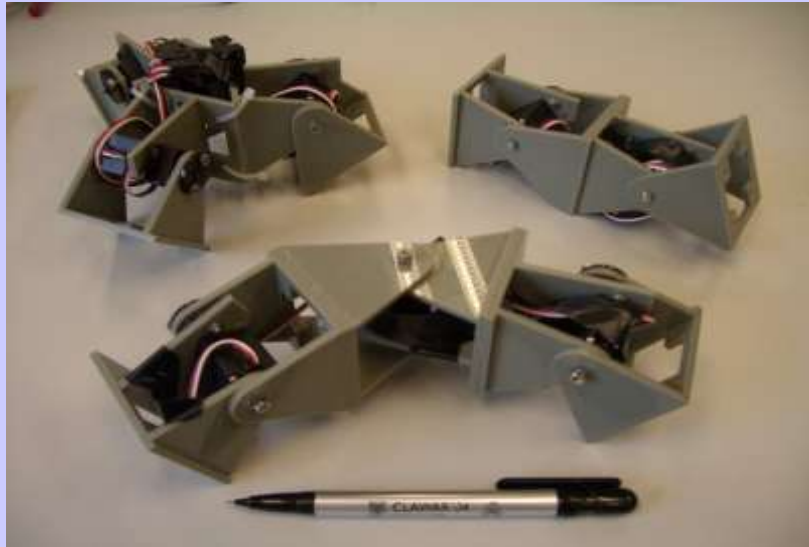
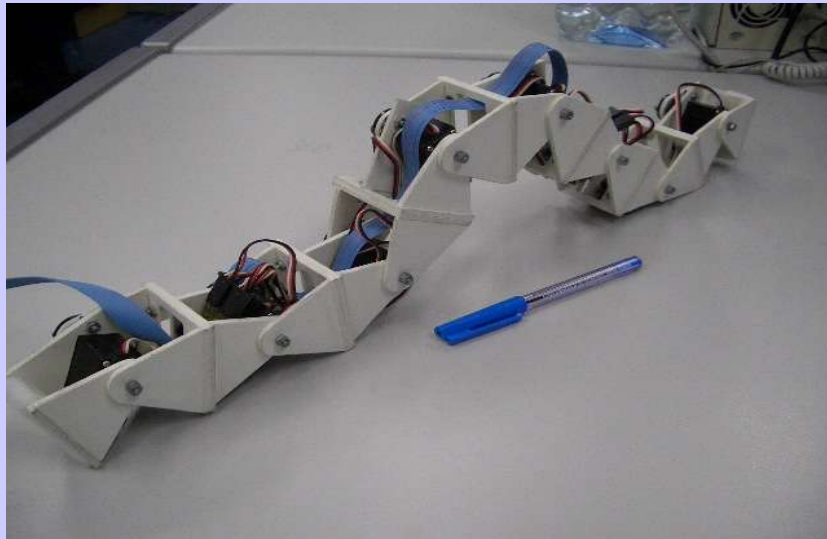


Robótica Modular y Locomoción: Robots Cube Revolutions y Multicube



Juan González Gómez

Escuela Politécnica Superior
Universidad Autónoma de Madrid

índice

- **Introducción: Robótica modular**
- **Módulos Y1**
- **Locomoción de robots ápodos:**

Cube Revolutions

- **Lomoción de configuraciones mínimas**

Multicube

- **Conclusiones y trabajo futuro**

Introducción: Robótica modular

Introducción

Robótica Modular (I)

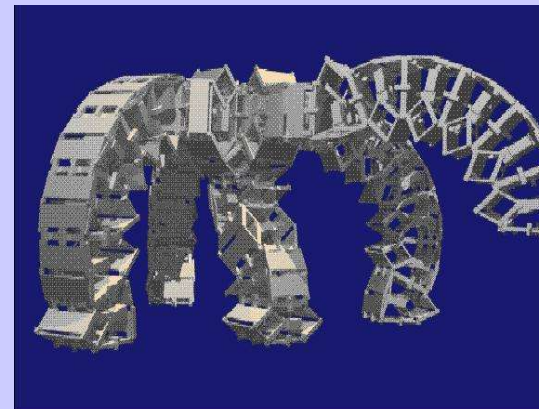
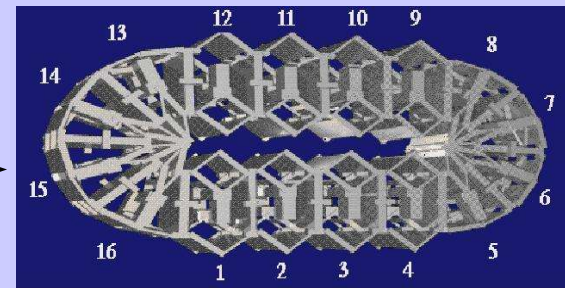
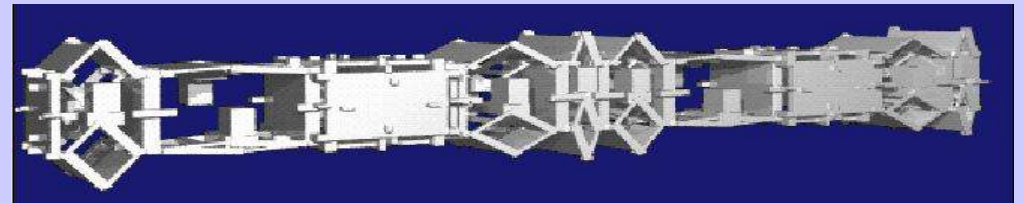
- Construcción de robots a partir de **módulos**
- Diseño centrado en el **módulo**, no en un robot particular
- Uno de los padres fue **Mark Yim**, investigador del PARC
- Nacimiento de la **Robótica modular reconfigurable** (1994):

¿Por qué no trabajar en una nueva línea de investigación en la que se diseñen robots modulares que se adaptan al terreno, modificando su forma y la manera de desplazarse?

Introducción

Robótica Modular (II)

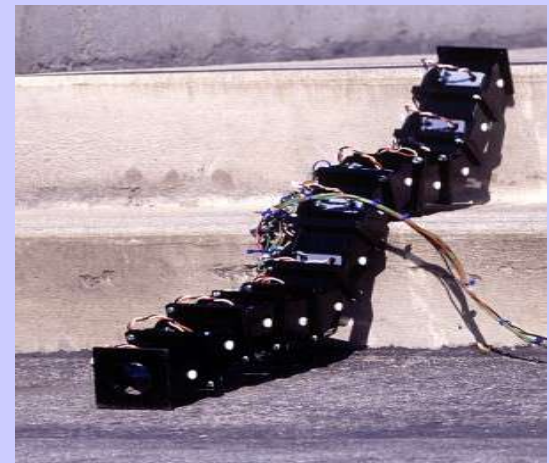
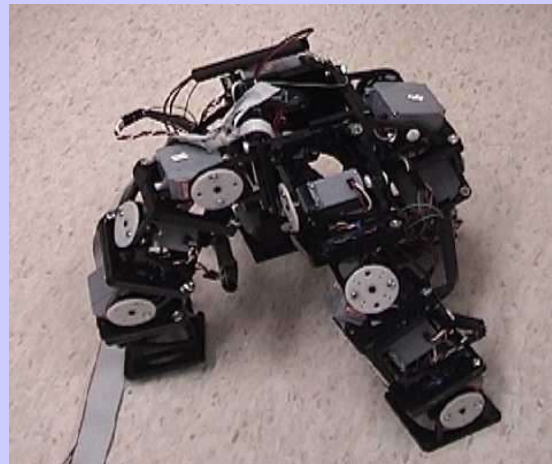
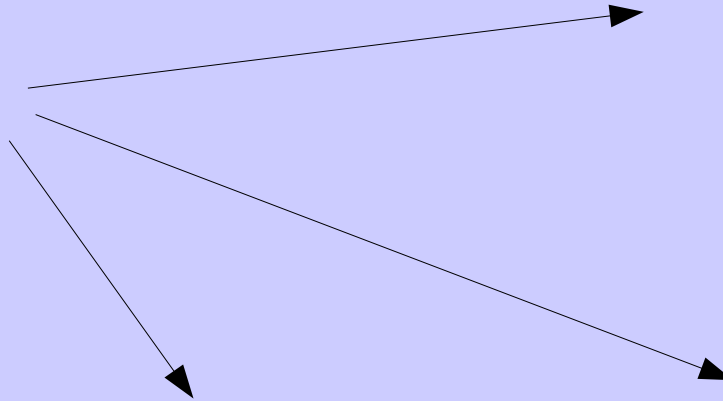
- **Polypod:** 1994
- Módulos con 2 grados libertad



Introducción

Robótica Modular (II)

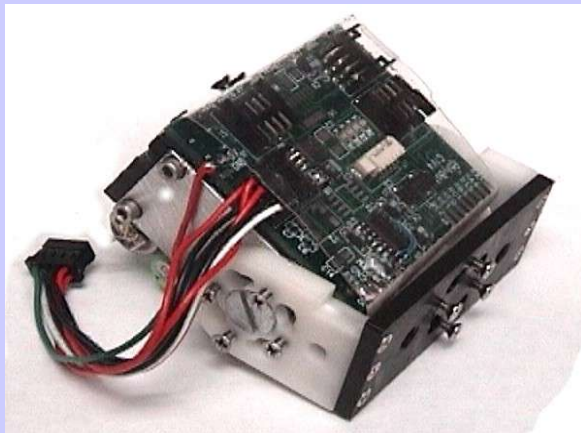
- 1997: **Polybot G1**
- Módulos con 1 grado
- Primer experimento de reconfiguración simple



Introducción

Robótica Modular (III)

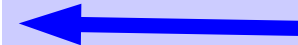
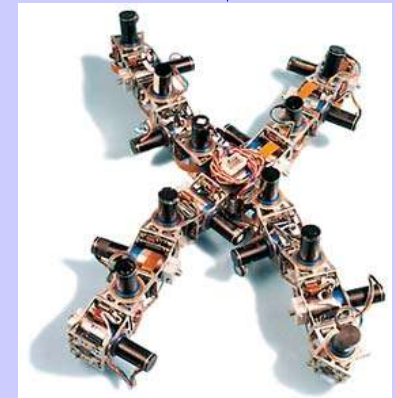
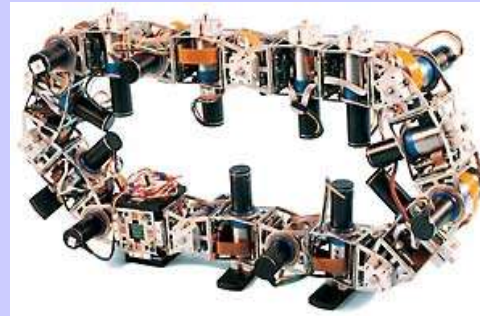
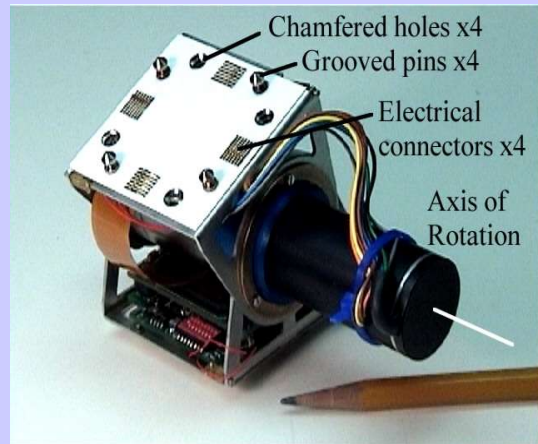
- **Polybot G1.4**
- Electrónica y alimentación en el propio módulo
- Sensores
- PIC16F877



Introducción

Robótica Modular (IV)

- **Polybot G2**
- Motor DC
- CPU: Power PC 555
- Bus Can

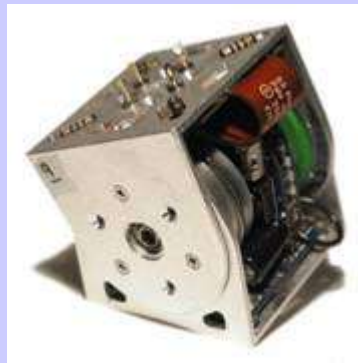


Reconfiguración dinámica

Introducción

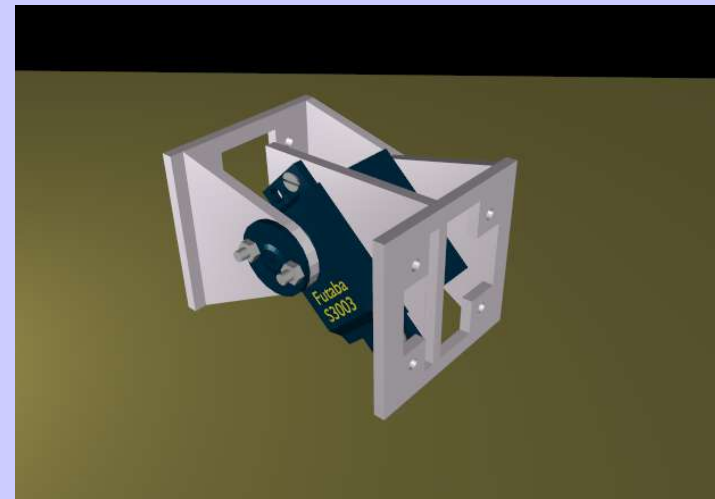
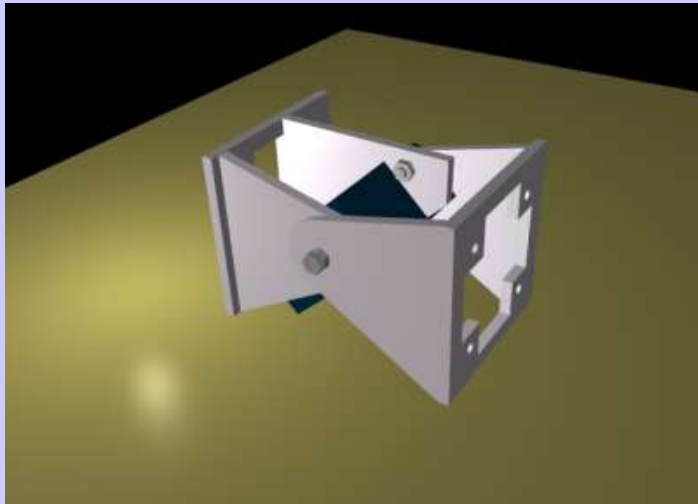
Robótica Modular (V)

- Última generación: **Polybot G3**
- 5x5x4.5cm



- Resumen **Polybot**
 - Módulos con 1 DOF
 - Mecánicamente más simples
 - Conexión fase-desfase
 - Reconfiguración Dinámica
 - Consolidación Robótica Modular Reconfigurable

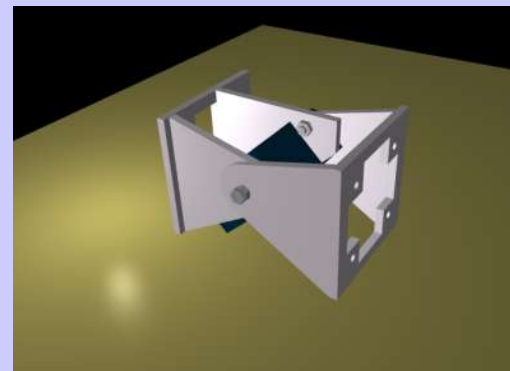
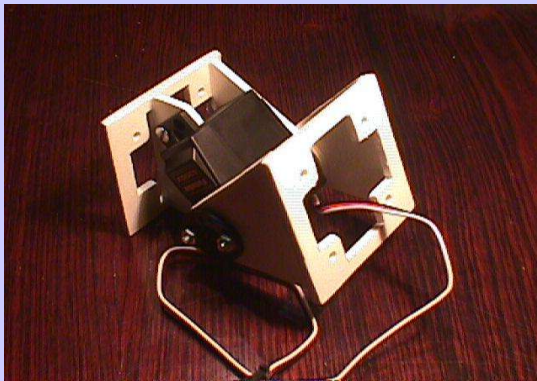
Módulos Y1



Módulos Y1: Introducción

¿Cómo comenzar a investigar en robótica modular?

- Necesario disponer de una plataforma (unos módulos) para investigar en este campo de la robótica
- Creados los módulos Y1, inspirados en la primera generación de Polybot.

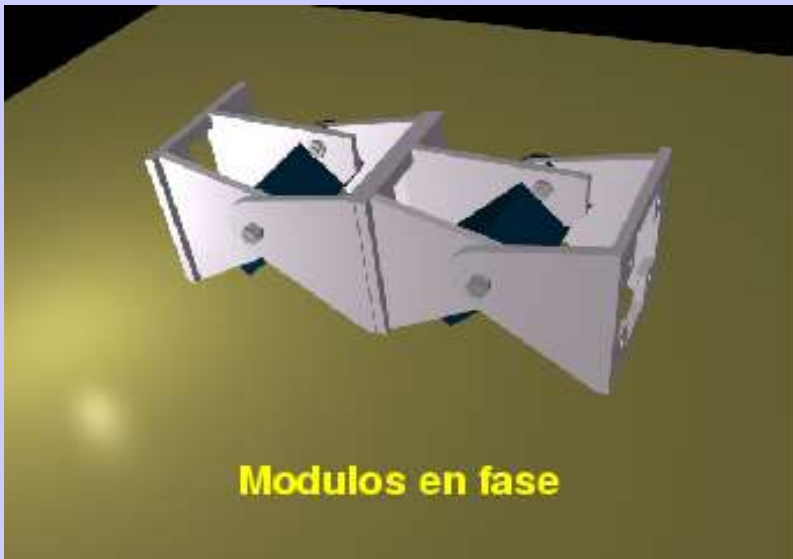
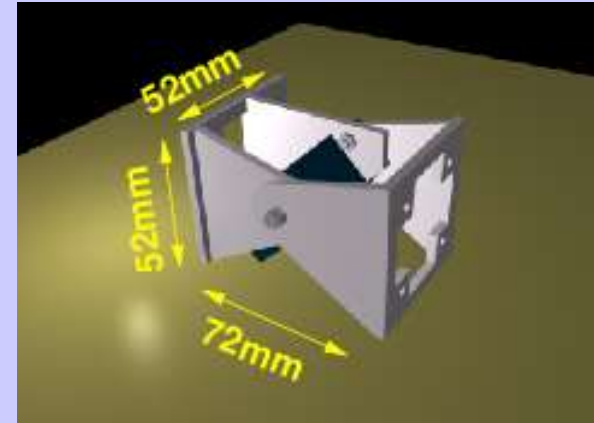


Los **módulos Y1** son **LIBRES**: los planos están disponibles para que otros investigadores los puedan construir, modificar y distribuir. Además se han diseñado usando sólo herramientas libres

Módulos Y1:

Características

- **Material:** PVC o metacrilato de 3mm
- **Servo** del tipo Futaba 3003
- **Dimensiones:** 52x52x72mm
- **Rango de movimiento:** 180 grados
- Conexión en **fase** y **desfase**:



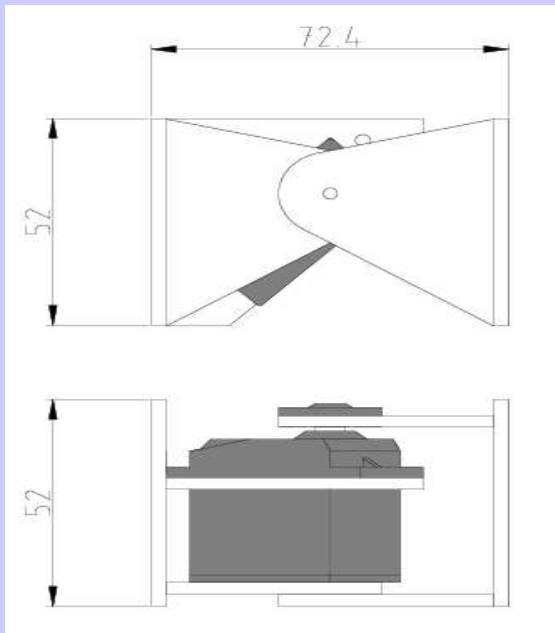
Vídeo

Módulos Y1:

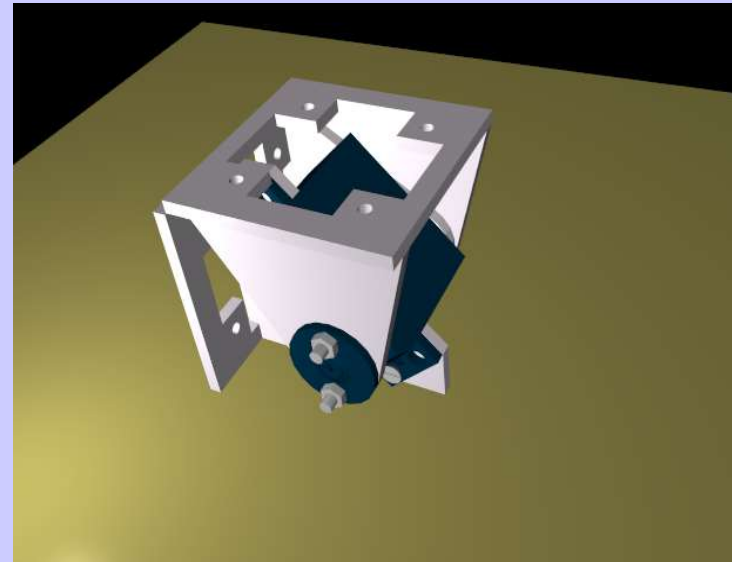
Herramientas diseño

- Sólo se han empleado **herramientas libres**.
- Quedan garantizadas las libertades: cualquiera puede estudiar, modificar y distribuir los planos, sin depender de software propietario.

Planos: **QCAD**

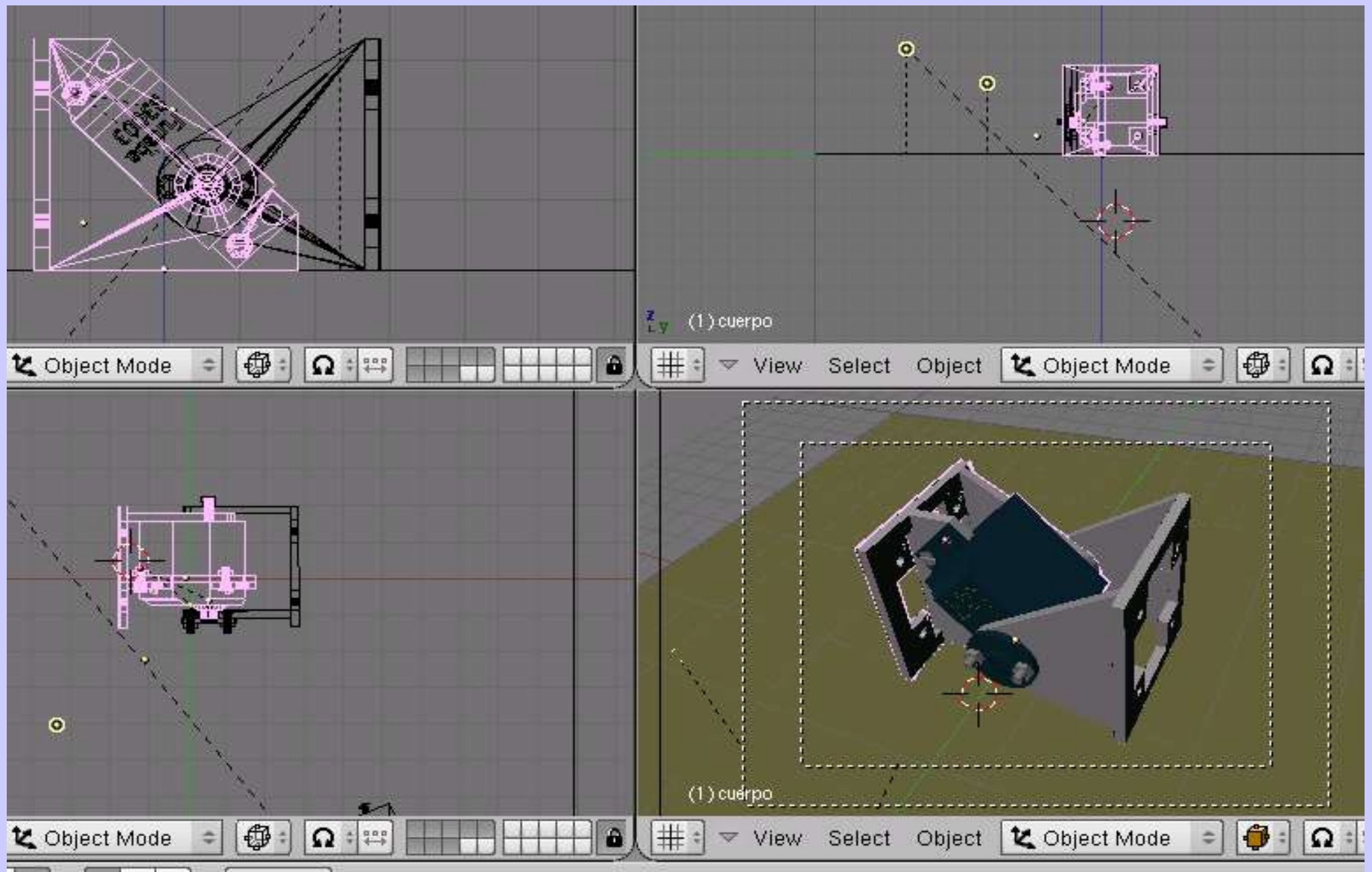


Modelo 3D: **Blender**

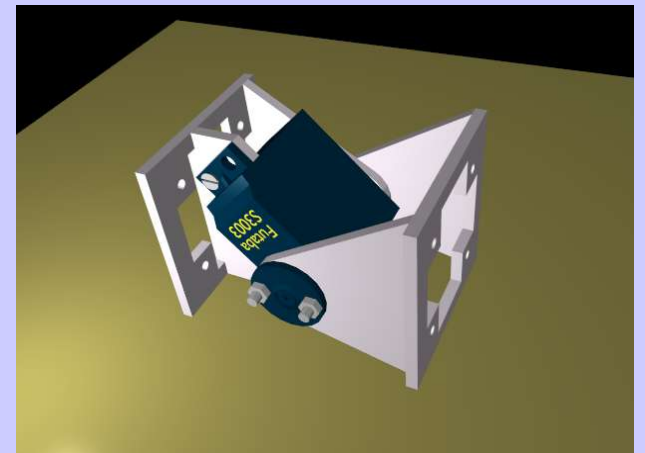
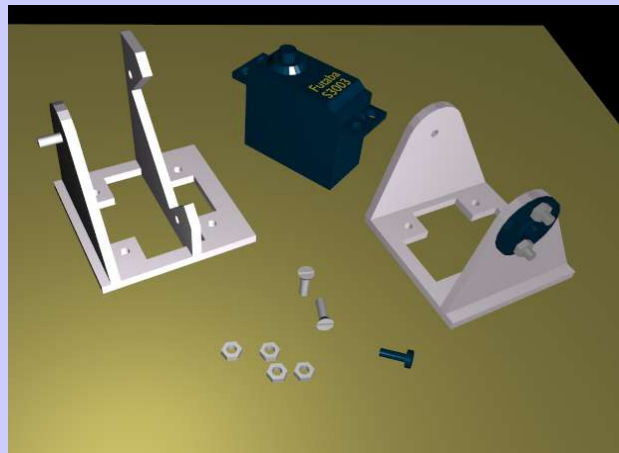
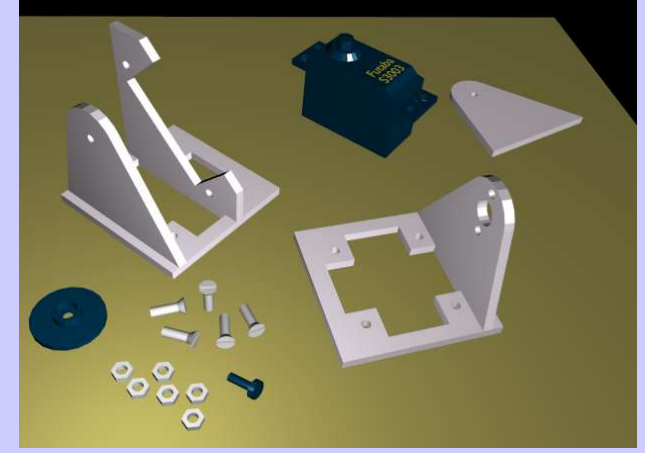
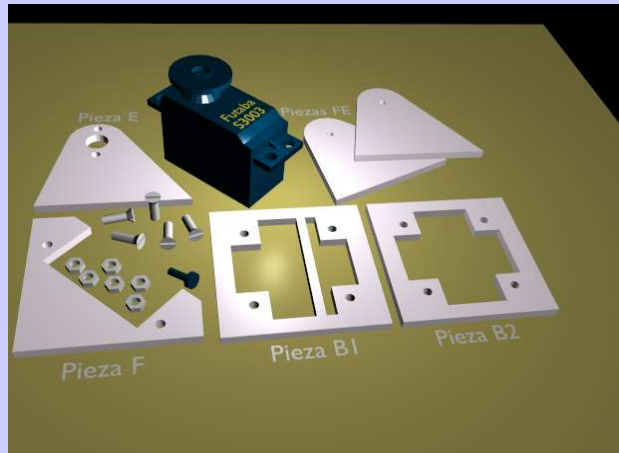


Modulos Y1:

Diseño 3D con Blender



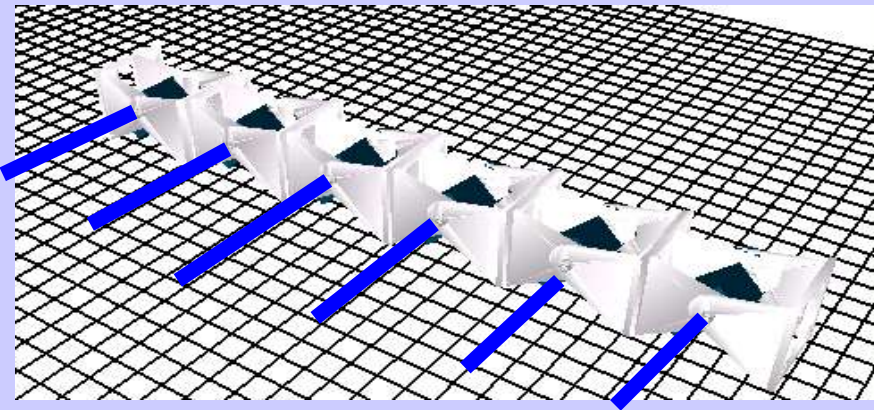
Módulos Y1: Montaje



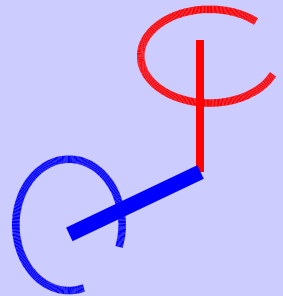
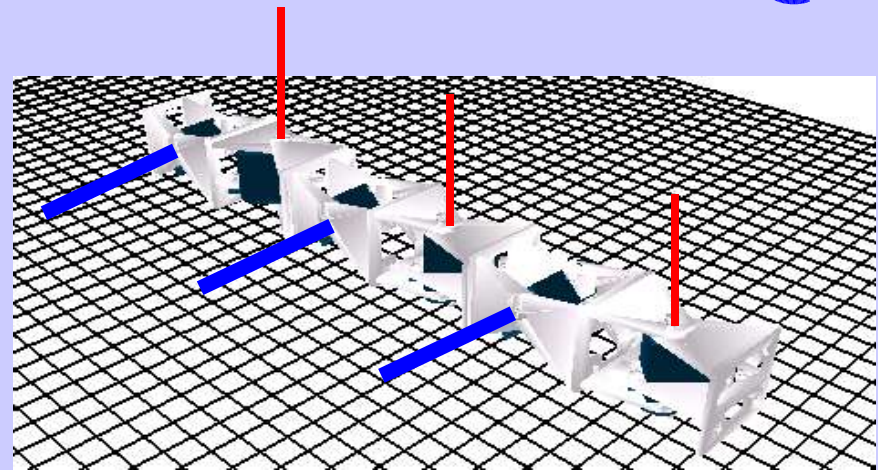
Módulos Y1: Configuraciones (I)

- **Configuraciones:** Las diferentes maneras en las que se pueden unir todos los módulos
- Las configuraciones más simples con las **cadena**s
- Permiten construir gusanos y serpientes

Misma orientación

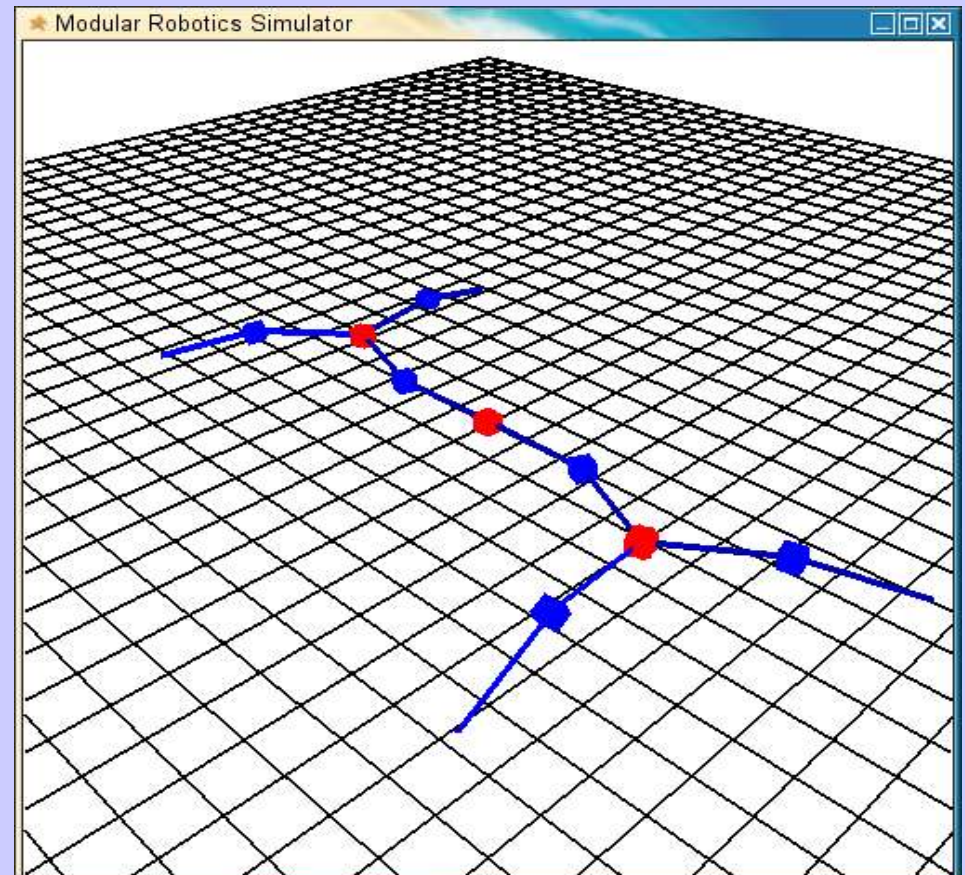
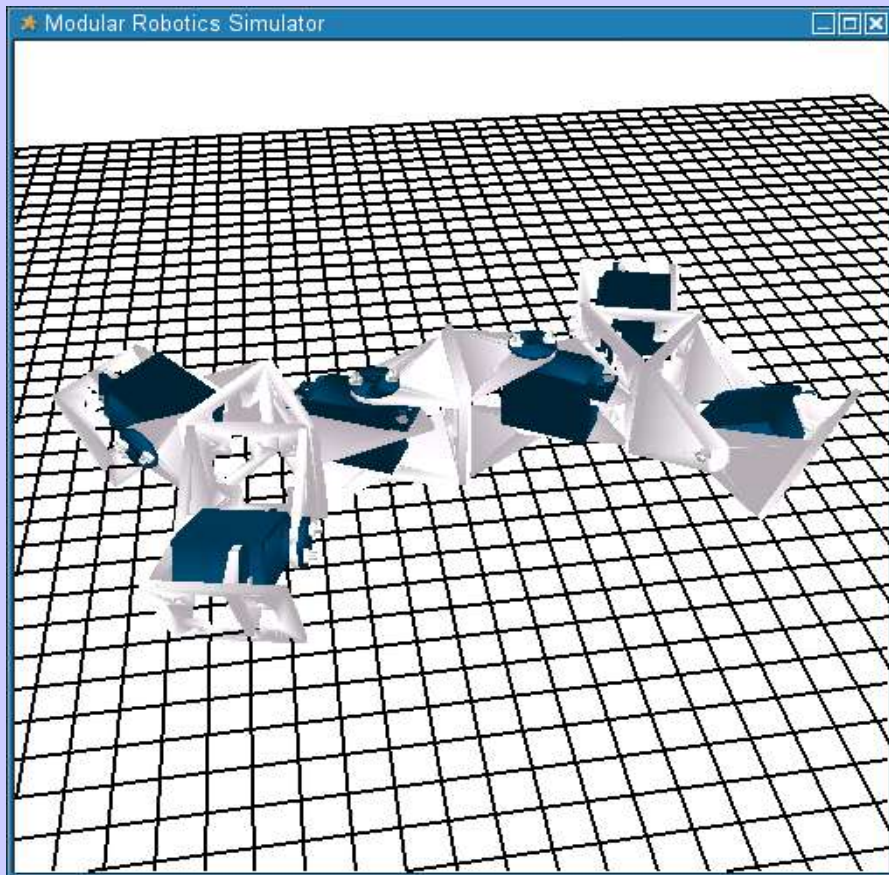


Modulos rotados



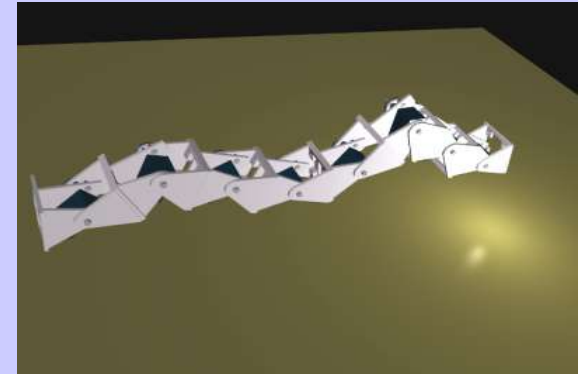
Módulos Y1: Configuraciones (II)

- Pero se pueden tener otras configuraciones más complejas...
- Con bifurcaciones...



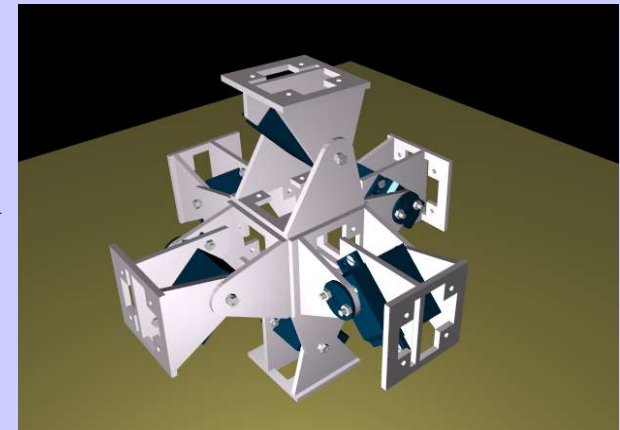
Módulos Y1: Topologías

1D: Cadenas de módulos
(Gusanos)



Estructuras **2D**

Estructuras **3D**



Módulos Y1:

Configuraciones (III)

- Y la pregunta es...

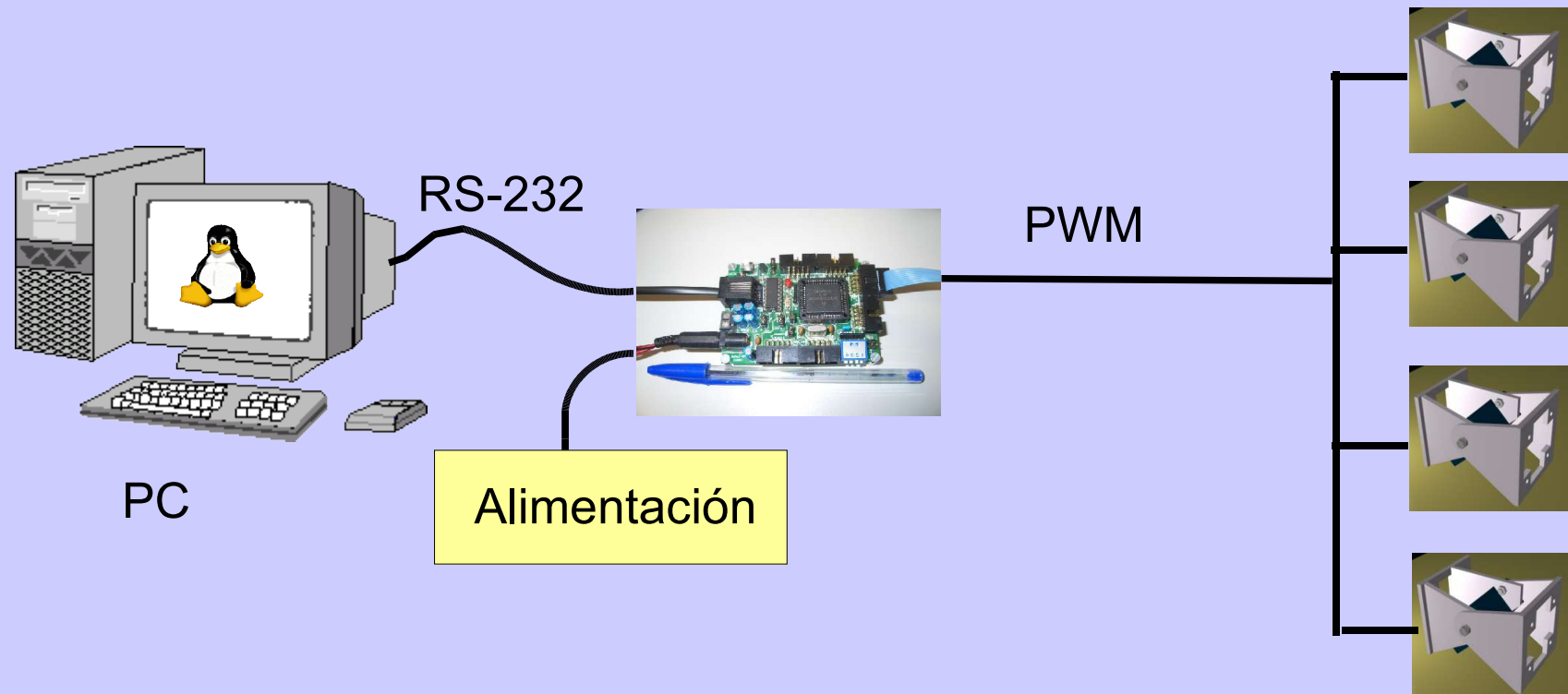
¿Hasta cuánto de complejas?

- **No hay limitaciones geométricas...**
- Potencialmente hay infinitas configuraciones...
- Las limitaciones que aparecerán será por:
 - Consumo
 - Comunicaciones
 - Cableado
 - ...

Hasta el infinito y más allá...

Módulos Y1: Electrónica

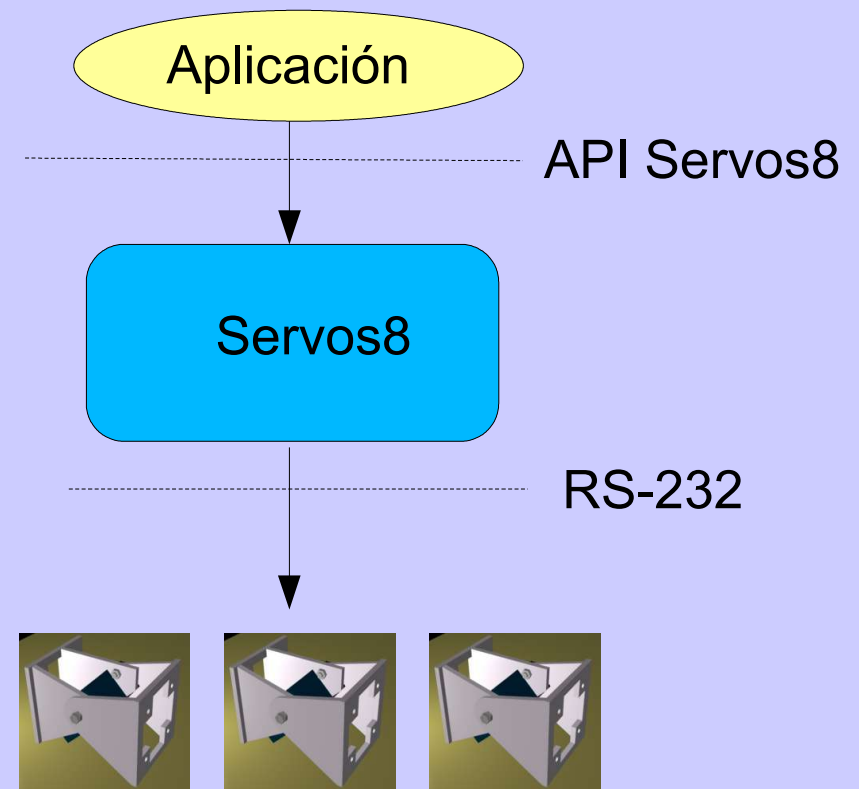
- La electrónica se sitúa fuera de los módulos
- Se utiliza un microprocesador de 8 bits para generar las señales de PWM de posicionamiento de los servos
- El micro se conecta al PC por RS-232
- Proyecto Stargate



Módulos Y1:

API SERVOS8

- La posición de los servos se controla desde el PC a través de una API en C
- Las aplicaciones pueden utilizar los servos como si fuesen periféricos del PC
- Esto permite desarrollar algoritmos más potentes.
- En la implementación actual, sólo se pueden posicionar hasta 8 servos

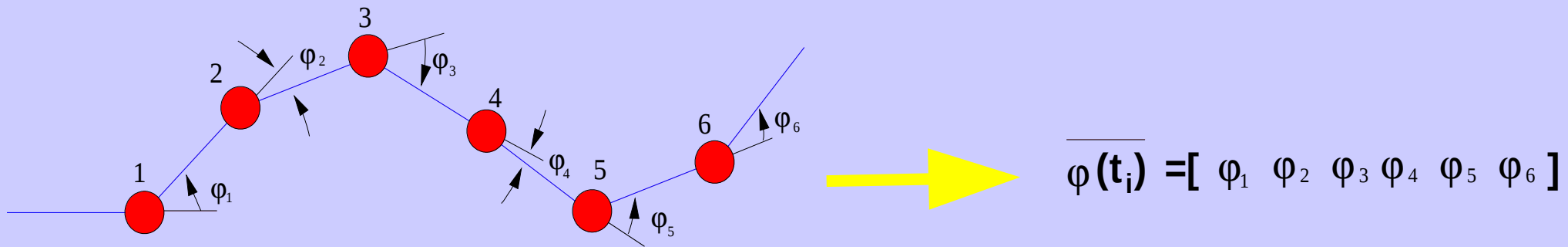


Módulos Y1:

CONTROL

¿Cómo definir, almacenar y reproducir una secuencia de movimiento?

- En un instante, cada módulo está rotado un cierto ángulo
- El estado de mi robot, en un instante, viene determinado por los ángulos de todos sus módulos. Esto lo representamos mediante un **vector de estado** (o vector de posición angular).
- Cada componente del vector contiene el ángulo de cada uno de los módulos:



Módulos Y1:

CONTROL (II)

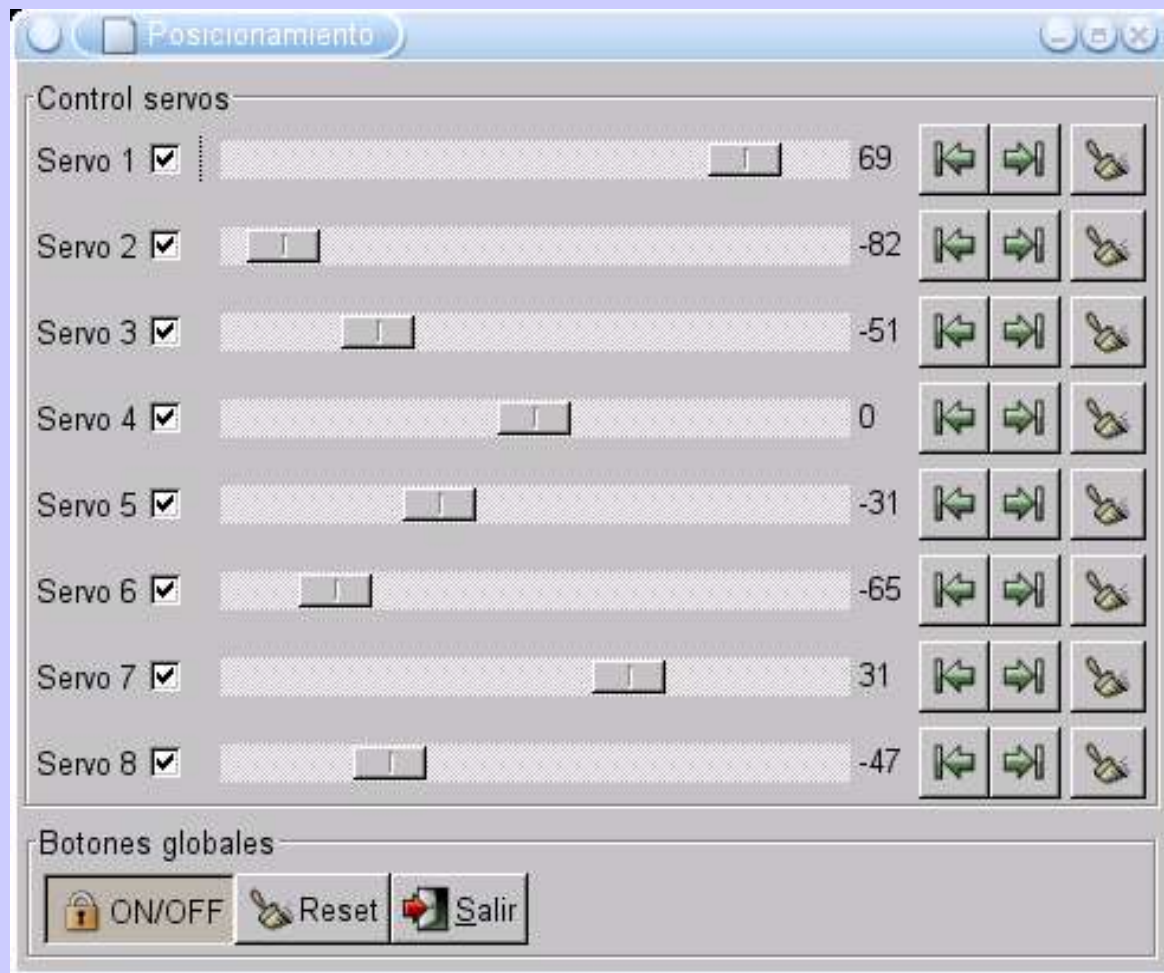
- Una **secuencia de movimiento** se describe mediante una **matriz**, en la que cada fila representa un vector de estado en un instante
- El controlador sólo tiene que recorrer esta matriz, posicionando los módulos en los ángulos indicados

[-19 -9 24 -4 -22 17 12 -18]	———▶	Vector Instante t1
[-17 -14 21 4 -25 11 19 -15]	———▶	Vector Instante t2
[-12 -20 18 11 -25 3 23 -7]	———▶	Vector Instante t3
[-5 -24 12 17 -22 -4 24 -2]		
[1 -25 6 21 -17 -12 24 4]		.
[7 -23 -3 25 -11 -18 20 12]		.
[12 -19 -9 24 -4 -22 17 14]		.
[17 -13 -15 21 4 -25 11 19]		
[20 -6 -21 17 12 -24 2 21]		
[21 0 -23 12 17 -21 -6 22]		
[19 9 -24 4 22 -17 -12 18]	———▶	Vector Instante tn

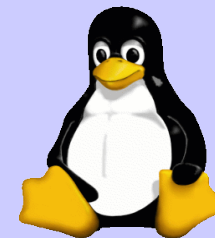
Módulos Y1:

CONTROL (III)

- Para la generación de secuencias manuales y su reproducción se utiliza una aplicación gráfica



- Aplicación Star-servos8
- Lenguaje C
- Librería gráfica: GTK 2.0
- Entorno Linux



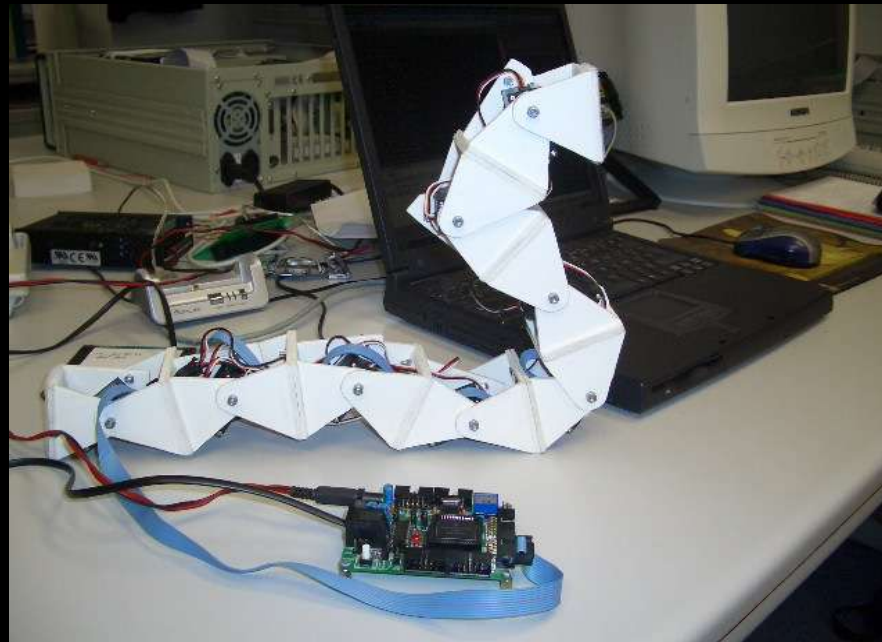
Módulos Y1:

Trabajos futuros

- **AUTONOMÍA:** Nuevo módulo con la electrónica y alimentación incorporadas. Eliminación de los cables externos.
- **VERSATILIDAD:** Utilizar FPGA's para cada módulo en vez de un procesador convencional
- **INTERACCIÓN CON ENTORNO:** Incluir sensores
- **RECONFIGURACIÓN MECÁNICA:** Módulos capaces de unirse y separarse entre ellos
- **RECONFIGURACIÓN HARDWARE:** Posibilidad de cambiar el hardware en tiempo real, por medio de FPGAs

Locomoción de robots ápodos:

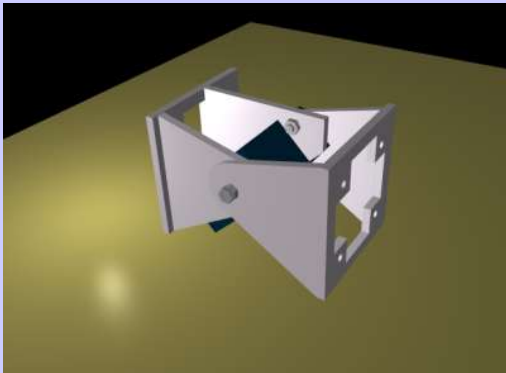
Cube Revolutions



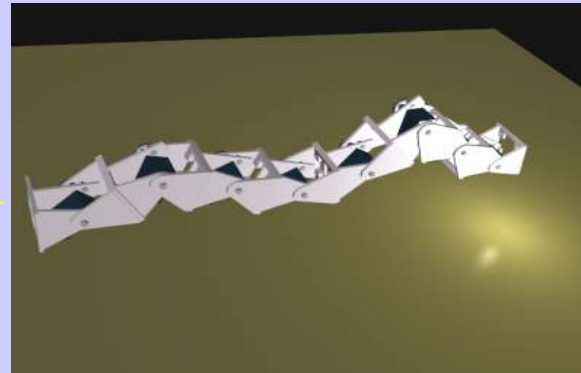
Cube Revolutions: Mecánica

- **Configuración:** 8 módulos Y1 conectados en fase:

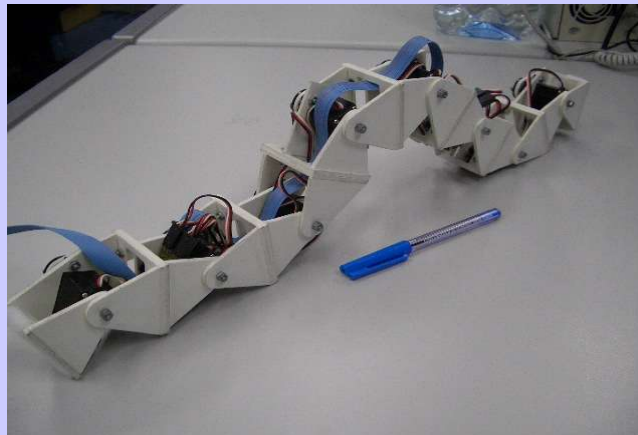
Módulo Y1



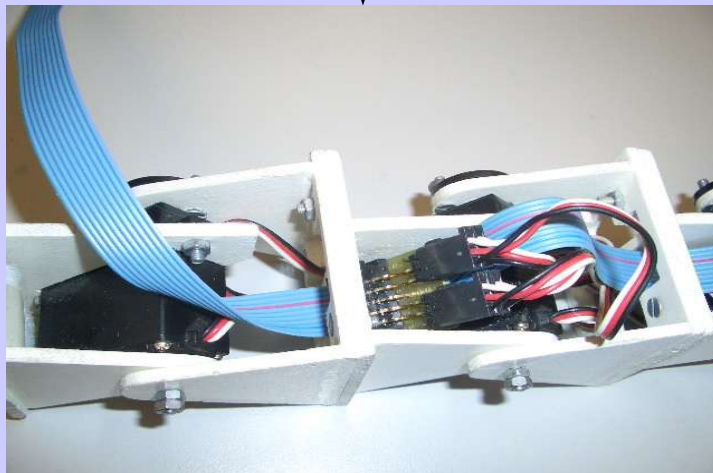
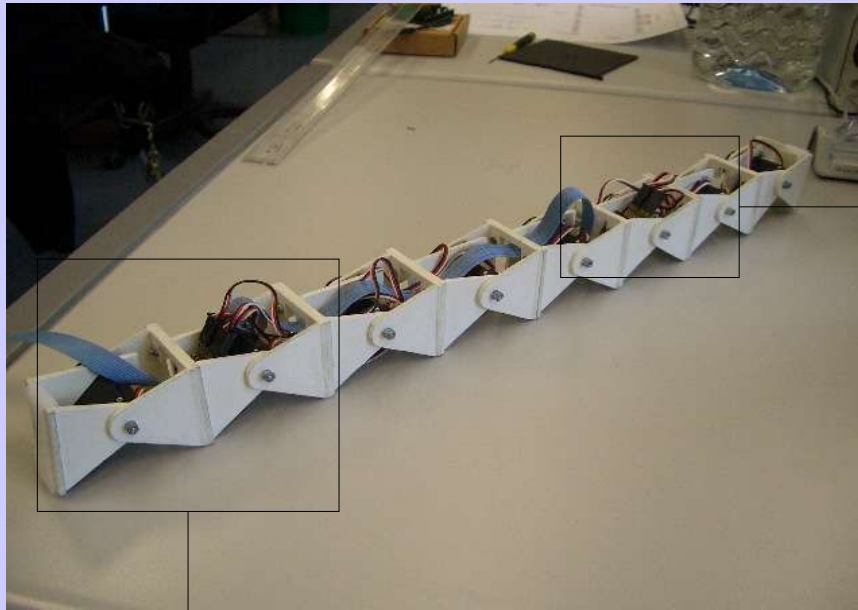
Cube Revolutions



- **Dimensiones:** 52x52x576mm:



Cube Revolutions: Cableado

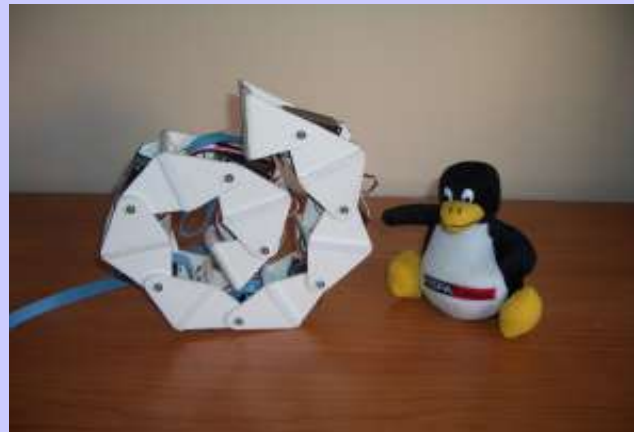
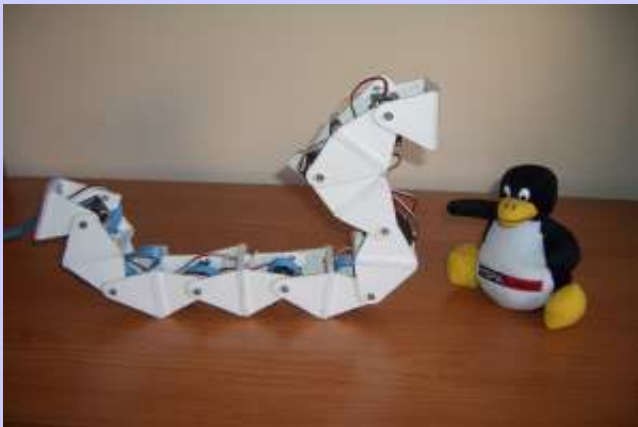


- Dos placas "pasivas" (Matrix)
- Se conectan 4 servos a cada una
- Interconectadas mediante cable plano de bus
- El bus lleva las señales de los 8 servos + la alimentación (VCC y GND)

Cube Revolutions:

Propiedades robots ápodos

- Una de las características de los robots ápodos es que pueden cambiar su forma:



Demo

Cube Revolutions:

Problema de la locomoción

¿Cómo conseguir que un robot ápodo se desplace?

- Para ello hay que responder a las siguientes preguntas:

1.- ¿Cómo coordinar las articulaciones para que se desplace?

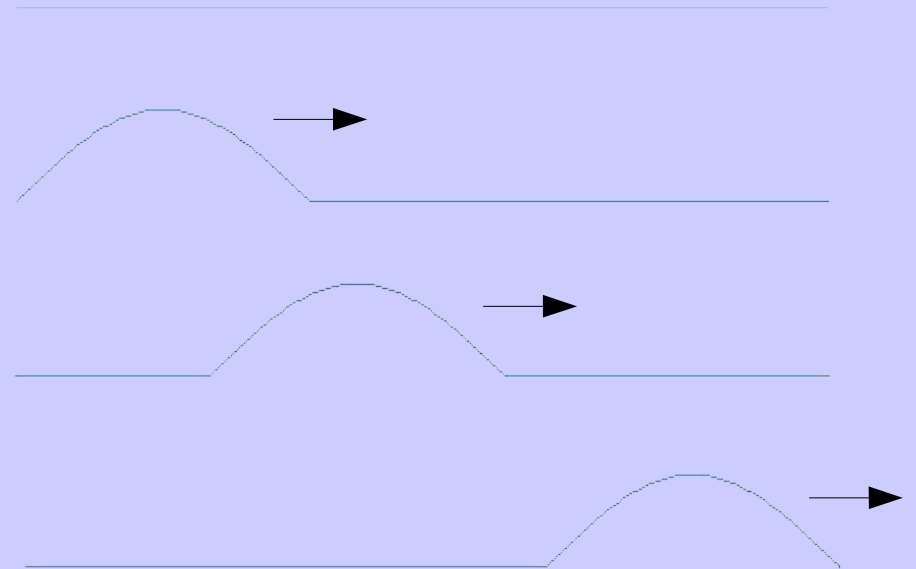
2.- ¿Cómo generar automáticamente las secuencias de movimiento (matrices)?

3.- ¿Cómo controlar el tipo de movimiento y su velocidad?

Cube Revolutions: Coordinación

¿Cómo coordinar las articulaciones para que se desplace?

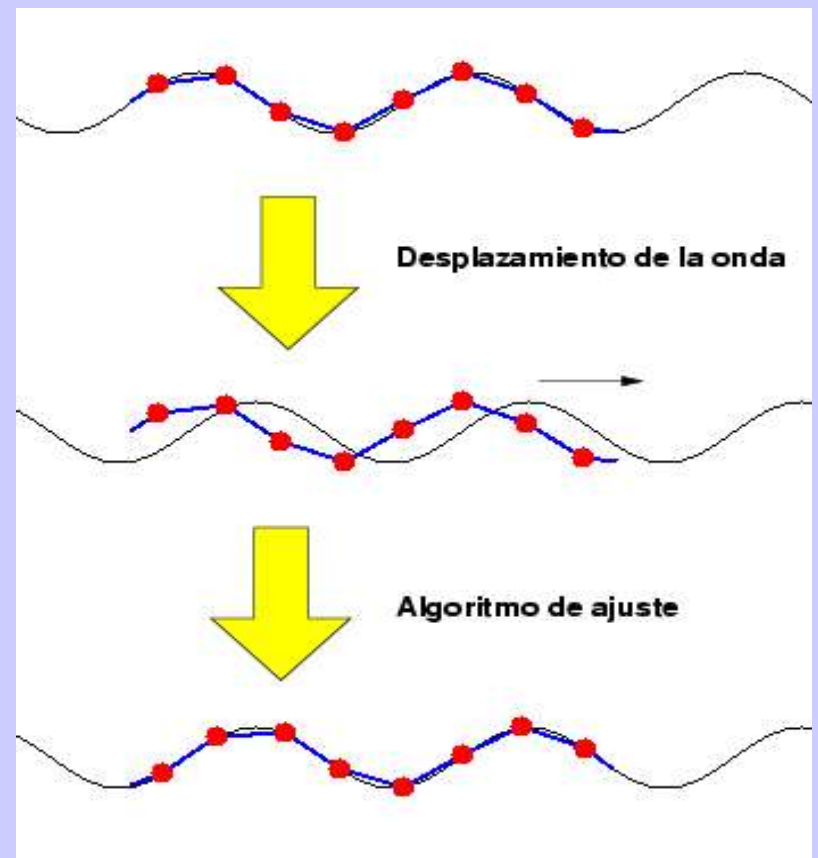
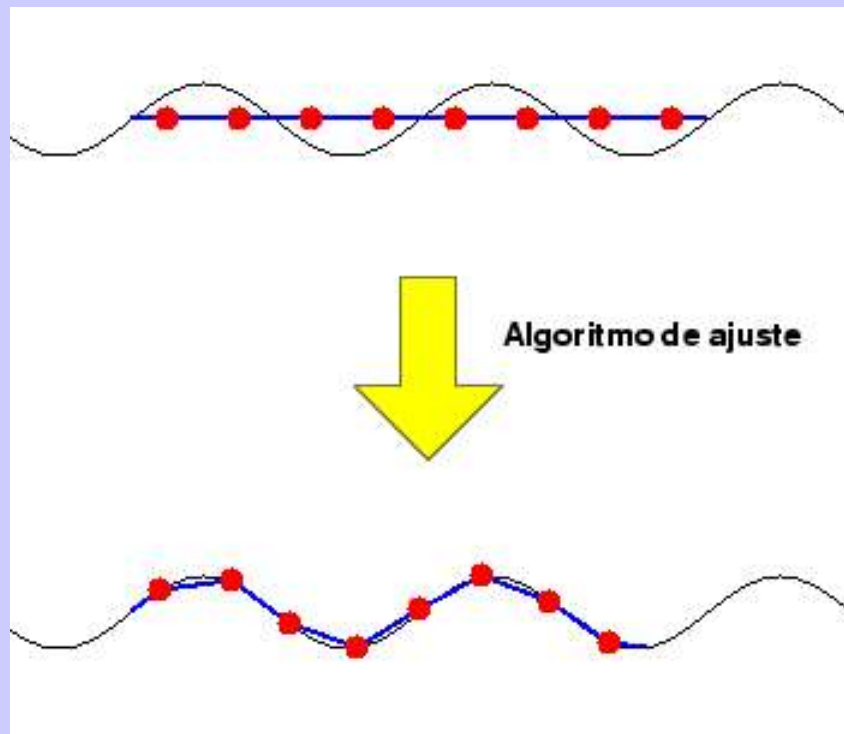
- En la naturaleza nos encontramos un modelo de **propagación de ondas**



Cube Revolutions: Coordinación (II)

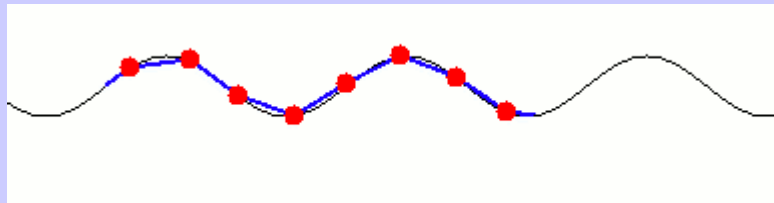
¿Cómo generar las secuencias de movimiento (matrices)?

- Aplicando el modelo de **programación de ondas** y el **algoritmo de ajuste**

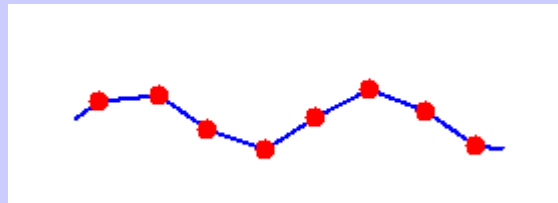


Cube Revolutions: Coordinación (III)

- Para cada desplazamiento de la onda se calcula el nuevo **vector de estado**
- Después de desplazar la onda una distancia igual a su longitud de onda, ya se tiene la matriz creada
- Visualmente, la manera de generar las matrices de movimiento es:



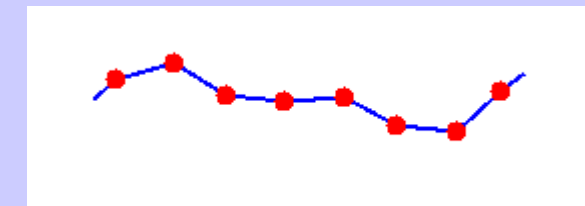
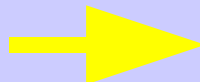
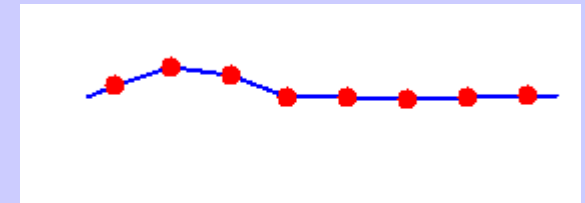
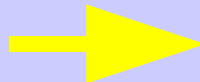
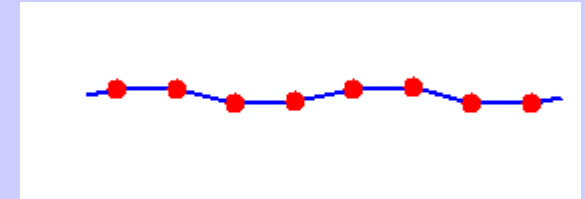
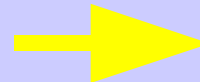
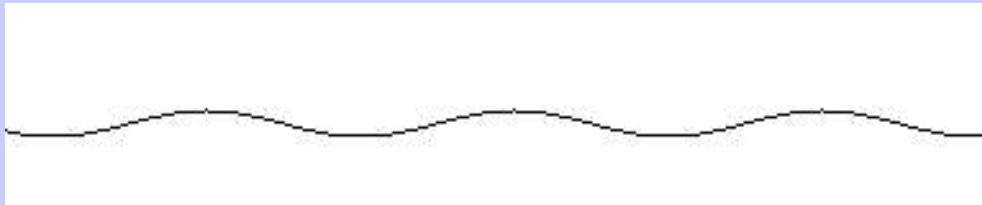
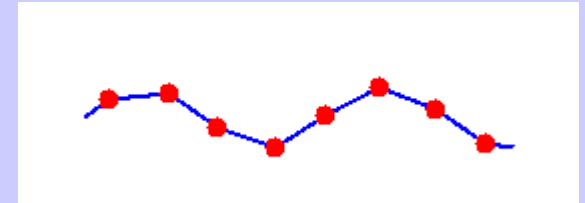
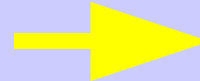
- La animación de esta matriz, sin visualizar las ondas es:



Cube Revolutions: Coordinación (IV)

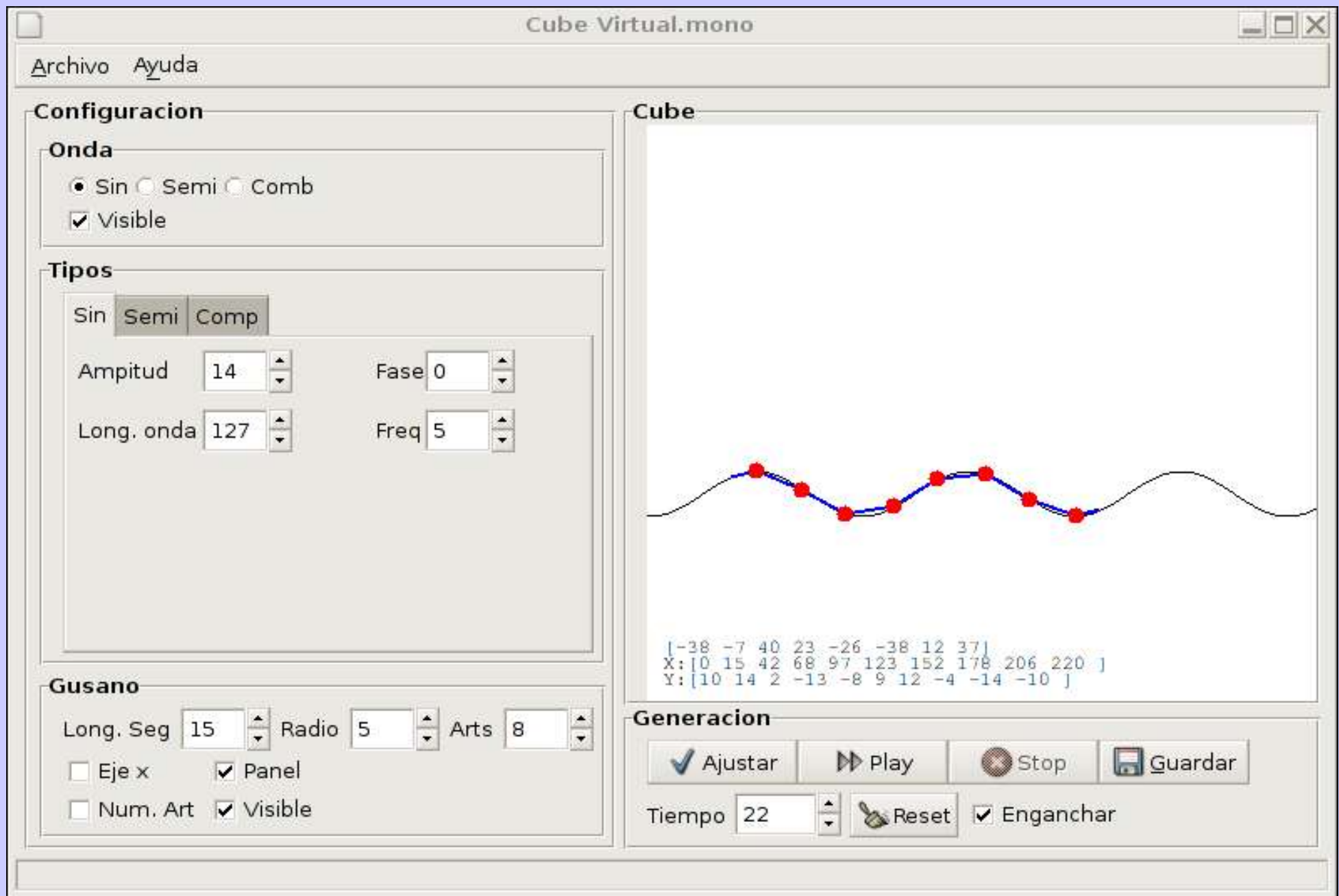
¿Cómo controlar el tipo de movimiento y su velocidad?

- Las características del movimiento vienen dadas por la onda aplicada y sus parámetros (amplitud, longitud de onda, frecuencia...)



Cube Revolutions: Software

Demo



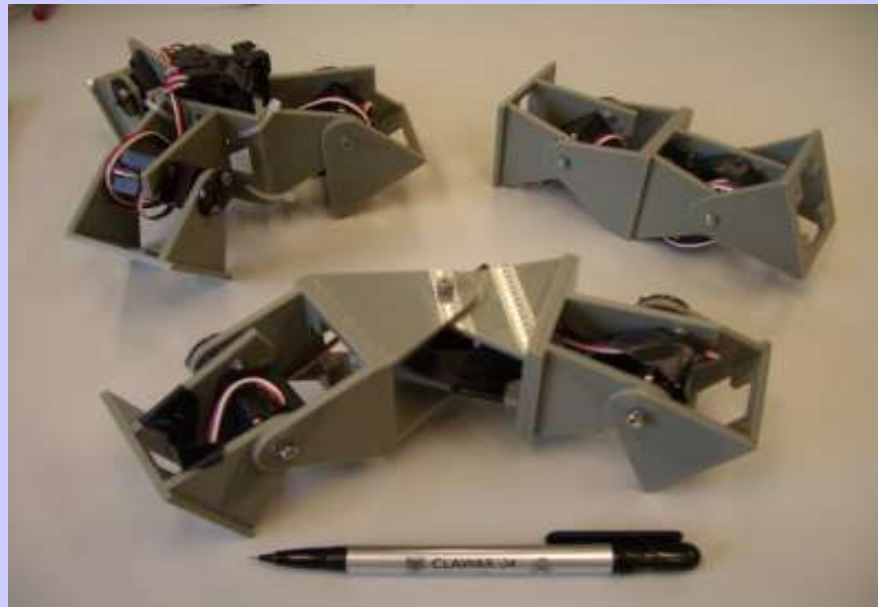
Cube Revolutions:

Trabajos futuros

- Modelo físico del gusano para la evaluación de las secuencias de movimiento
- Optimización de secuencias: ¿Cual es la secuencia de óptima?
- Generación de secuencias mediante algoritmos genéticos
- Coordinación del movimiento en 2D: **Hypercube**

The word "Hypercube" is displayed in a stylized, 3D font with a metallic blue and silver gradient. The letters have a beveled, blocky appearance, giving them a three-dimensional look. The text is set against a white rectangular background.

Locomoción de configuraciones mínimas: MULTICUBE



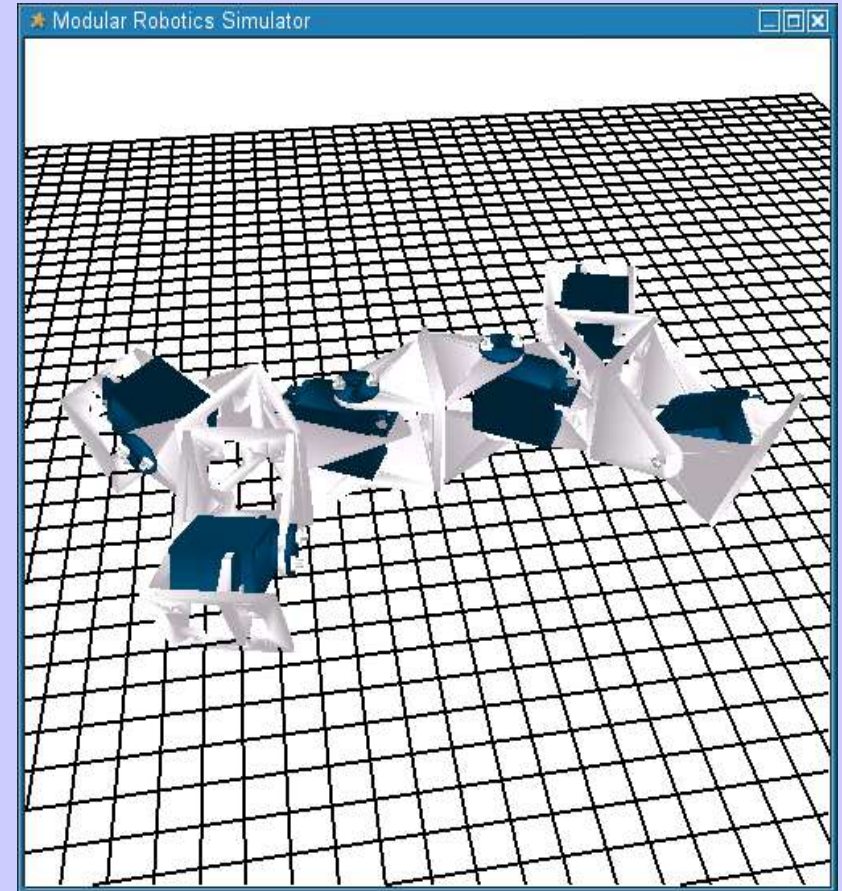
Multicube: Objetivos

- Geométricamente, no hay límite superior al número de módulos a utilizar.
- Pero...

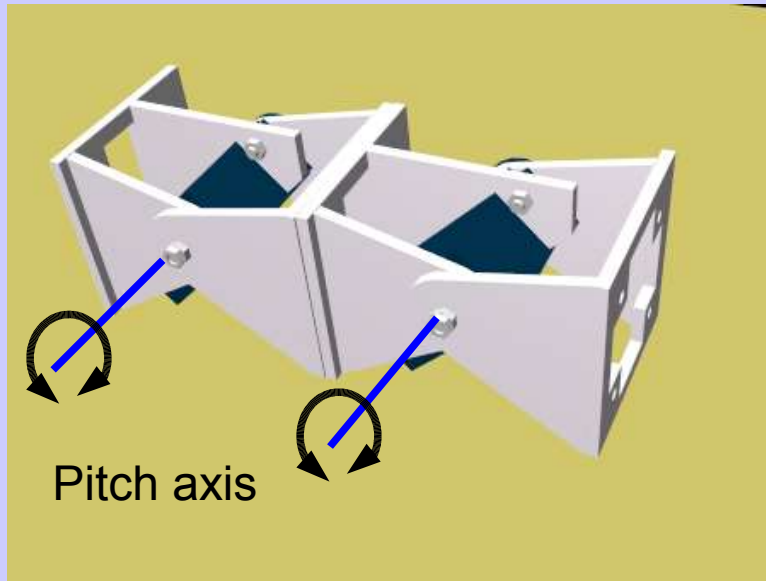
¿Cual es la configuración mínima que es capaz de desplazarse tanto en 1D como en 2D?

¿Cómo hay que coordinar los servos para conseguir ese desplazamiento?

- Para responder a esas preguntas, se han construido tres configuraciones a las que llamamos **Multicube**



Multicube: Configuración PP (Pitch-Pitch)

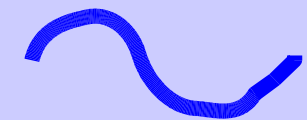


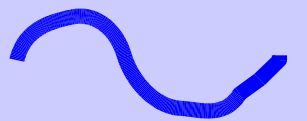
- Dos módulos Y1 conectados en fase
- A pesar de la simplicidad, esta configuración se puede mover en línea recta (1D)

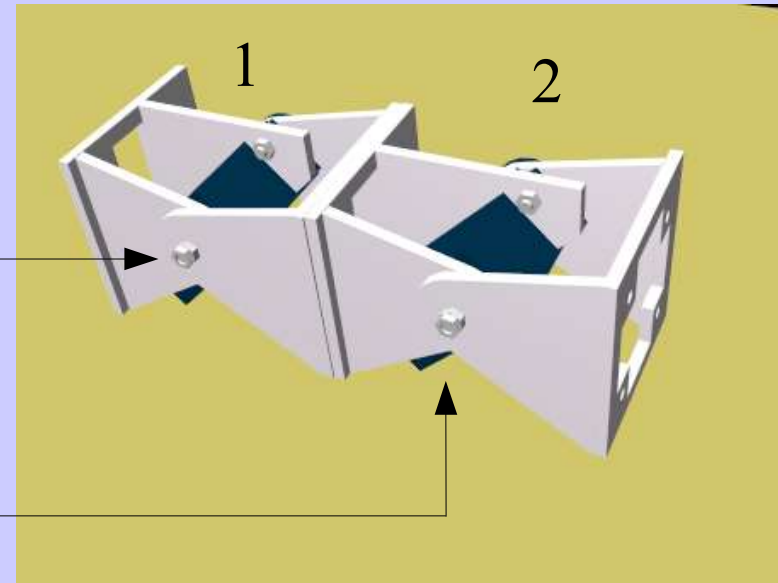
Multicube:

Configuración PP (II)

- Para la generación de movimiento se ha seguido un enfoque diferente:

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

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



- Los ángulos de cada módulo varían según una onda sinusoidal
- Las ondas sólo difieren en la fase $\Delta\phi$
- Es precisamente esta fase la que determina la coordinación

Multicube:

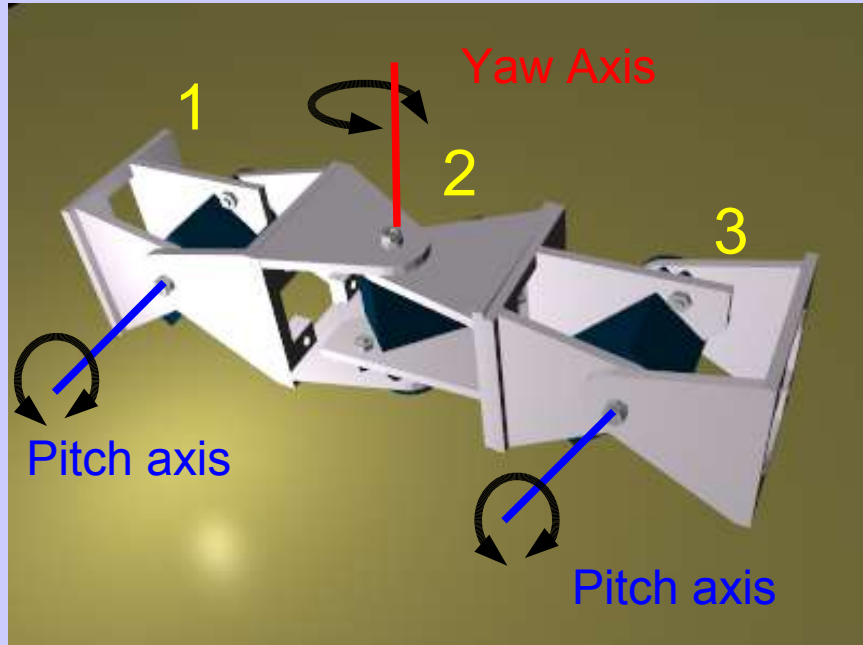
Configuración PP (III)

Resultados:

- **Mínimo número de módulos: 2**
- La mejor coordinación se consigue cuando la fase está comprendida entre 100 y 130 grados.
- El signo de la fase determina el sentido del movimiento
- La velocidad se puede controlar cambiando la amplitud

Multicube:

Configuración PYP (Pitch-Yaw-Pitch)

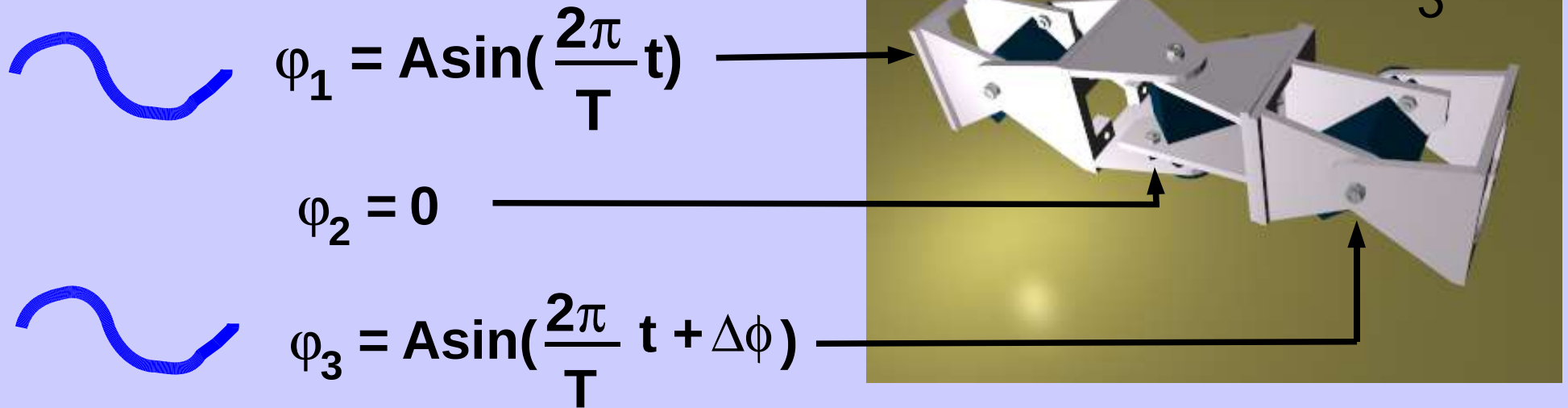


- El módulo central está conectado en desfase (rotado 90 grados)
- Esta configuración tiene varias maneras de moverse:
 - Desplazamiento en línea recta (1D)
 - Describir una trayectoria en arco (2D)
 - Desplazarse lateralmente (Lateral shift gait)
 - Rotar lateralmente (Lateral rolling gait)

Multicube:

Configuración PYP (II)

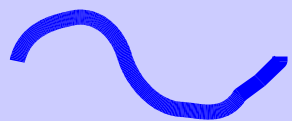
Desplazamiento en línea recta (1D)



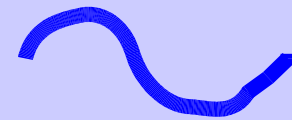
- Ángulo de la articulación 2 fijado a 0 grados
- Coordinación de las articulaciones 1 y 3 igual que en el caso PP (desfase entre 100 y 130 grados)

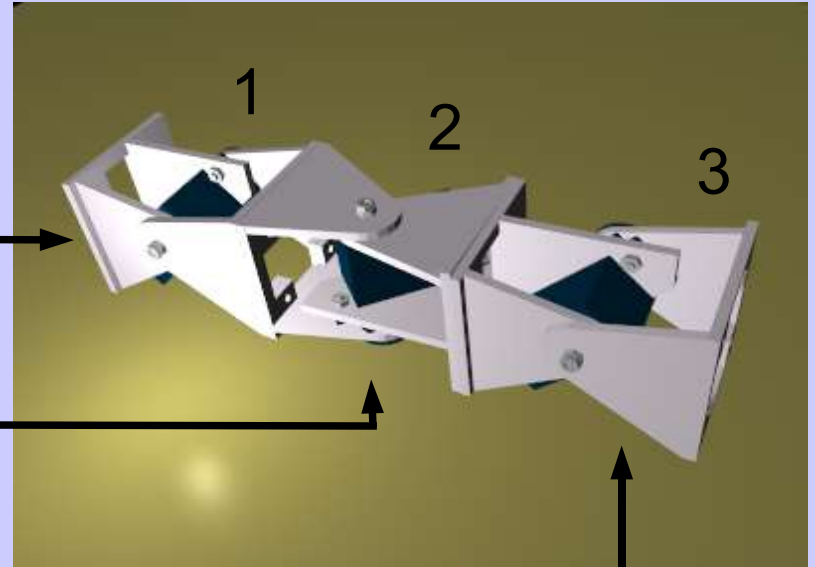
Multicube: Configuración PYP (III)

Trayectoria en arco (2D)

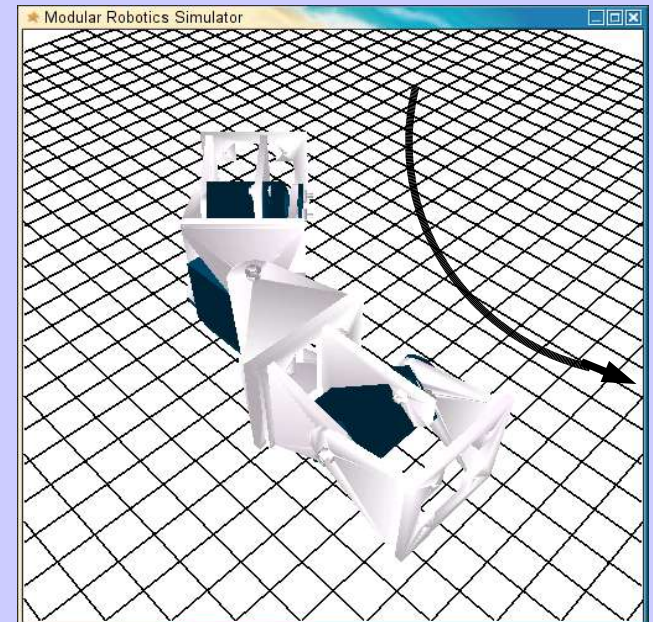

$$\varphi_1 = A \sin\left(\frac{2\pi}{T} t\right)$$

$$\varphi_2 \neq 0$$


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

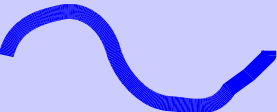


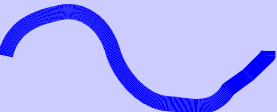
- Ángulo de la articulación 2 fijado a un valor diferente de 0 grados

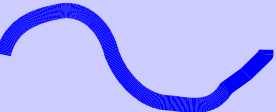


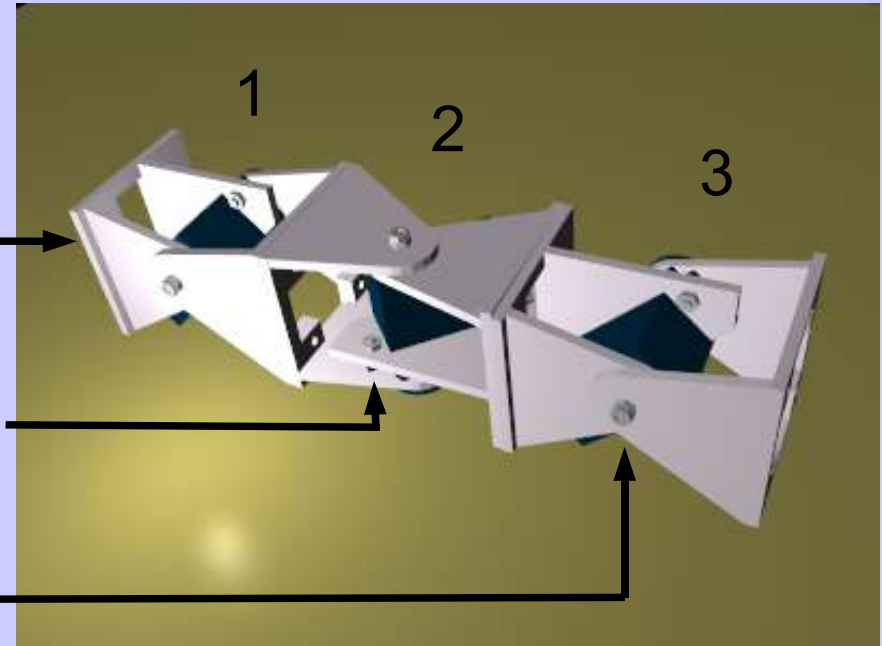
Multicube: Configuración PYP (IV)

Desplazamiento lateral

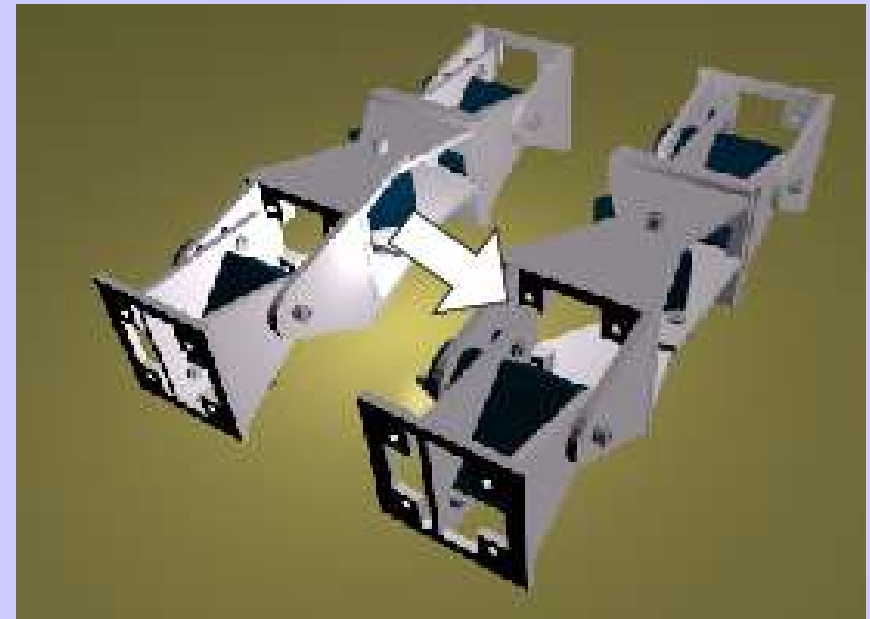

$$\varphi_1 = A \sin\left(\frac{2\pi}{T} t\right)$$


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


$$\varphi_3 = \varphi_1$$



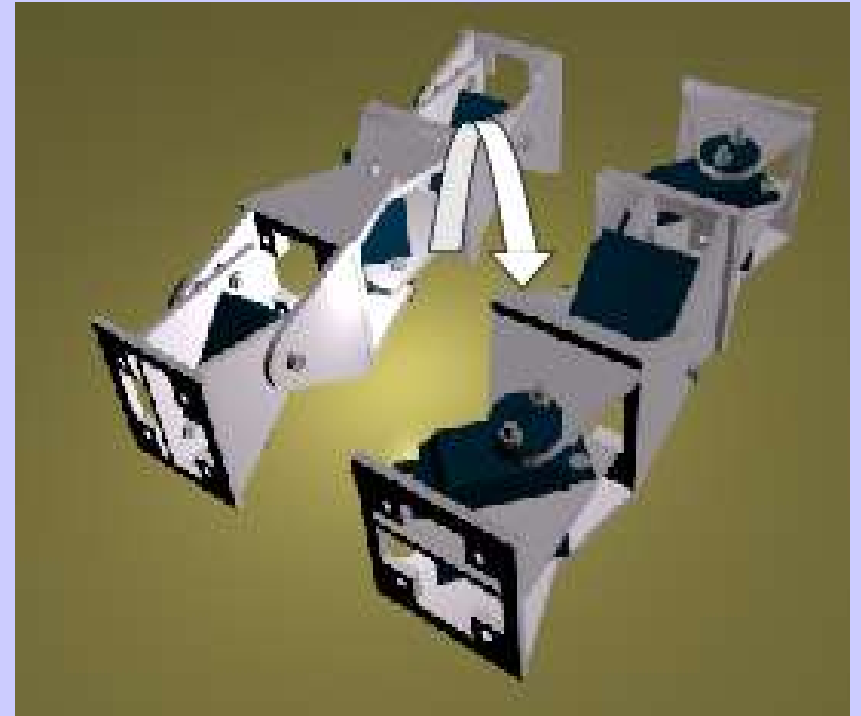
- $A \leq 40$
- Módulos 1 y 3 en fase
- Módulo 2 desfasado 90 grados



Multicube: Configuración PYP (V)

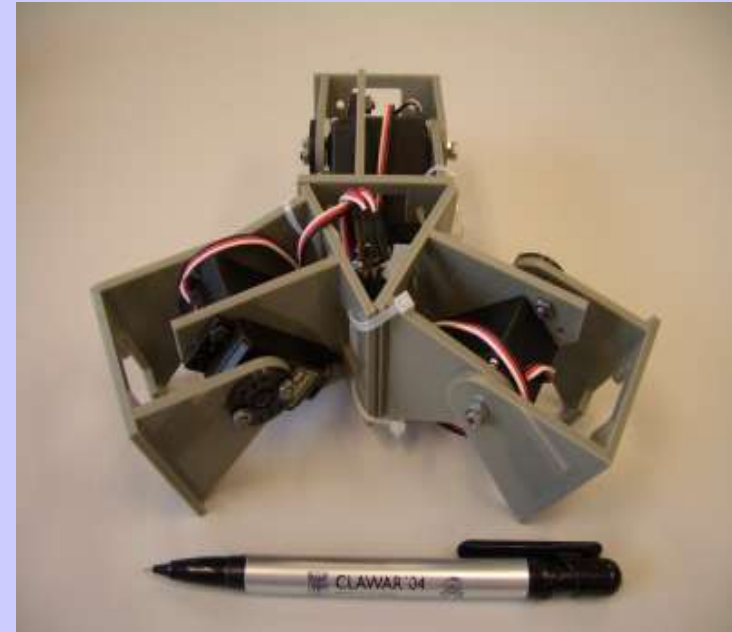
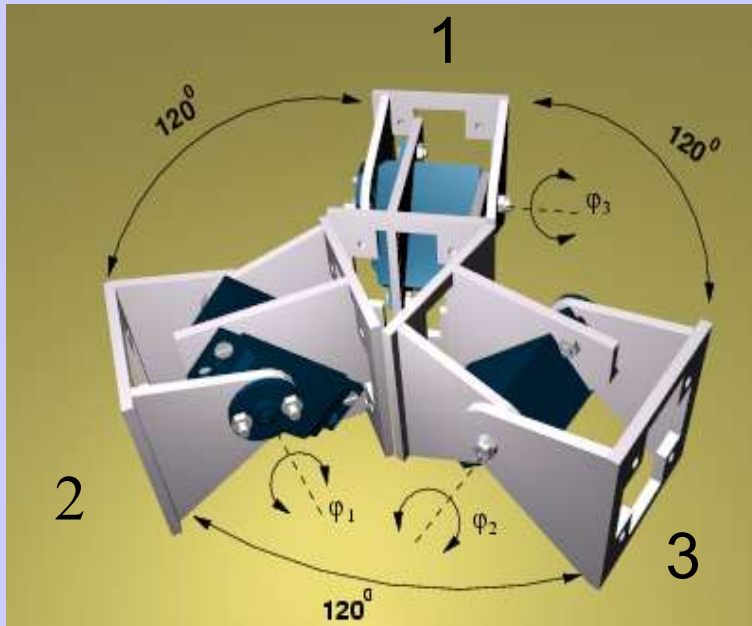
Rotación lateral

- Aplicando la misma coordinación que la del desplazamiento lateral.
- Amplitud mayor de 60 grados
- El sentido de rotación se modifica cambiando la diferencia de fase con la articulación central.



Multicube:

Configuración 2D en estrella (I)

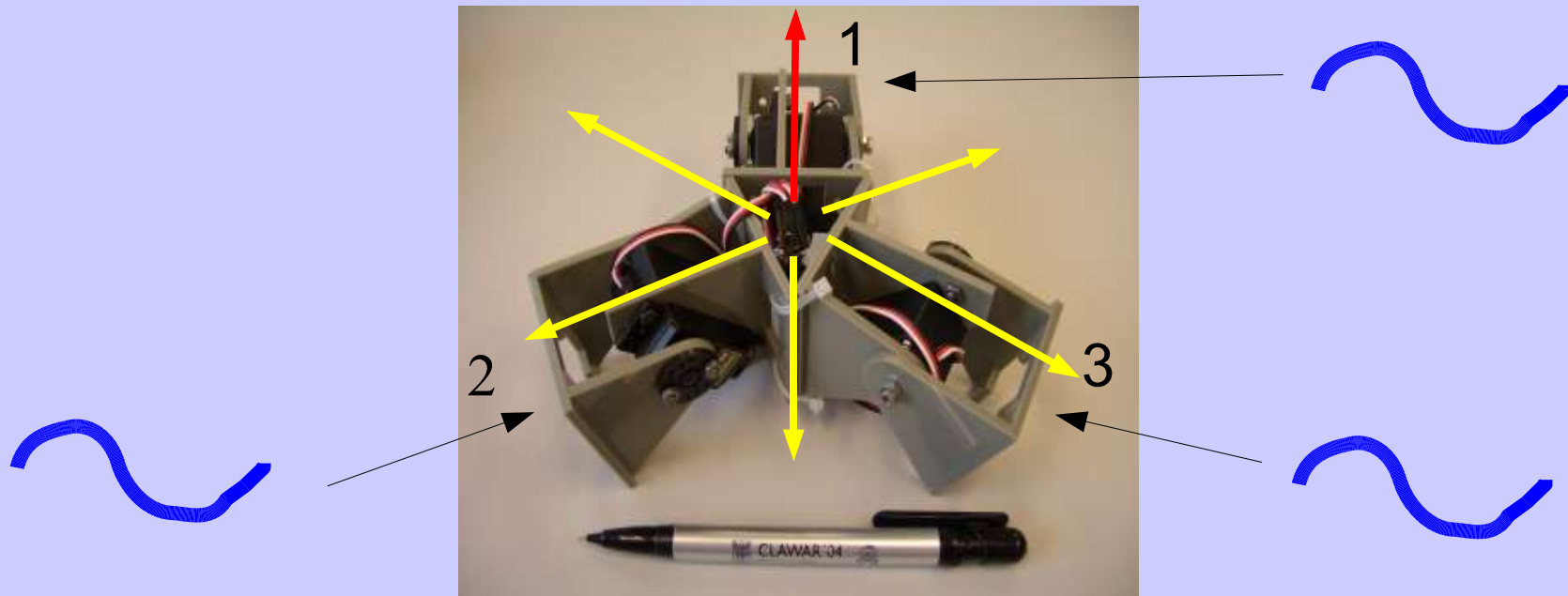


- Ejemplo de una configuración mínima en 2D
- Tres módulos Y1 formando un ángulo de 120 grados
- El movimiento no es muy bueno. Tipos:
 - Movimiento en línea recta (1D) a lo largo de 6 direcciones
 - Rotación paralela al suelo

Multicube:

Configuración 2D en estrella (II)

Movimiento en 1D

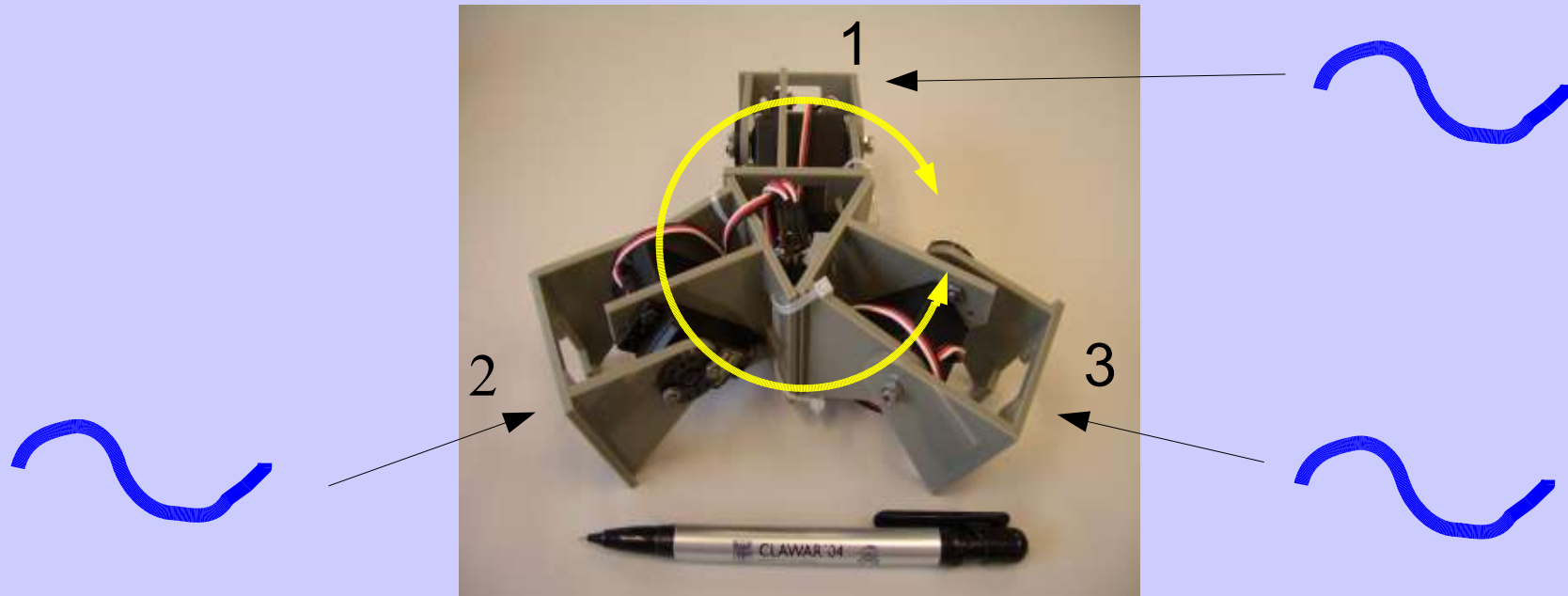


- Tres ondas sinusoidales
- Para moverse en la dirección de indicada por la flecha roja:
 - Módulos 2 y 3: onda en fase
 - Módulo 1: onda con desfase entre 100 y 130

Multicube:

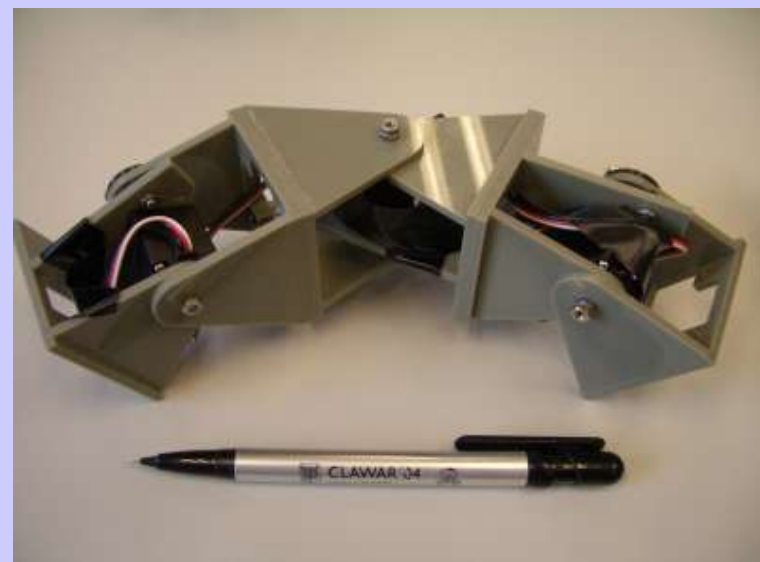
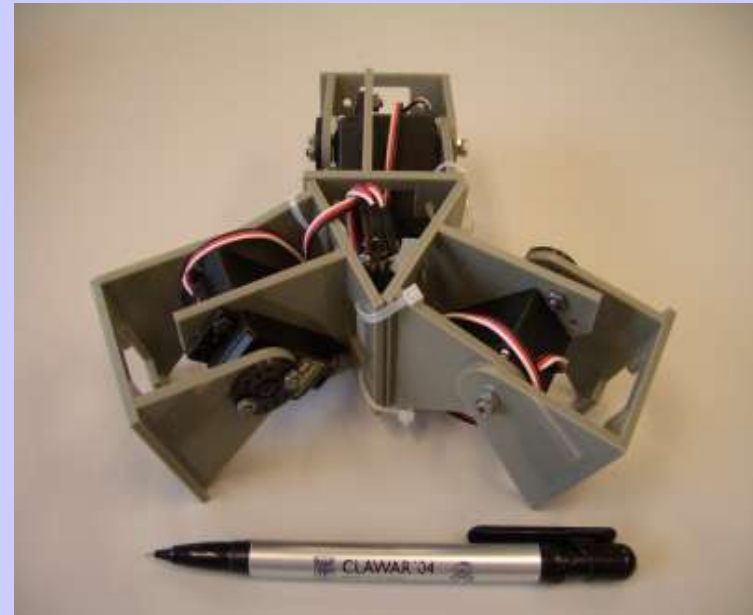
Configuración 2D en estrella (III)

Rotación



- Tres ondas sinusoidales, desfasadas 120 grados
- Movimiento lento de rotación paralelo al suelo

Demostración



Multicube

Resumen

- Configuraciones de tipo cadena (1D)
 - Con sólo dos módulos se consigue movimiento en 1D
 - Añadiendo sólo un módulo más, aparecen tres nuevos tipos de movimiento: 2D, desplazamiento lateral y rotación
- Configuraciones en 2D
 - Con sólo 3 módulos se consigue una configuración 2D que puede desplazarse por un plano

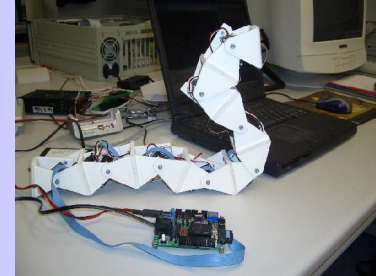
Trabajo futuro

- ¿Configuración mínima en 3D?
- Probar otras configuraciones:
 - Esfera (rolling en 2D)
 - Cruz

¿Dónde está la información?

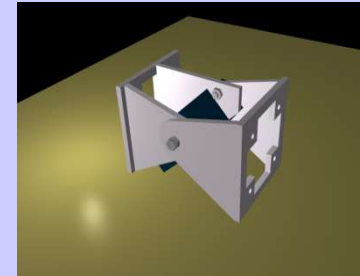
Cube Revolutions

- Ir a Google
- Teclear: Cube Revolutions
- Pinchar en voy a tener suerte :-)



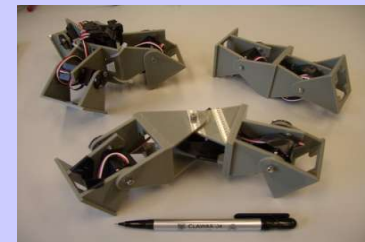
Módulos Y1

- Ir a Google
- Teclear: Módulos Y1
- Pinchar en voy a tener suerte :-)



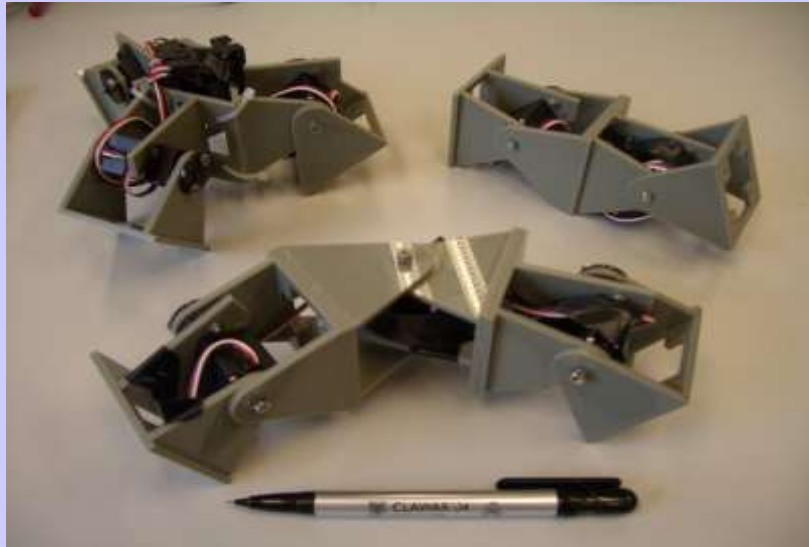
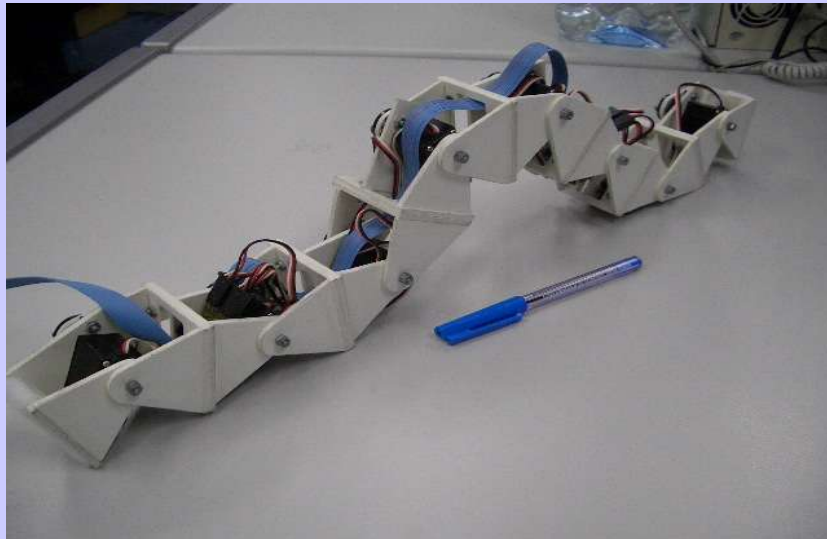
Multicube

- Artículo sobre Multicube:



<http://www.iearobotics.com/personal/juan/publicaciones/art12/>

Robótica Modular y Locomoción: Robots Cube Revolutions y Multicube



Juan González Gómez

Escuela Politécnica Superior
Universidad Autónoma de Madrid