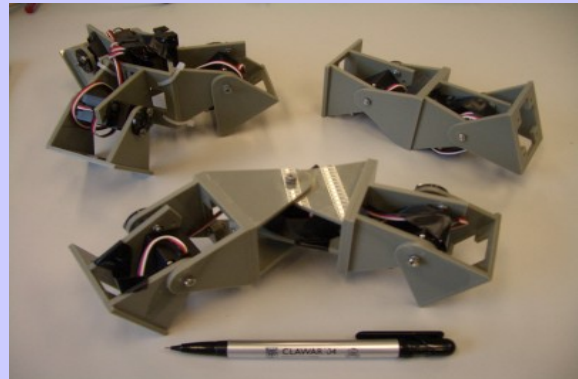
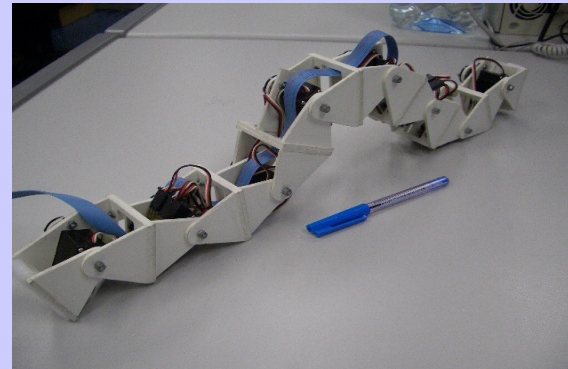
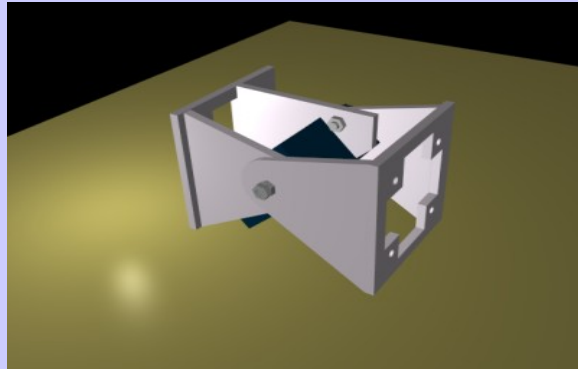


Robótica modular y Locomoción



Juan González Gómez

Escuela Politécnica Superior
Universidad Autónoma de Madrid

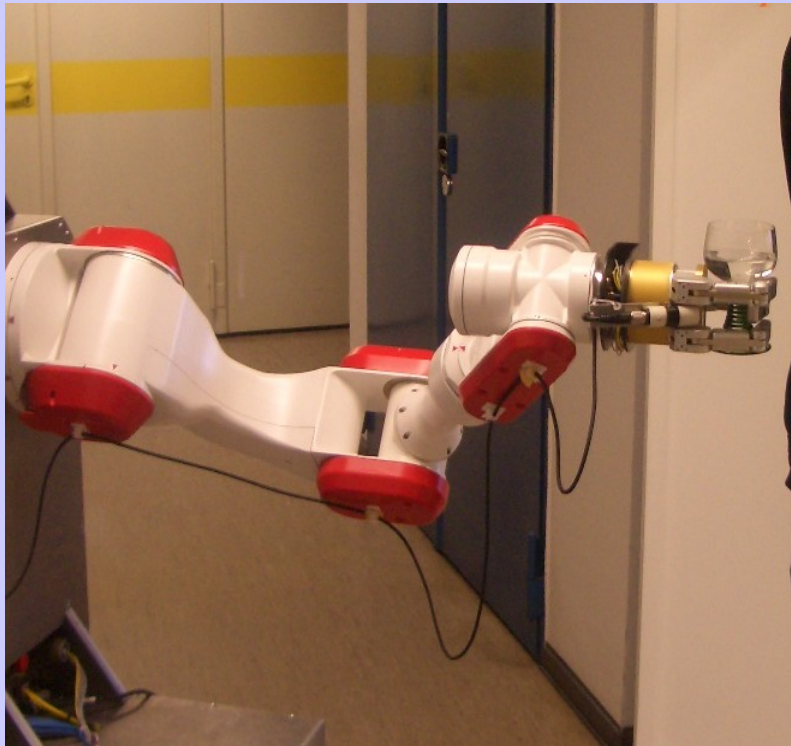
índice

- **Introducción**
- **Módulos Y1**
- **Robótica modular y locomoción**
- **Configuraciones mínimas**
- **Configuraciones superiores**
- **Conclusiones y trabajos futuros**

Vídeos

Areas principales de investigación en robótica

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



Robots industriales
Robots de servicio

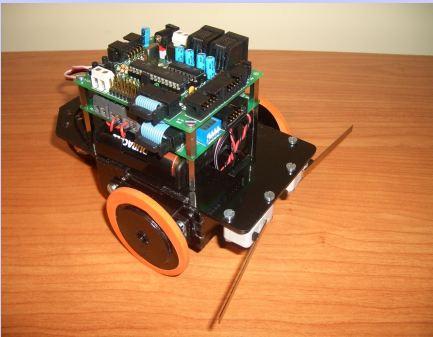
- **Locomoción:** Capacidad de los robots para desplazarse de un lugar a otro.



Robots móviles

Locomoción(I): Clasificación de los robots móviles

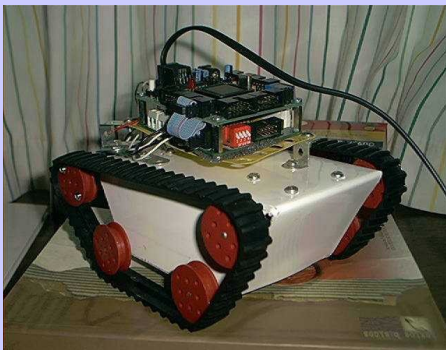
- Los robots móviles se pueden clasificar según los elementos que emplean para realizar la locomoción:



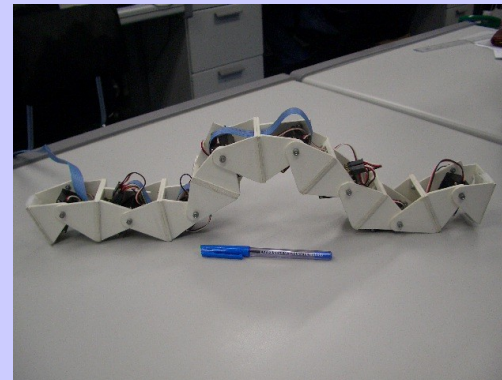
- Ruedas



- Patas



- Orugas



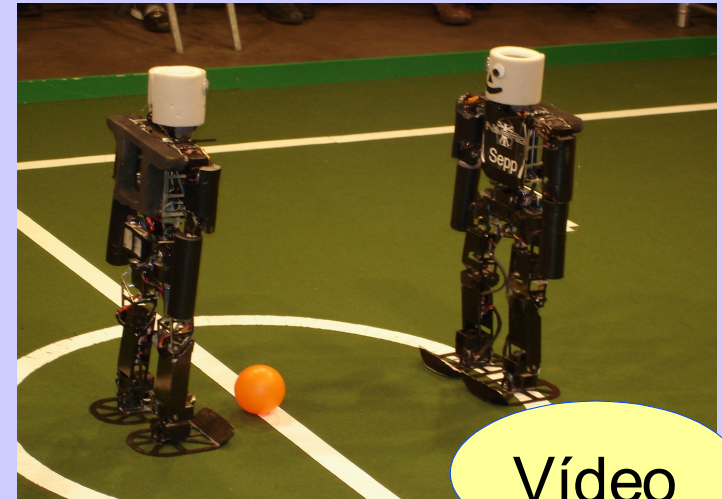
- Otros

Locomoción (II): Robots con patas

- Alto consumo
- Más complejos
- Problema de la coordinación

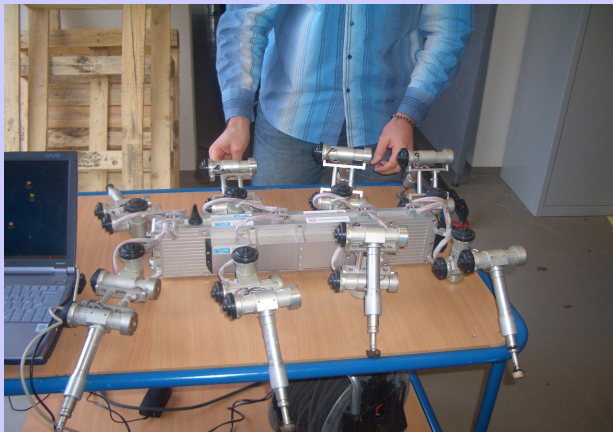
¿Por qué la mayoría de animales en la naturaleza tienen patas?

2 patas



Vídeo

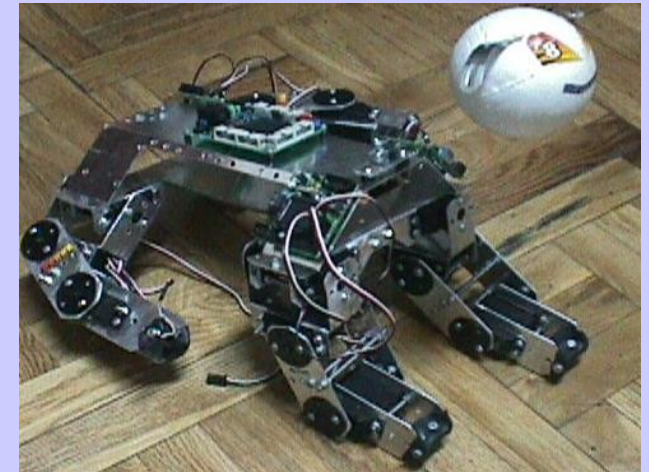
8 patas



6 patas



4 patas

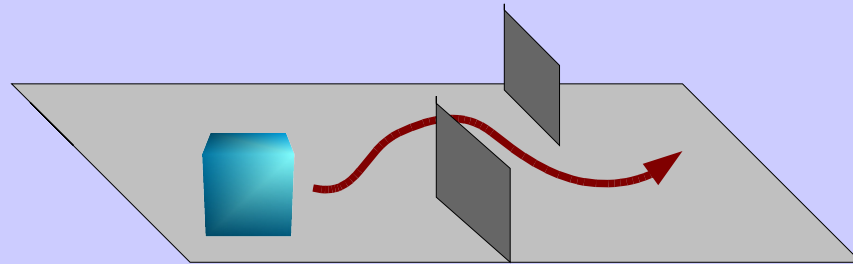


Locomoción (III): Diferentes niveles

- El estudio de la locomoción se aborda desde diferentes niveles:

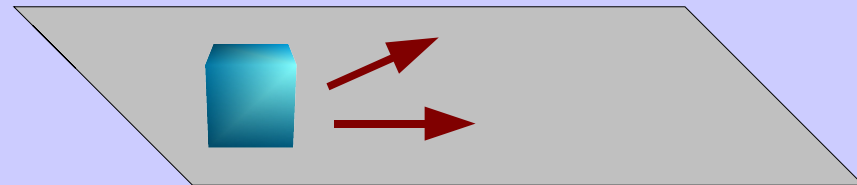
Niveles
Superiores

**Planificación,
Navegación**



Nivel 2

**Desplazamiento
en un plano**



Nivel 1

**Incremento en
línea recta**



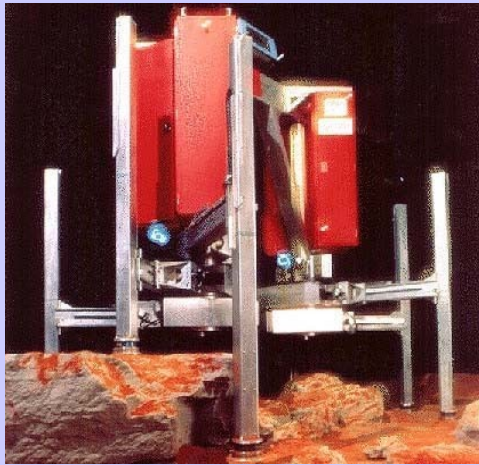
Locomoción (IV): Problema de la locomoción

- **Enunciado:**

Robot móvil capaz de moverse por cualquier tipo de entorno, por muy escarpado que sea.

- **Nasa interesada en este problema.**

CMU AMBLER (89)



- Exploración de marte
- 3.5 x 3 m
- Nunca fue enviado...

DANTE II (94)

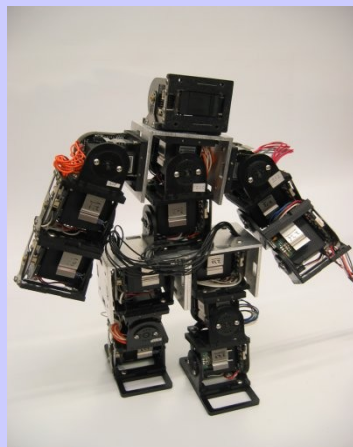


- Exploración de volcanes
- Utiliza un cable de sustentación
- Al quinto día volcó

Robótica modular reconfigurable(I)

- En 1994, **Mark Yim** ,en su tesis doctoral introdujo una nueva idea para abordar el problema de la locomoción: **los robots modulares y reconfigurables**.
- Construir robots a partir de módulos sencillos
- Estos robots pueden cambiar de forma para adaptarse al terreno
- Los robots modulares más avanzados actualmente son:

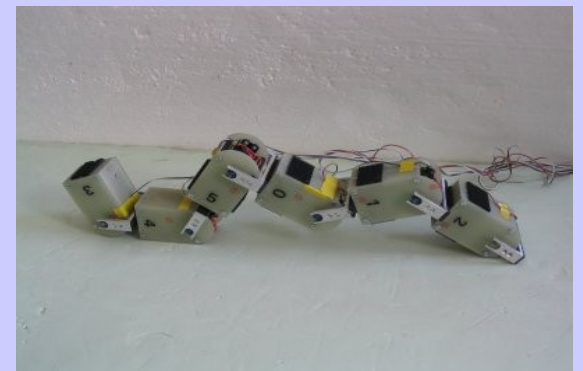
POLYBOT (USA)



M-TRAN (Japón)



YAMOR (Suiza)

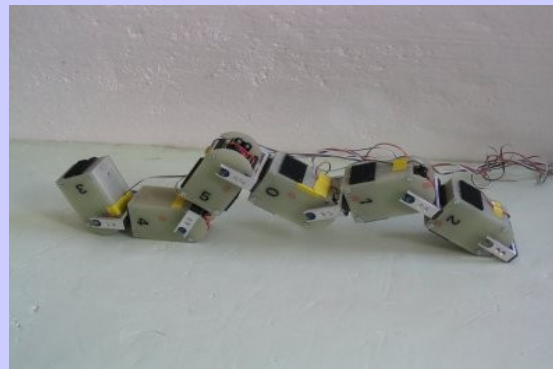


Robótica Modular reconfigurable (II)

- El diseño se centra en el módulo y no en un robot particular
- Las diferentes combinaciones de módulos se llaman configuraciones
- Se clasifican en automática y manualmente reconfigurables

- **Ventajas:**

- Versatilidad
- Prototipado rápido
- Prueba de nuevas ideas



Muy buenas plataformas para el estudio de la locomoción

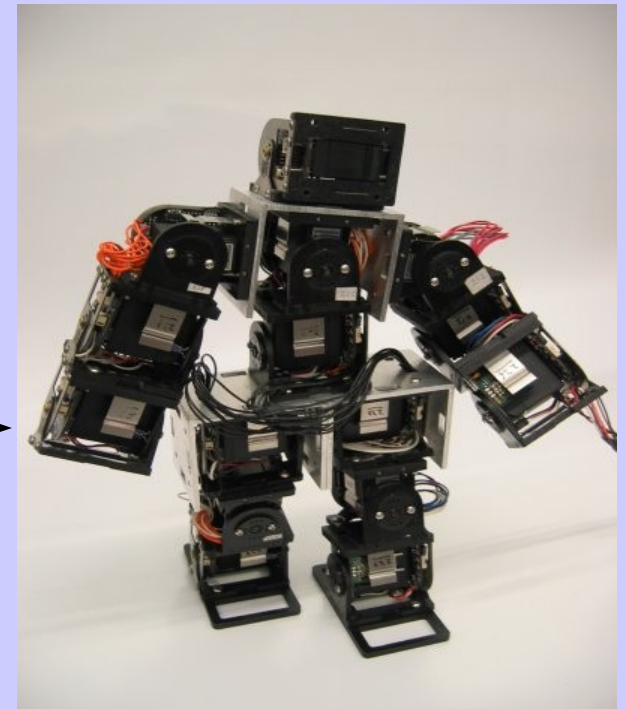
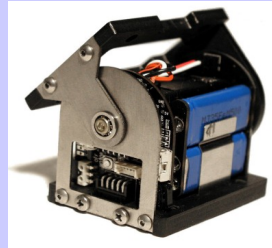
Robótica:

Clasificación según la estructura

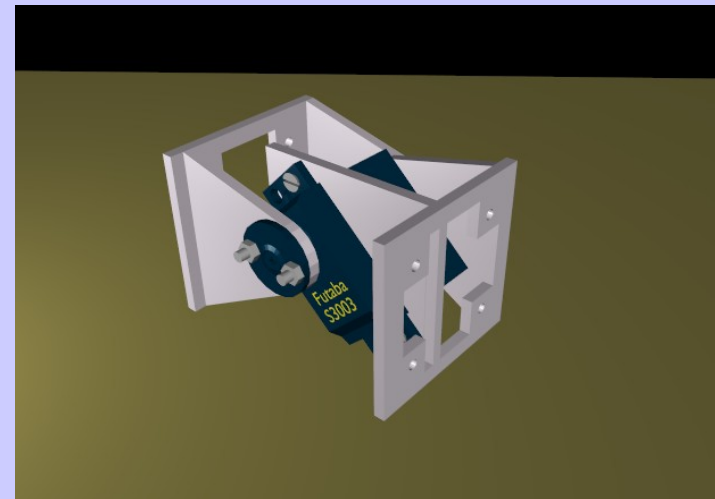
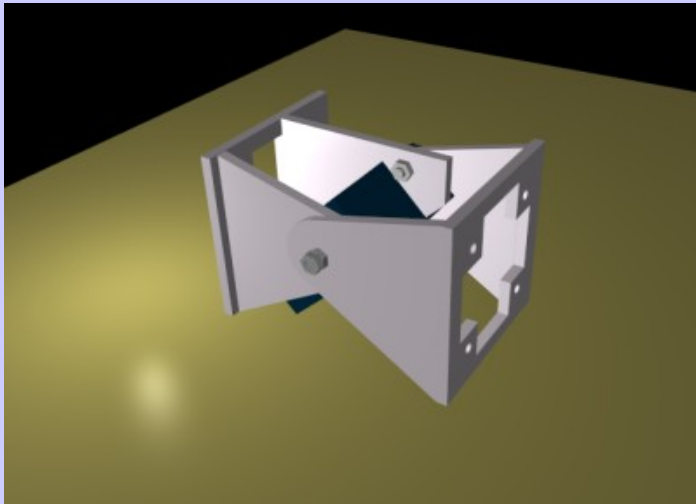
- Diseño específico



- Diseño modular

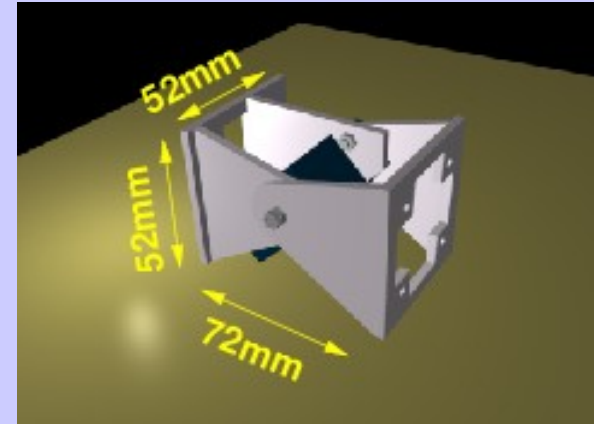


Módulos Y1

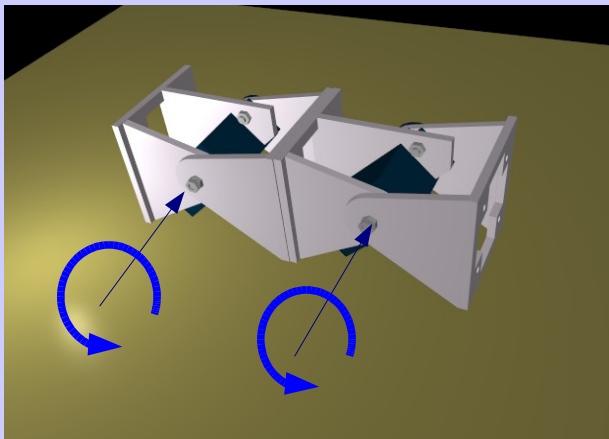


Características

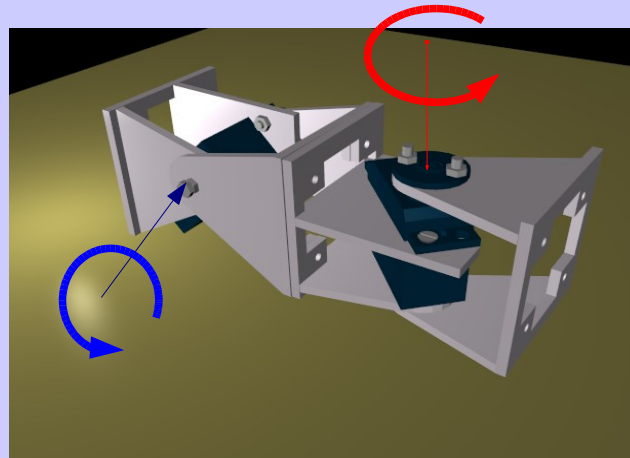
- **Material:** Plástico de 3mm
- **Servo:** Futaba 3003
- **Dimensiones:** 52x52x72mm
- **Rango de rotación:** 180 degrees
- **Dos tipos de conexión:**



Misma orientación:

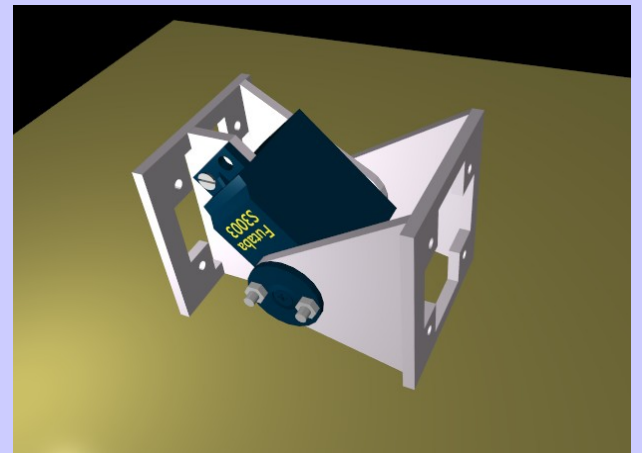
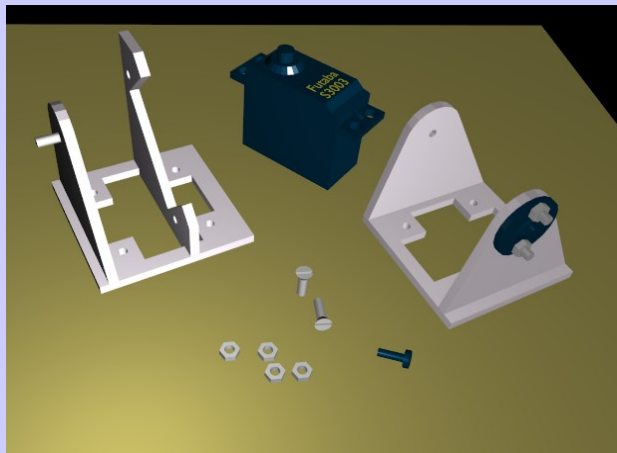
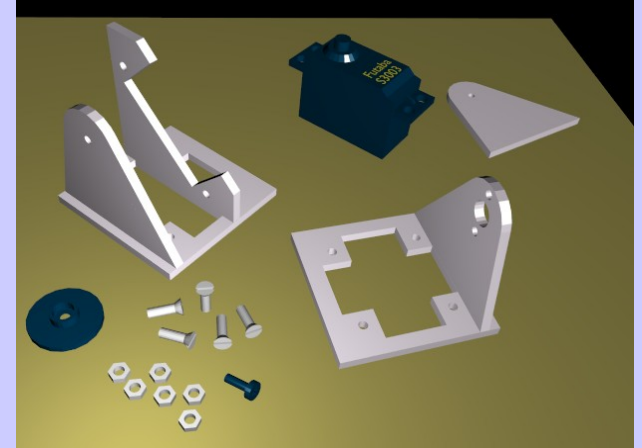
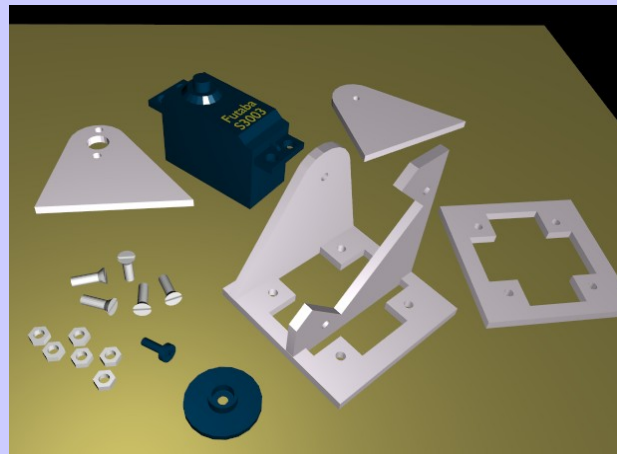
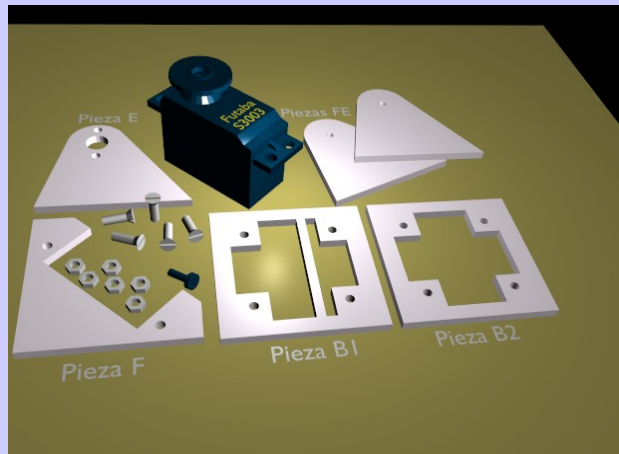


Rotación de 90 grados:



Vídeo

Construcción en 6 pasos...

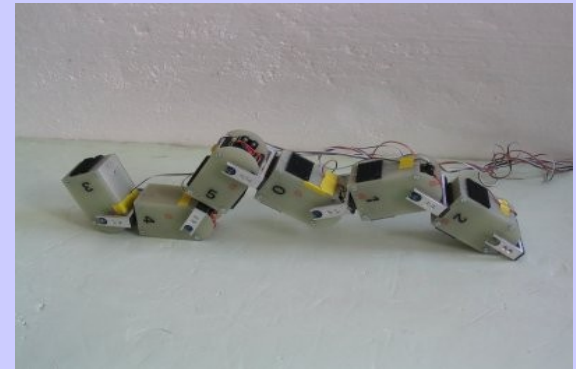
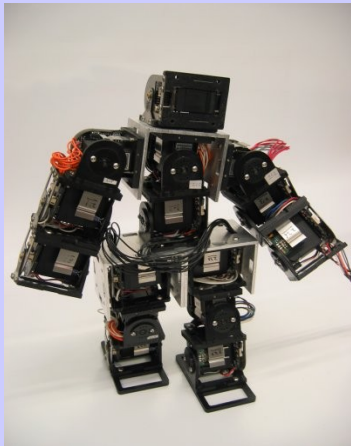


Robótica modular y locomoción

- Estudio de la locomoción de la robótica modular en general:

Retos:

1. ¿Existe un método general válido, independiente de la forma del robot, para realizar la locomoción ?

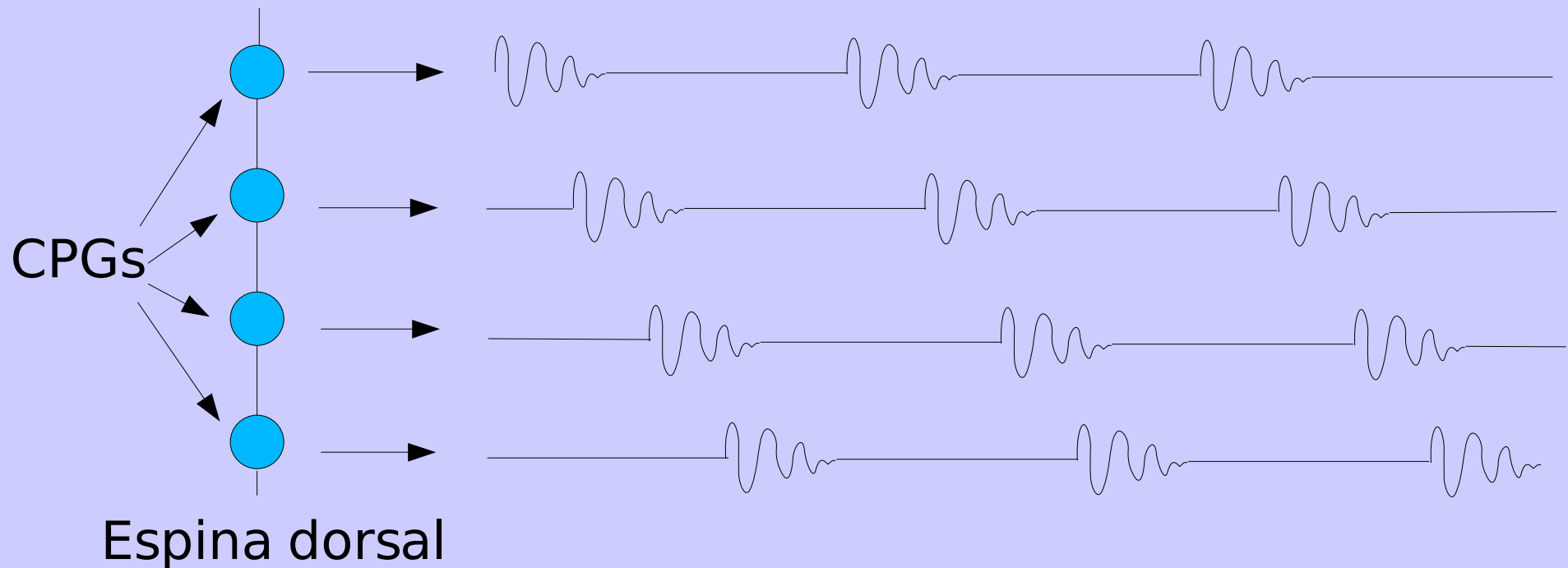


2. Potencialmente existen infinitas configuraciones. ¿Cómo abordar el estudio de la locomoción en general?

Problema 1:

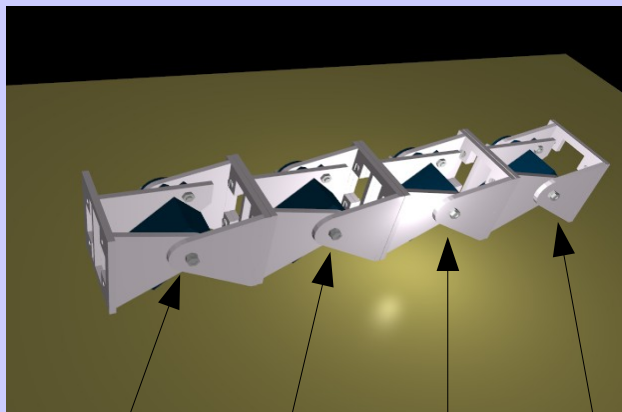
Generadores centrales de patrones (CPGs)

- 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 centrales de patrones (CPGs)

- La locomoción a bajo nivel se hace por medio de estos CPGs.
- Son las características de estas ondas las que hacen que el animal se mueva de una manera u otra
- ¿Por qué no aplicar este mismo modelo a los robots?
- La idea es utilizar un oscilador que controle cada módulo del robot
- El oscilador más sencillo es una onda sinusoidal



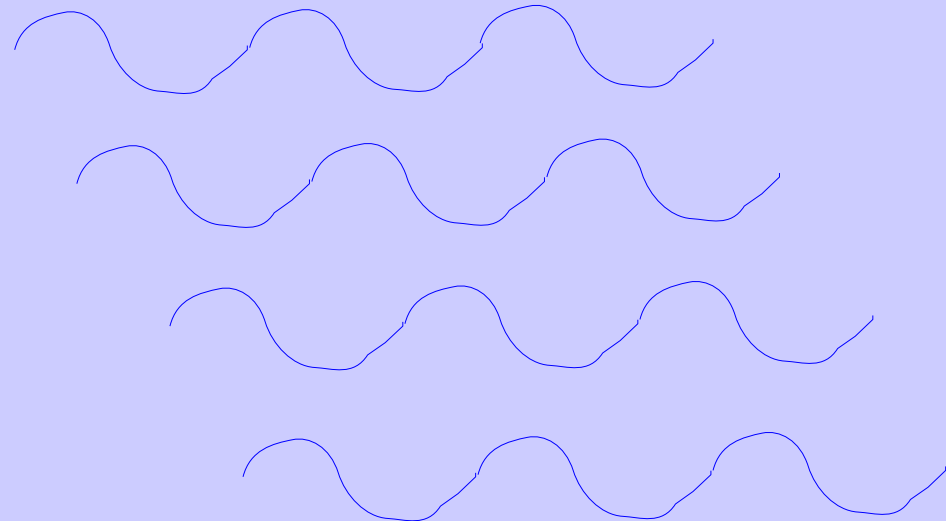
CPG CPG CPG CPG

Módulo 1

Módulo 2

Módulo 3

Módulo 4

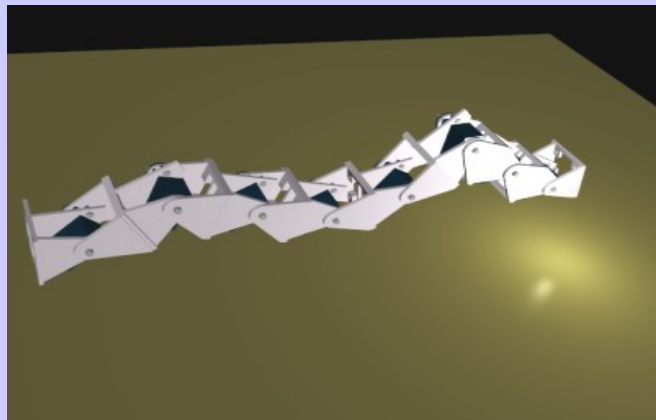


Problema 2:

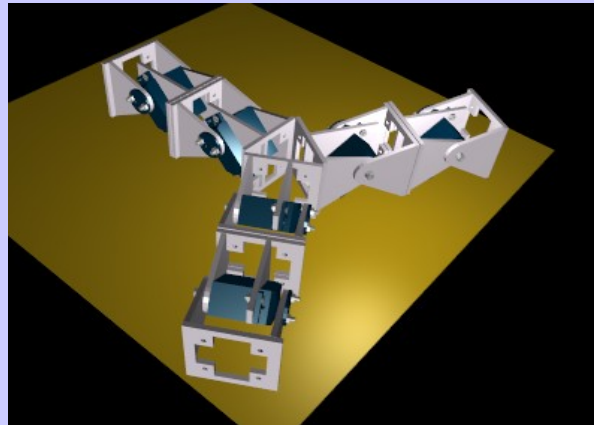
Clasificación

- Potencialmente hay infinitas configuraciones que se pueden construir
- Hay que establecer clasificaciones y estudiar los diferentes grupos
- Un criterio podría ser la **topología** de los robots:

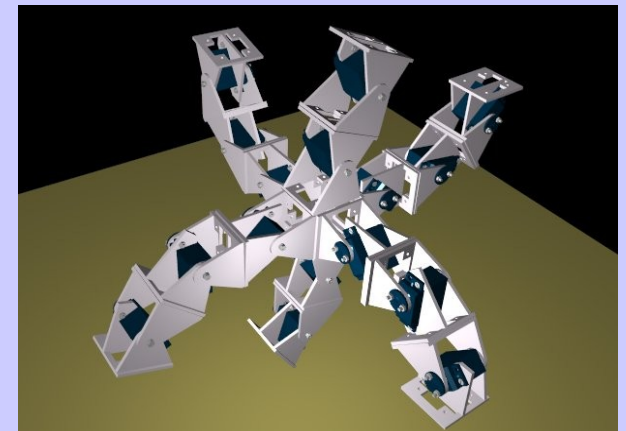
Topologías 1D: cadenas de módulos (gusanos, serpientes, brazos, patas...)



Topología 2D. Dos o más cadenas de módulos conectadas en diferentes ejes

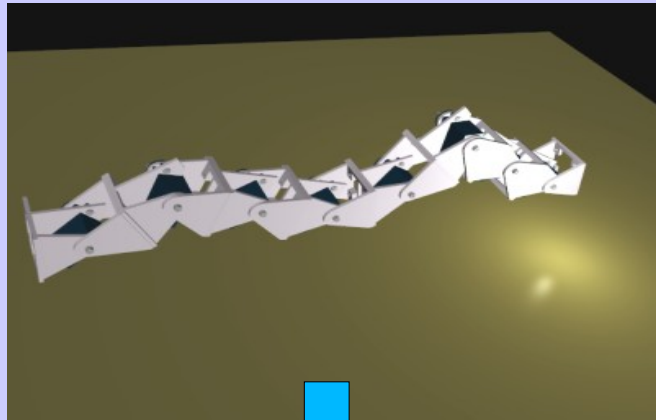


Topologías 3D. Resto de configuraciones



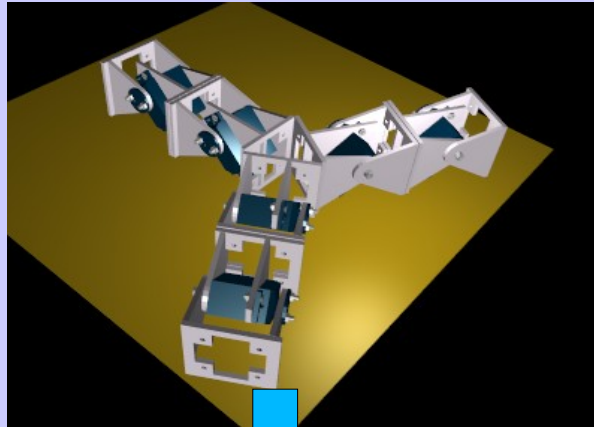
Problema de las configuraciones mínimas

Topologías 1D



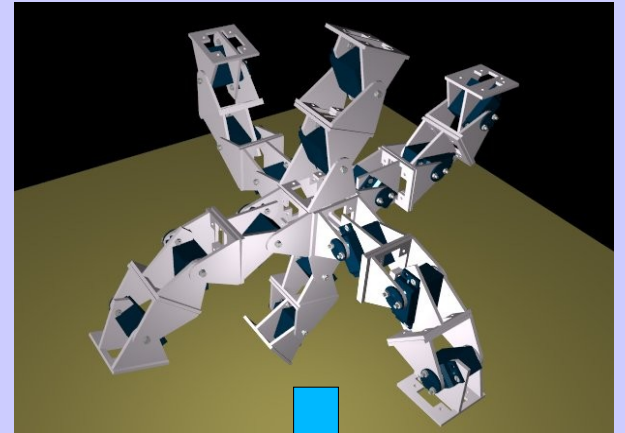
Representante

Topologías 2D



Representante

Topología 3D



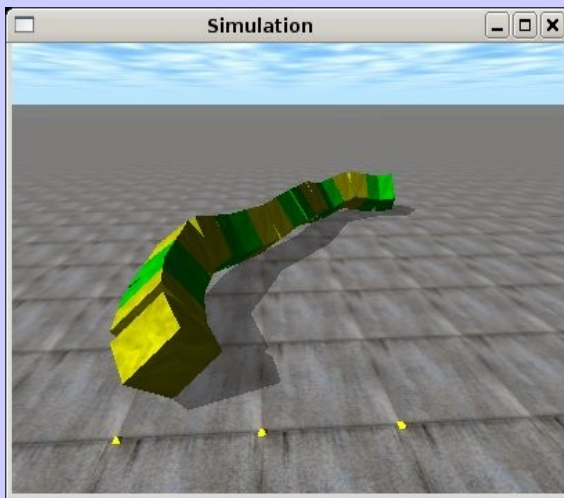
Representante

- Para el estudio, hay que empezar eligiendo un representante de cada grupo
- La elección menos compleja: las **configuraciones mínimas**

Problema de las configuraciones mínimas: Encontrar cuales son los robots con el menor número de módulos y que se pueden desplazar

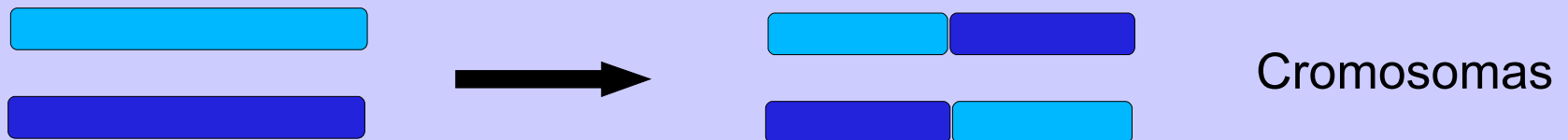
Evaluación y Búsqueda de soluciones

- Para evaluar las configuraciones y los parámetros de la coordinación necesitamos un **SIMULADOR**.



- Usamos el Open Dynamics Engine (ODE).
- Es un motor físico

- Para encontrar las soluciones necesitamos un algoritmo de búsqueda: **ALGORITMOS GENETICOS**.

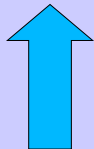


Topologías 1D y Configuraciones mínimas

Topología 1D:

Locomoción en 1D:

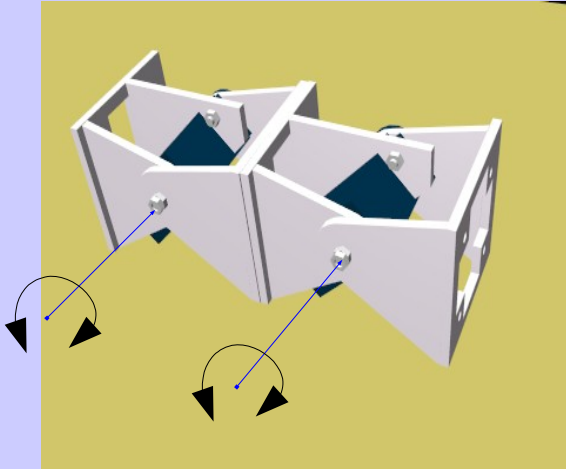
- ¿ Cual es la **configuración mínima** que se mueve en línea recta?
- ¿ Cómo hay que coordinar sus articulaciones para lograrlo?



Locomoción en 2D:

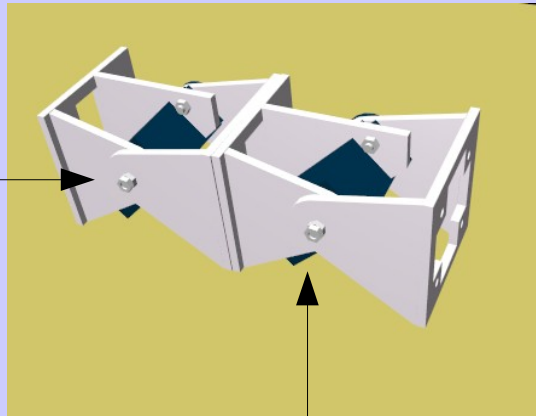
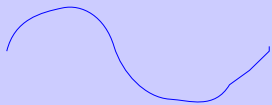
- ¿ Cual es la **configuración mínima** que se mueve en un plano?
- ¿ Cómo hay que coordinar sus articulaciones para lograrlo?

Solución 1: Configuración Pitch-Pitch (PP)

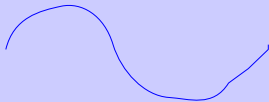


- Sólo se necesitan dos módulos para avanzar en línea recta

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



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



- Se aplican dos ondas sinusoidales
- La diferencia de fase determina la coordinación

Vídeo

Topologías 1D y Configuraciones mínimas

Topología 1D:

Locomoción en 1D:



PP (Pitch-Pitch)

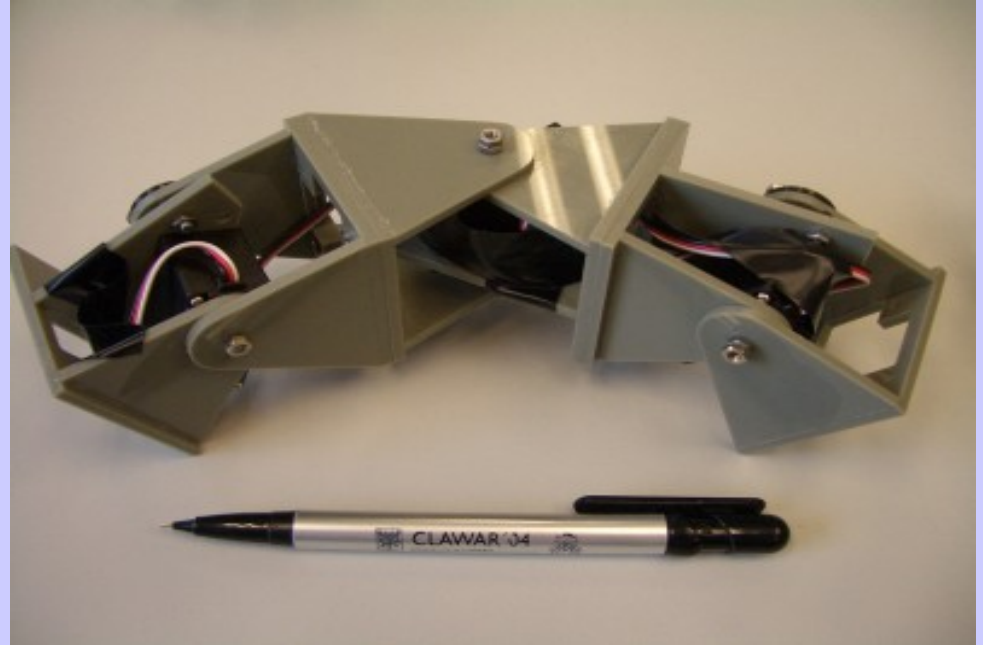
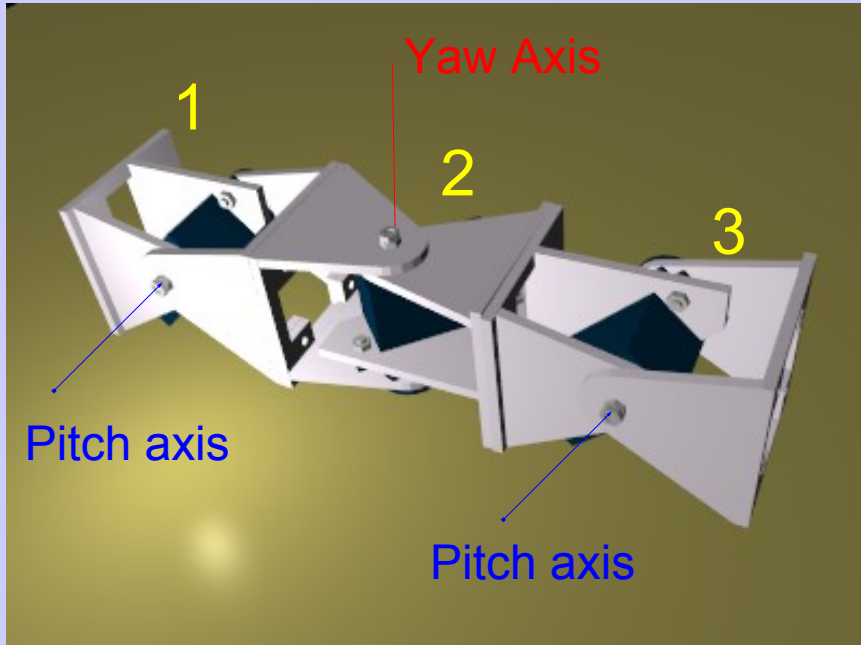
Locomoción en 2D:

- ¿ Cual es la **configuración mínima** que se mueve en un plano?
- ¿ Cómo hay que coordinar sus articulaciones para lograrlo?



Solución 2:

Configuración PYP (Pitch-Yaw-Pitch)

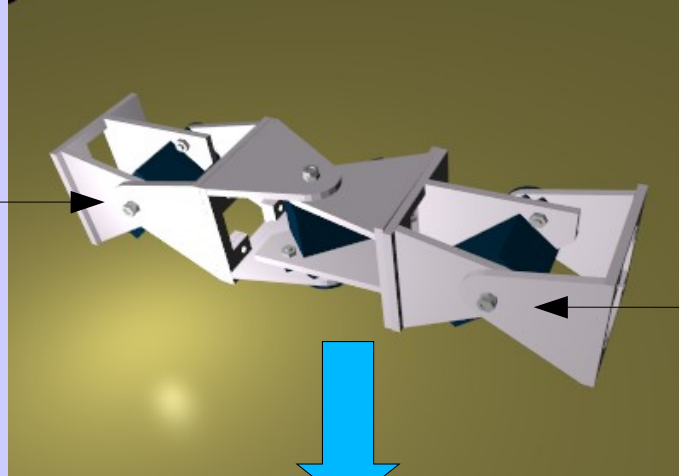


- Son necesarios 3 módulos
- Puede moverse de cuatro maneras diferentes:

- | | |
|---------------------|--------------------------|
| • Línea recta | • Desplazamiento lateral |
| • Describir un arco | • Rodar |

Configuración II (PYP): Línea recta y arco

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



$$\varphi_3 = A.\sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \Delta\phi\right)$$

$$\varphi_2 = 0$$

Movimiento en línea recta

$$\varphi_2 \neq 0$$

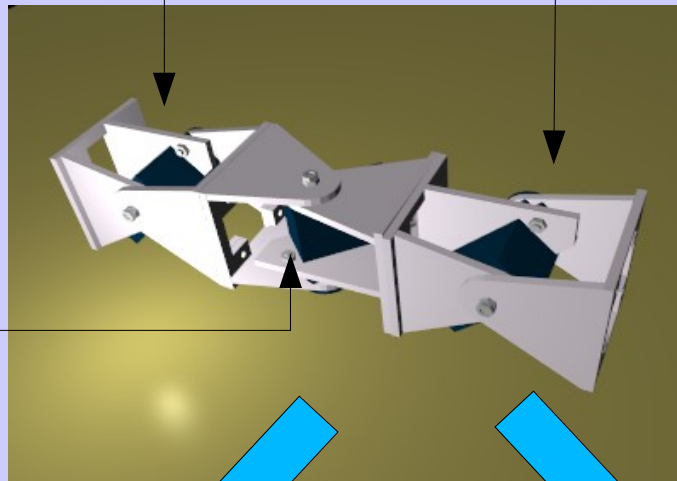
Movimiento en arco

- 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 rotación

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



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

$$A \leq 40$$

Desplazamiento lateral

$$A > 60$$

Rotación

Vídeo

Topologías 1D y Configuraciones mínimas

Topologías 1D

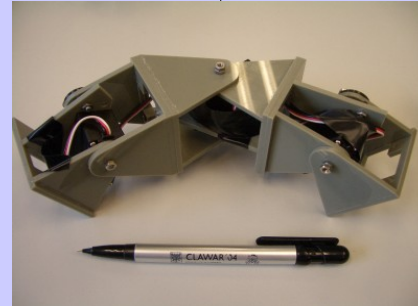
Locomoción en 1D



PP (Pitch-Pitch)

- Línea recta

Locomoción en 2D

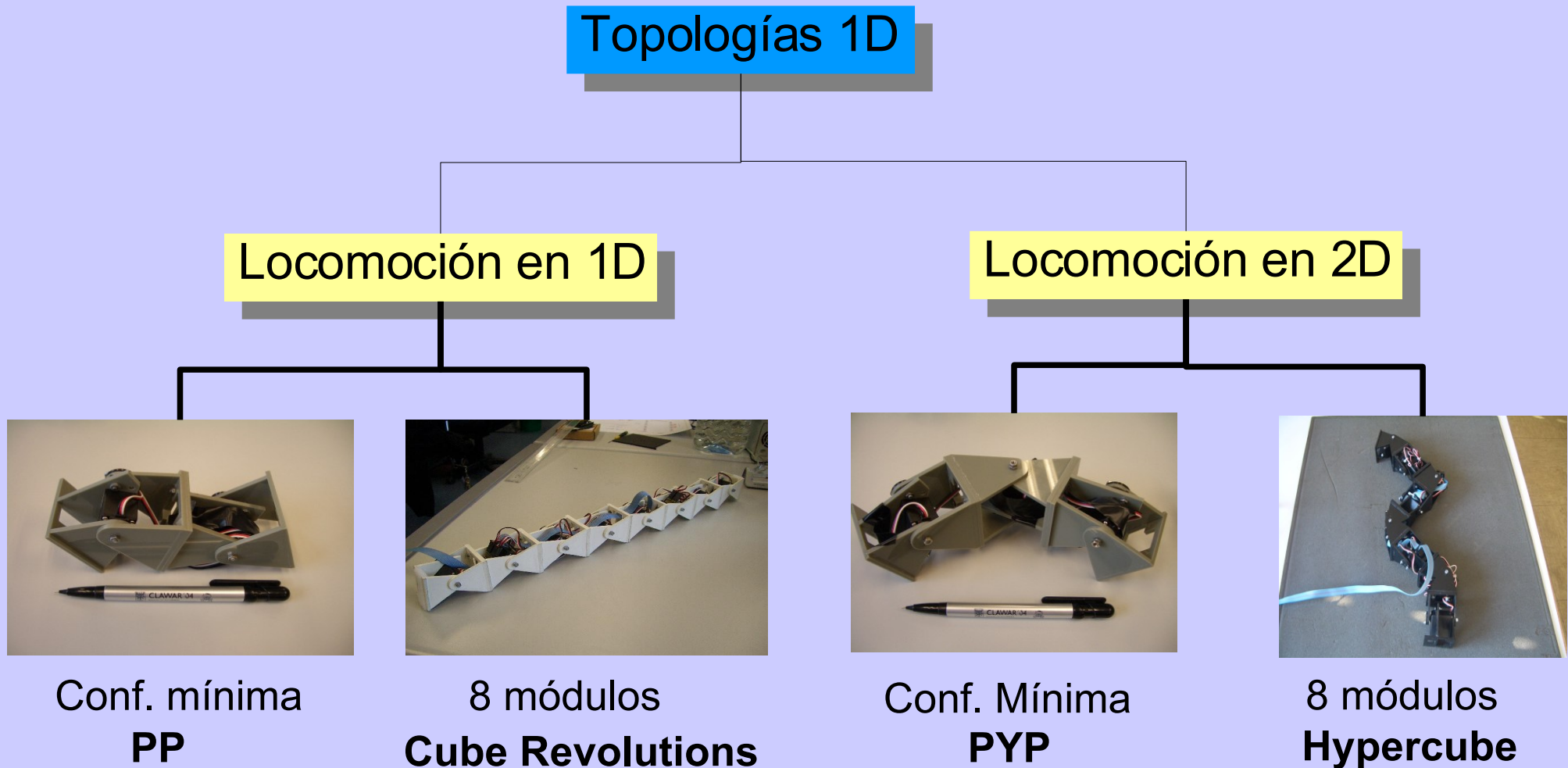


PYP (Pitch-Yaw-Pitch)

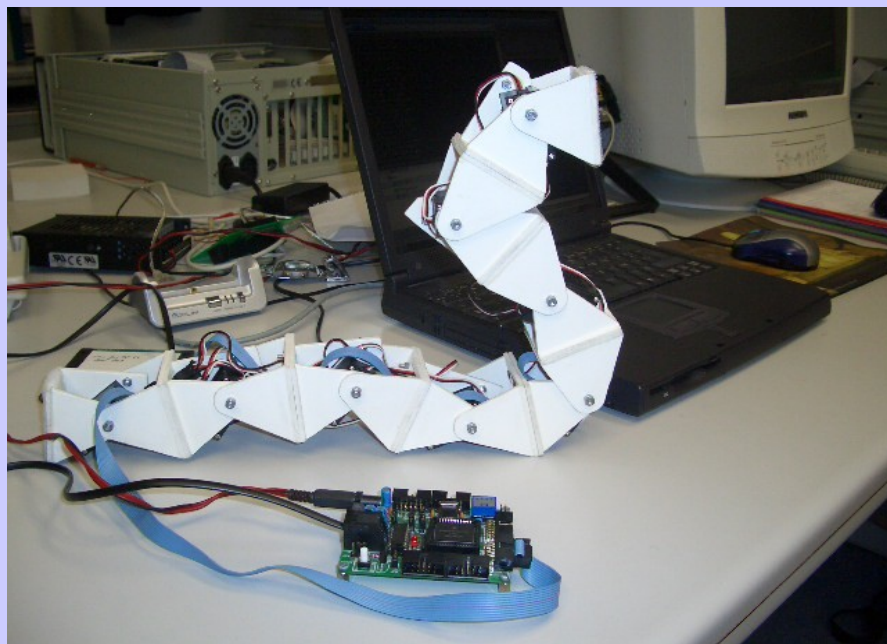
- Línea recta
- Arco
- Desplazamiento lateral
- Rotación lateral

Configuraciones Superiores

- Vamos a extender los resultados a otras configuraciones mayores

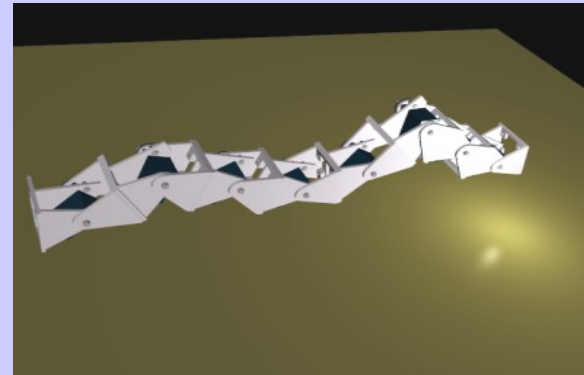
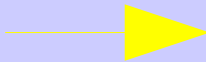
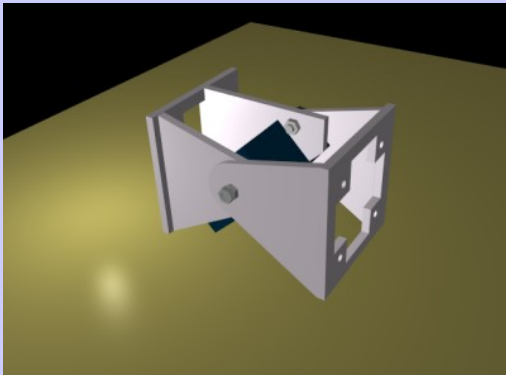


Cube Revolutions

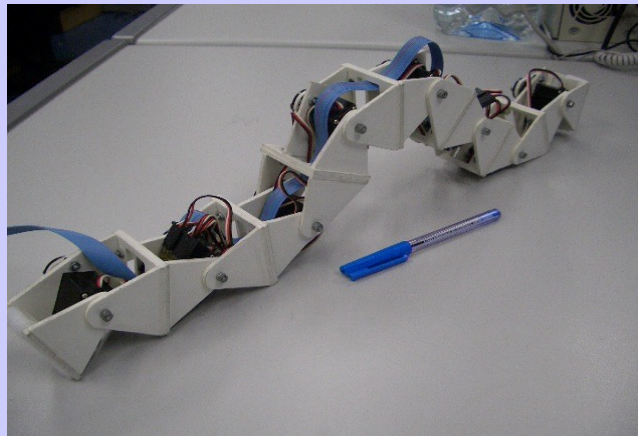


Estructura mecánica

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

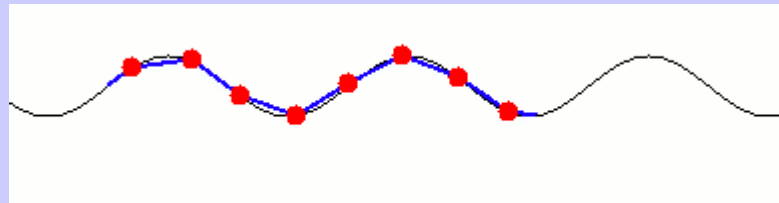


- **Dimensiones:** 52x52x576mm:



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**

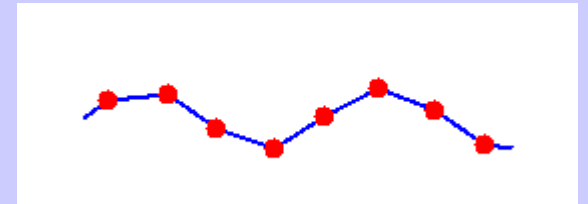
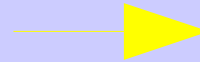
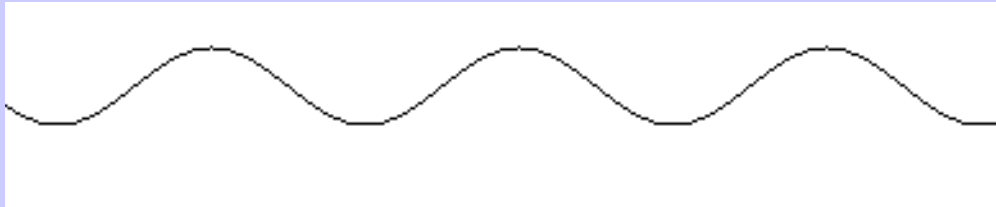


- Es un método sólo válidos para topologías de 1 dimensión
- Sólo son necesarios 4 parámetros, independientemente de la longitud de gusano:
 - Longitud de onda
 - Amplitud
 - Periodo
 - Forma de la onda

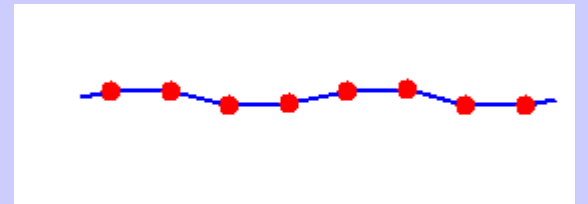
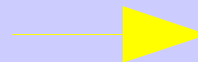
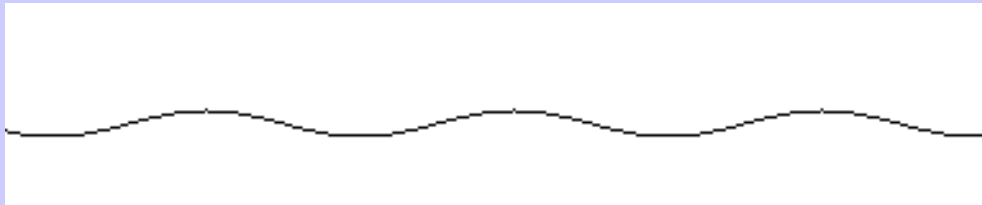
Coordinación II

- Las características del movimiento dependen de la onda usada:

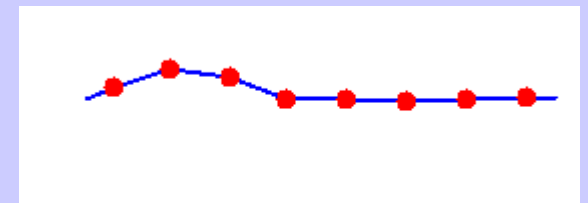
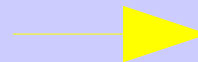
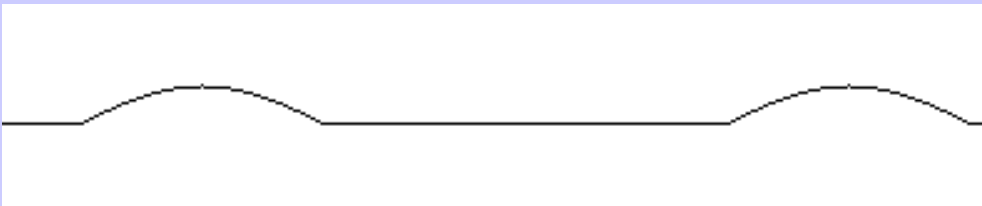
Amplitud grande: pasar sobre obstáculos



Amplitud baja: atravesar por un tubo

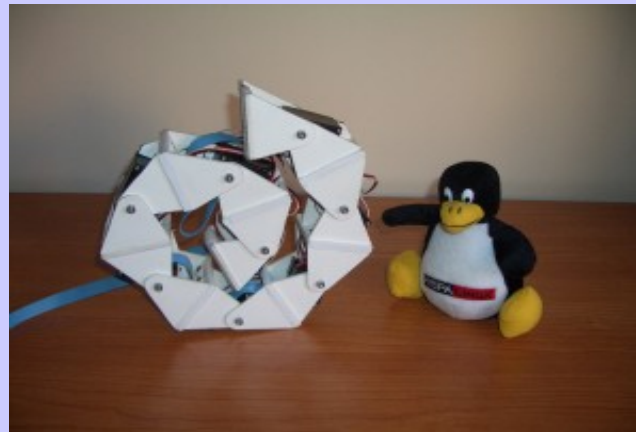
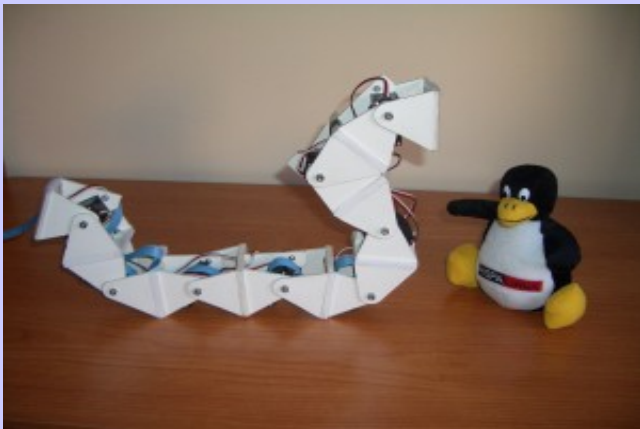


Semi-ondas: Movimiento tipo oruga



Propiedades de locomoción

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



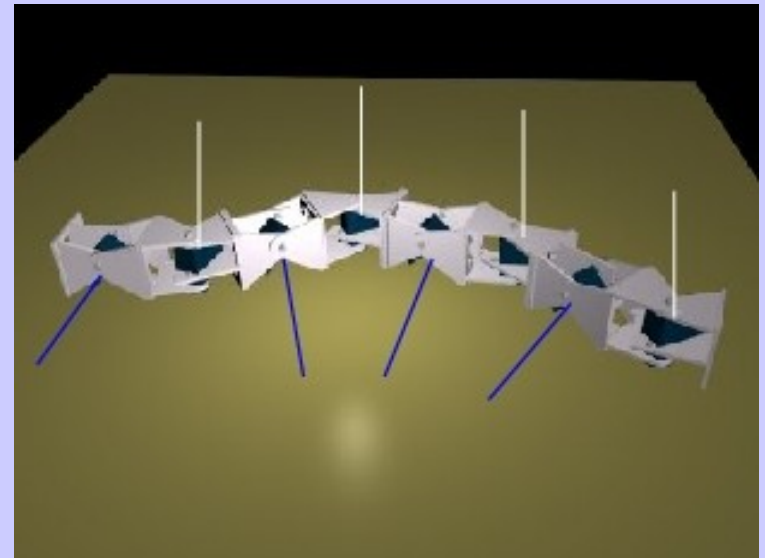
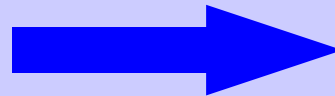
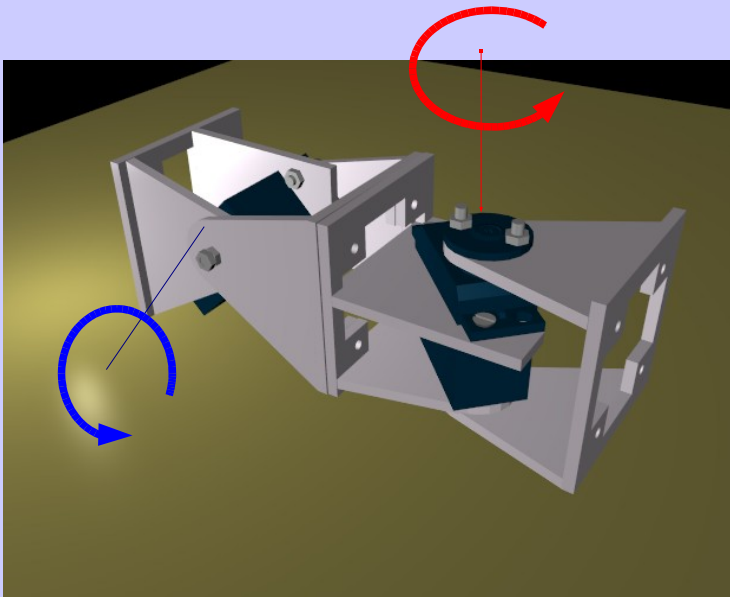
Vídeo

Hypercube



Mecánica

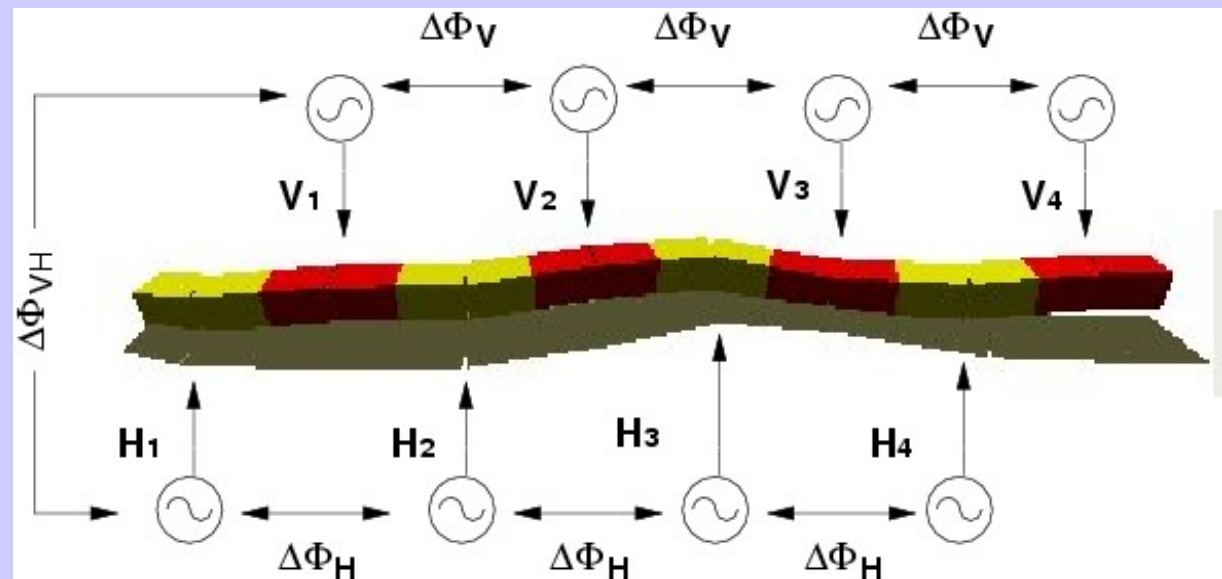
- 8 módulos Y1
- Conexión 90 grados desfasada
- 4 rotan paralelamente al suelo
- 4 rotan perpendicularmente



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

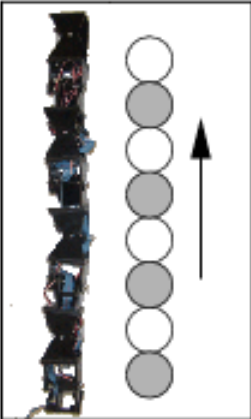
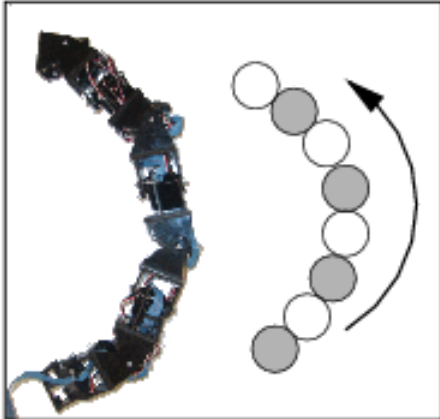
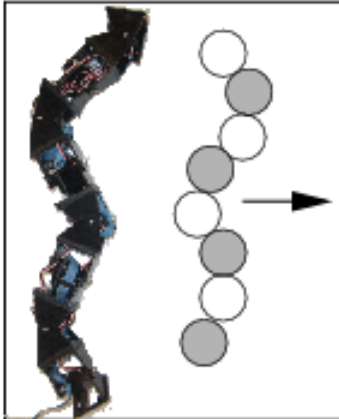
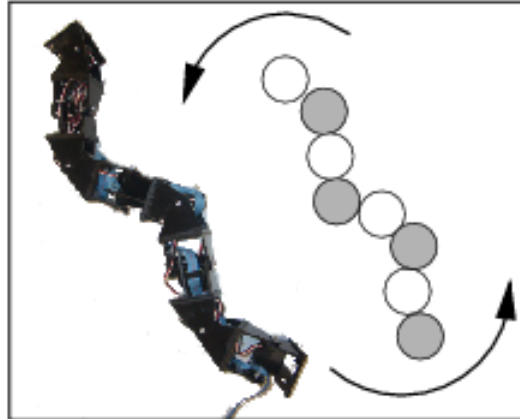
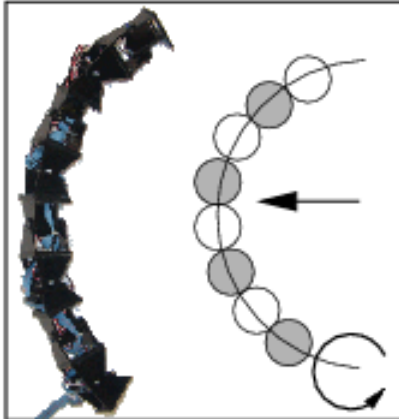
Rotal paralelamente al suelo

Desplazamiento lateral

Vídeo

Hypercube: Resumen

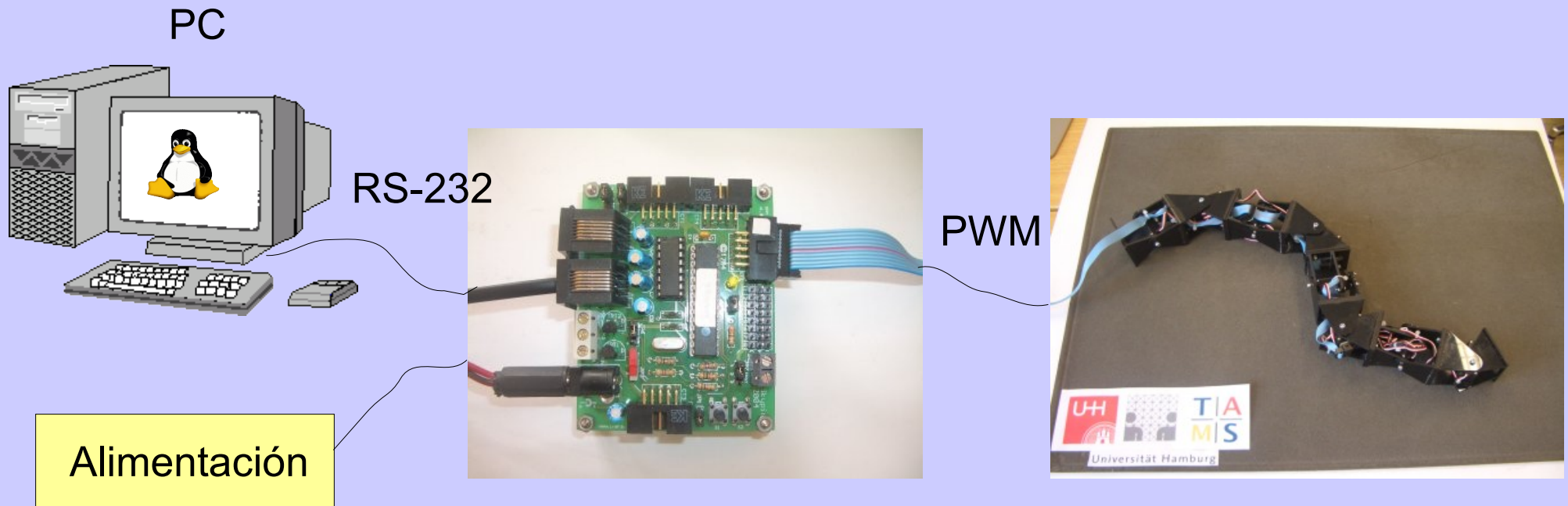
- Todos los movimientos se consiguen modificando los parámetros de los generadores sinusoidales

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

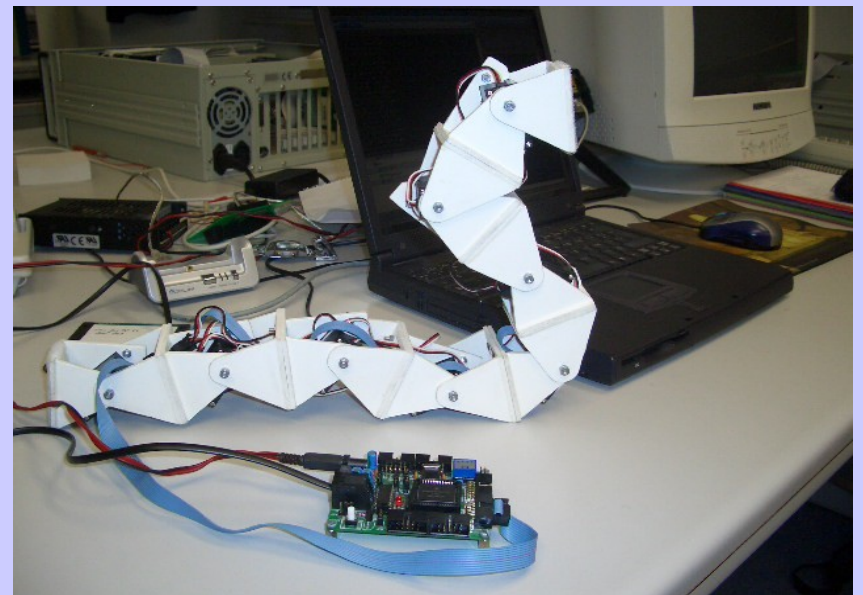
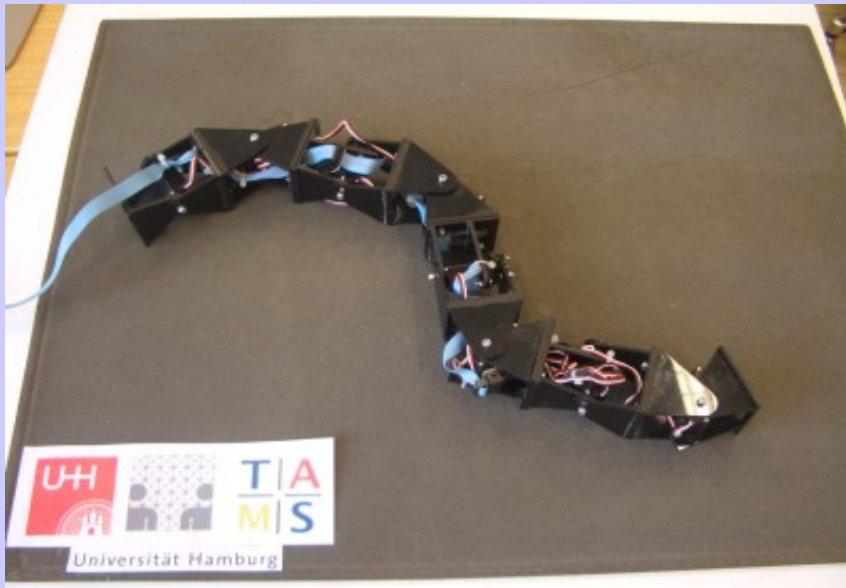
Hardware

- **Tarjeta Skypic** basada en el PIC16F876A
- Alimentación y electrónica situada fuera del robot
- Algoritmos de locomoción se ejecutan en el **PC**
- El PC se comunica con la electrónica a través de comunicación serie **RS-232**



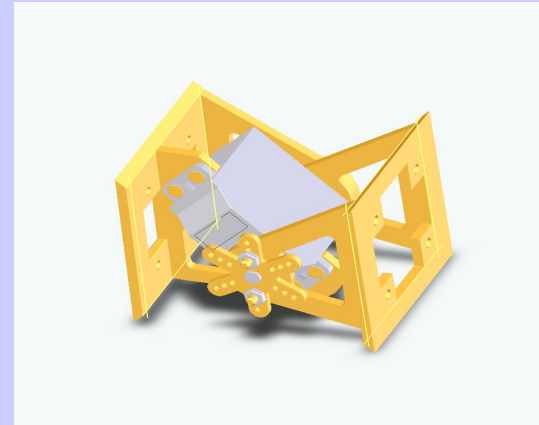
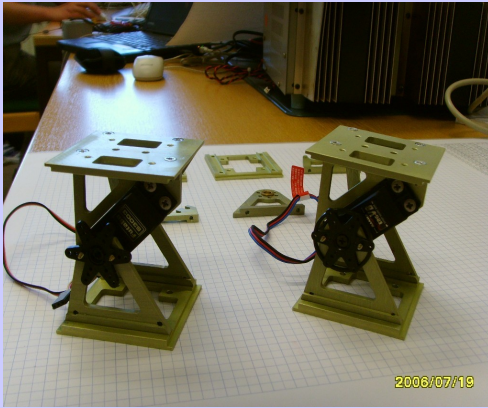
Conclusiones

- El modelo de **generadores sinusoidales** es prometedor
- Solo es el comienzo de las posibilidades de la **robótica modular**
- Una vez descubiertas las configuraciones y su coordinación: es muy sencillo implementar los dos primeros niveles de locomoción (1D y 2D)
- Los modelos **bioinspirados** nos simplifican la vida

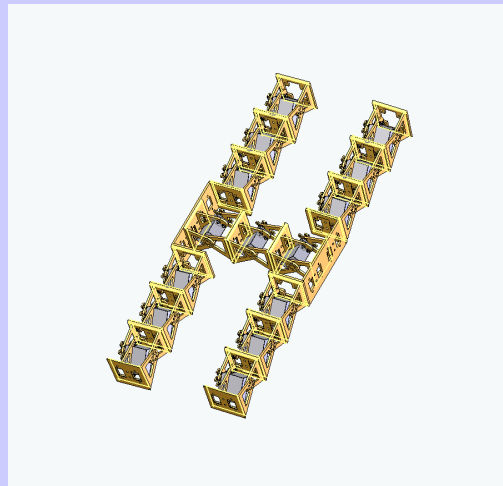
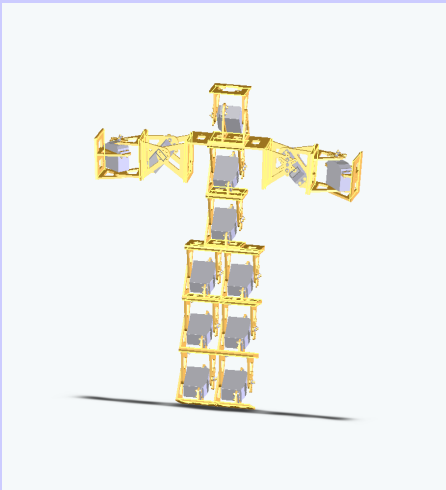


Trabajos futuros

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



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



- Con ellos queremos construir un gusano “trepador”, que pueda subir por las paredes.

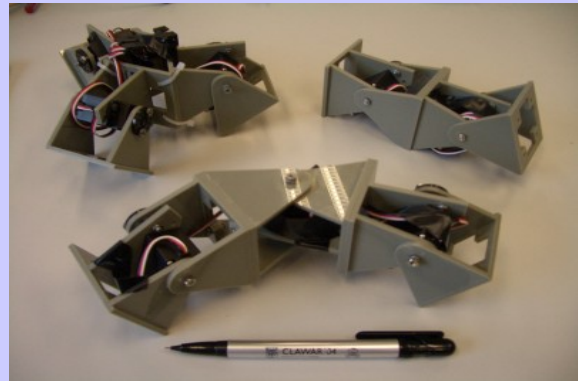
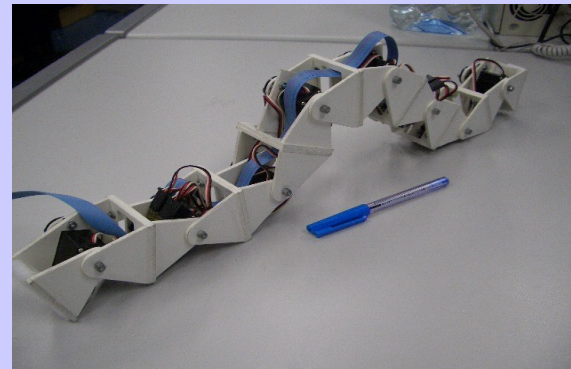
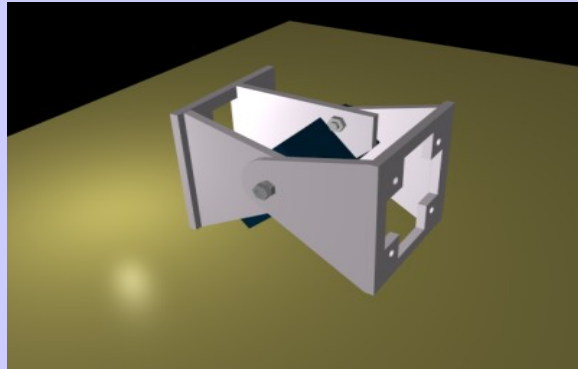
Muchas gracias por vuestra atención

...and remember...

Be modular my friend!

:-)

Robótica modular y Locomoción



Juan González Gómez

Escuela Politécnica Superior
Universidad Autónoma de Madrid