

# Robótica Modular y Locomoción



**Juan González Gómez**  
Escuela Politécnica Superior  
Universidad Autónoma de Madrid



## índice

1. **Introducción**
2. Módulos Y1
3. Osciladores
4. Locomoción en 1D
5. Locomoción en 2D
6. Simulación
7. Conclusiones y trabajos futuros

# El Problema de la locomoción (I)

- Diseñar y construir un robot capaz de desplazarse desde un punto a otro con independencia del terreno



**Arquitectura**

**Nivel Superior**

**Nivel Inferior**

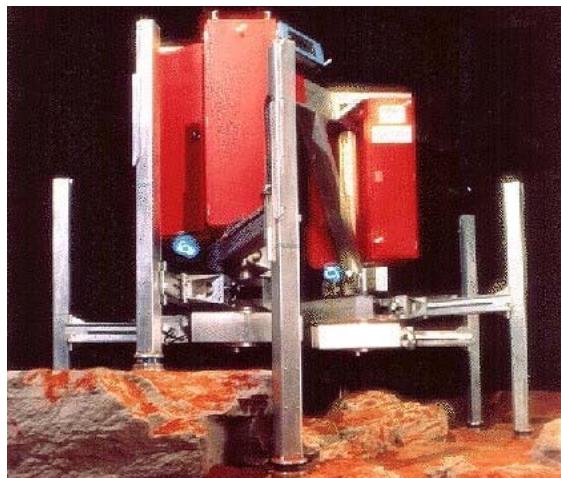


Ámbito de estudio

# El Problema de la locomoción (II)

## Enfoque clásico:

- Estudiar entorno
- Diseñar la morfología del robot
- Realizar los modos de caminar



(**Ambler**, Krotkov et al, 1989)

- NASA interesada en este problema
- Exploración de planetas
- Ej. Robots Ambler y Dante II



(**Dante II**, Bares et al, 1994)

# El Problema de la locomoción (III)

**Enfoque Modular:** (Yim, 1995)  
Robótica modular Auto-configurable

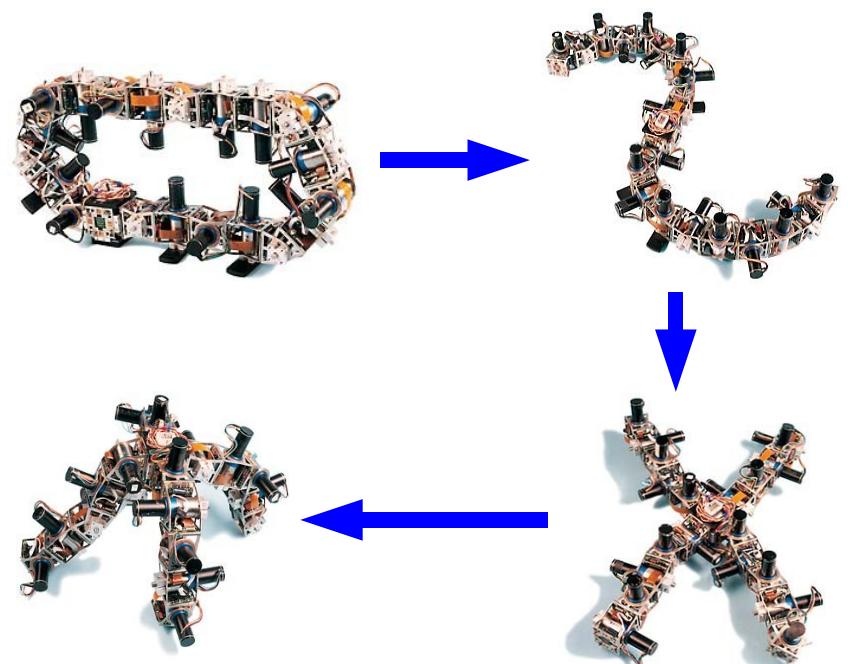
- Robots creados a partir de módulos
- Adaptan su morfología al terreno

*Autoconfiguración simple  
Rueda -> gusano*



(**Polybot G1**, Yim et al. 1997)

- Primer experimento de auto-configuration dinámica
- Rueda -> gusano -> cuadrúpedo



(**Polybot G2**, Yim et al. 2000)

# El Problema de la locomoción (IV)

Vídeos: 1,2

## Enfoque Bio-inspirado:

- Imitar a la naturaleza
- Se quiere un “robot cabra” :-)

*Boston Dynamics*

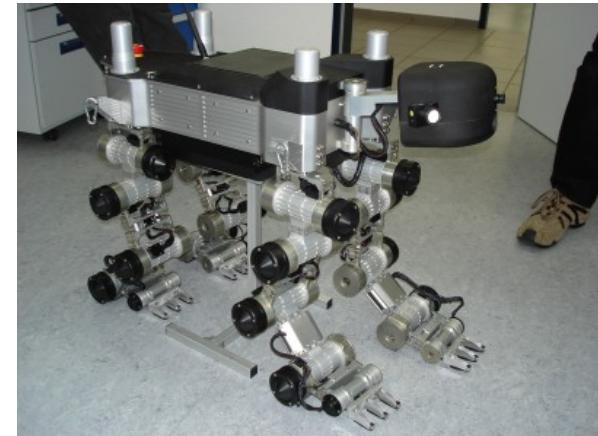


**(BigDog, Raibert et al. 2008)**

*Universidad de Bremen (Alemania)*



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



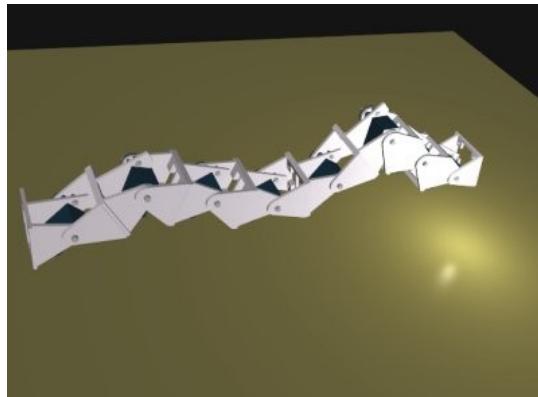
**(Aramis, Sastra. 2008)**

# Locomoción de robots modulares

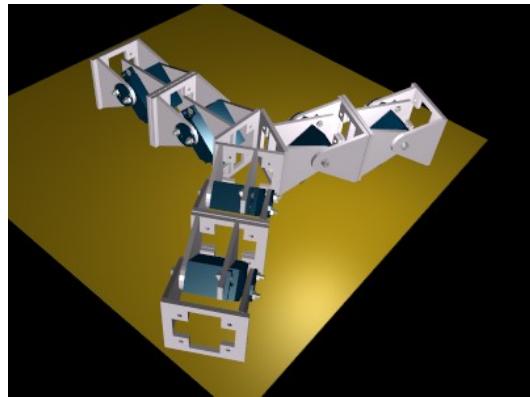
- **Nueva área de investigación:** La locomoción de robots modulares
- Aspectos importantes:
  - **Morfología del robot.** ¿Qué forma tiene el robot?
  - **Controlador.** ¿Cómo lograr el desplazamiento?

## Clasificación según morfología:

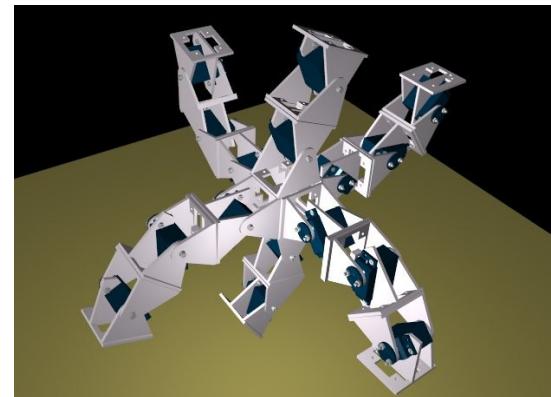
Topología 1D



Topología 2D



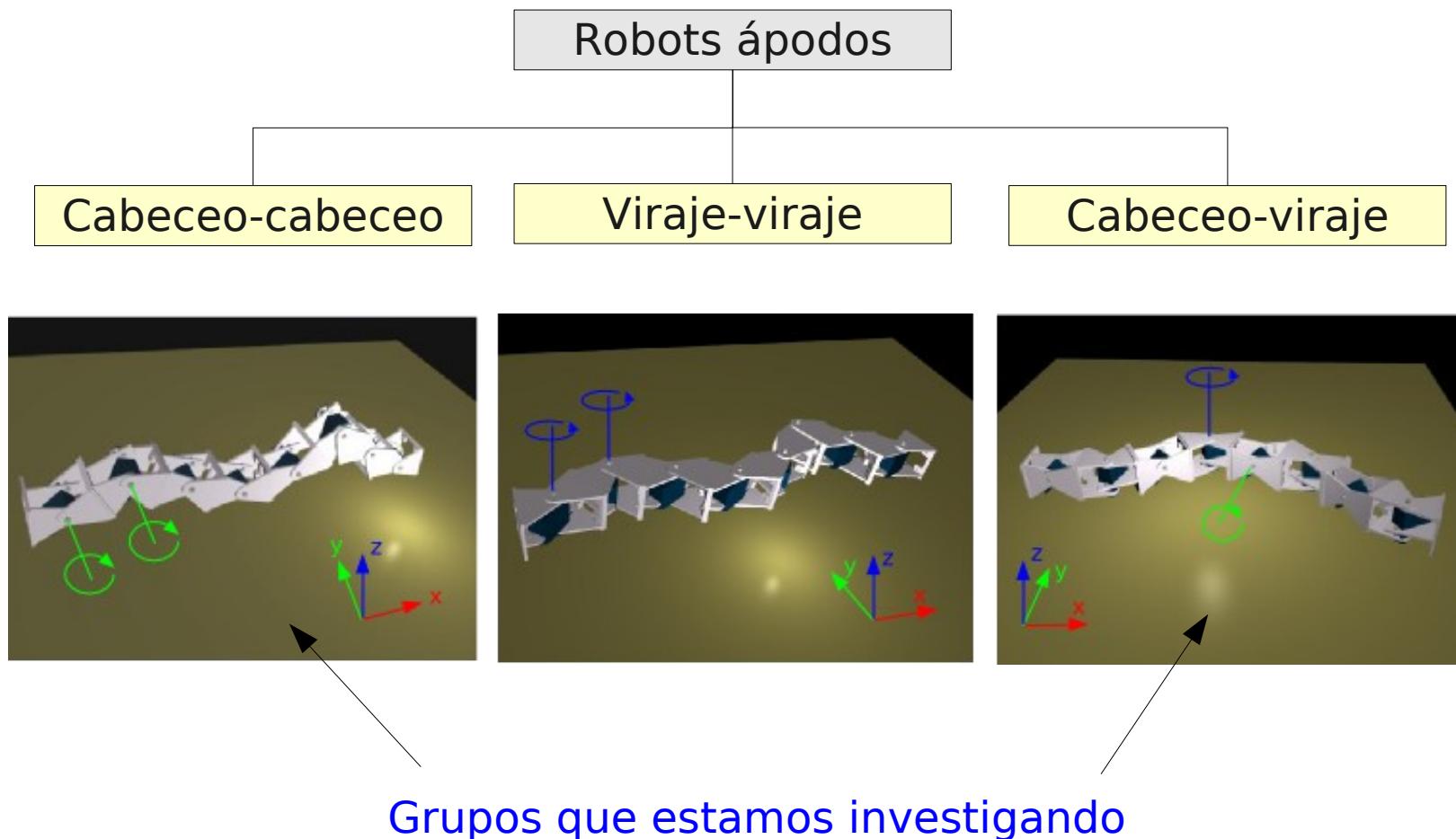
Topología 3D



Robots ápodos

# Clasificación robots ápodos

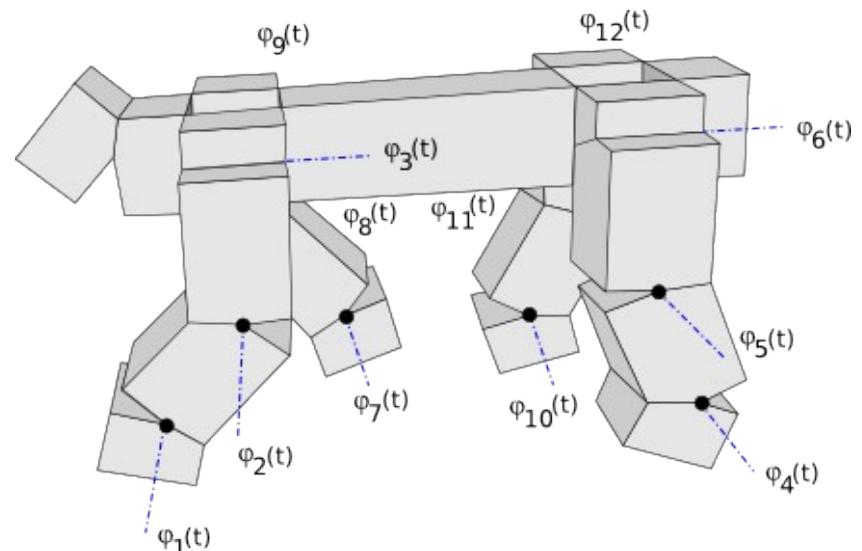
Clasificación según el conexionado entre módulos:



# Controladores

- **Problema de la coordinación:**

Mover las articulaciones adecuadamente para lograr que el robot se desplace

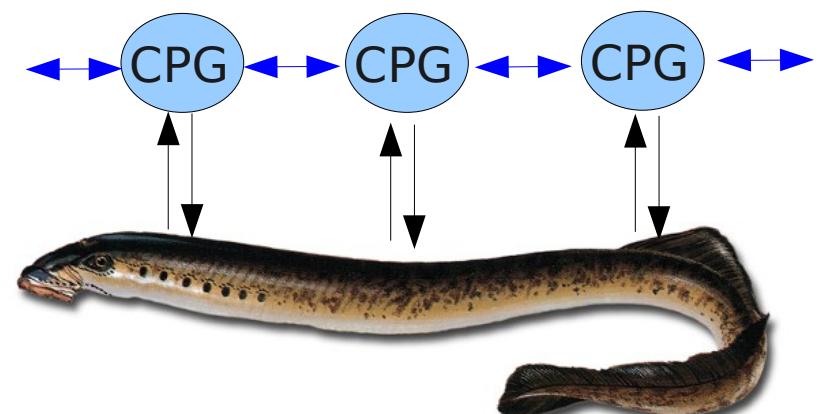


- **Enfoque Clásico:** Modelado matemático

- Cálculo de la cinemática inversa
- Problema: ecuaciones sólo válidas para una morfología concreta

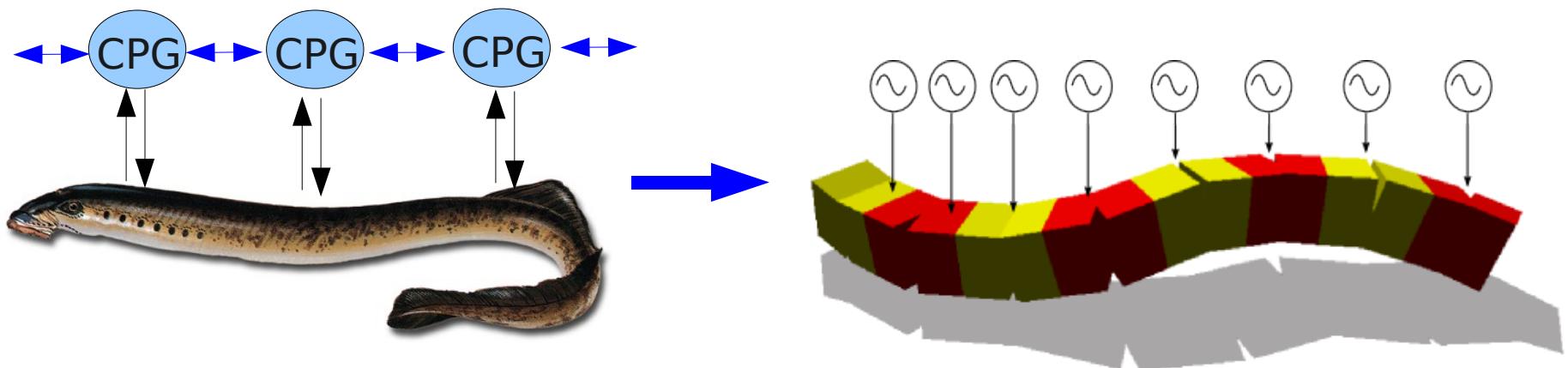
- **Enfoque Bio-inspirado:** CPGs

- Actúan directamente sobre los músculos
- Sincronización entre ellos

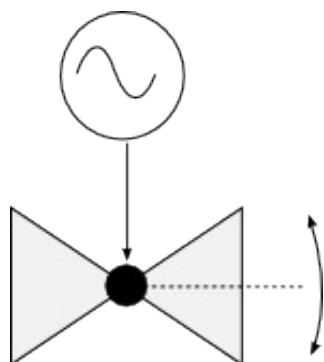


# Hipótesis: Osciladores sinusoidales

- Reemplazar los CPGs por un **modelo simplificado**



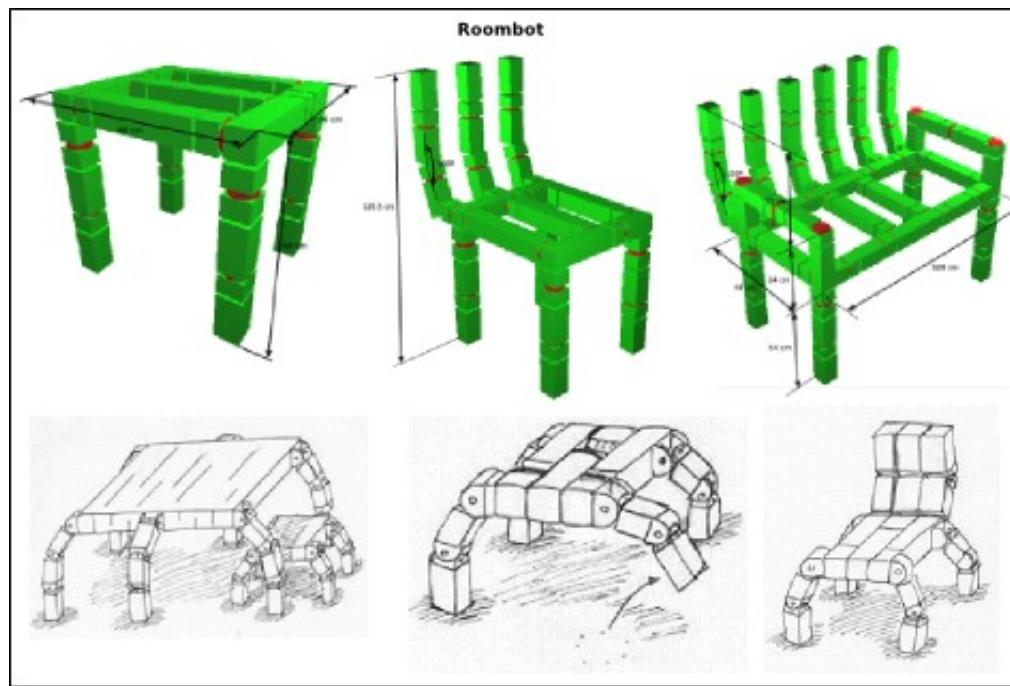
- Osciladores sinusoidales:



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

- **Ventajas:**
  - Se necesitan pocos recursos para su implementación

# Robots modulares y estructuras



- Construcción de estructuras 3D usando módulos
- Ej. **RoomBot**, (Arredondo et al.). Laboratorio de Robótica Bioinspirada. EPFL
- Muebles re-configurables que se pueden mover :-)

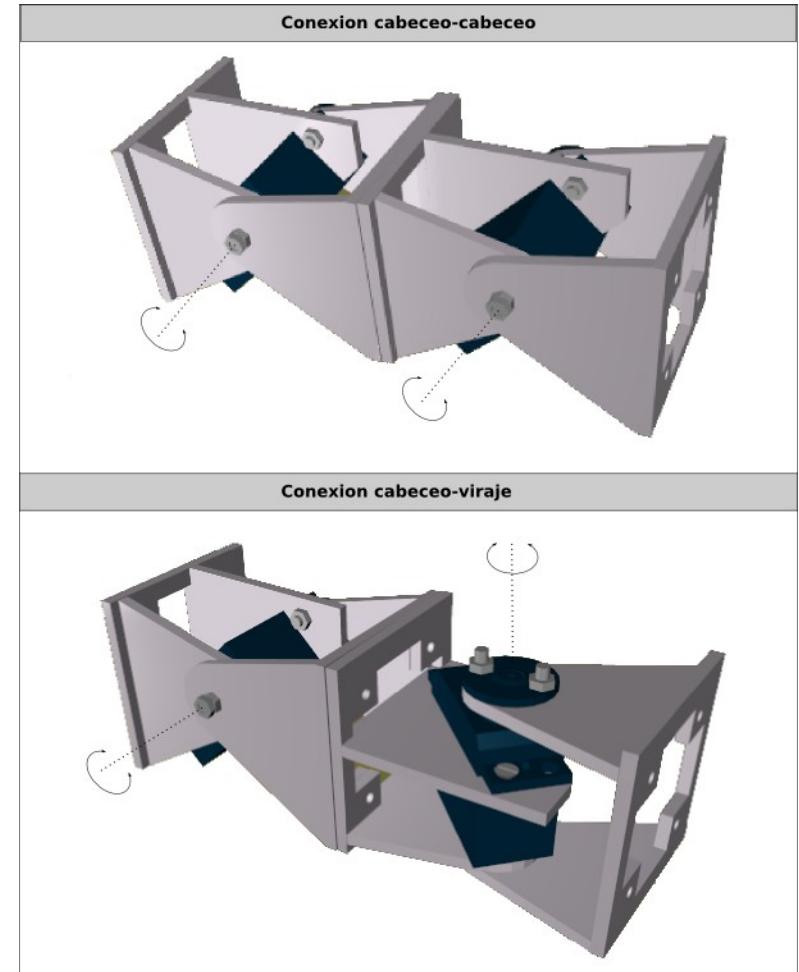
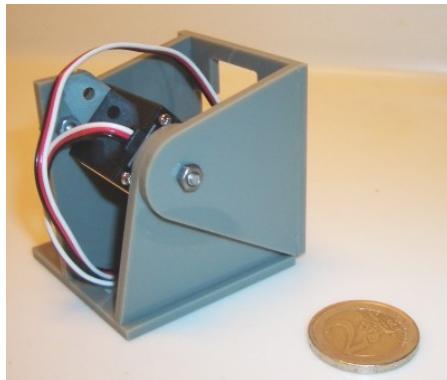
## índice

1. Introducción
2. **Módulos Y1**
3. Osciladores
4. Locomoción en 1D
5. Locomoción en 2D
6. Simulación
7. Conclusiones y trabajos futuros

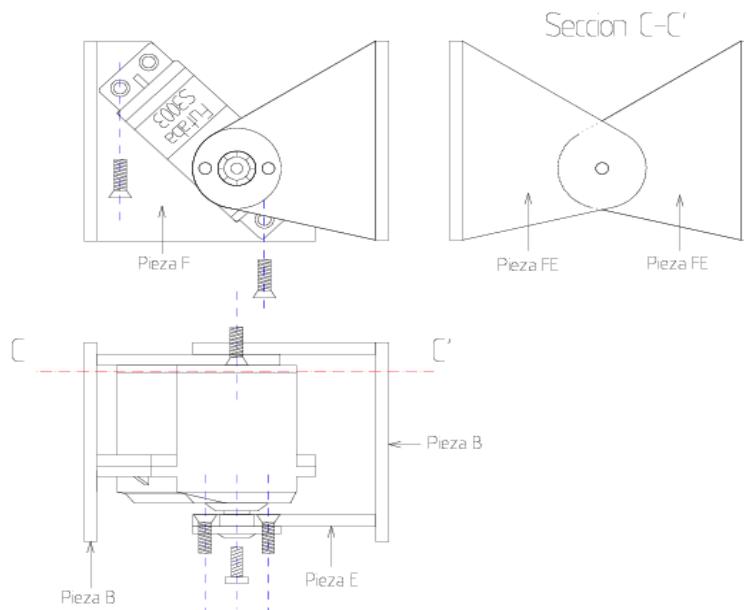
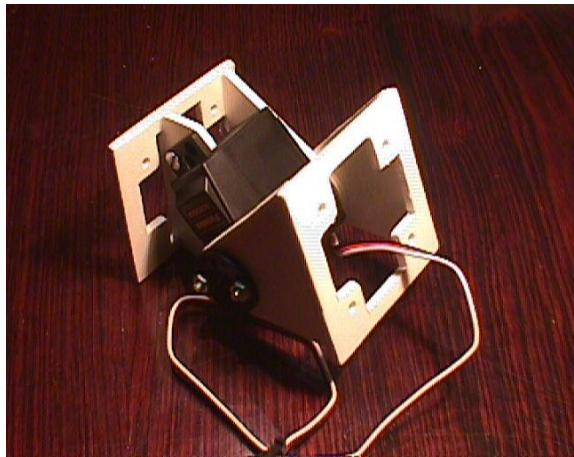
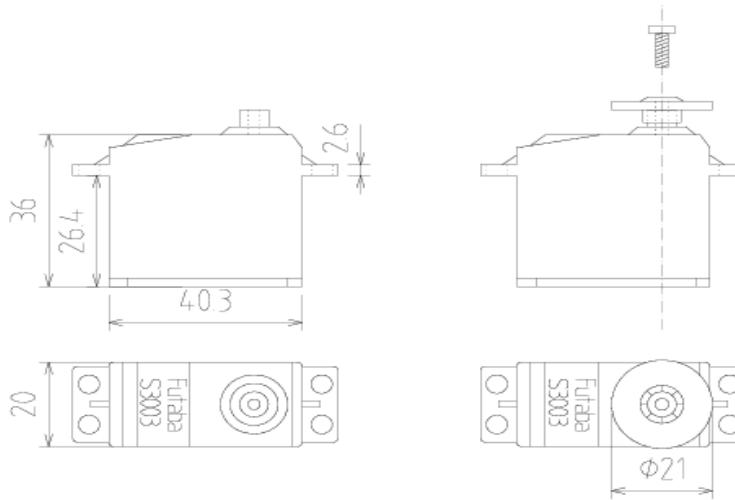
# Módulos Y1

Vídeos, 3-5

- Un grado de libertad
- Fácil construcción
- **Servo:** Futaba 3003
- **Material:** Plástico de 3mm
- **Dimensiones:** 52x52x72mm
- Dos tipos de conexiones



# Herramientas de diseño (I): QCAD

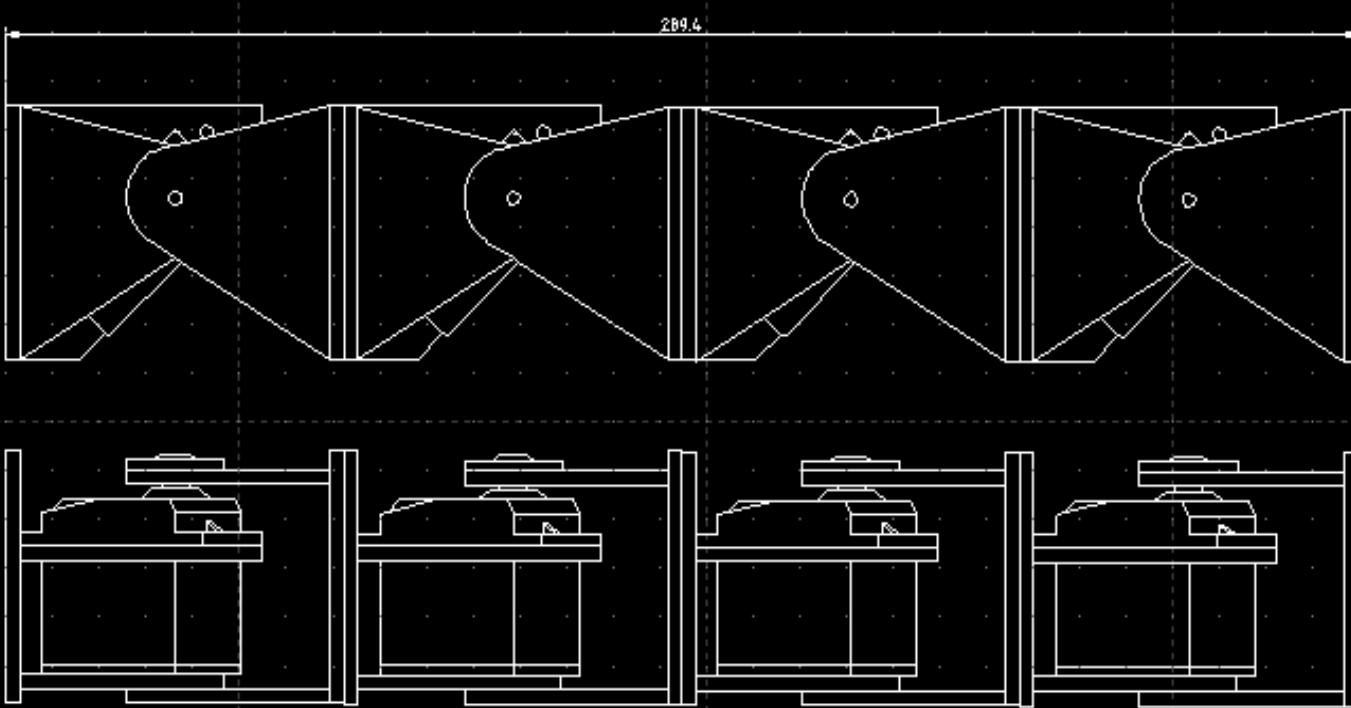




Archivo Editar Ver Seleccionar Dibujar Acotar Modificar Forzar Información Capa Bloque Window Ayuda



Por Capa Por Capa Por Capa



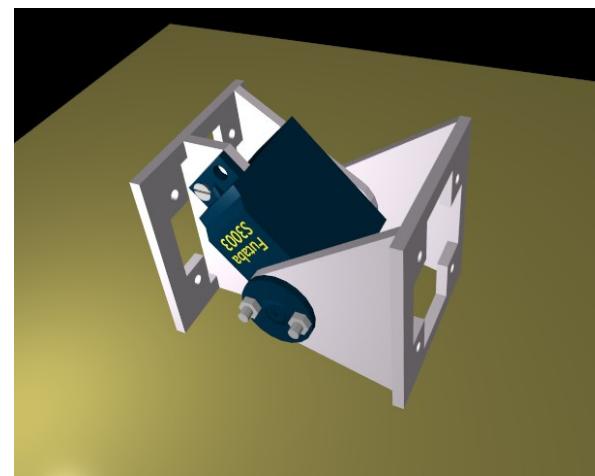
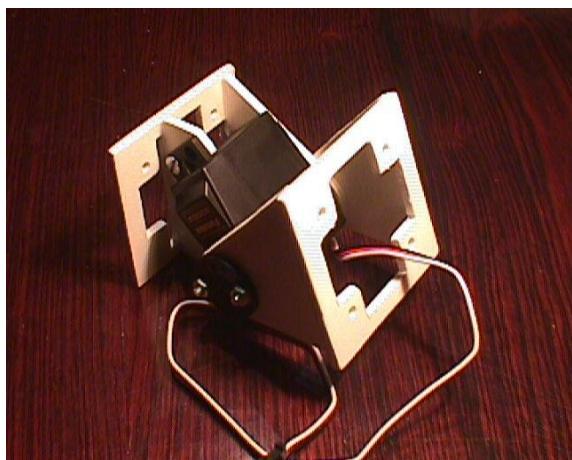
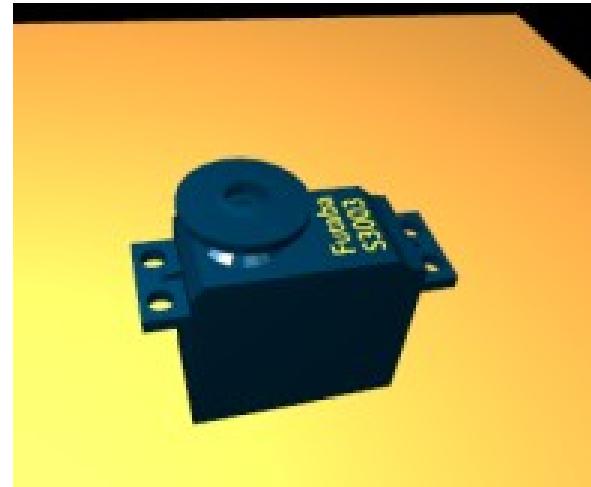
0  
NULL

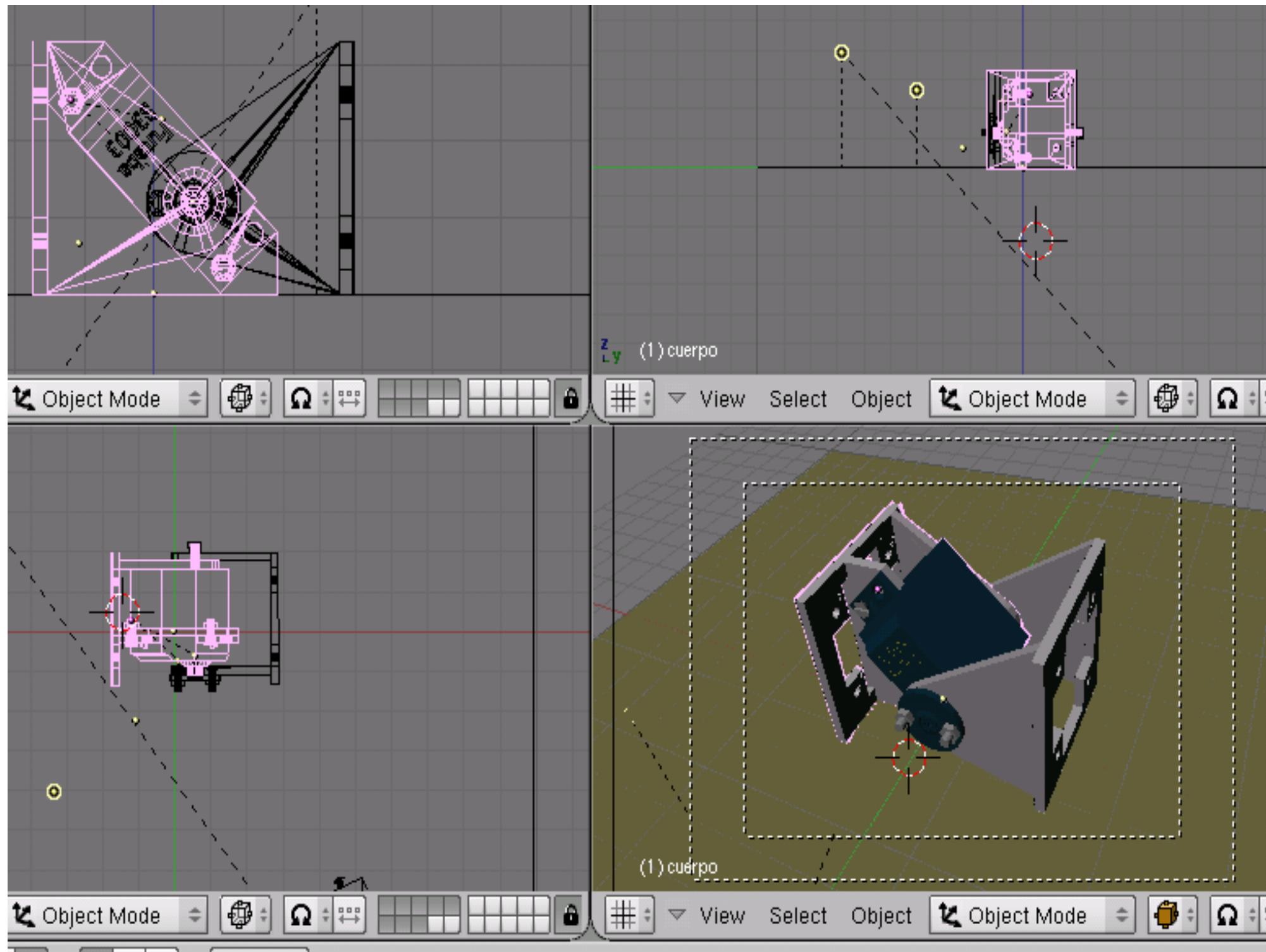


0  
ab

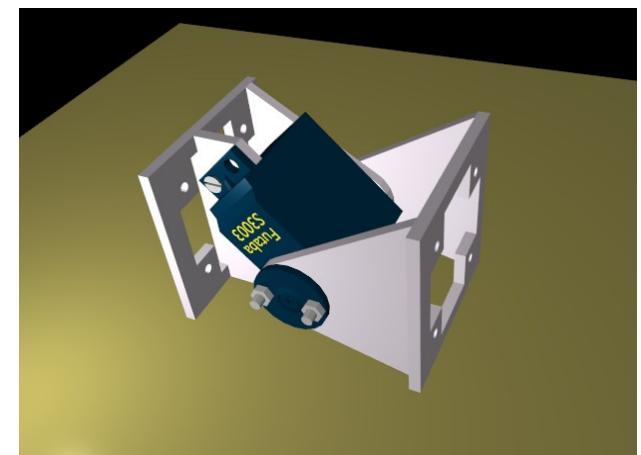
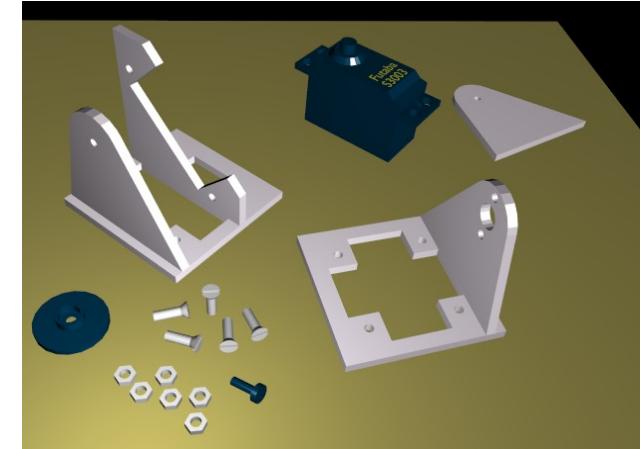
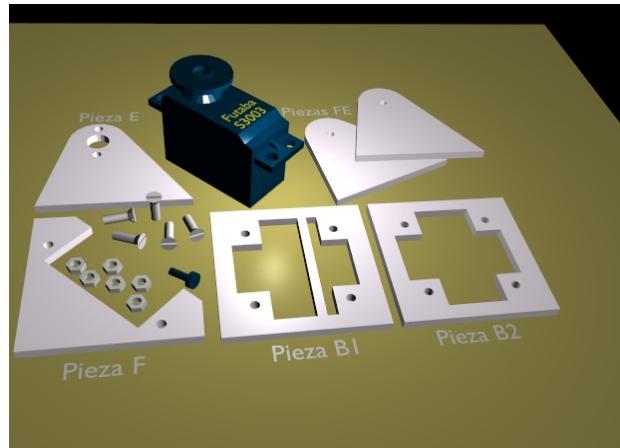
10 / 100

## Herramientas de diseño (II): Blender



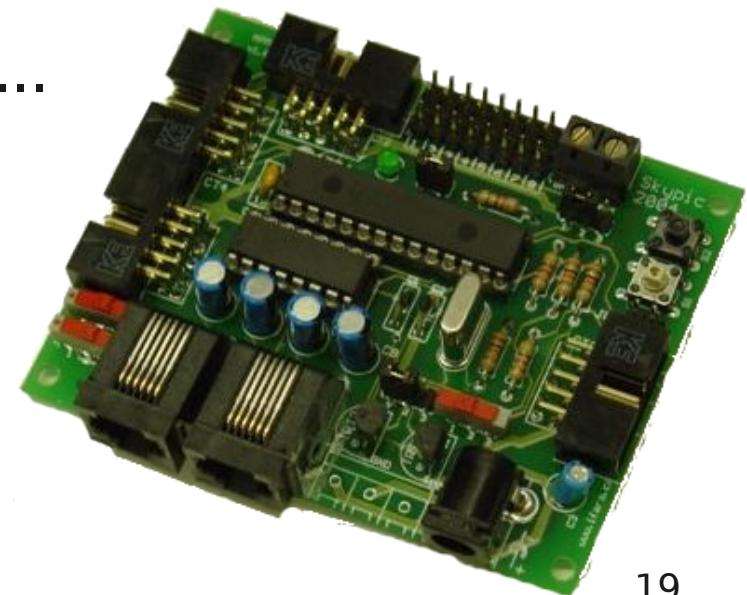


# Montaje de los módulos



# Tarjeta Skypic (I)

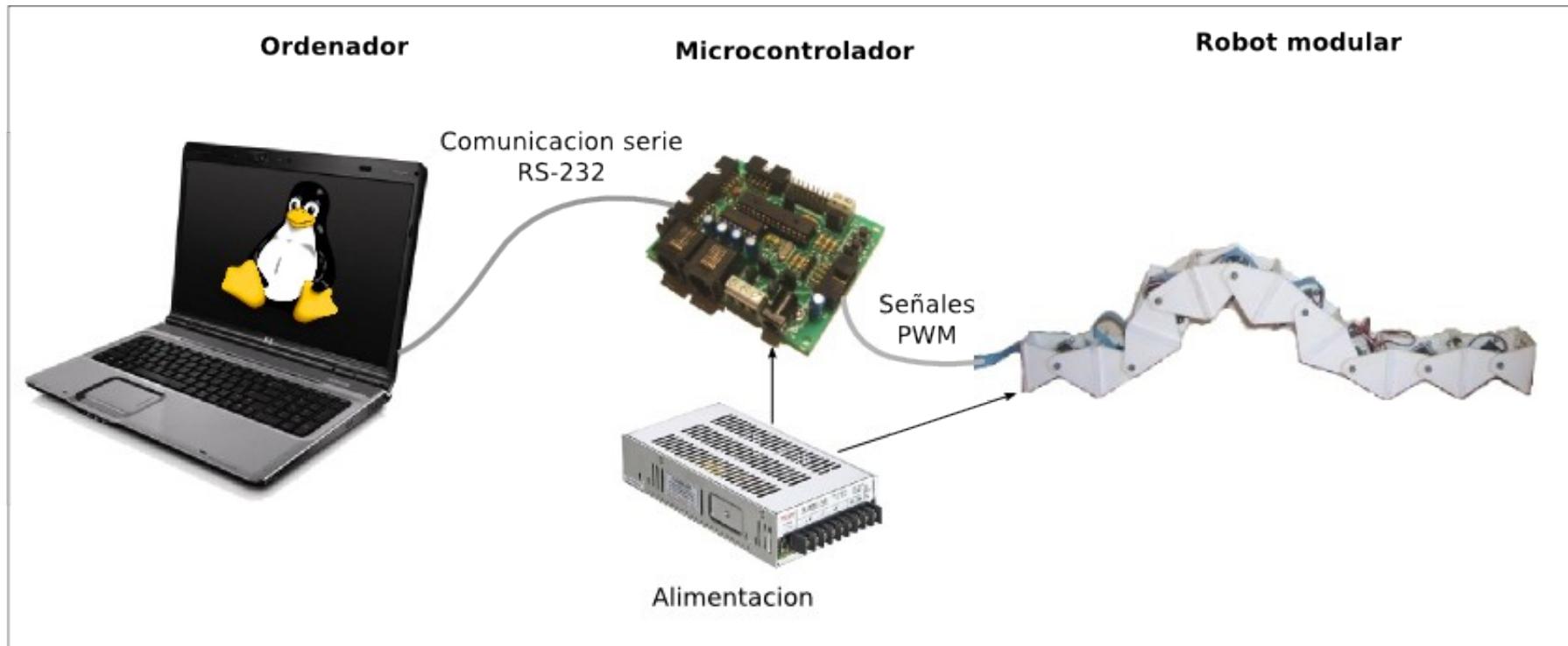
- Es **hardware libre**
- Herramienta de diseño: Eagle
- Cualquiera la puede fabricar...
- Cualquiera la puede modificar...
- Cualquier empresa la puede comercializar...
- Cualquier universidad la puede adaptar...



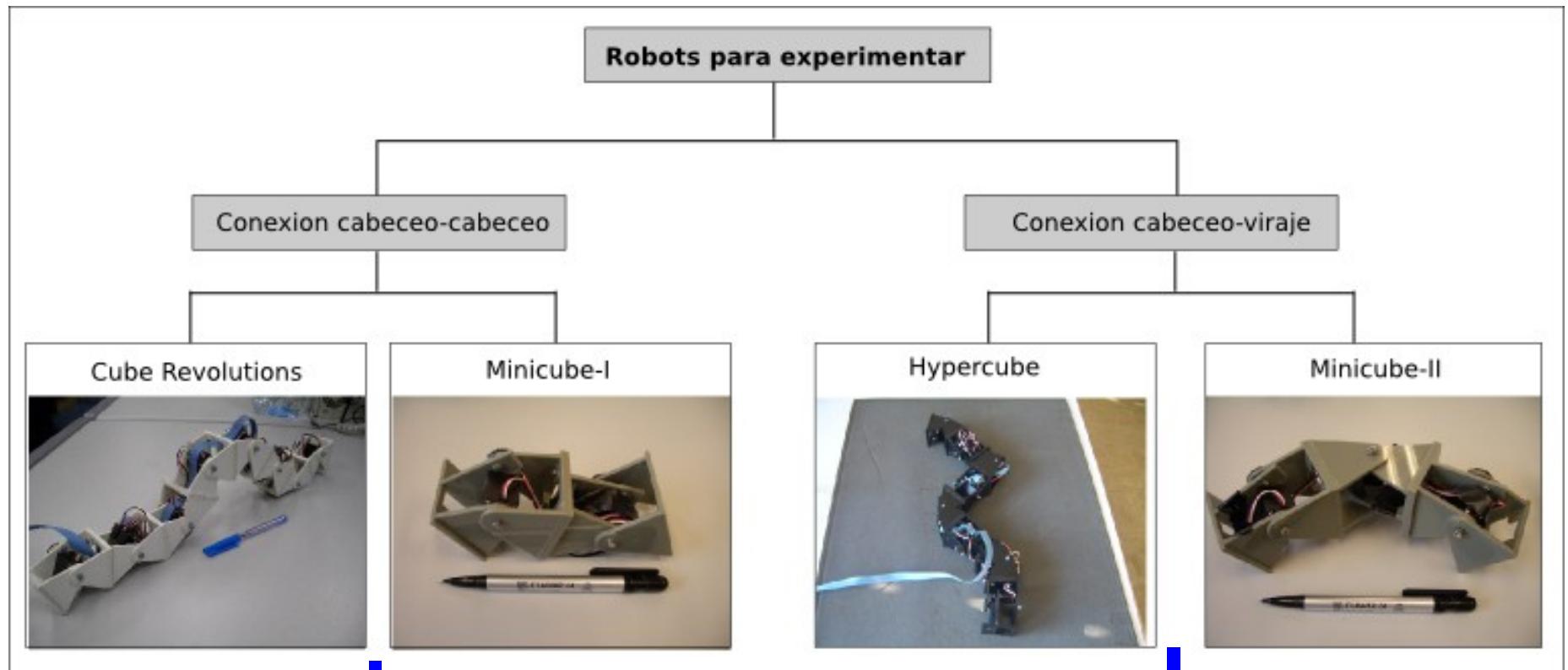
## Tarjeta Skypic (II)



# Esquema de control



# Experimentos con Robots modulares



Locomoción en 1D



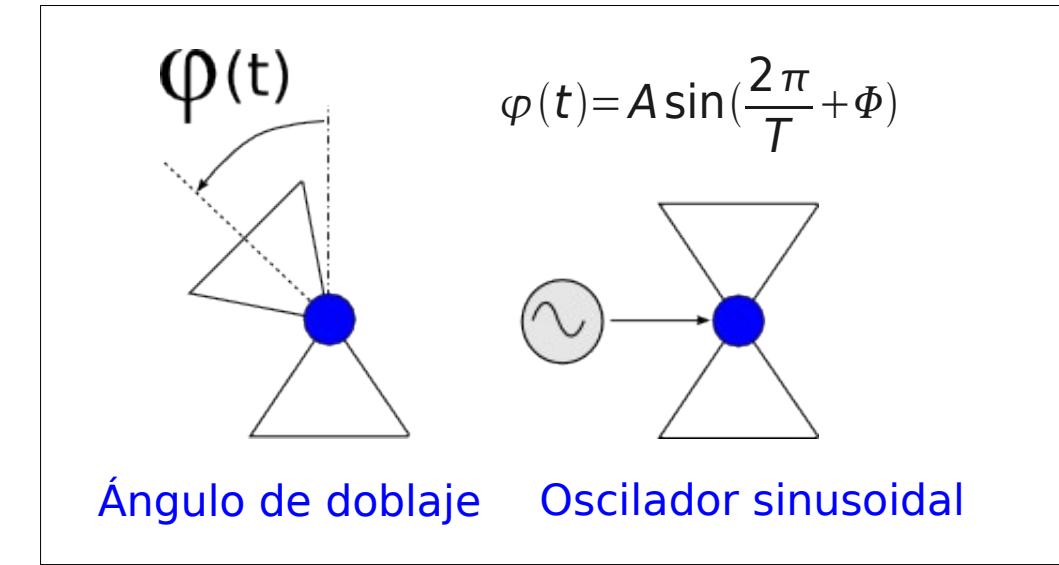
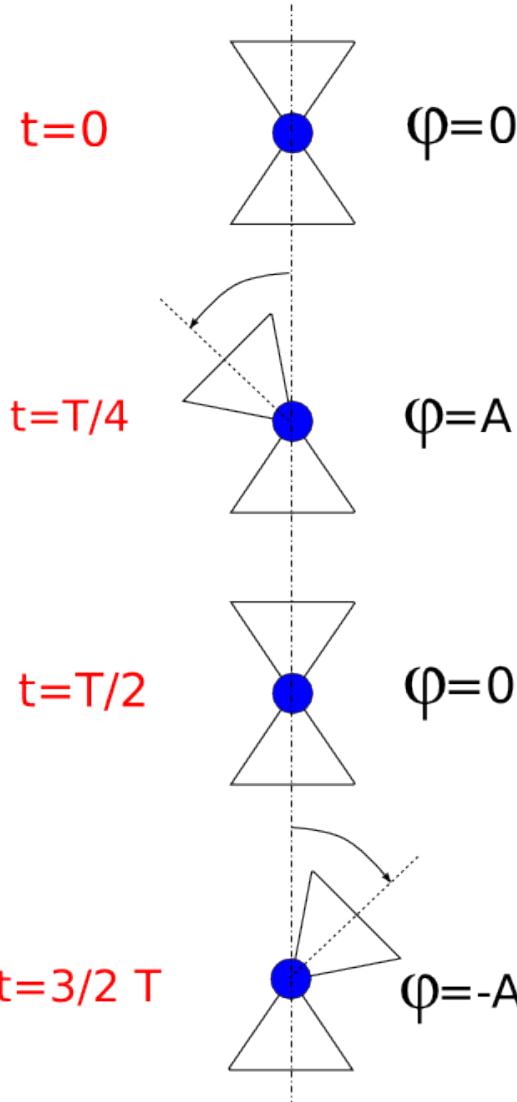
Locomoción en 2D

## índice

1. Introducción
2. Módulos Y1
- 3. Osciladores**
4. Locomoción en 1D
5. Locomoción en 2D
6. Simulación
7. Conclusiones y trabajos futuros

# Oscilación de un módulo

Demo



## Parámetros:

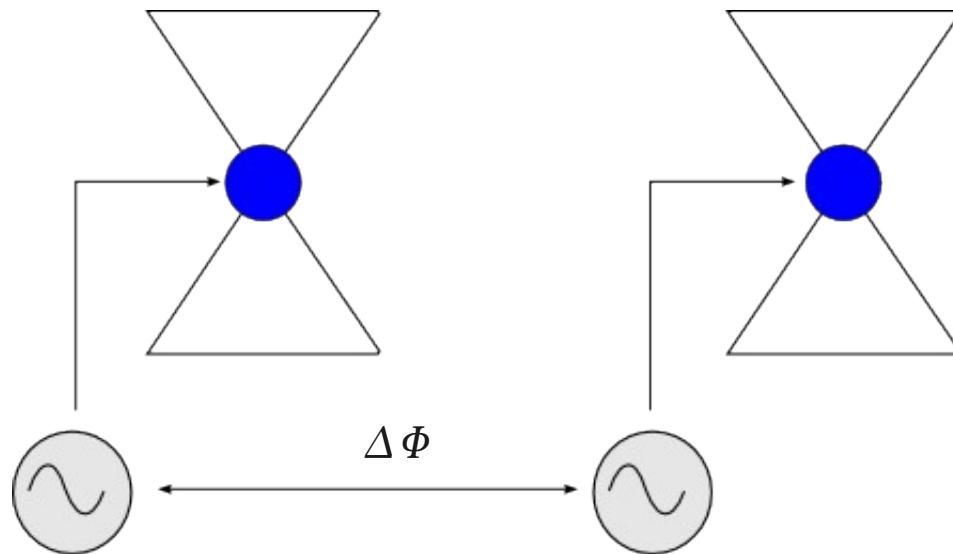
- Amplitud:  $A$  Ángulo de doblaje máximo
- Periodo:  $T$  Frecuencia de oscilación
- Fase inicial:  $\Phi$  Ángulo de doblaje inicial

En régimen permanente la fase inicial no tiene importancia

# Oscilación de varios módulos (I)

$$\varphi_1(t) = A \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \Phi_0\right)$$

$$\varphi_2(t) = A \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \Delta\Phi + \Phi_0\right)$$



**Nuevo parámetro:**

- Diferencia de fase:  $\Delta\Phi$

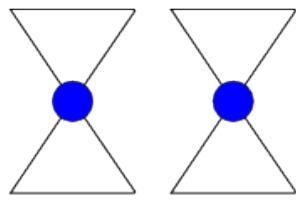
Establece el movimiento de un módulo relativo al otro

# Oscilación de dos módulos (II)

Demo

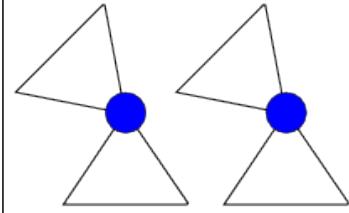
$\Delta\Phi=0$

$t=0$

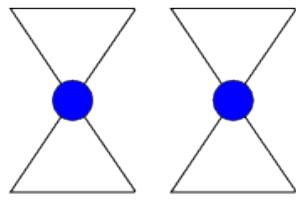


$\Delta\Phi=90$

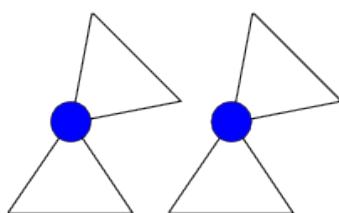
$t=T/4$



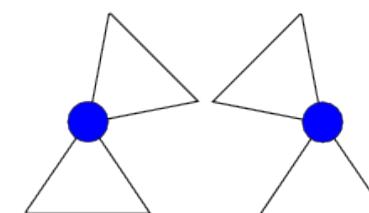
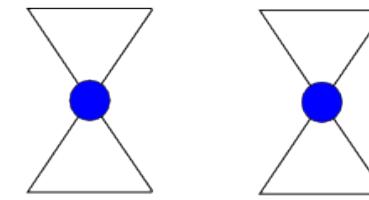
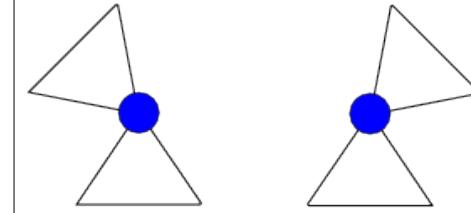
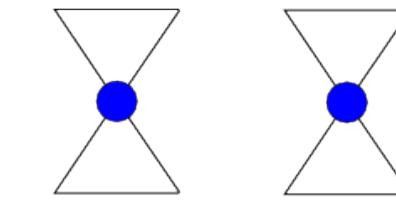
$t=T/2$



$t=3/2 T$



$\Delta\Phi=180$

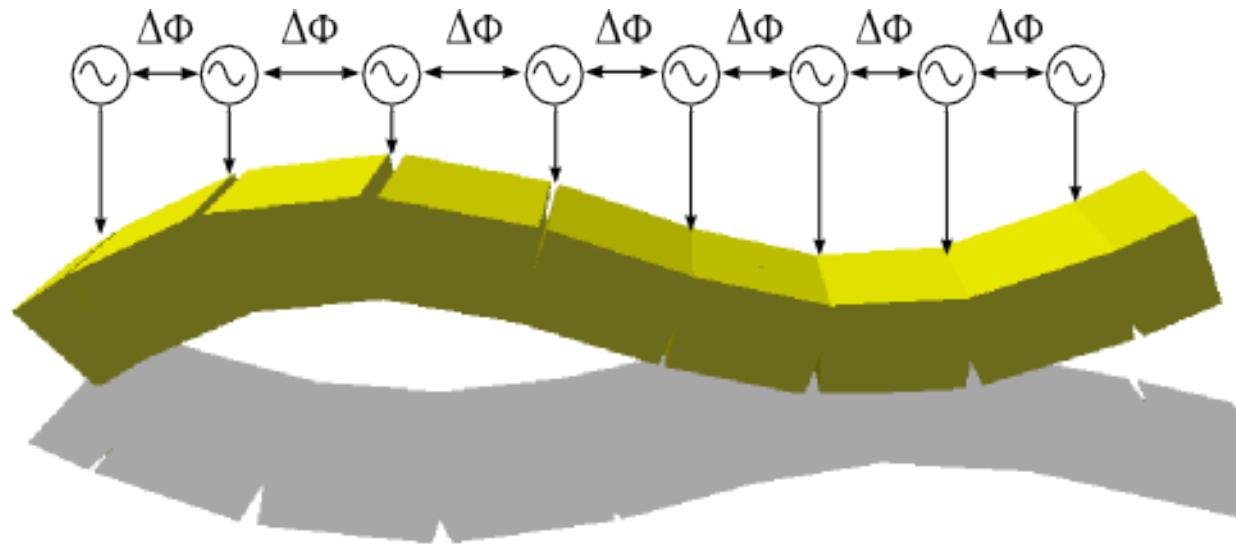


## Índice

1. Introducción
2. Módulos Y1
3. Osciladores
4. **Locomoción en 1D**
5. Locomoción en 2D
6. Simulación
7. Conclusiones y trabajos futuros

# Locomoción en 1D

## Modelo de control:



## Preguntas:

¿Modelo viable?

¿Cómo afectan los parámetros de los osciladores a la locomoción?

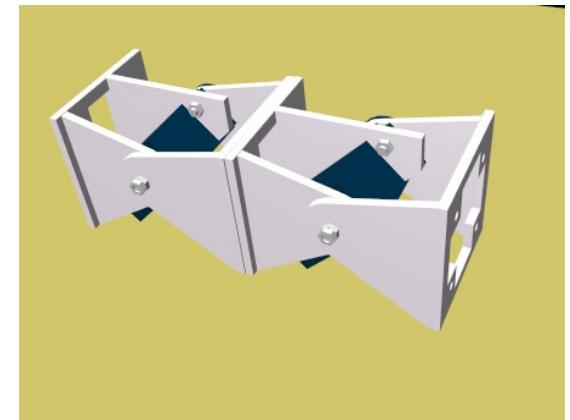
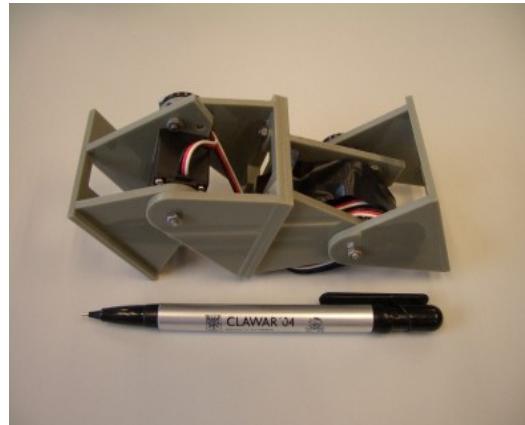
¿Cuál es el robot con el menor número de módulos que se desplaza?

# Minicube-I

Demostración

- **Morfología:**

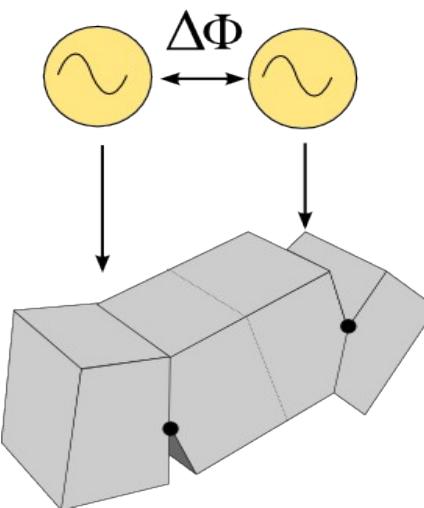
Dos módulos con conexión cabeceo-cabeceo



- **Control:**

- Dos generadores sinusoidales
- Parámetros:

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



# Minicube-I (I)

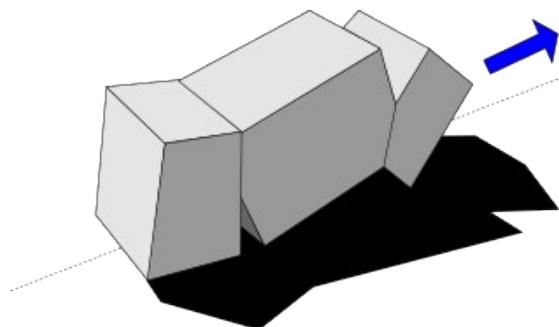
## Osciladores y locomoción:

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

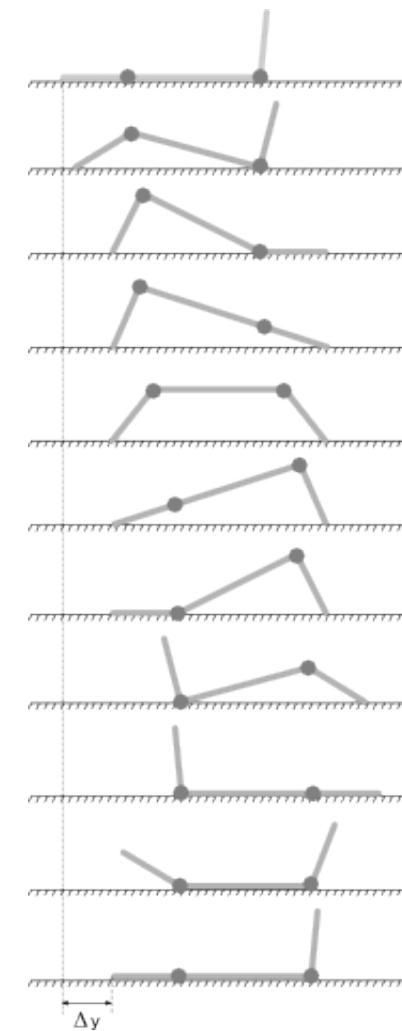
## Espacio de control

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

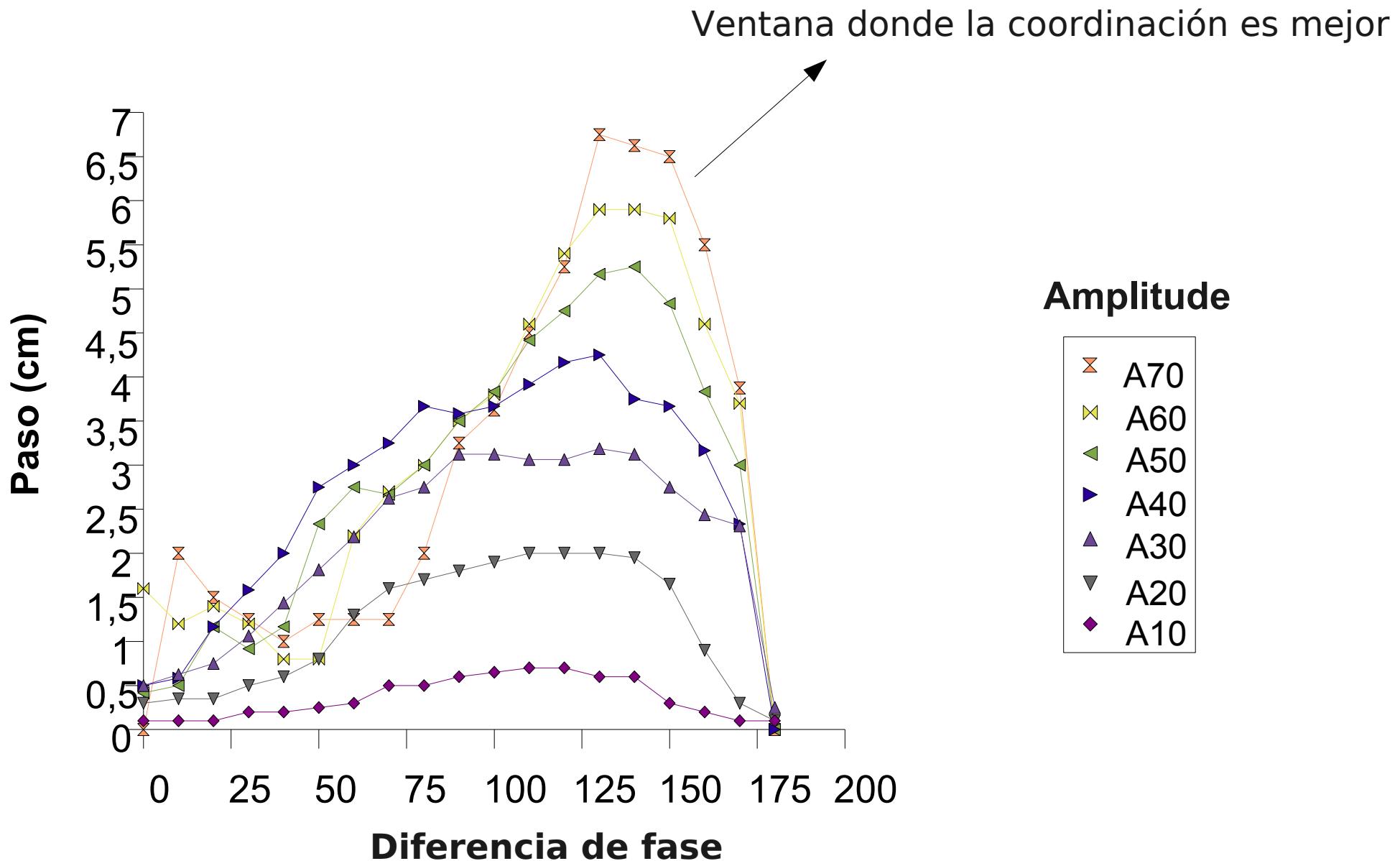
Valores típicos:  $A=40, \Delta\Phi=120$



Modelo alámbrico



# Minicube-I: Osciladores y locomoción

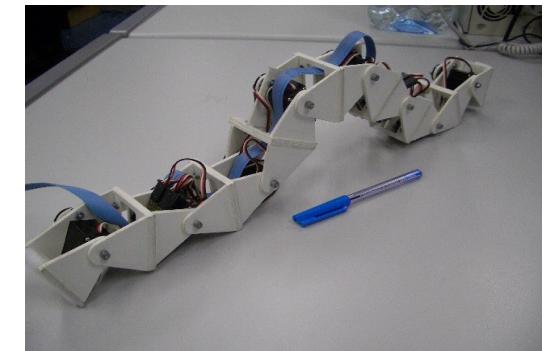
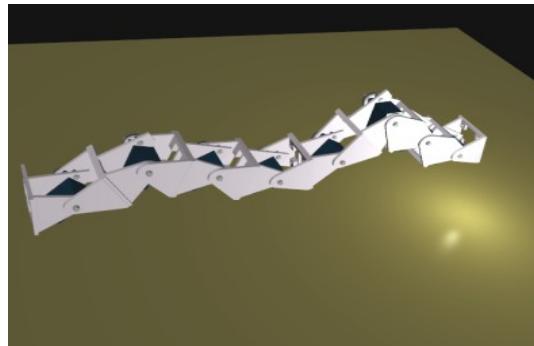


# Cube Revolutions (I)

Vídeo

- **Morfología:**

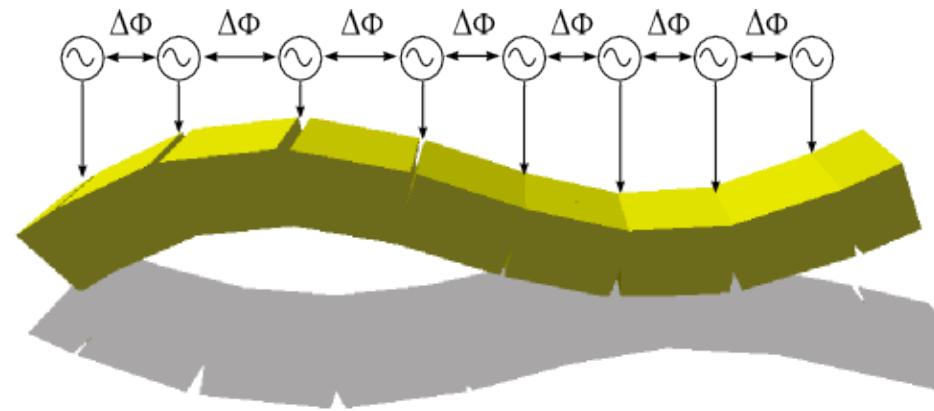
8 módulos con conexión  
cabeceo-cabeceo



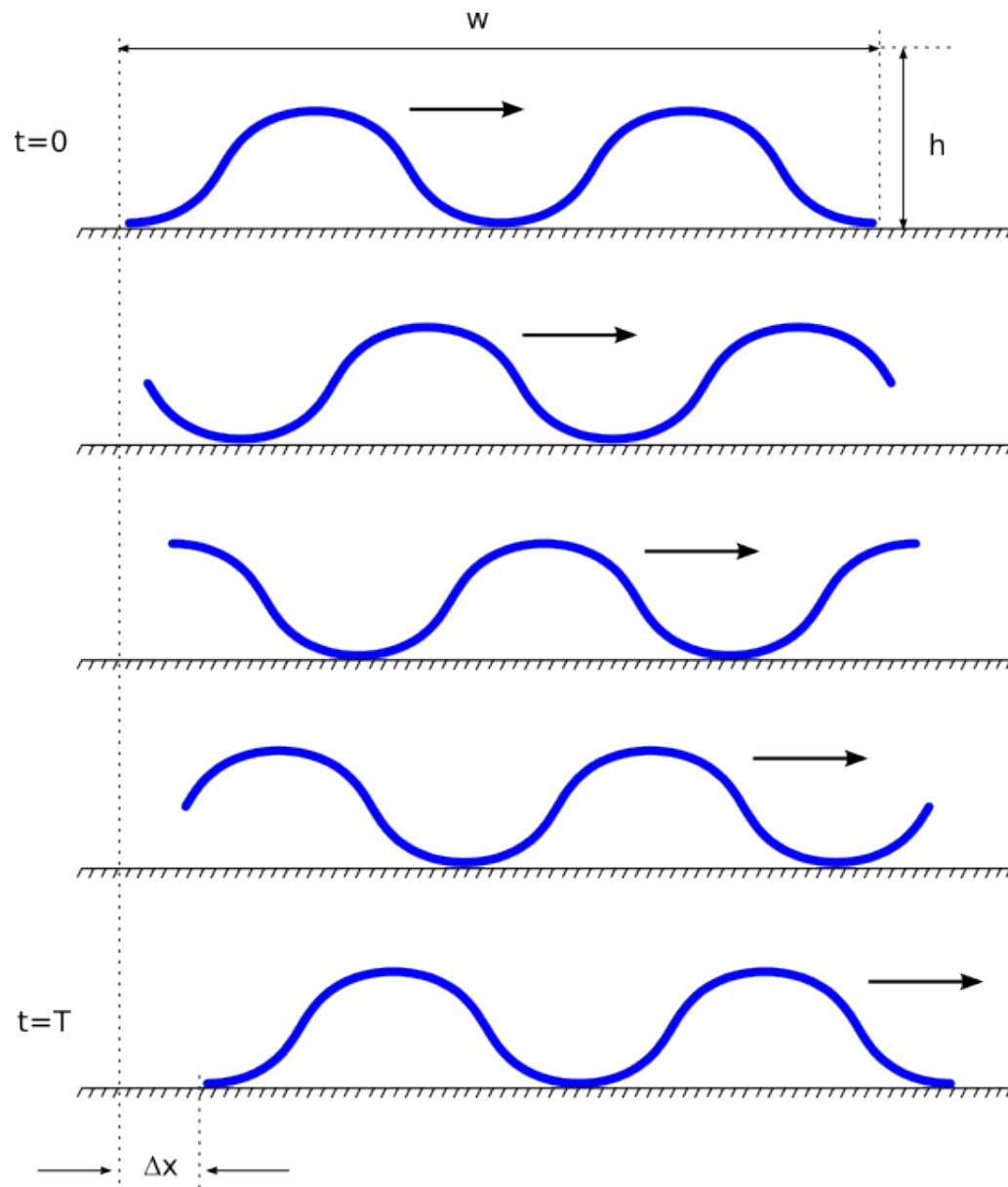
- **Control:**

- 8 generadores iguales
- Parámetros:

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



## Cube Revolutions (II)



**Mecanismo de locomoción:**

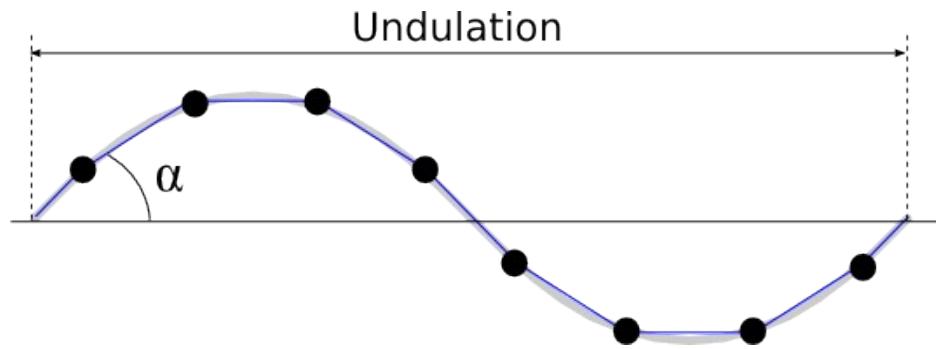
- Propagación de ondas

**Movimiento determinado  
por la onda**

# Cube Revolutions (III): forma de la onda

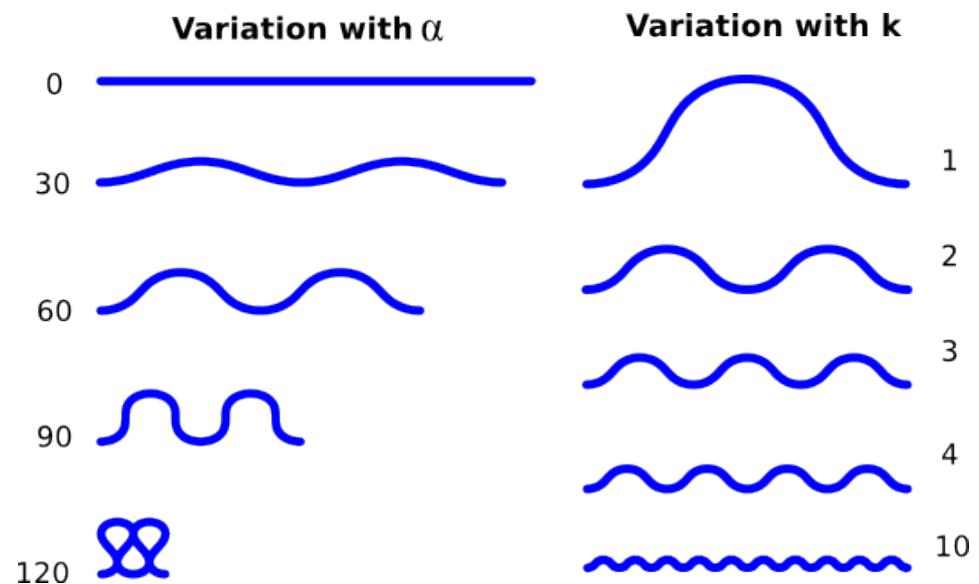
- **Curva serpentinoide**

- Generadores sinusoidales
- (Hirose, 1975)
- Aparece en las serpientes



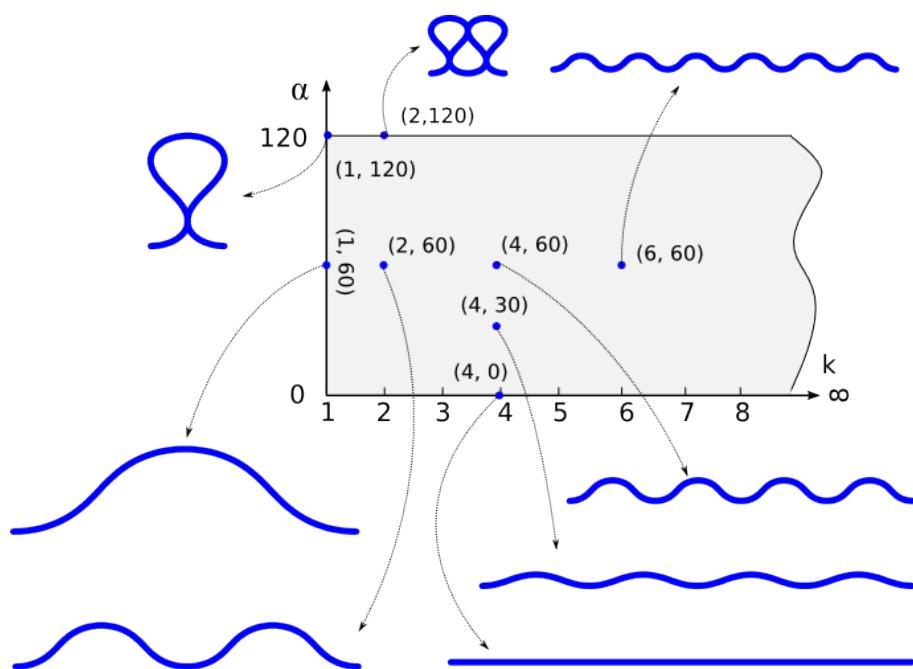
- **Parámetros:**

- Angulo de serpenteo:  $\alpha$
- Numero de ondulaciones: k

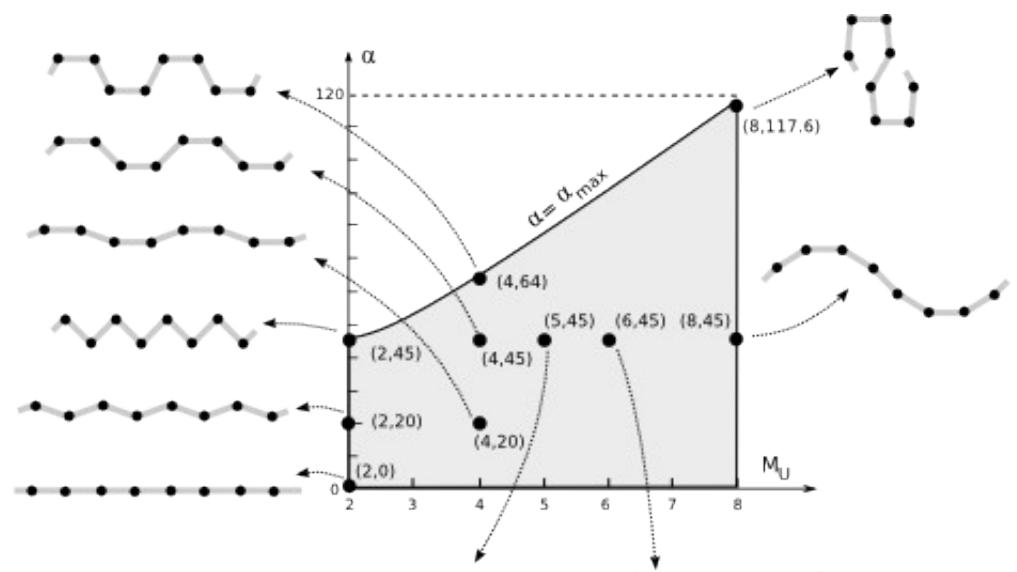


# Cube Revolutions (IV): Espacio de formas

**Continuo**



**Discreto**

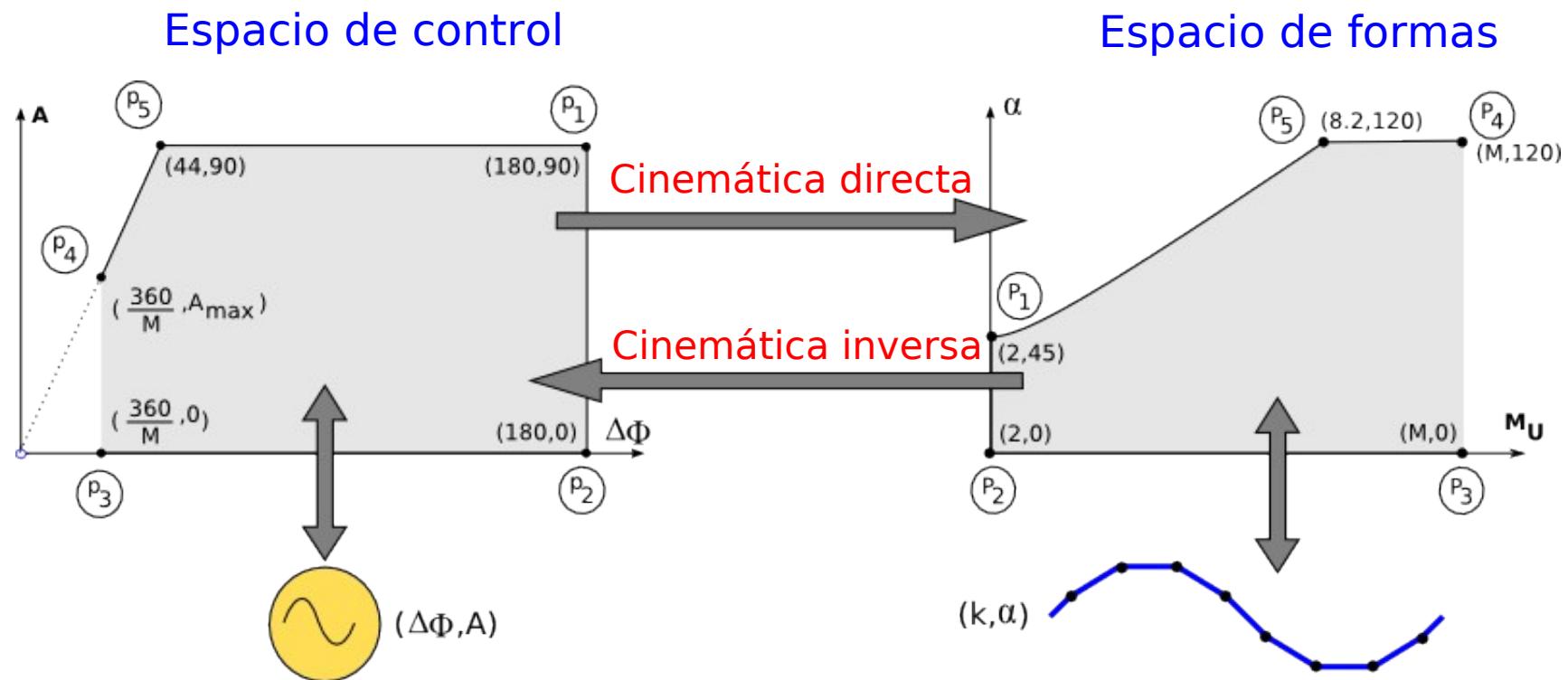


Ej.  $M=8$

$$M_u = \frac{M}{k}$$

# Cube Revolutions (V): Cinemática

- Transformaciones entre los espacios de control y de formas



# Cube Revolutions (V): Fórmulas

- Transformaciones:

$$A = 2\alpha \sin\left(\frac{\pi k}{M}\right) \quad \Delta \Phi = \frac{360 k}{M}$$

- Dimensiones del robot:

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

$$h = \int_0^{\frac{l}{4k}} \sin(\alpha \cos\left(\frac{2\pi k}{l} s\right)) ds$$

- Paso:

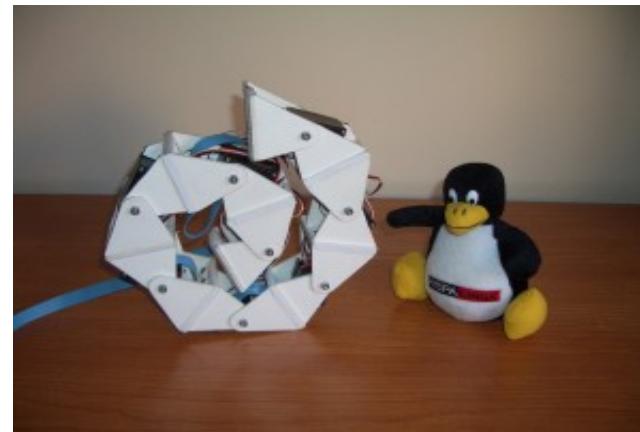
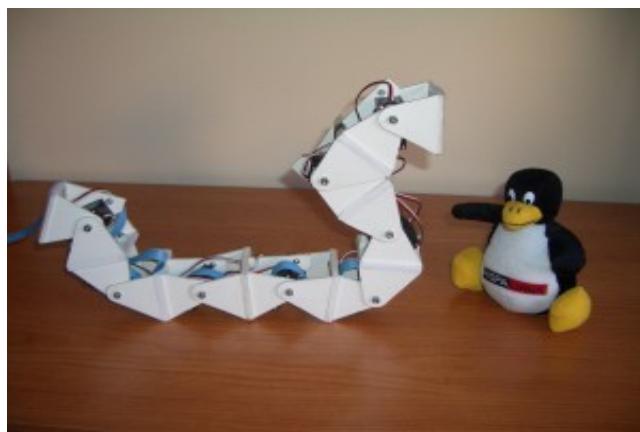
$$\Delta x = \frac{l}{k} - \int_0^{\frac{l}{k}} \cos(\alpha \cos\left(\frac{2\pi k}{l} s\right)) ds$$

No hay soluciones analíticas

## Cube Revolutions (II)

Vídeo

- Al tener más módulos el robot puede cambiar su forma
- Aparecen nuevas formas de desplazarse

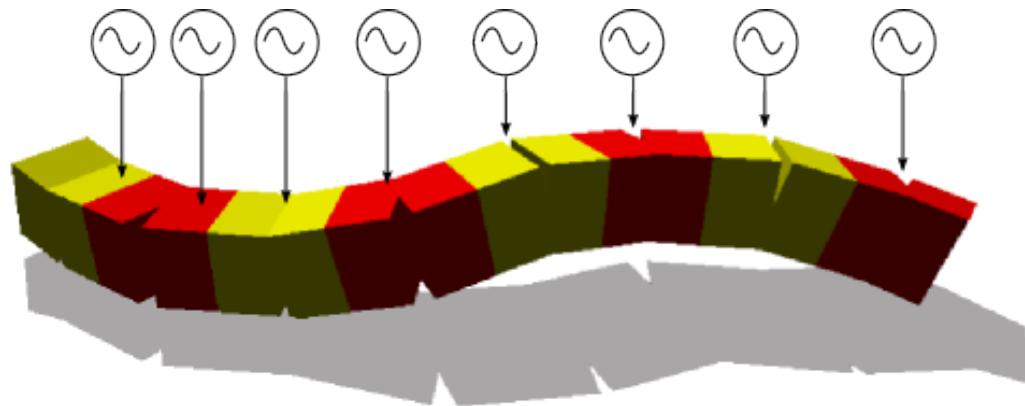


## Índice

1. Introducción
2. Módulos Y1
3. Osciladores
4. Locomoción en 1D
5. **Locomoción en 2D**
6. Simulación
7. Conclusiones y trabajos futuros

# Locomoción en 2D

## Modelo de control:



## Preguntas:

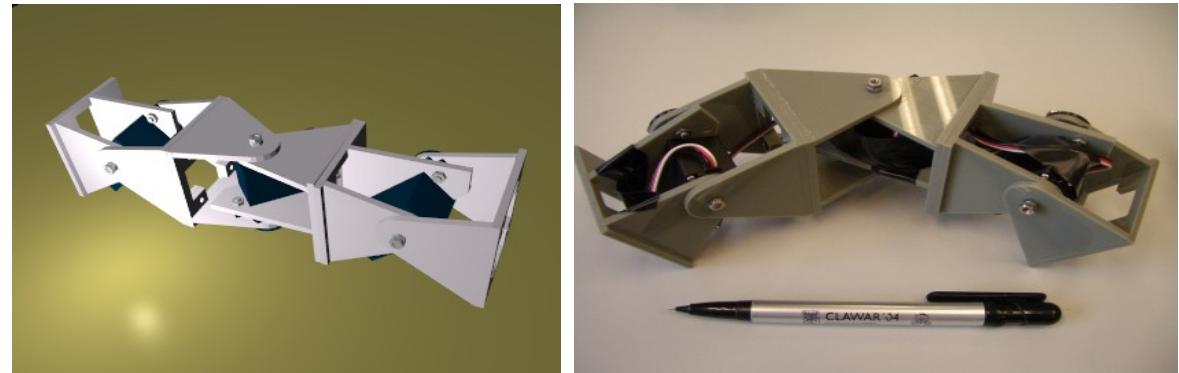
- ¿Modelo viable?
- ¿Cuantos modos de caminar aparecen?
- ¿Qué relación hay entre los osciladores y la locomoción?
- ¿Cuál es el robot con el menor número de módulos que se desplaza?

# Minicube-II

Demostración

- **Morfología:**

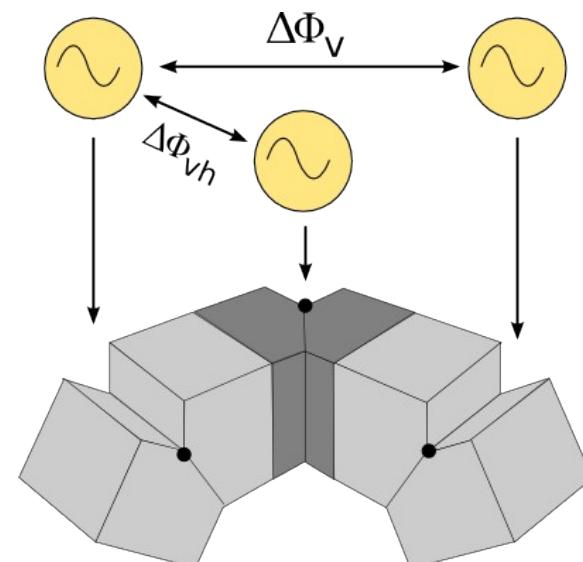
Tres módulos con conexión cabeceo-viraje



- **Control:**

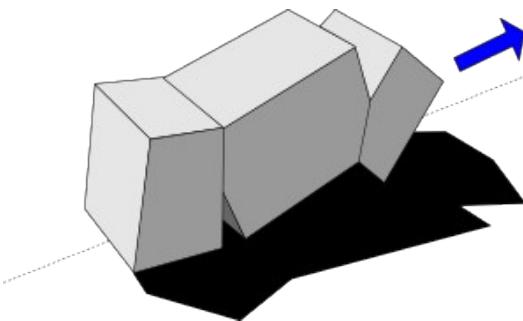
- Tres generadores sinusoidales
- Parámetros:

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



# Minicube-II (II)

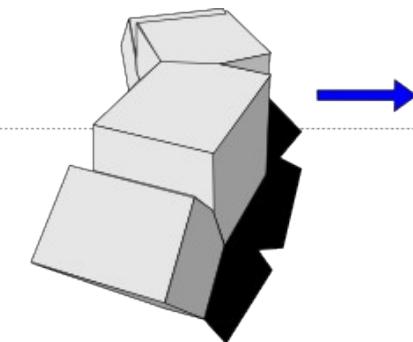
Línea recta



$$A_v = 40, A_h = 0$$

$$\Delta \Phi_v = 120$$

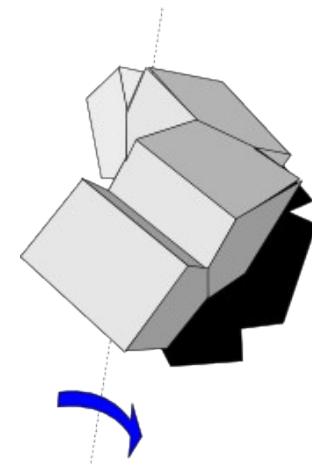
Desplazamiento lateral



$$A_v = A_h < 40$$

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

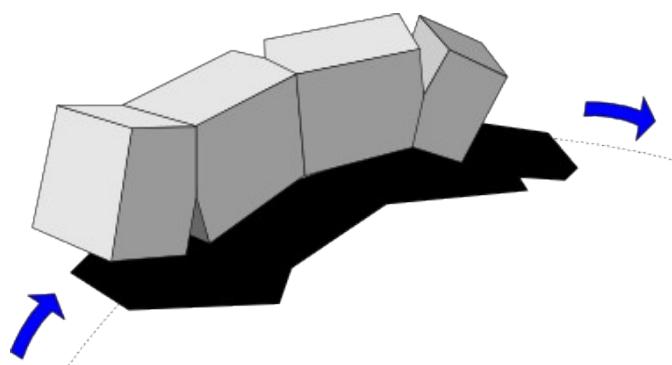
Radar



$$A_v = A_h > 60$$

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

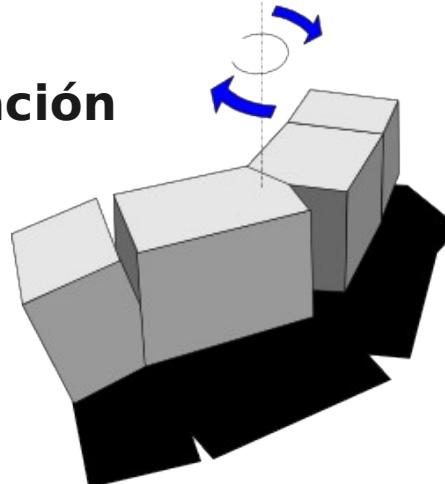
Arco



$$A_v = 40, A_h = 0$$

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

Rotación



$$A_v = 10, A_h = 40$$

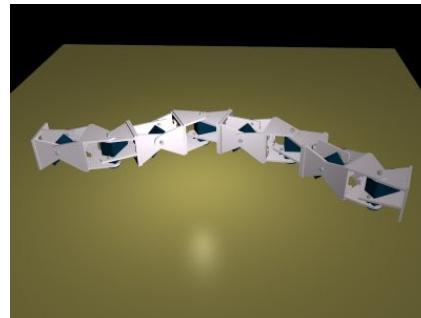
$$\Delta \Phi_{vh} = 90, \Delta \Phi_v = 180$$

# Hypercube (I)

Demostración

- **Morfología:**

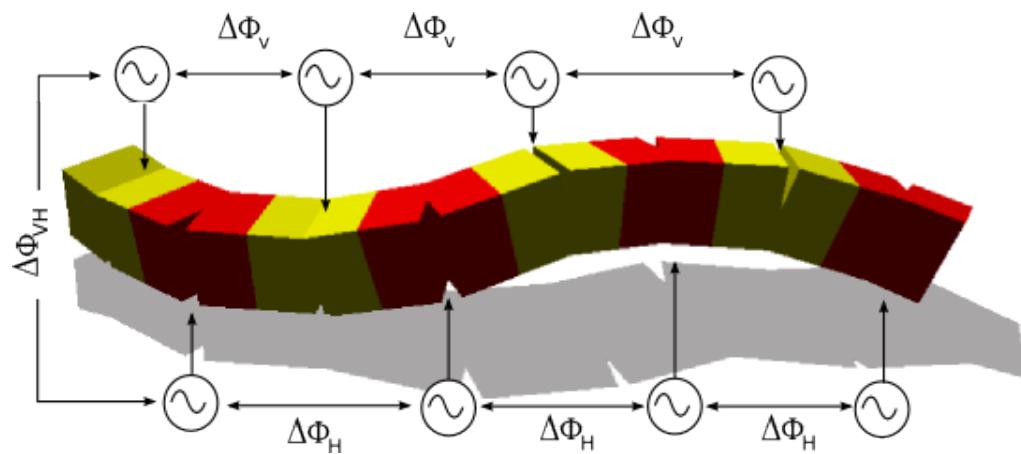
8 módulos con conexión  
cabeceo-viraje



- **Control:**

- 8 generadores iguales
- Parámetros:

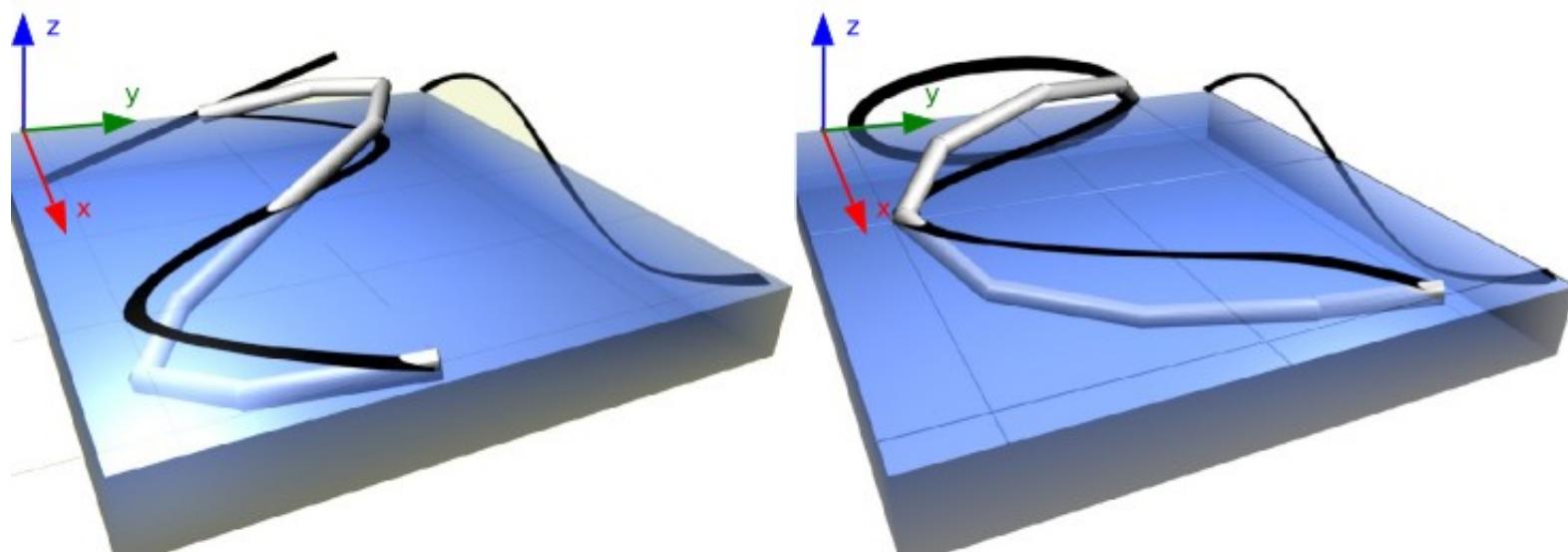
$$A_h, A_v, \Delta\Phi_h, \Delta\Phi_v, \Delta\Phi_{vh}, T$$



# Hypercube (II)

## Mecanismo de locomoción

- Onda corporal tridimensional



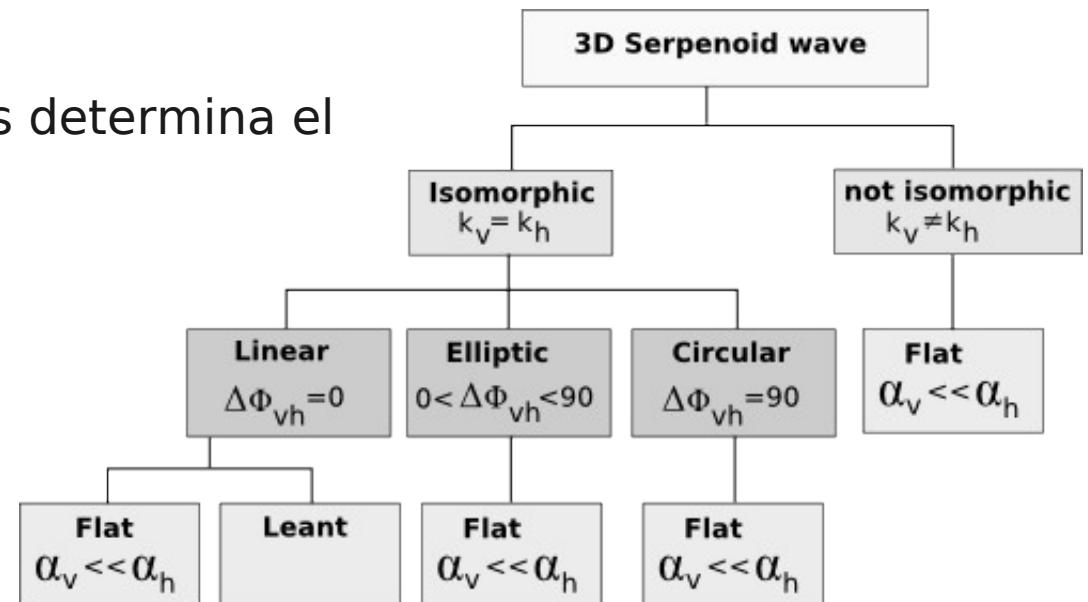
# Hypercube (III)

- Superposición de dos ondas serpentínoides
  - Onda vertical:  $\alpha_v, k_v$
  - Onda horizontal:  $\alpha_h, k_h$
  - Diferencia de fase:  $\Delta\Phi_{vh}$
- La relación entre los parámetros determina el tipo de onda

Espacio de formas  
de **5 dimensions**

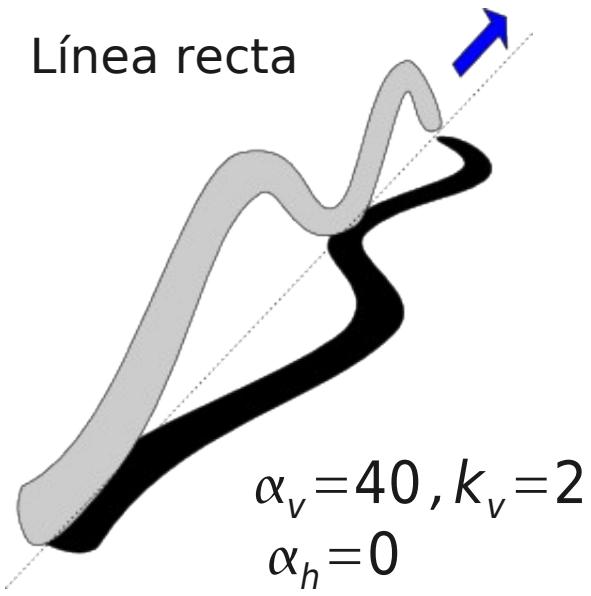
$$\alpha_v, \alpha_h, k_v, k_h, \Delta\Phi_{vh}$$

## TYPE OF WAVES



# Hypercube (III)

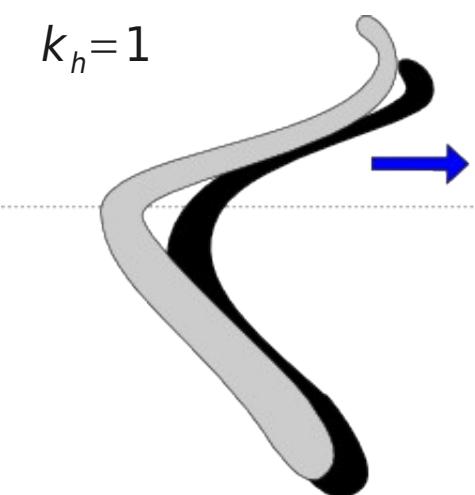
Línea recta



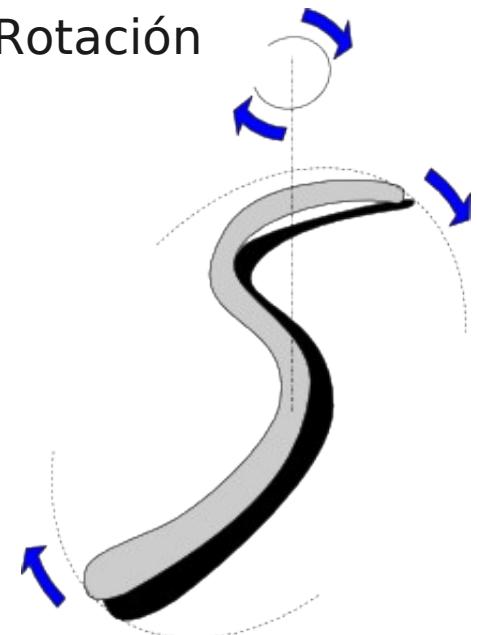
Desplazamiento lateral

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

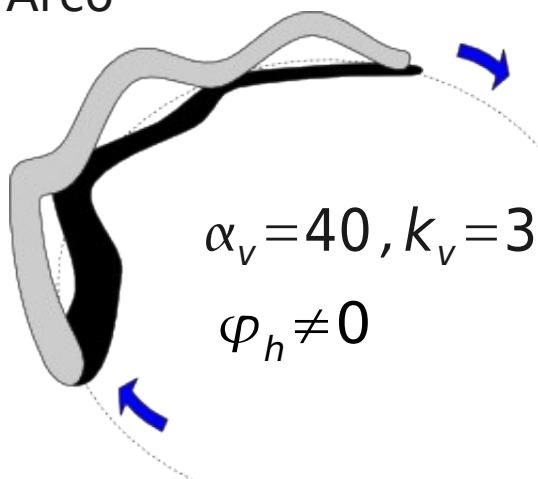
$$k_h = 1$$



Rotación

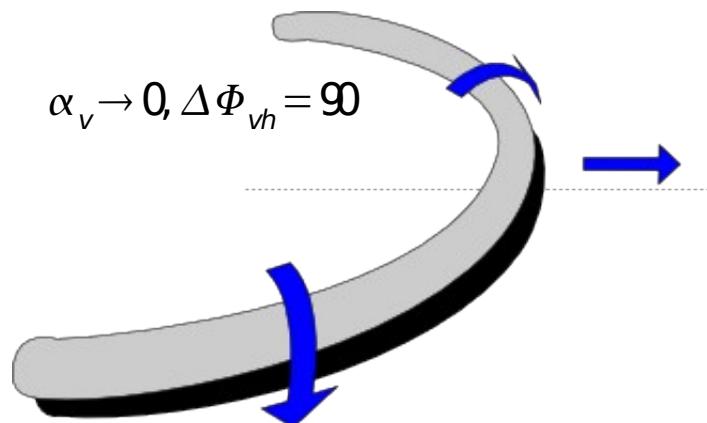


Arco



Rodar

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



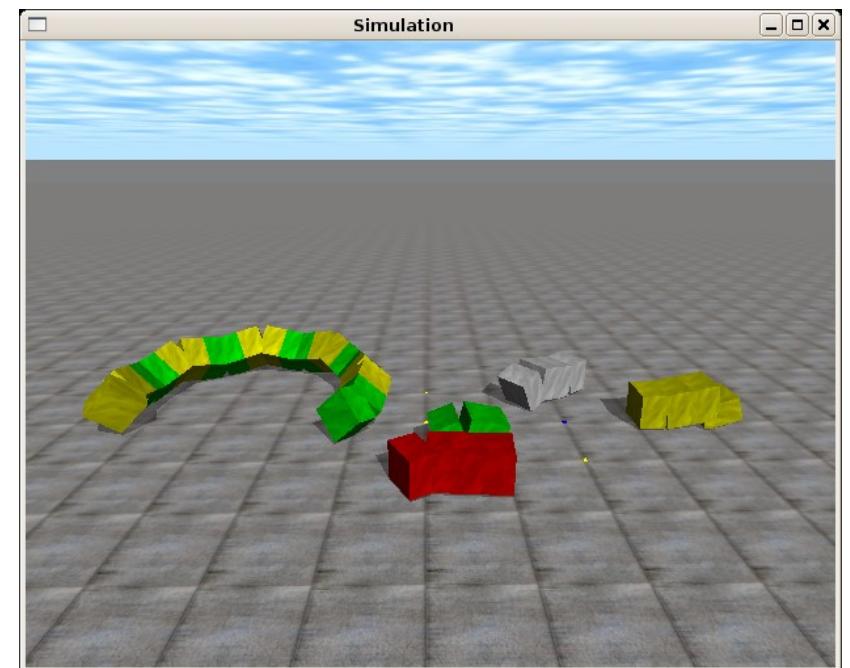
## Índice

1. Introducción
2. Módulos Y1
3. Osciladores
4. Locomoción en 1D
5. Locomoción en 2D
6. **Simulación**
7. Conclusiones y trabajos futuros

# Simulación (I)

¿Cómo hemos encontrado las soluciones?

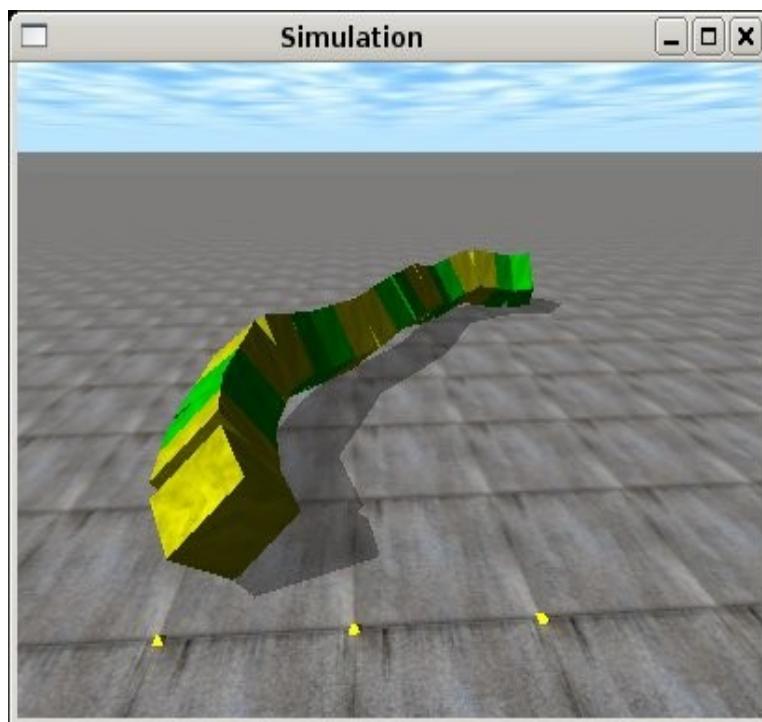
- Búsquedas en los espacios de control
- Utilización de algoritmos genéticos (PGApack)
- Función de evaluación: Paso del robot
- Motor físico: Open Dynamics Engine (ODE)
- Descarte de soluciones
- **Comprobación en robots reales**



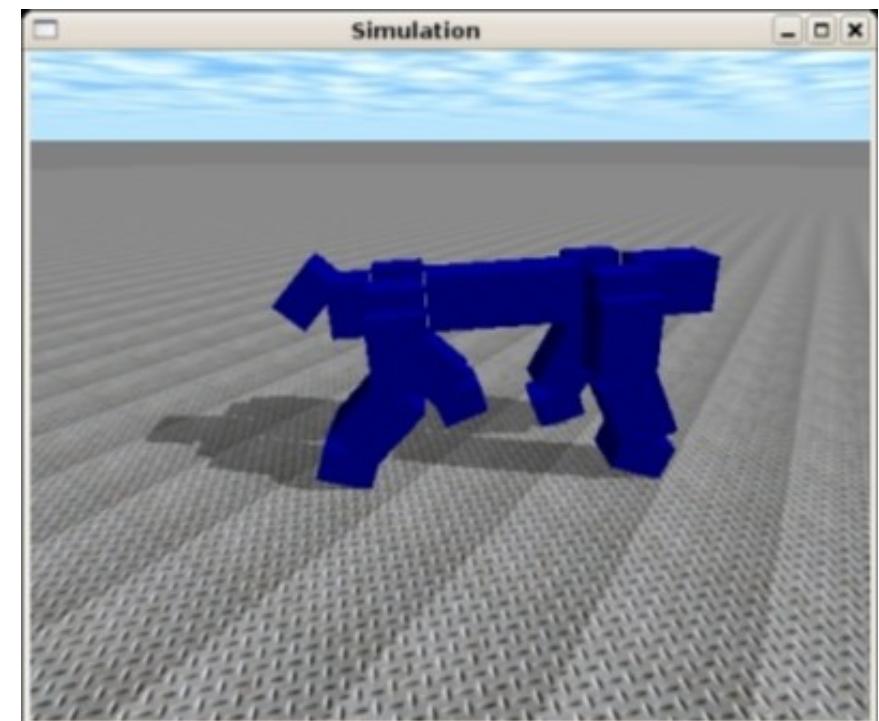
# Simulación (II)

Demostración

RTK



MRSuite



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

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

## índice

1. Introducción
2. Módulos Y1
3. Osciladores
4. Locomoción en 1D
5. Locomoción en 2D
6. Simulación
7. **Conclusiones y trabajos futuros**

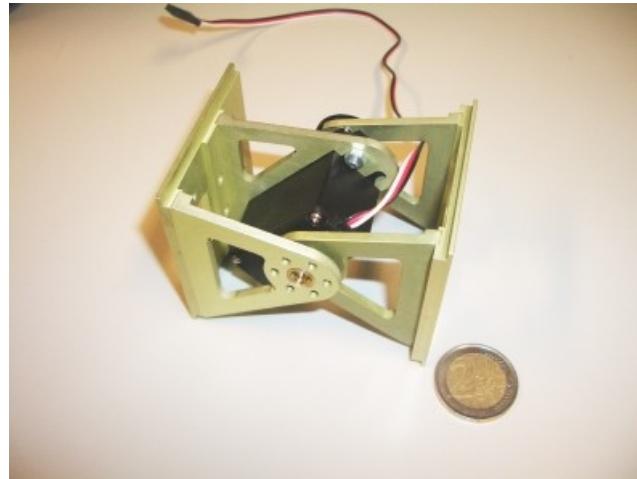
# Conclusiones

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

# Módulos GZ-I

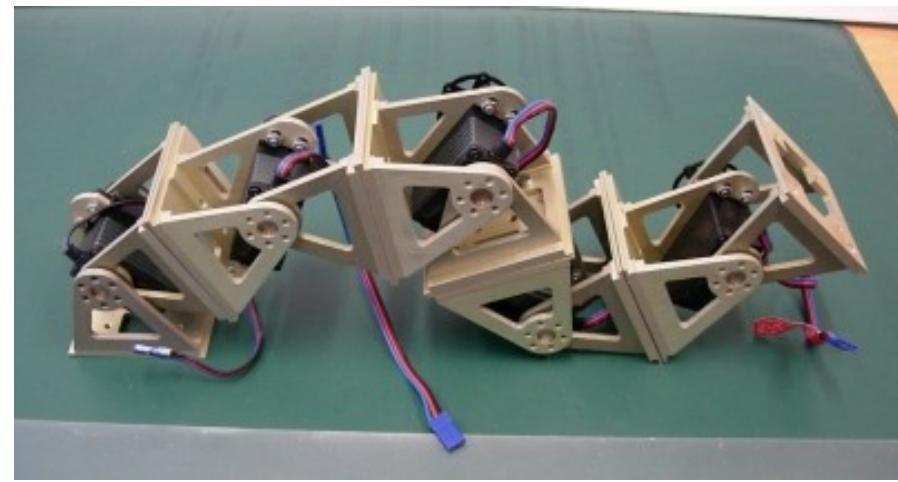
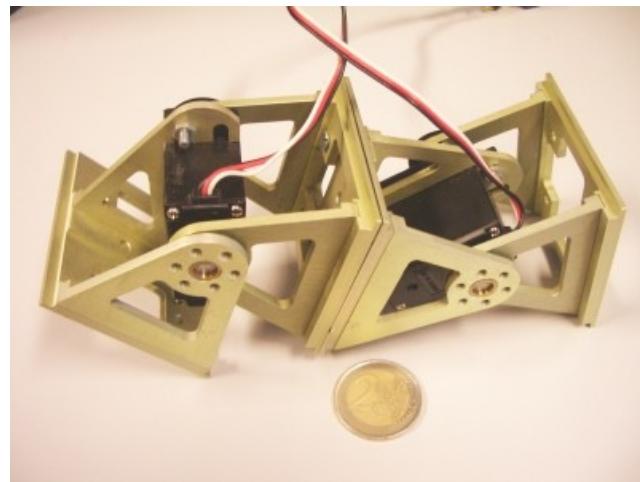
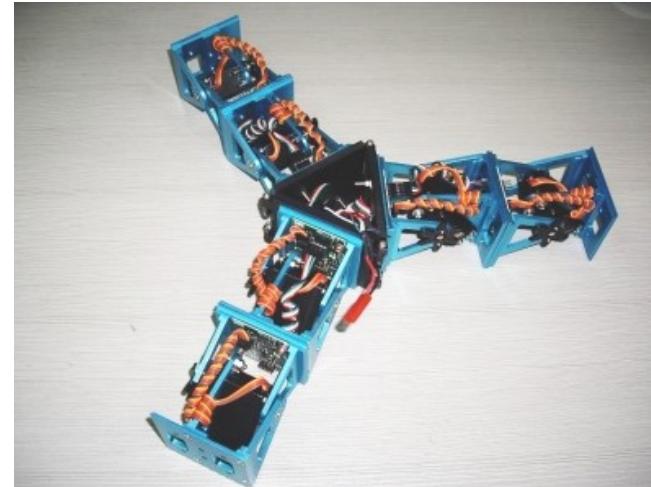
- **Módulos GZ-I:** en desarrollo
- Colaboración con el grupo TAMS de la Universidad de Hamburgo (Alemania)
- Jefe del proyecto: Dr. Houxiang Zhang



# Módulos GZ-I

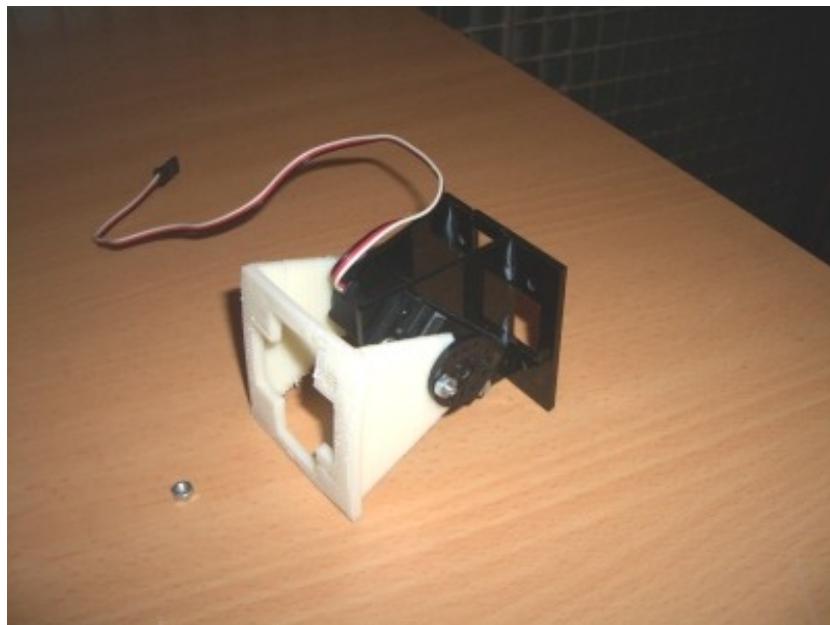
Vídeo

- Electrónica integrada en los módulos
- Hechos de aluminio
- Construcción de diferentes topologías de robots modulares

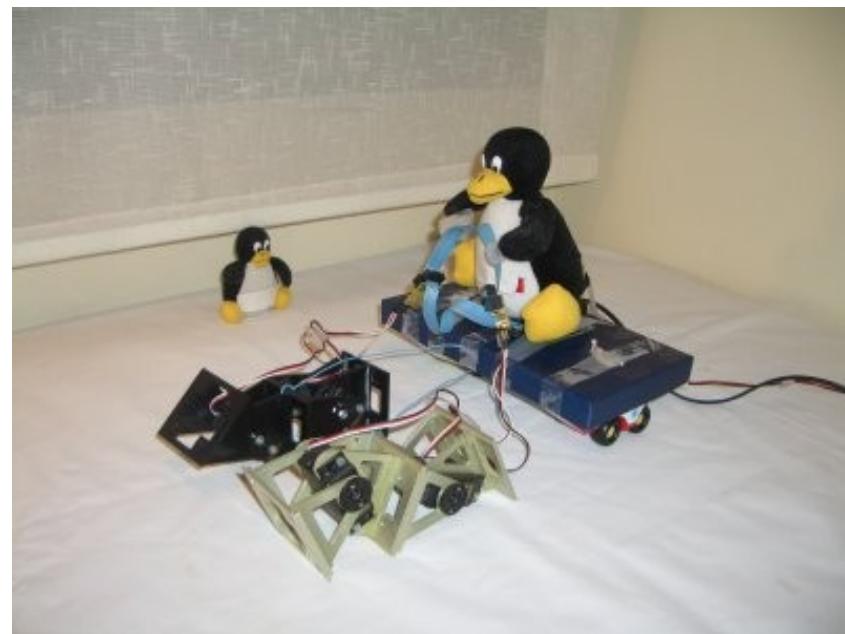
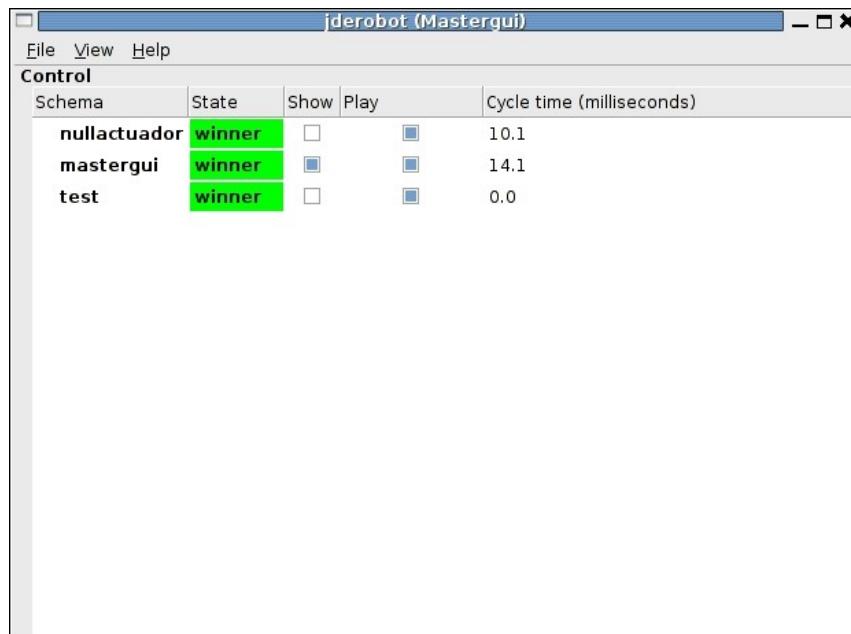


# Módulos REPY-1

- En construcción
- Módulos “imprimibles” usando una impresora 3D
- Pruebas realizadas con **REPRAP**.



- Integrar soporte para robots modulares en JDERobot
  - Drivers para **robots reales** (Skypic)
  - Drivers para **robots simulados**
- Esto permitirá abordar el nivel superior de la locomoción



# Nuevos interfaces con los robots

Y un poco de **robótica friki** para terminar  
:-)

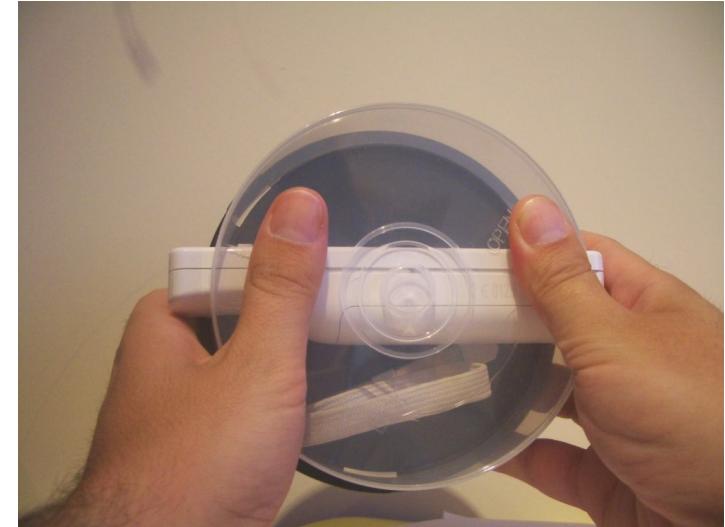
**Wiimote**



**Wiiboard**



**Tarri-wheel**



**Que el frikismo os acompañe...**



**Muchas gracias por vuestra atención**

**:-)**

# Robótica Modular y Locomoción



**Juan González Gómez**  
Escuela Politécnica Superior  
Universidad Autónoma de Madrid

