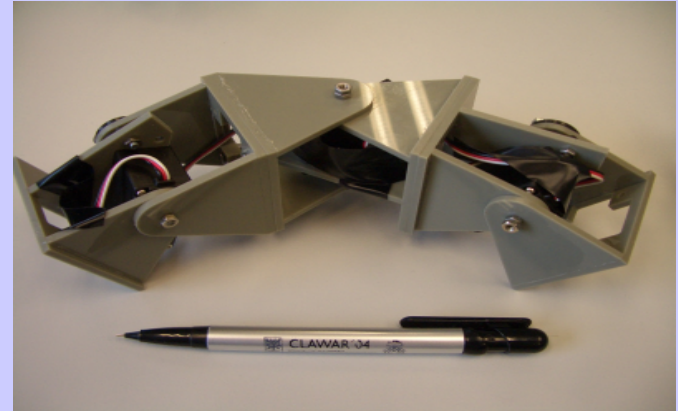
Configuración mínima 2 (PYP)

- Con sólo tres módulos se consiguen los siguientes movimientos:

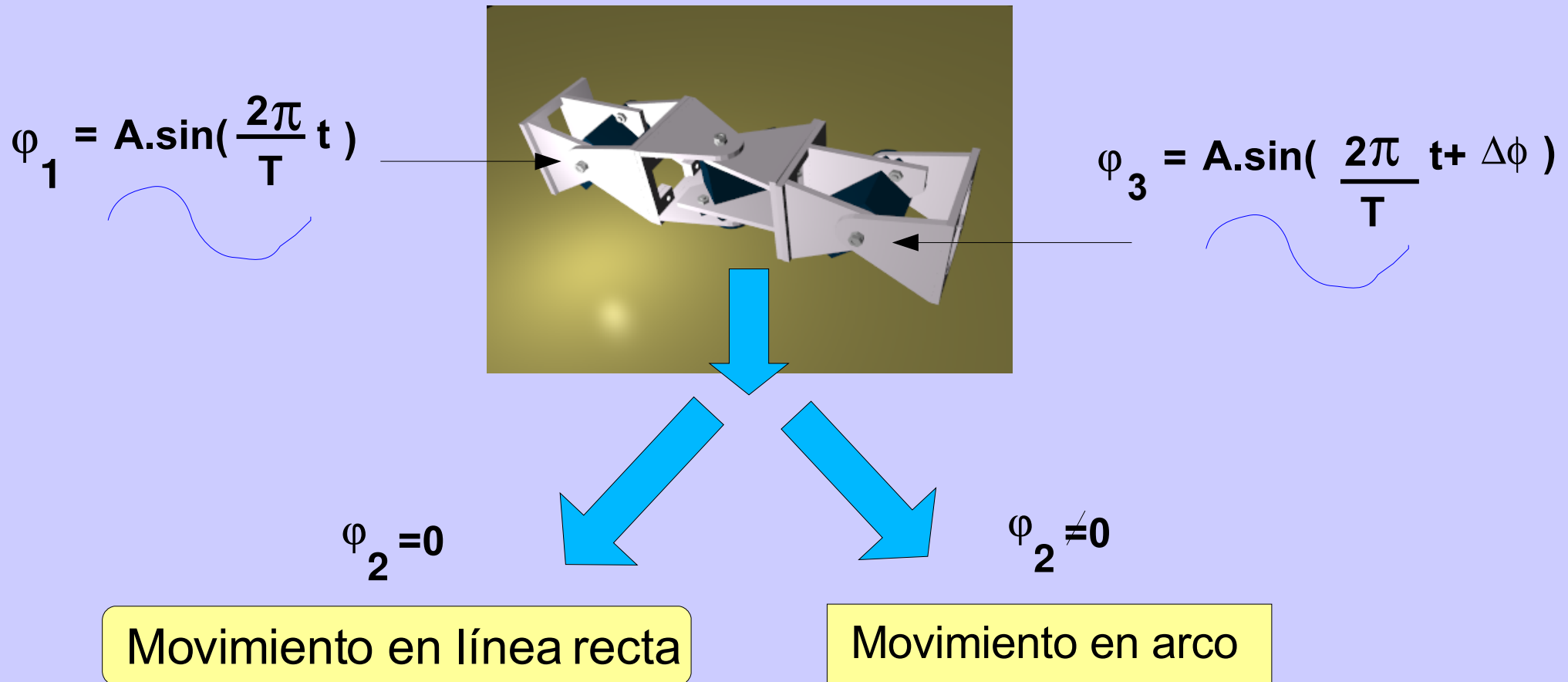
- Línea recta
- Describir arco
- Desplazamiento lateral
- Rotación paralela al suelo
- Rodar

- Los parámetros usados son:

- Amplitud
- Frecuencia
- Diferencia de fase entre módulos verticales
- Diferencia de fase entre uno vertical y el horizontal



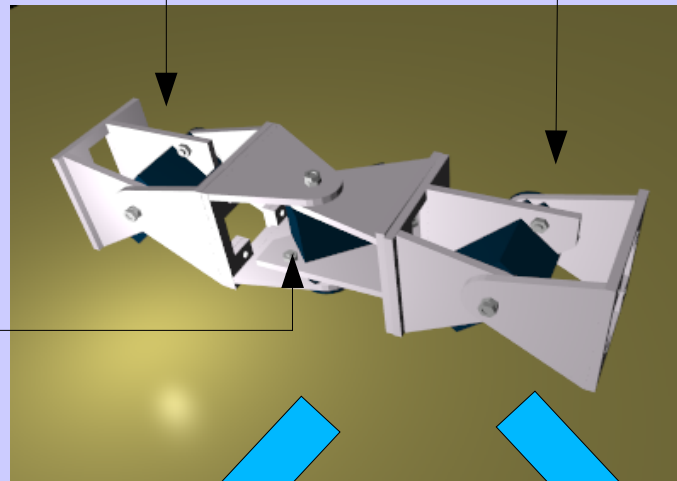
Configuración II (PYP): Línea recta y arco



- El ángulo fijo del módulo central determina si se avanza en línea recta o en arco
- La coordinación es la misma que para la configuración PP

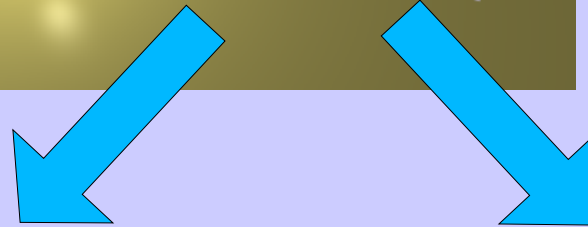
Configuración II (PYP): Desplazamiento lateral y Rodar

$$\varphi_1 = \varphi_3 = A \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T} t\right)$$



- Se aplican tres ondas sinusoidales
- La del centro está desfasada 90 grados respecto a las otras dos

$$\varphi_2 = A \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T} t + \frac{\pi}{2}\right)$$



$$A \leq 40$$

Desplazamiento lateral

$$A > 60$$

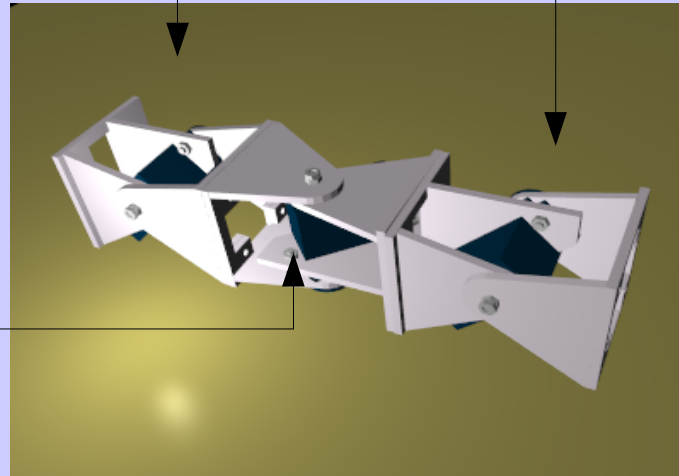
Rodar

Configuración III (PYP): Rotación paralela al suelo

$$\varphi_1 = A_v \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T} t\right)$$

$$\varphi_3 = A_v \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T} t + \frac{2\pi}{3}\right)$$

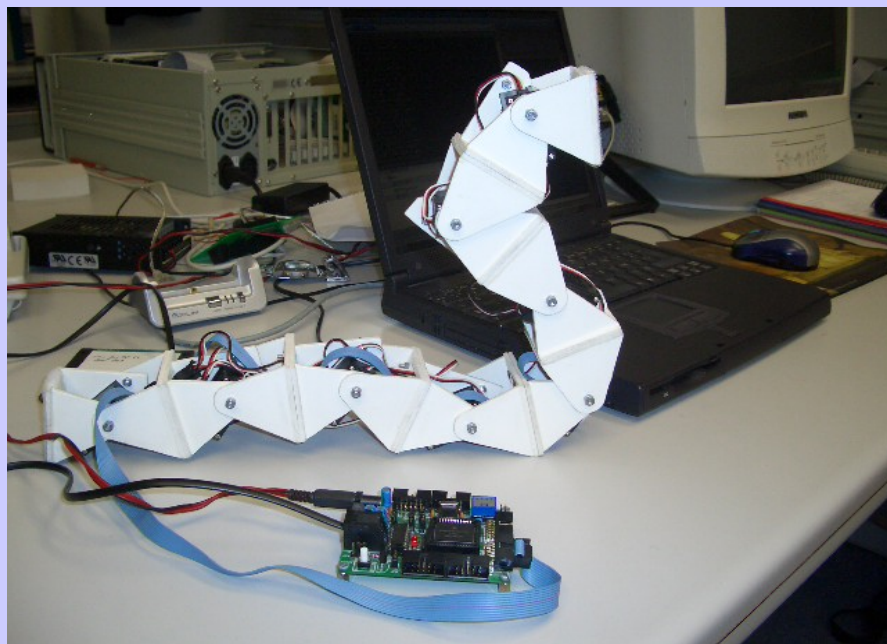
$$\varphi_2 = A_h \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T} t + \frac{\pi}{4}\right)$$



- DFv=120
- DFvh=45
- Av=20
- AH=60

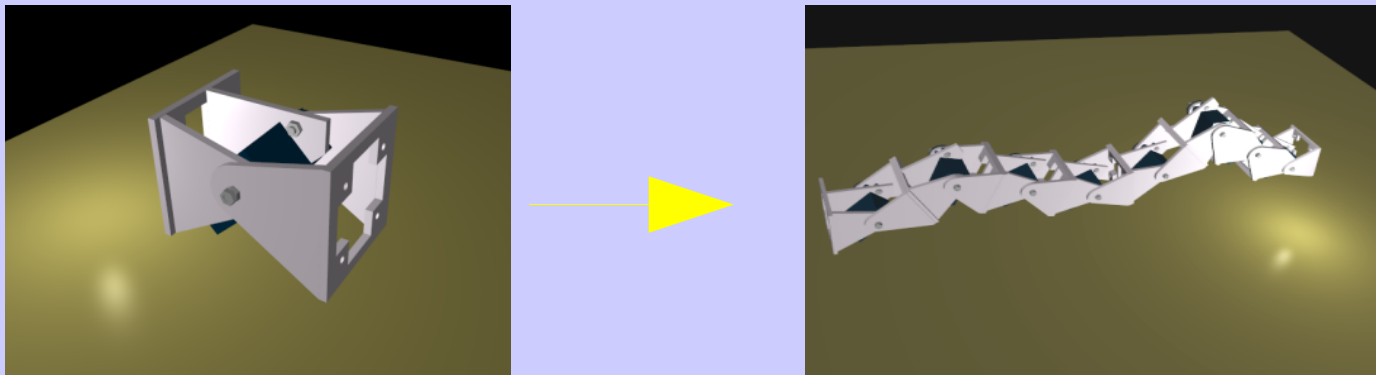
Demo

Cube Revolutions

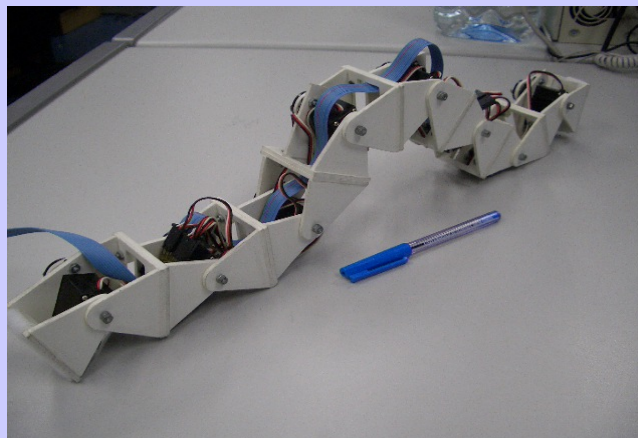


Estructura mecánica

- **Configuración:** 8 módulos Y1 conectados con la misma orientación

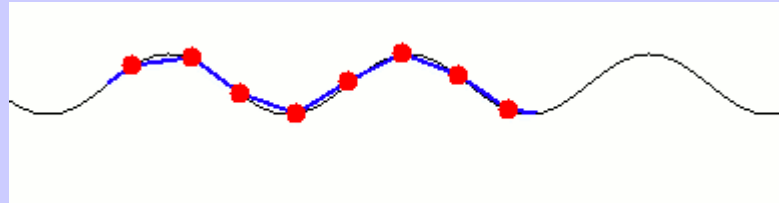


- **Dimensiones:** 52x52x576mm:



Coordinación

- Para moverlo podemos utilizar lo aprendido con la **configuración mínima PP**: extender a 8 módulos.
- Al tener más módulos, aparecen nuevas posibilidades: Utilizar **ondas globales**

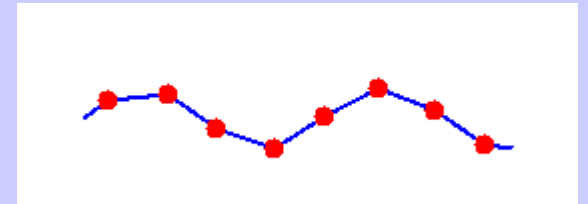
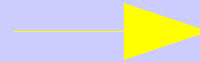
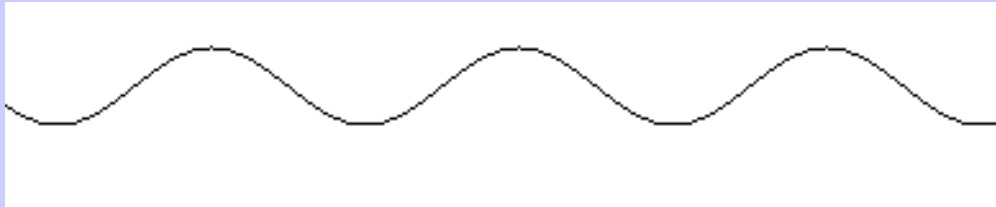


- Es un método sólo válidos para topologías de 1 dimensión
- Sólo son necesarios 4 parámetros, independientemente de la longitud de gusano:
 - Longitud de onda
 - Amplitud
 - Periodo
 - Forma de la onda

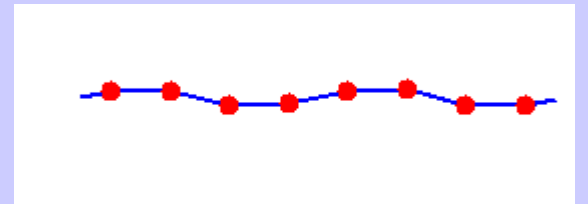
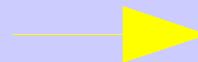
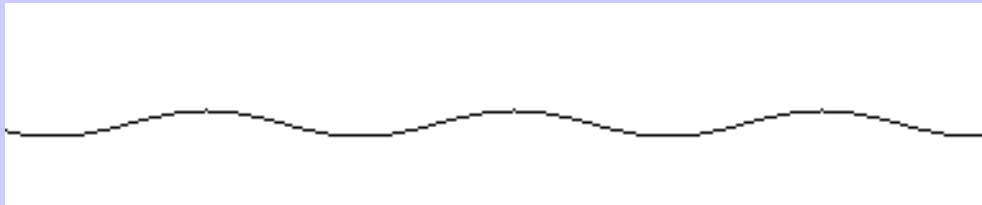
Coordinación II

- Las características del movimiento dependen de la onda usada:

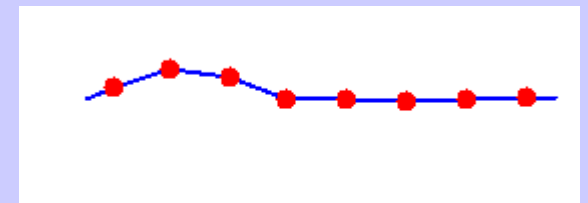
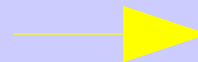
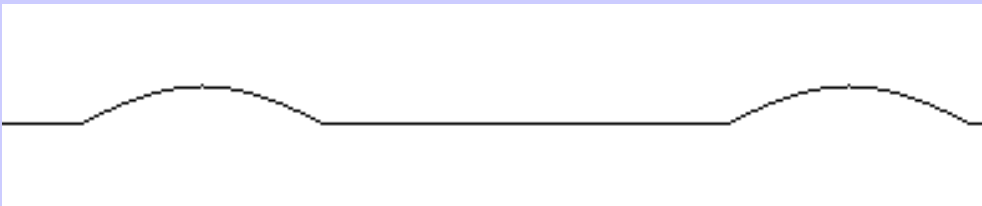
Amplitud grande: pasar sobre obstáculos



Amplitud baja: atravesar por un tubo

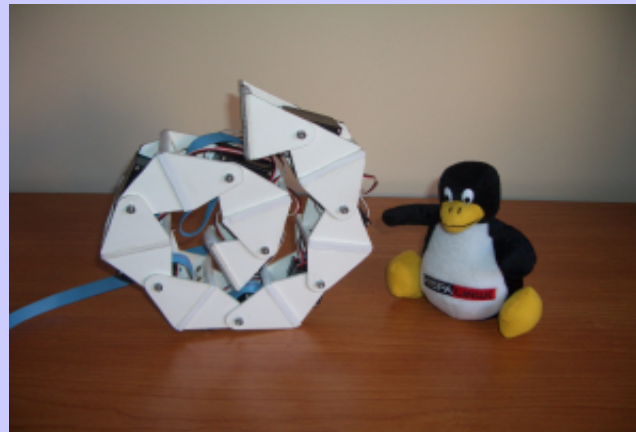
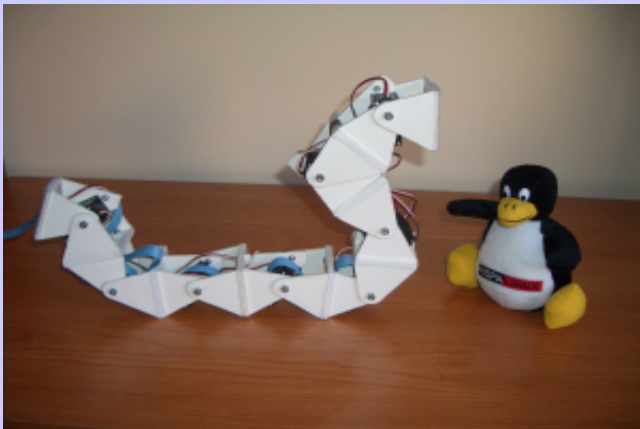


Semi-ondas: Movimiento tipo oruga



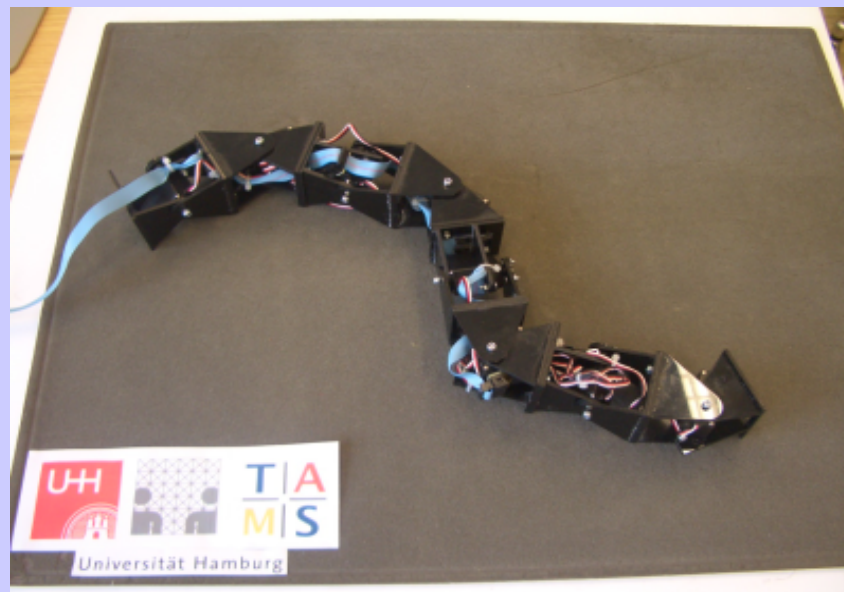
Propiedades de locomoción

- Estos robots pueden cambiar su forma
- Se mueven de diferentes maneras



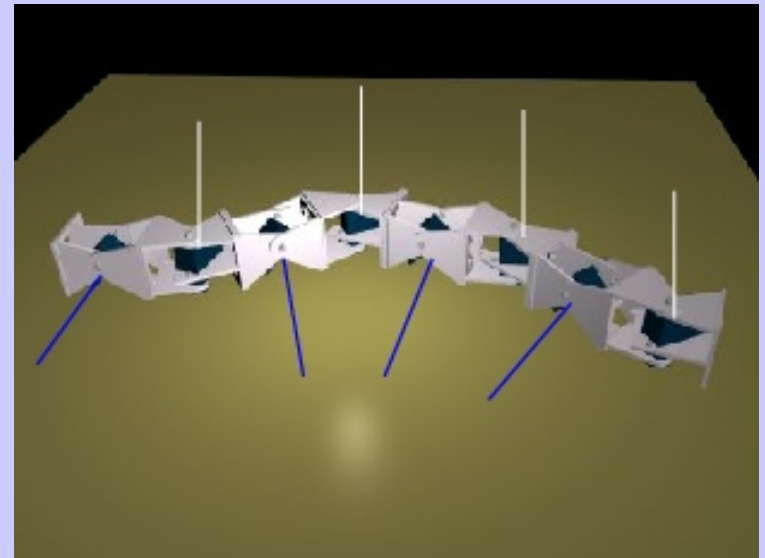
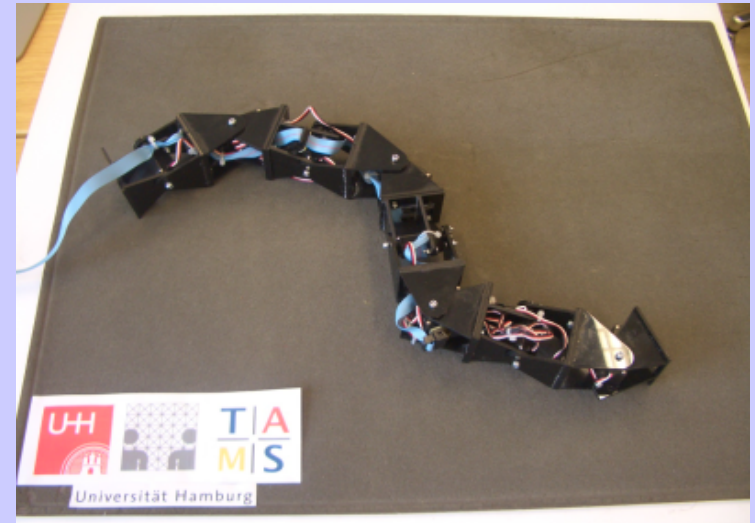
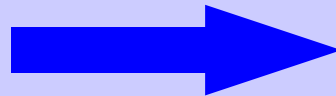
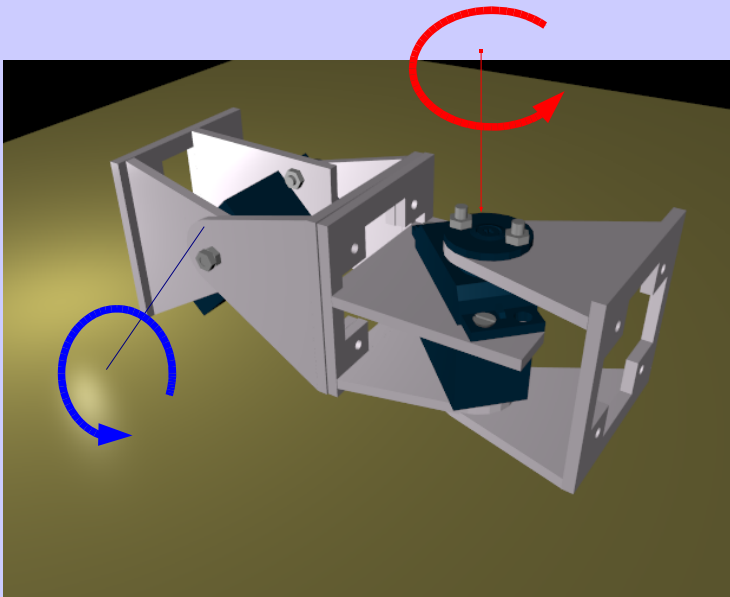
Vídeo

Hypercube



Mecánica

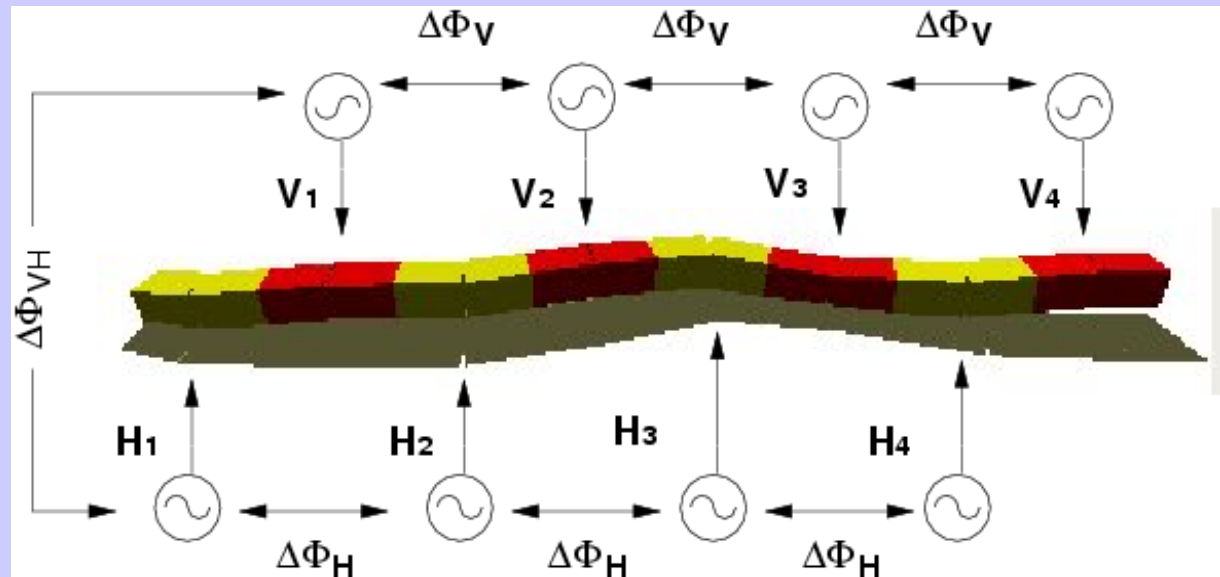
- 8 módulos Y1
- Conexión 90 grados desfasada
- 4 rotan paralelamente al suelo
- 4 rotan perpendicularmente



Coordinación

- Se usan 8 generadores sinusoidales, uno para cada articulación
- 4 controlan los módulos horizontales
- 4 controlan los módulos verticales
- Se emplean en total 8 parámetros:

- **Amplitud:** A_H, A_V
- **Valor medio:** O_H, O_V
- **Diferencia de fases:**
 $\Delta\phi_H, \Delta\phi_V, \Delta\phi_{VH}$
- **Periodo:** T



Propiedades de Locomoción

- El robot se puede mover al menos de 5 maneras diferentes:

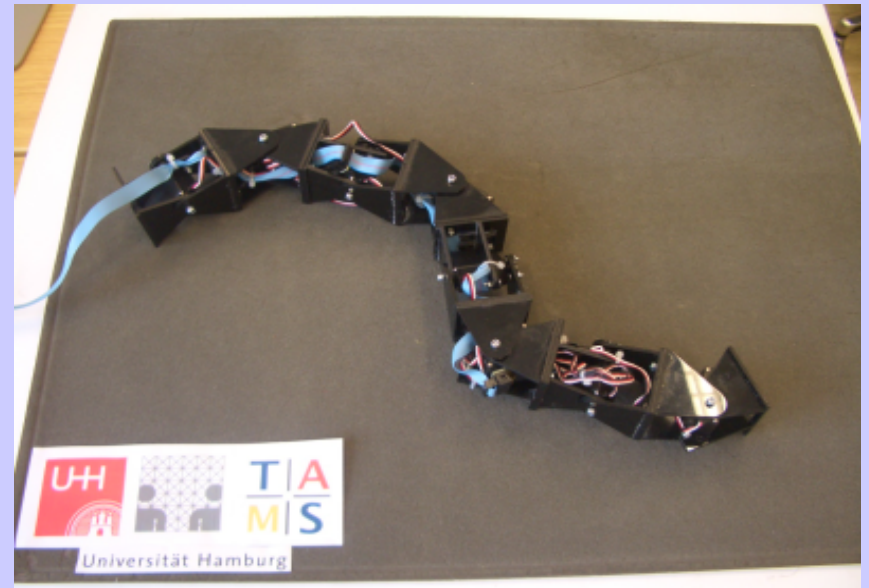
Línea recta

Describir un arco

Rotar lateralmente

Rotal paralelamente al suelo

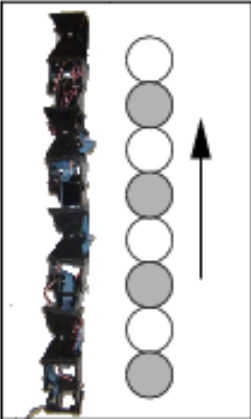
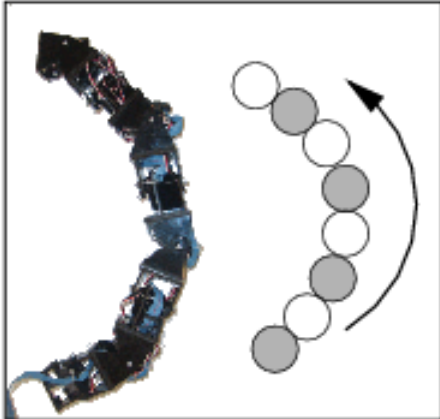
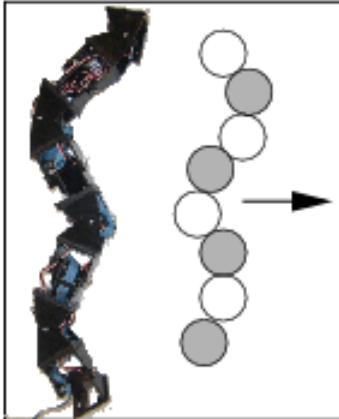
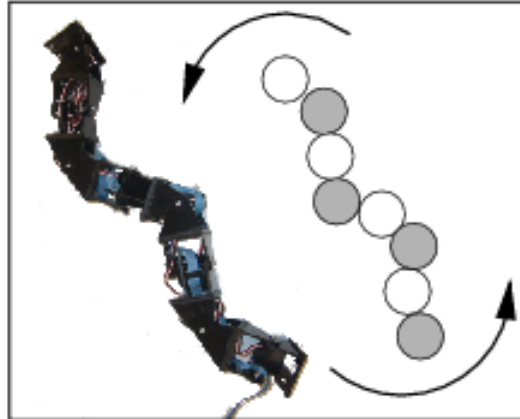
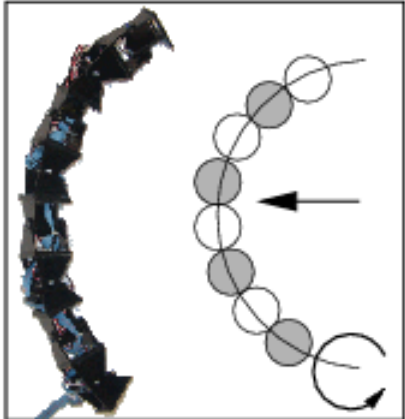
Desplazamiento lateral



Demo

Hypercube: Resumen

- Todos los movimientos se consiguen modificando los parámetros de los generadores sinusoidales

Sinusoidal	Turning	Lateral Shifting	Rotating	Rolling
				
$A_V \neq 0 \quad A_H = 0 \quad O_V = 0 \quad \Delta\Phi_V = 120$ $O_H = 0 \quad O_H \neq 0$		$A_V \neq 0 \quad A_H \neq 0 \quad O_H = 0 \quad O_V = 0$		
		$\Delta\Phi_{VH} = 0$ $\Delta\Phi_H = 100$ $\Delta\Phi_V = 100$	$\Delta\Phi_{VH} = 0$ $\Delta\Phi_H = 50$ $\Delta\Phi_V = 120$	$\Delta\Phi_{VH} = 90$ $\Delta\Phi_H = 0$ $\Delta\Phi_V = 0$

- Parece que el modelo de generador sinusoidal es bastante versátil

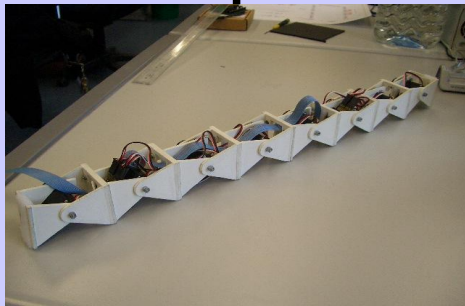
Resumen

Topologías 1D

Locomoción en 1D

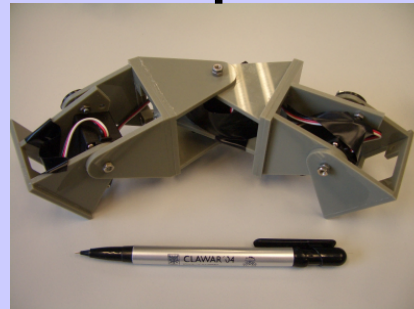


Conf. mínima
PP

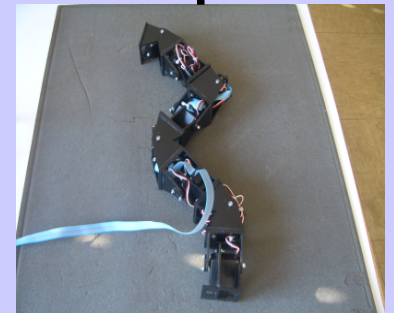


8 módulos
Cube Revolutions

Locomoción en 2D

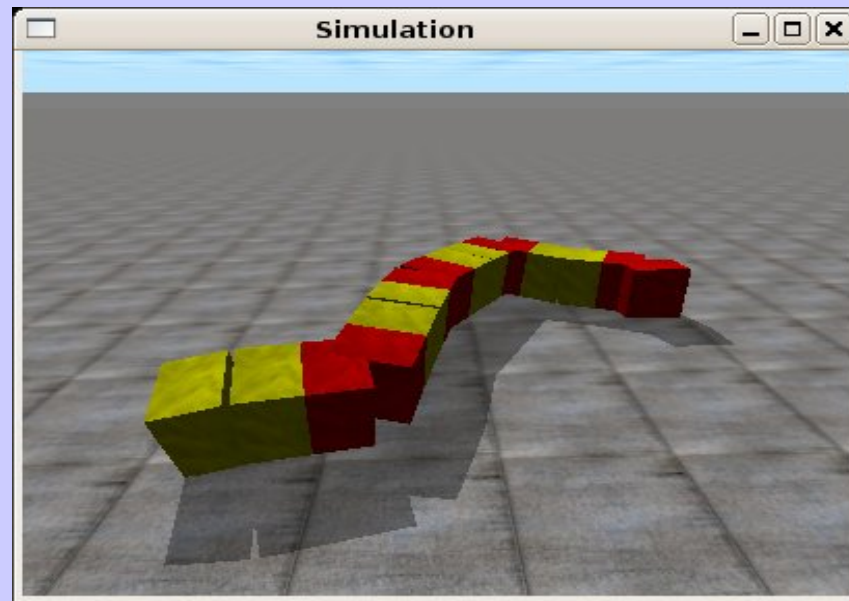


Conf. Mínima
PYP



8 módulos
Hypercube

Simulación



Búsqueda y optimización

Problemas a resolver:

- **Problema de la búsqueda:**

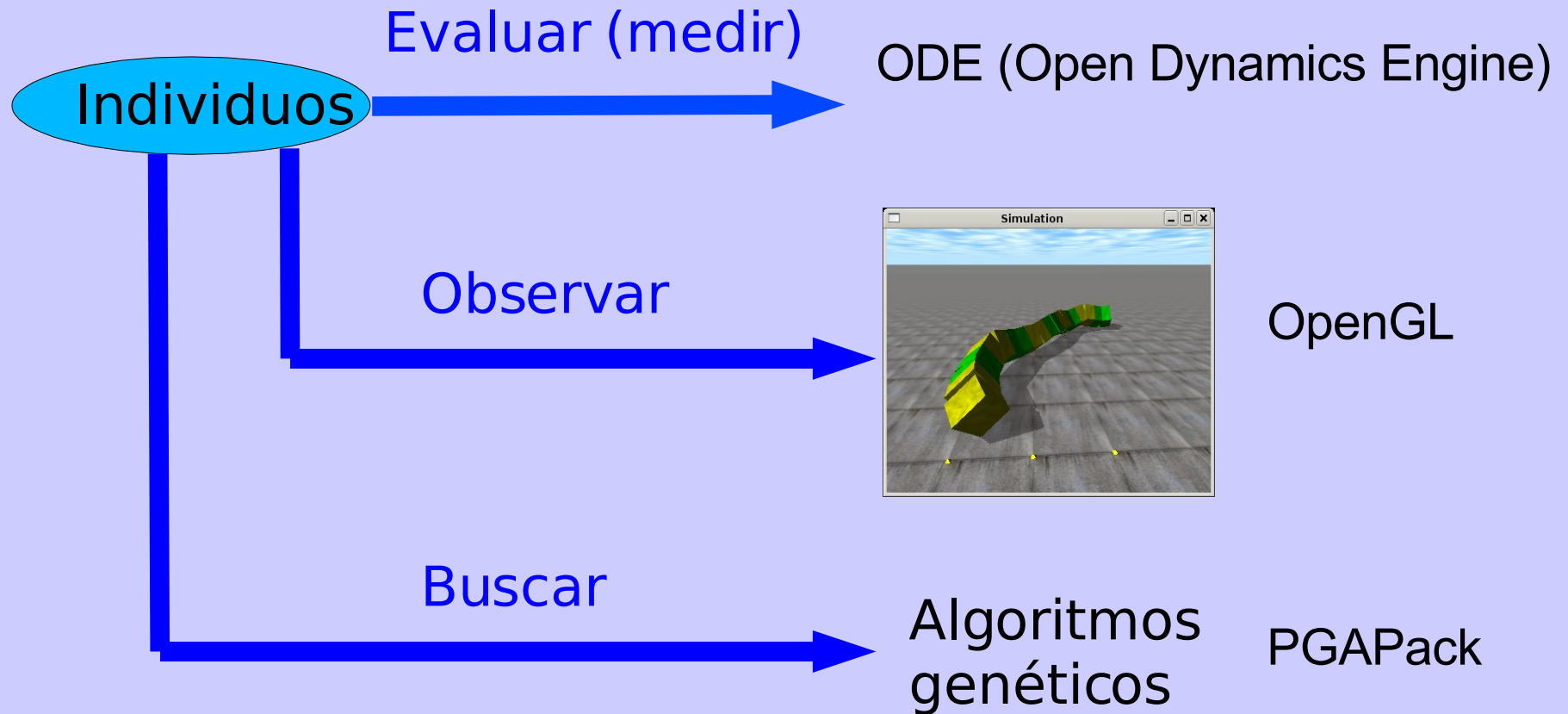
¿Cómo encontrar maneras de locomoción en topologías de 1D?

- **Problema de la optimización:**

¿Qué parámetros de los generadores son los óptimos?

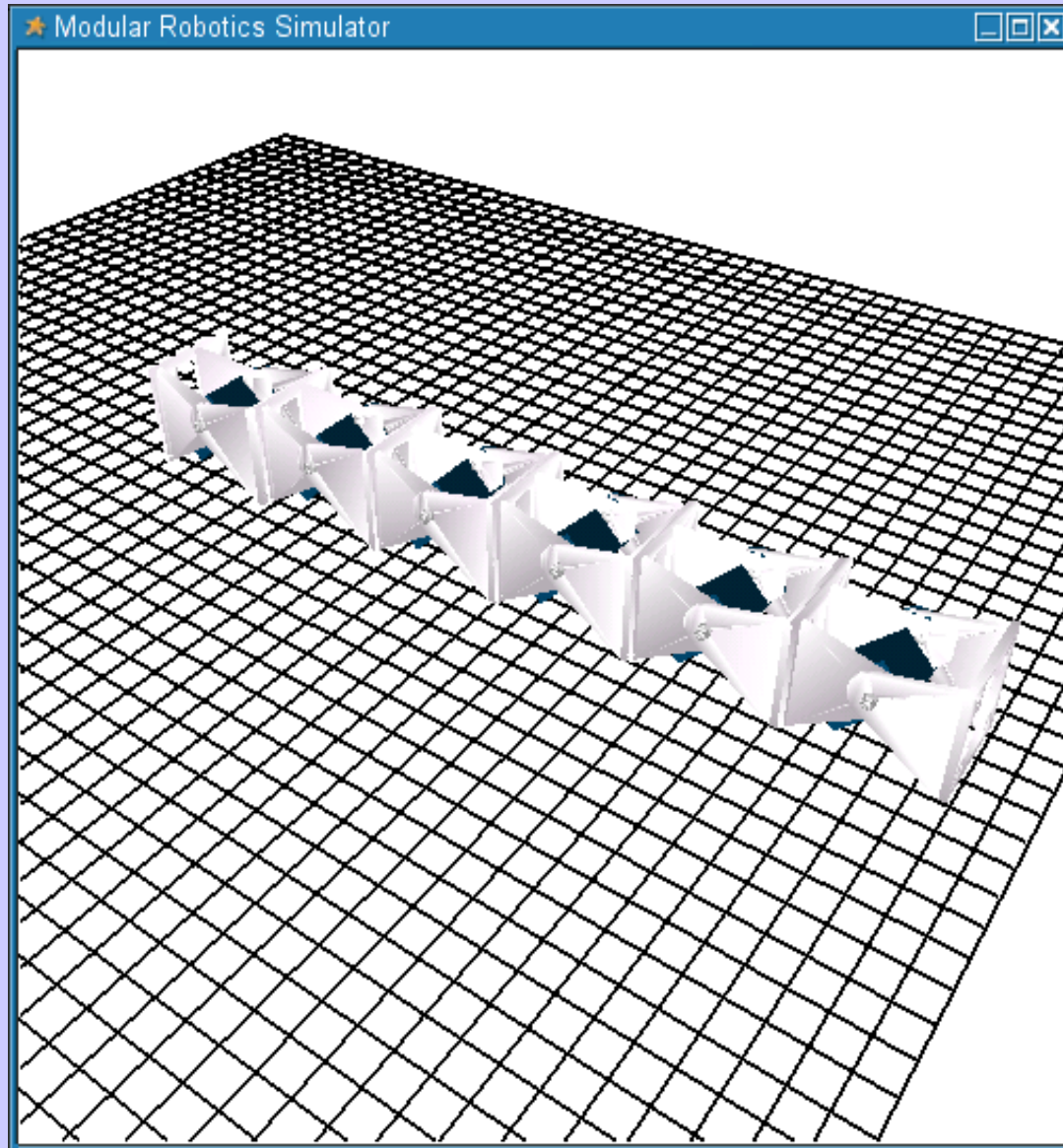
Evaluación, Observación y Búsqueda (I)

- Necesitamos un **SIMULADOR** que permita **Evaluar, Observar y Buscar**

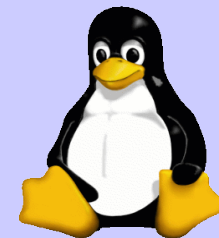


Software: MRS

Modular Robotics Simulator



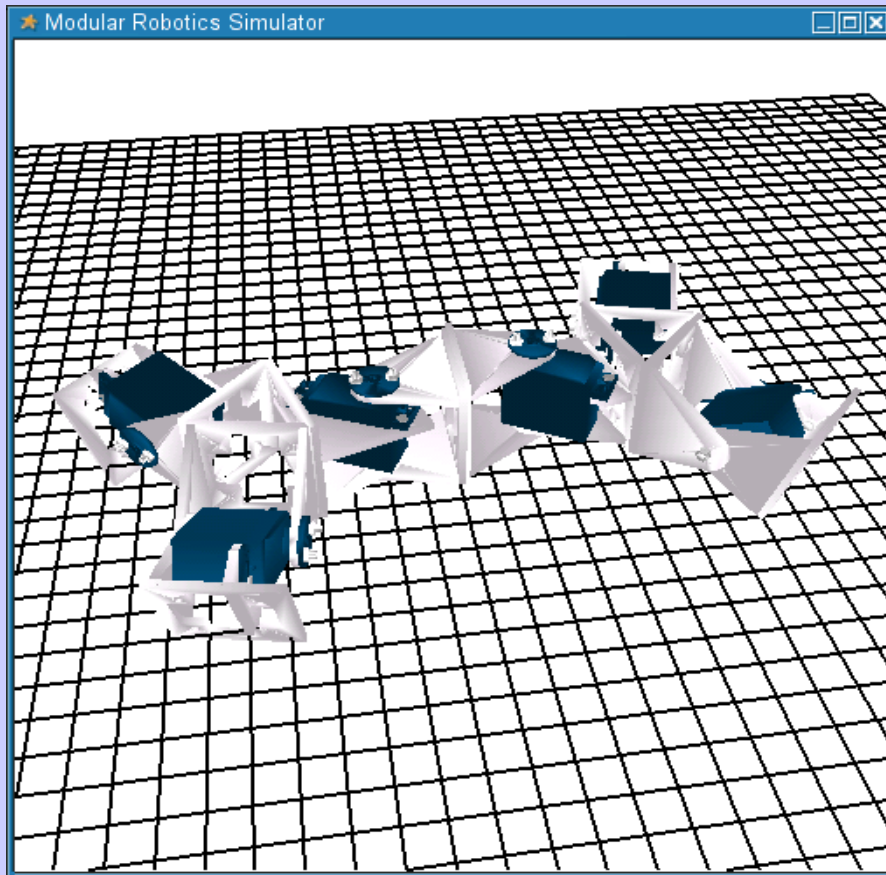
- Autor: **Rafael Treviño Menéndez**
- **Licencia:** GPL
- Programado en Python
- Visualización en 3D de las configuraciones creadas
- Movimientos de la cámara
- Librerías: OpenGL
- Creado para los Módulos Y1
- Integración con ODE



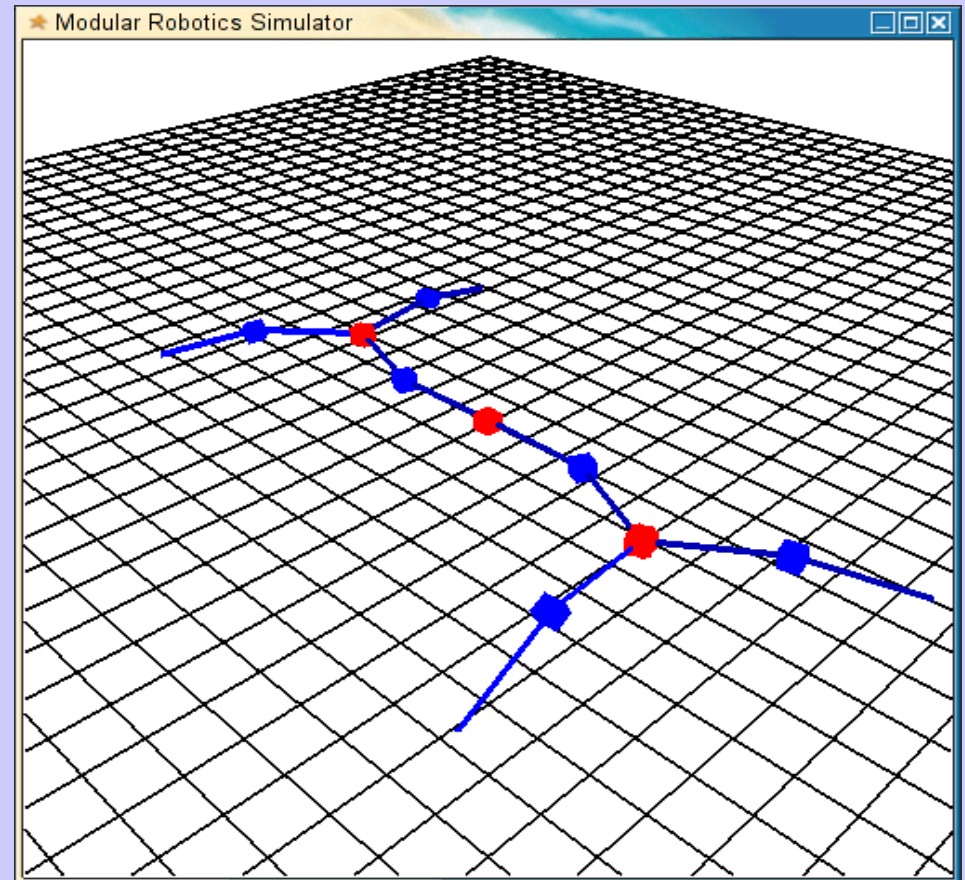
Software: MRS

Modular Robotics Simulator

Renderizado con Módulos Y1



Modelo alámbrico



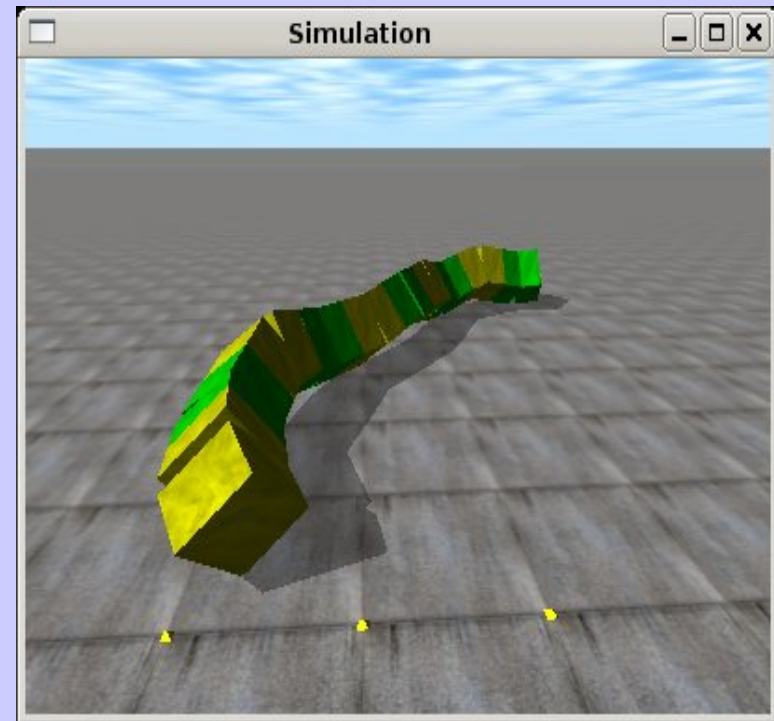
Software: RTK Robotic ToolKit

Versión en desarrollo



- Todo tipo de robots
- Programada en C++
- Rafael Treviño

Versión Simplificada



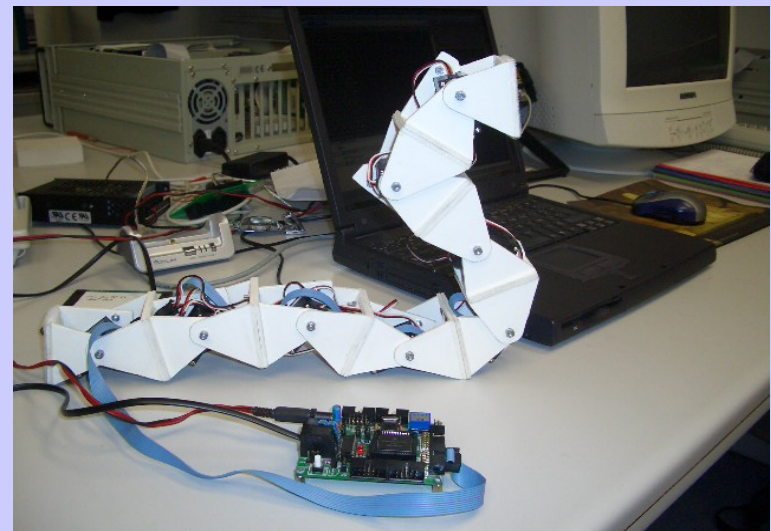
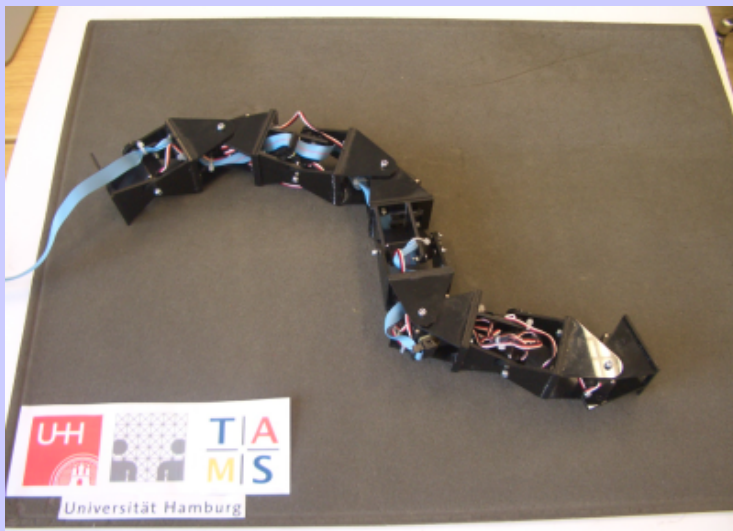
- Sólo topologías 1D
- Programada en C
- Juan González

Demo

Conclusiones

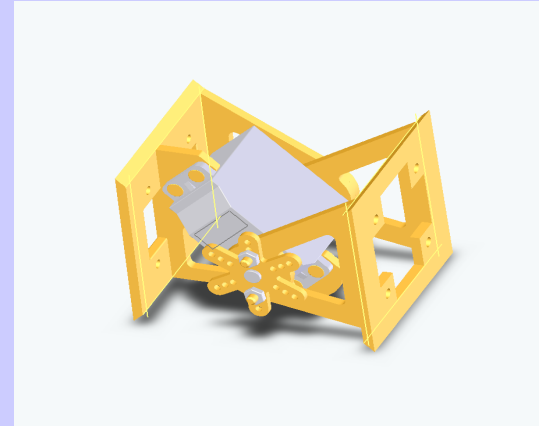
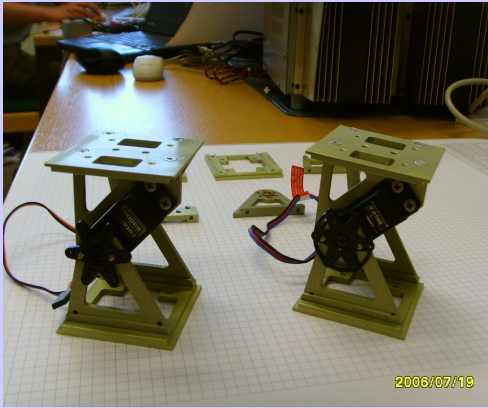
- El modelo de **generadores sinusoidales** es viable y muy versátil
- Los movimientos conseguidos son muy suaves y dan la sensación de que el robot “está vivo”

Sólo con generadores sinusoidales es posible realizar muchos tipos de movimientos en robots modulares de topologías de 1D

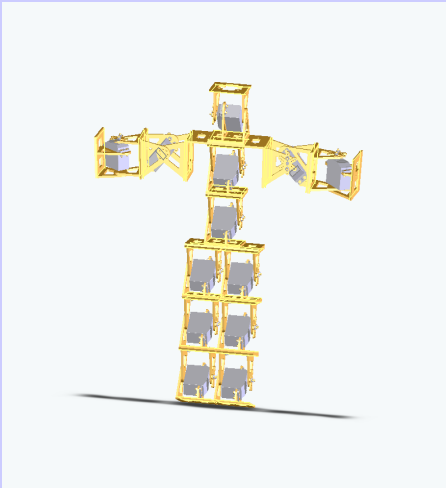


Trabajos futuros

- Hemos diseñado una nueva generación de módulos (ZG):



- Con ellos es posible construir configuraciones más complejas, como por ejemplo humanoides o cuadrúpedos

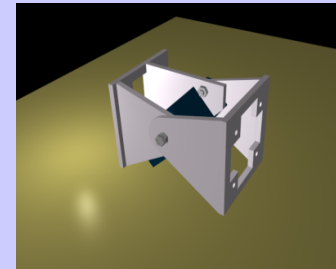


Más información

- **Módulos Y1:**

<http://www.iearobotics.com/personal/juan/doctorado/Modulos-Y1/modulos-y1.html>

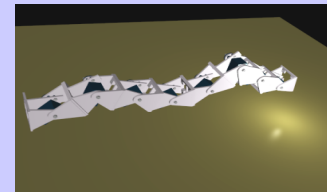
- ... o también poner en google “modulos Y1”



- **Robot Cube Revolutions:**

<http://www.iearobotics.com/personal/juan/doctorado/cube-revolutions/>

- ... o también poner en google “cube revolutions”



- **Robotics ToolKit (RTK)**

<http://sourceforge.net/projects/robotoolkit/>



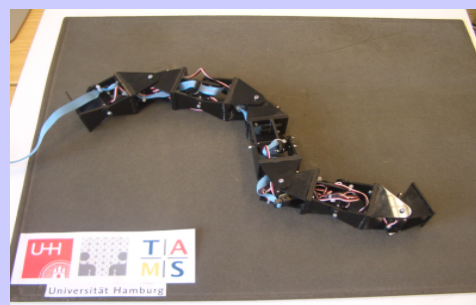
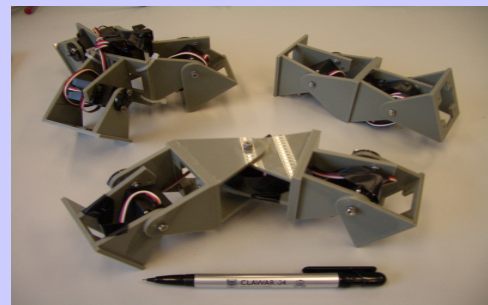
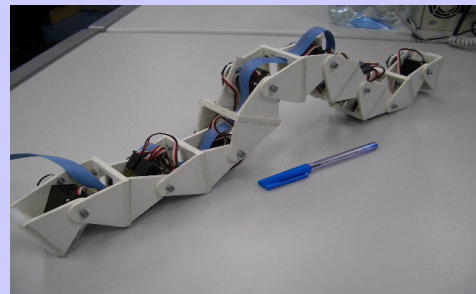
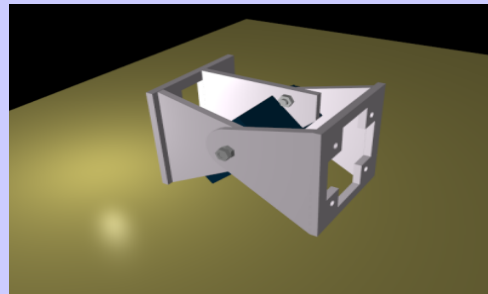
Muchas gracias por vuestra atención

...and remember...

Be modular my friend!

:-)

Robótica Modular y Locomoción



Juan González Gómez

Escuela Politécnica Superior
Universidad Autónoma de Madrid