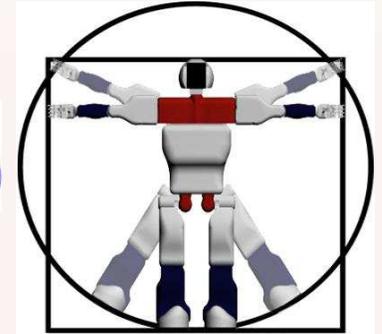




Robotics Lab



# Robótica humanoide. Los robots HOAP-3 y RH-2

Miguel González-Fierro

# Índice

- ¿Por qué robots humanoides?
- Algunos robots humanoides
- Robots humanoides en la UC3M
- Control de robots humanoides
  - Cinemática
  - Dinámica
  - Locomoción
  - Criterio de estabilidad
  - Planificación de movimientos
  - Simuladores
- Conclusiones y discusión

# ¿Por qué robots humanoides?



Construction industry



Surveillance - Reception



Factory

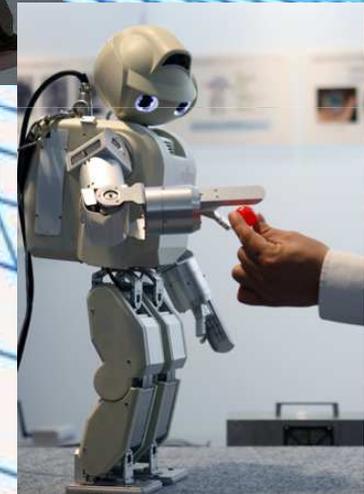
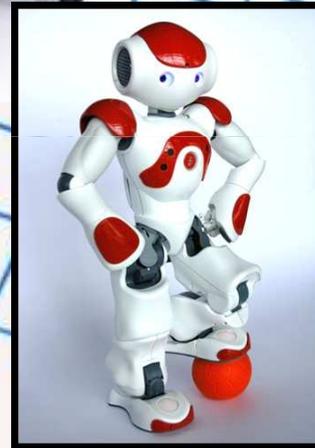


Defense - Rescue



Space

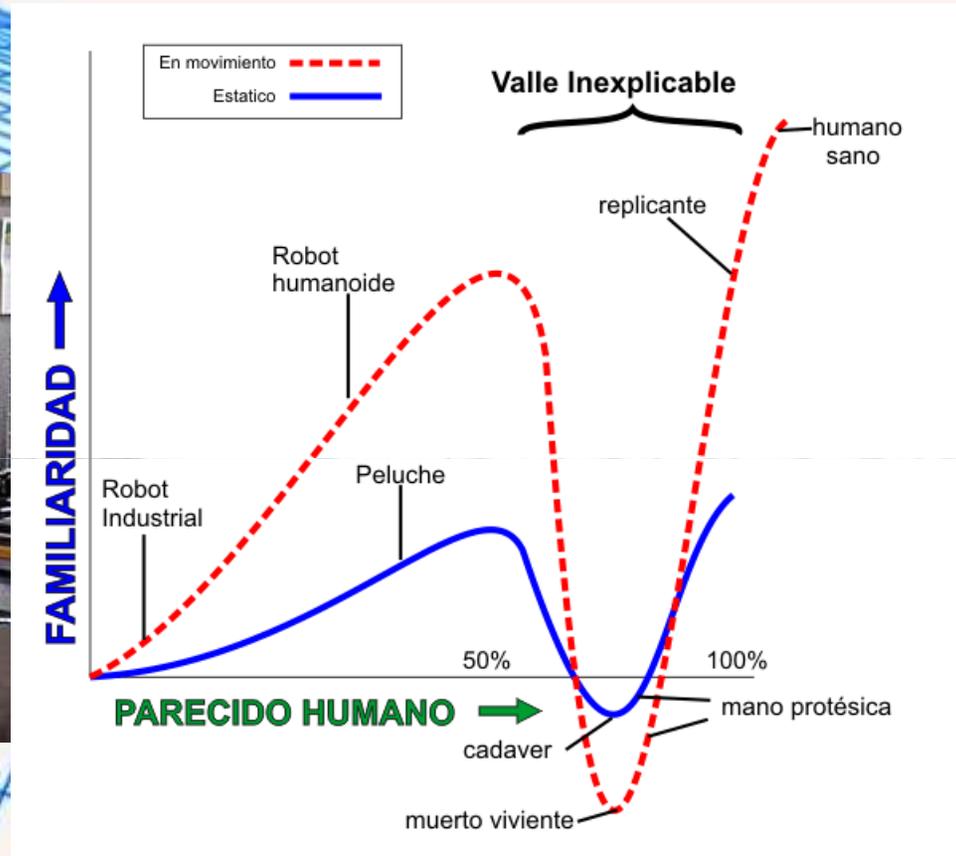
# Minihumanoides



# Androides

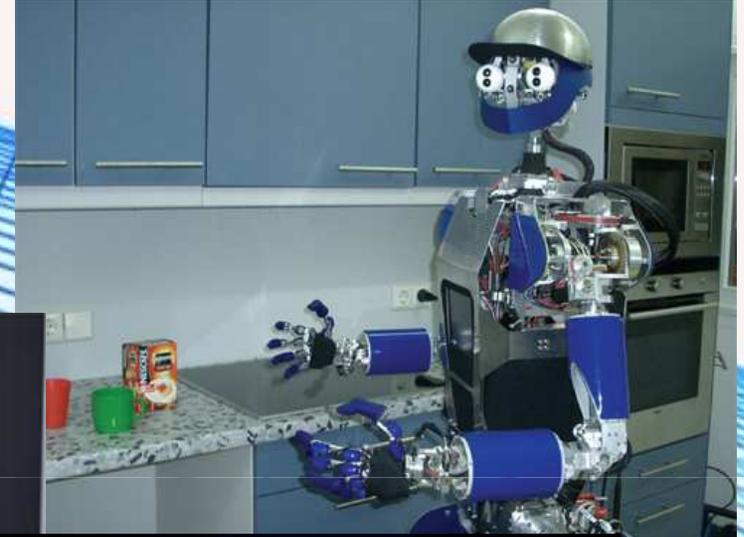


# Androides

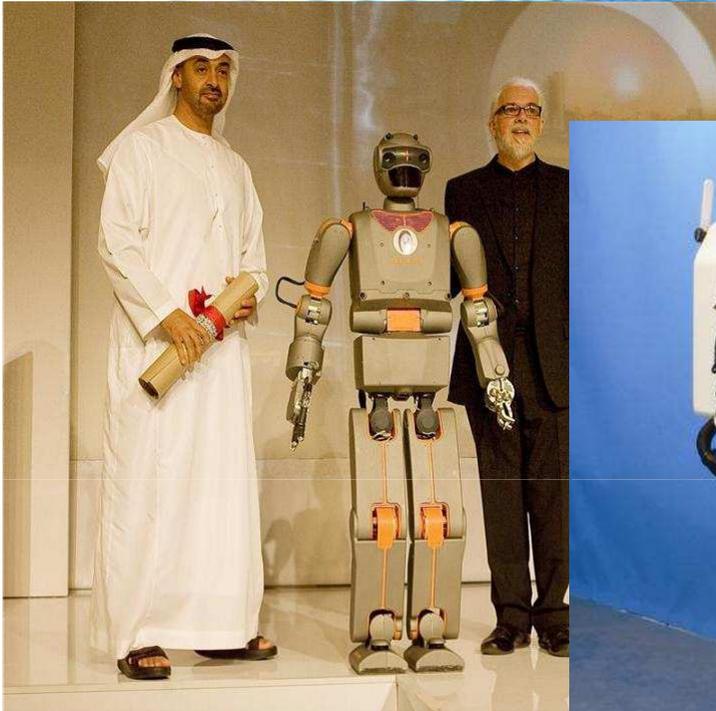


Uncanny valley – M. Mori (1970)

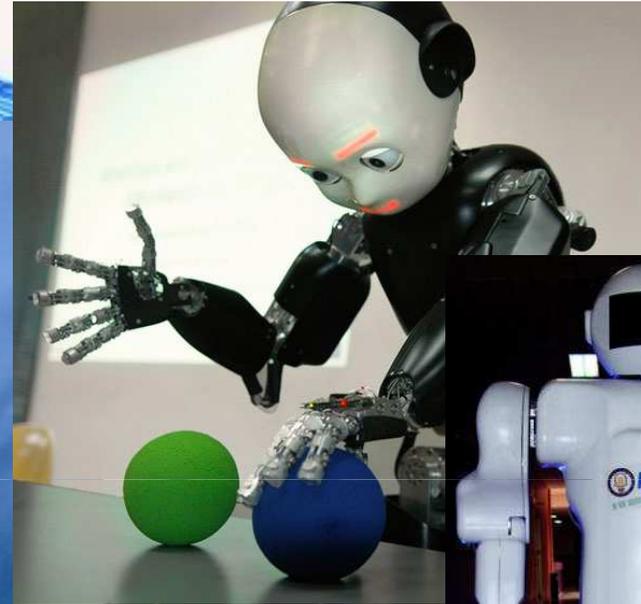
# Robots humanoides



# Robots humanoides

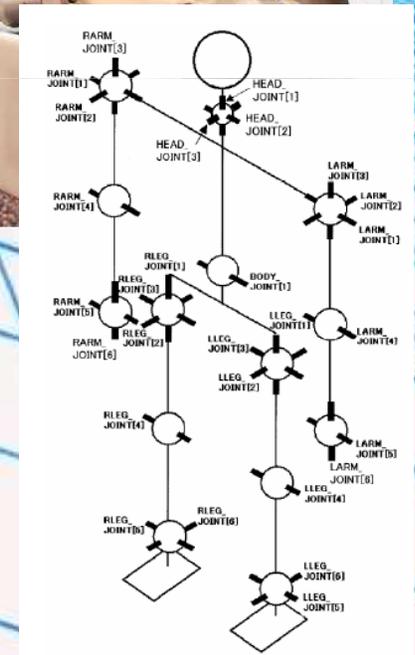
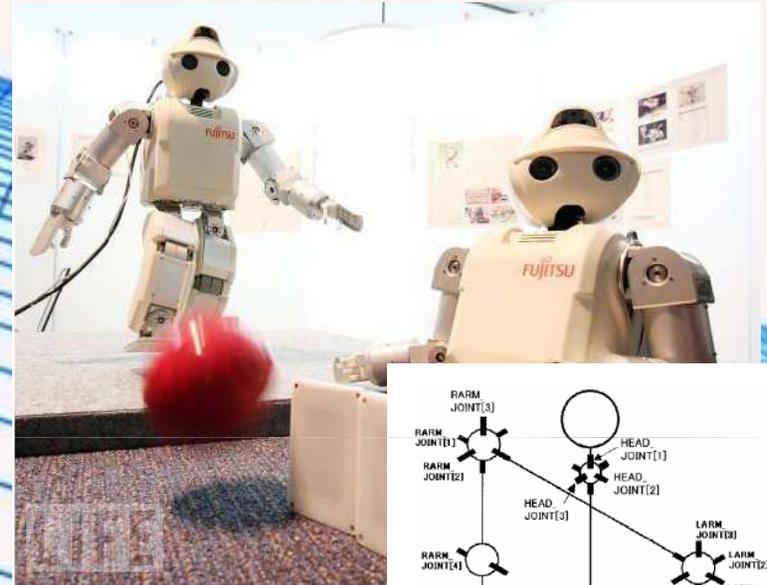


Copyright (C) 2005 Takanishi Lab.



# HOAP-3

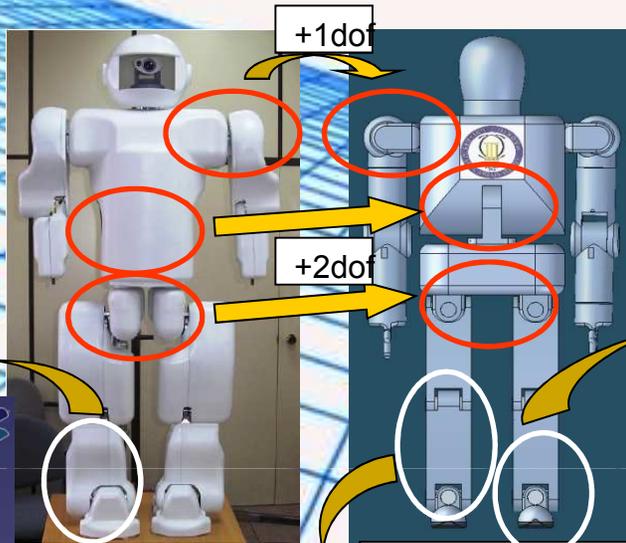
- 28 DoF
- 60 cm
- 8,8 Kg
- Pentium 1.1 Ghz, 512 Mb
- RT Linux
- FSRs en pies y manos
- Visión estéreo
- Acelerómetros y giróscopos
- Infrarrojos



# RH-1 / RH-2

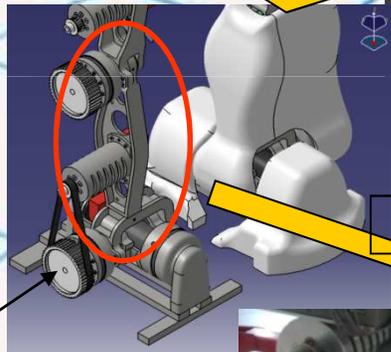
**RH-1:**

- 50Kg
- 150cm
- 21 DoF
- 500gr Manip.



**RH-2:**

- 60Kg (est.)
- 160cm
- 25 DoF
- 2Kg Manip.

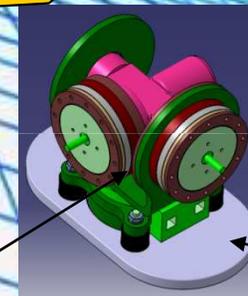
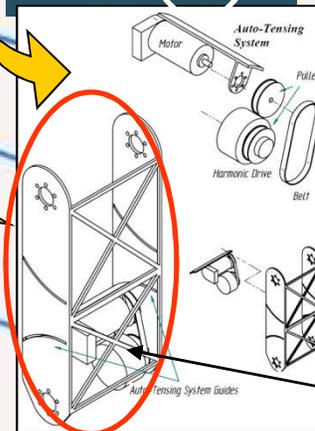


No hay sensor.  
Estructura  
rígida en pie



Tensor  
necesario

Diferente estructura



Sensor F/T

Absorbe el impacto  
de la pisada

Tensor automático.  
No hay pérdidas de potencia

# Control de robots

## Interacción humano-robot

Seguridad y fiabilidad

Recibir y ejecutar órdenes

## Planificación de tareas

Visión / Sensores

Manipulación

SLAM

## Control de movimiento

Cinemática

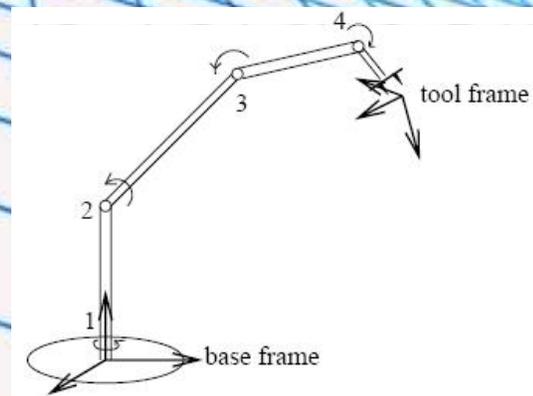
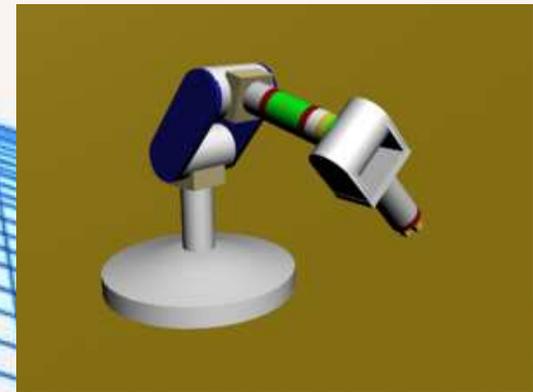
Dinámica

Estabilidad



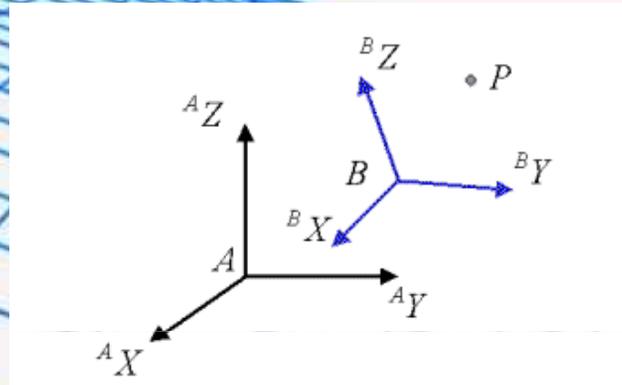
# Cinemática

- Cadena cinemática
  - Eslabón
  - Articulación
  - N° de grados de libertad
- Es necesario conocer la orientación y posición del extremo (end effector) respecto de la base.
- Existen distintas herramientas matemáticas: matrices de transformación, ángulos de Euler, cuaternios...



# Matrices de transformación

$$Trans = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & l_x \\ 0 & 0 & 0 & l_y \\ 0 & 0 & 0 & l_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

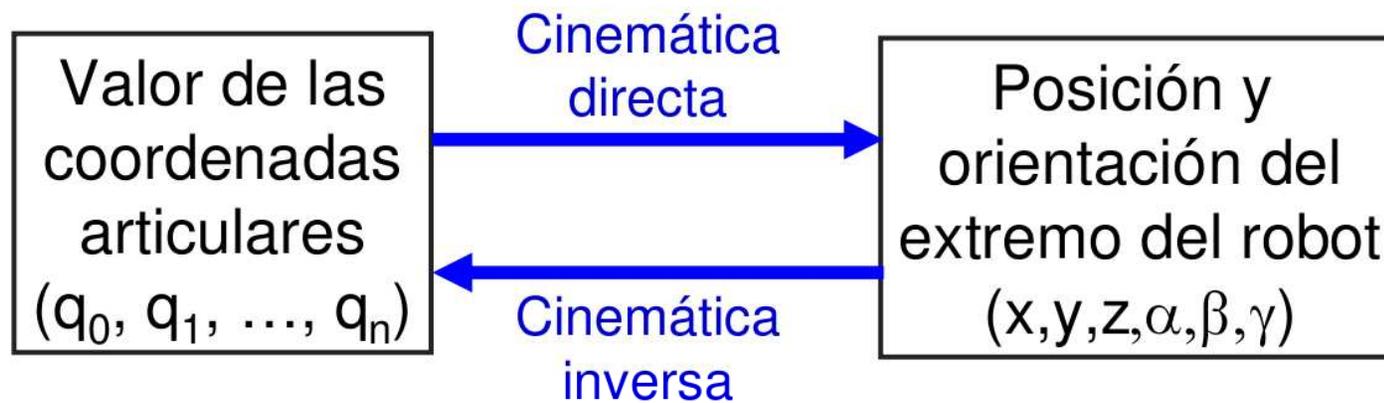


$$RotX(\theta) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 \\ 0 & \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$RotY(\theta) = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & 0 & -\sin(\theta) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin(\theta) & 0 & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$RotZ(\theta) = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 & 0 \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

# Cinemática directa e inversa



Cinemática directa



Denavit-Hartenberg

Cinemática inversa



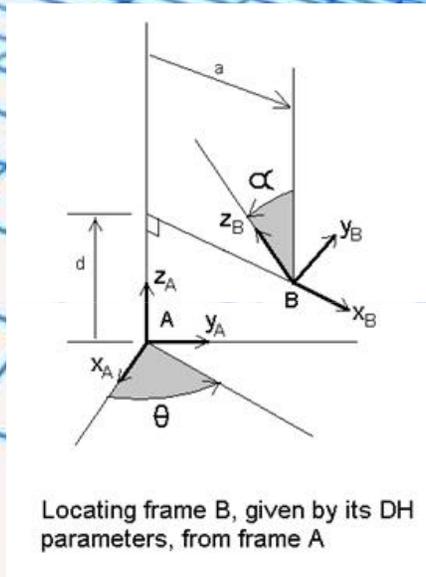
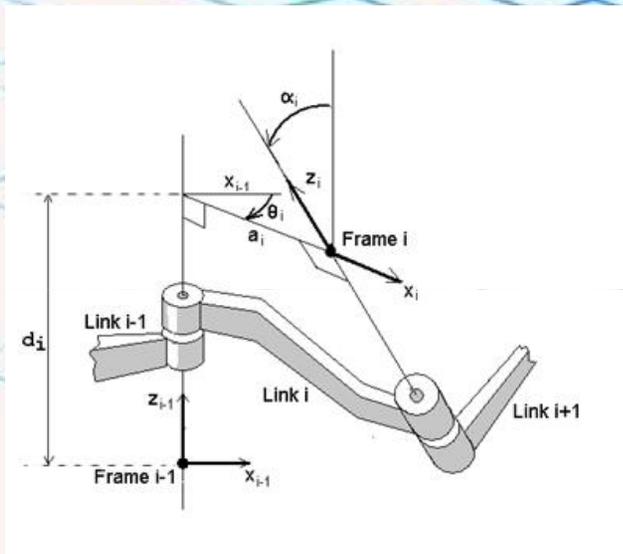
Pseudoinversa

# Parámetros Denavit-Hartenberg

Cinemática directa



Denavit-Hartenberg

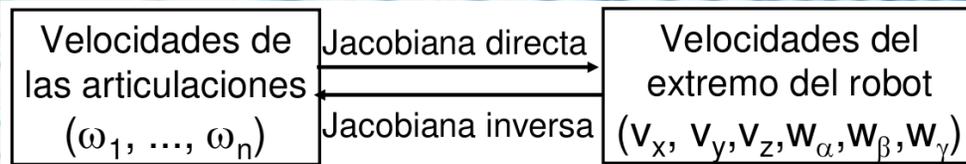


$${}^{i-1}A_i = \begin{bmatrix} C\vartheta_i & -C\alpha_i S\vartheta_i & S\alpha_i S\vartheta_i & a_i C\vartheta_i \\ S\vartheta_i & C\alpha_i C\vartheta_i & -S\alpha_i C\vartheta_i & a_i S\vartheta_i \\ 0 & S\alpha_i & C\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_n = {}^0A_n = {}^0A_1 \cdot {}^1A_2 \cdot {}^2A_3 \cdot \dots \cdot ({}^{n-1})A_n$$

- En robótica se expresan las coordenadas de una articulación en función de las de la anterior.
- Mediante sólo 4 parámetros define completamente la posición y orientación de  $(a, \alpha, d, \theta)$ .

# Matriz Jacobiana



$$\mathbf{r} = [\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, \mathbf{r}_3, \dots, \mathbf{r}_m]^T$$

$$\mathbf{q} = [q_1, q_2, q_3, \dots, q_n]^T$$

$$\mathbf{r}_i = \mathbf{f}_i(q_1, q_2, q_3, \dots, q_n) \quad i=1..m$$

$$\mathbf{J} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial q_1} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial q_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_m}{\partial q_1} & \dots & \frac{\partial f_m}{\partial q_n} \end{bmatrix}$$

Relaciona las velocidades articulares con velocidades cartesianas del end-effector.

$$\dot{\mathbf{r}}^T = \mathbf{J} \dot{\mathbf{q}}^T$$

# Pseudoinversa

Cinemática inversa



Pseudoinversa

$$\omega(t) = \dot{q}(t) = J^{-1} \cdot \dot{r}(t) = J^{-1} \cdot v(t)$$

$$J^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{\partial g_1}{\partial r_1} & \dots & \frac{\partial g_1}{\partial r_m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial g_n}{\partial r_1} & \dots & \frac{\partial g_n}{\partial r_m} \end{bmatrix}$$

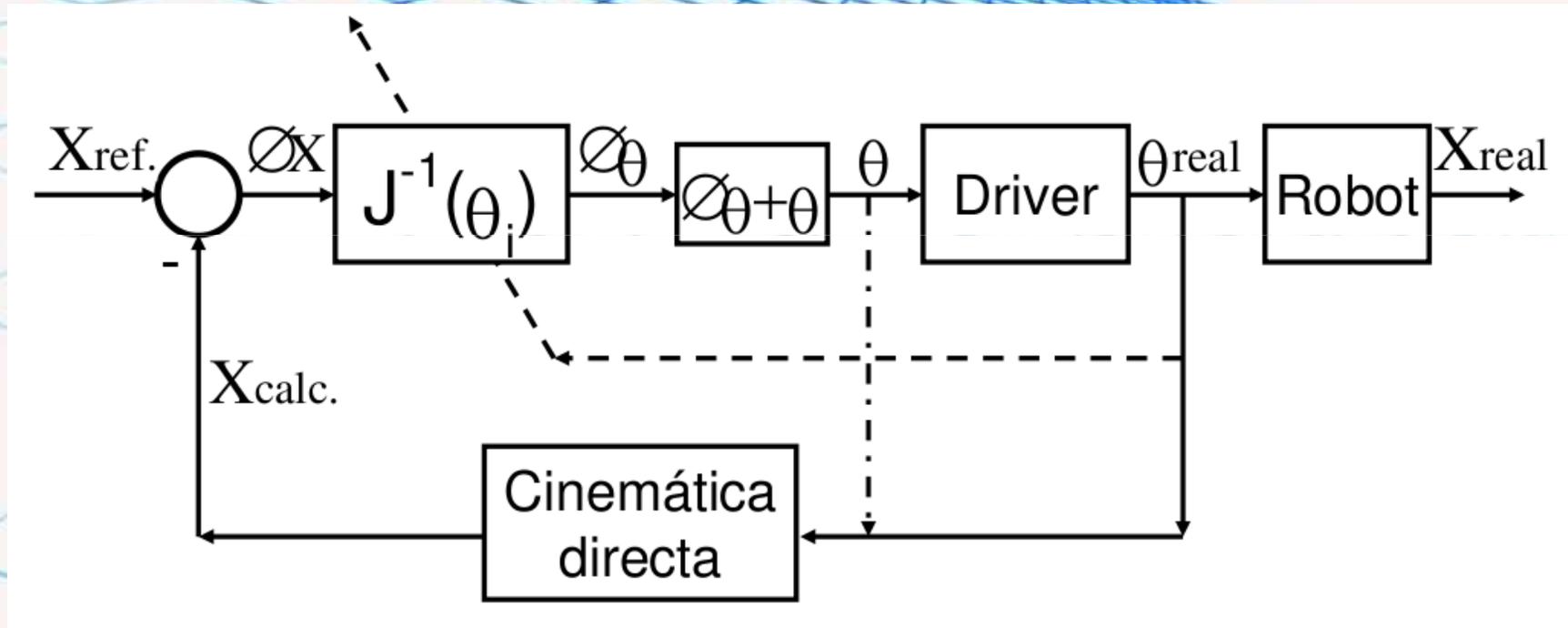
Relaciona las velocidades cartesianas del end-effector con velocidades articulares.

J no siempre tiene inversa



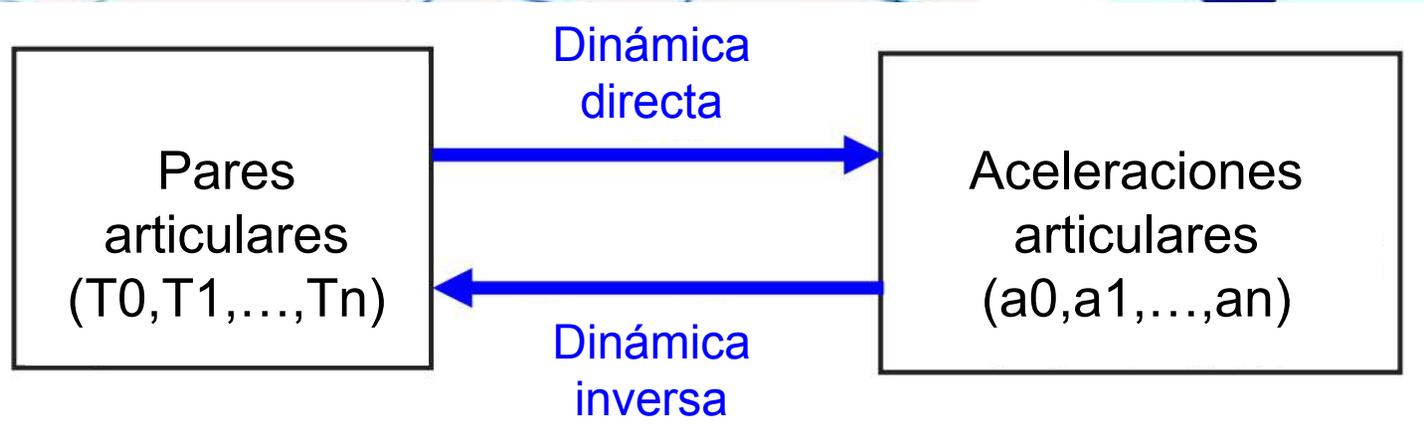
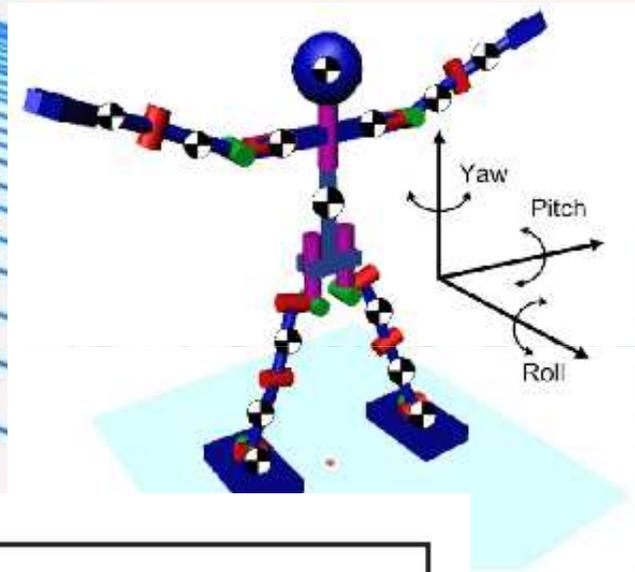
Pseudoinversa

# Bucle de control



# Dinámica

- En todo movimiento hay que tener en cuenta las fuerzas de la gravedad y la inercia.



# Formulaciones

- Ecuación de movimiento:

$$H(q, \dot{q})\ddot{q} + C(q) = \tau$$

- Formulación de Lagrange:

$$L(q, \dot{q}) = T(q, \dot{q}) - V(q)$$

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} \right) - \frac{\partial L}{\partial \theta} = \tau$$

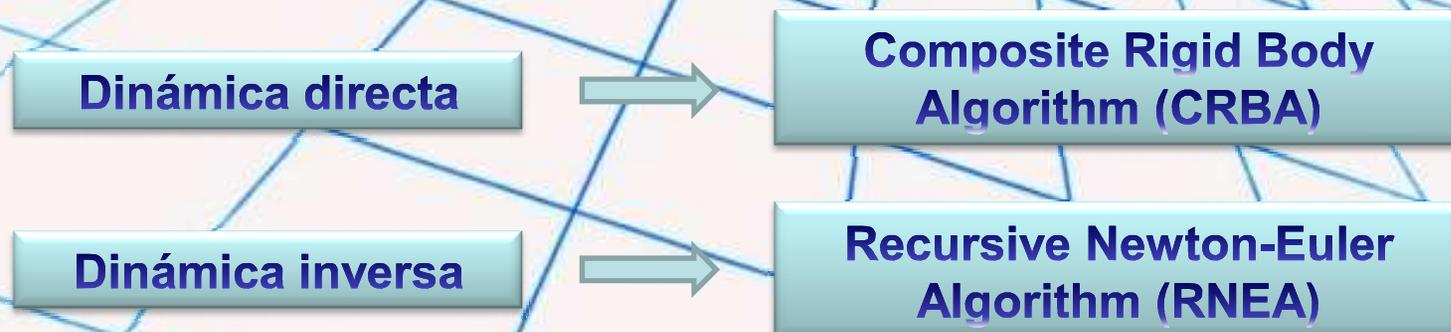
- Formulación de Newton-Euler:

$$f_i - f_{i+1} = m_i \ddot{r}_{CM} - m_i g$$

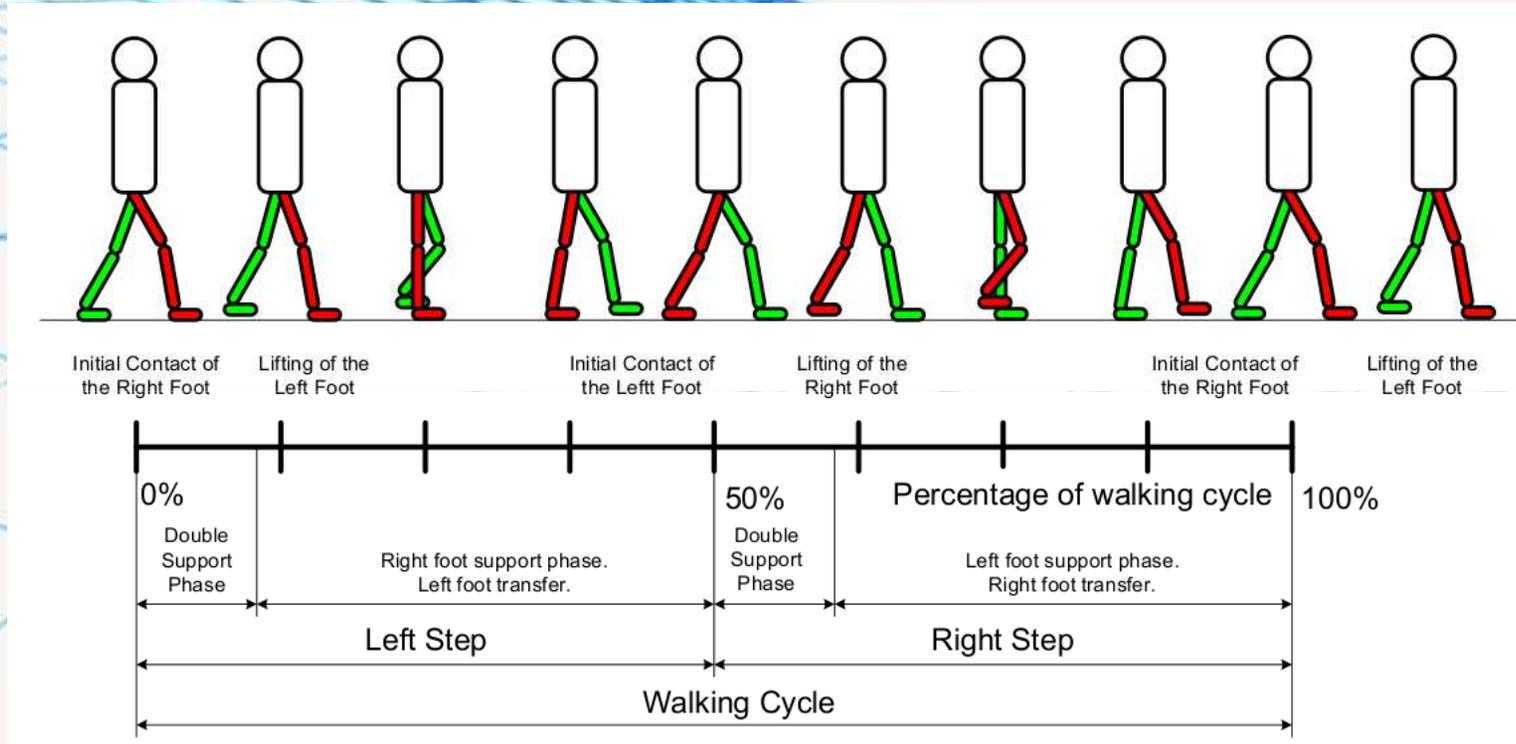
$$T_i - T_{i+1} = I_i \alpha_i + \omega_i \times (I_i \omega_i)$$

# Algoritmos dinámicos

- Los algoritmos modernos son recursivos.
- Tienen alto coste computacional.
- Se recurre a modelos dinámicos reducidos.



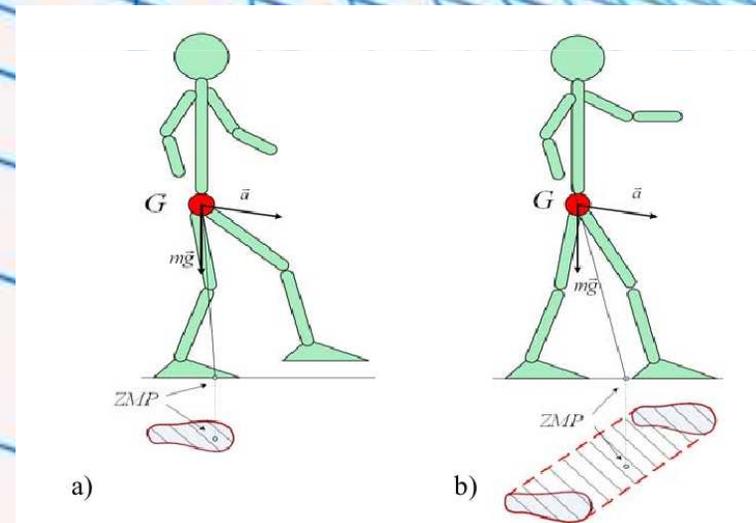
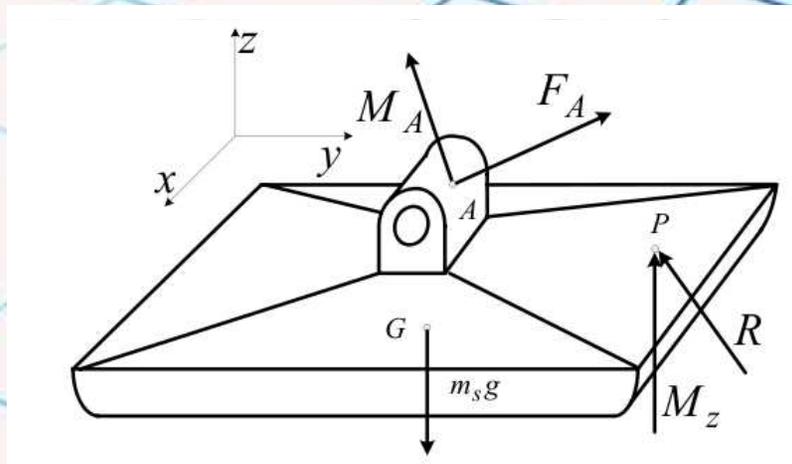
# Locomoción bípeda



# Criterio de estabilidad

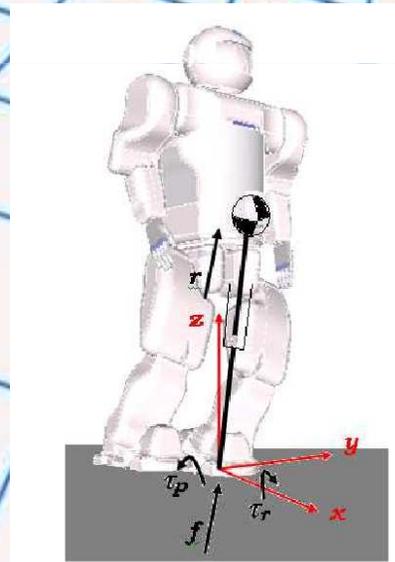
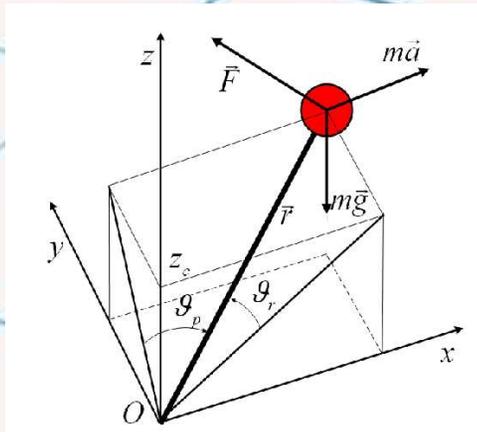
- Zero Moment Point (Vokobratovic, 1968):

*Punto respecto del cual el momento creado por las fuerzas de inercia y gravedad no tiene componente en el eje horizontal.*



# Péndulo invertido

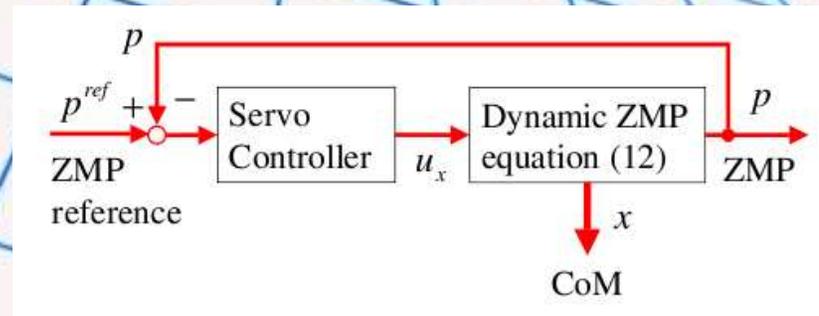
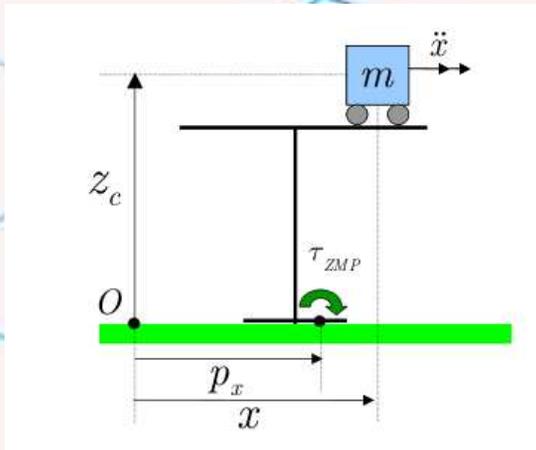
- 3D-LIPM: 3D Linear Inverted Pendulum Mode (Kajita,2001)
- Simplificación de la dinámica del robot como una masa puntual.
- Relaciona la posición del ZMP con el centro de gravedad del robot.



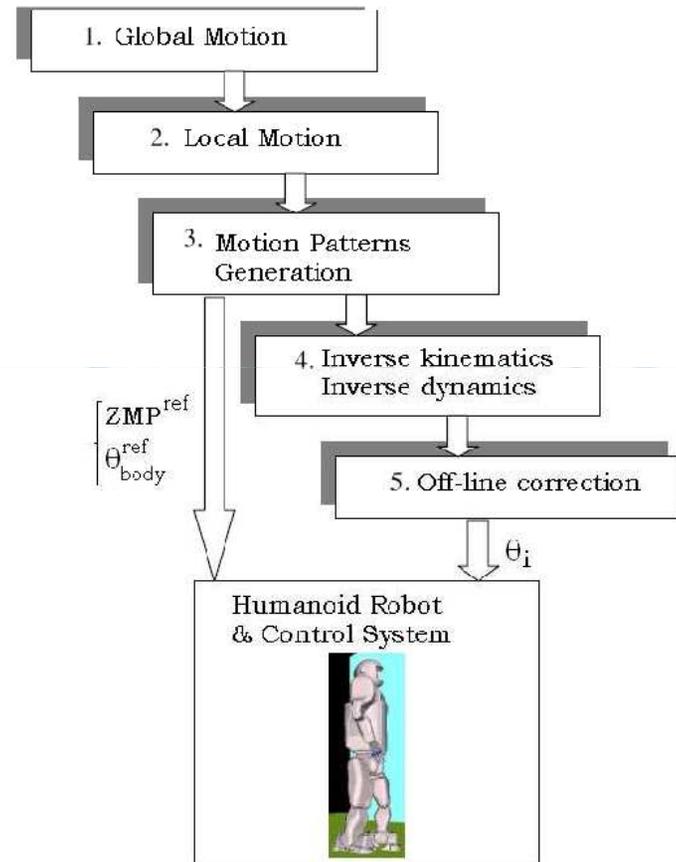
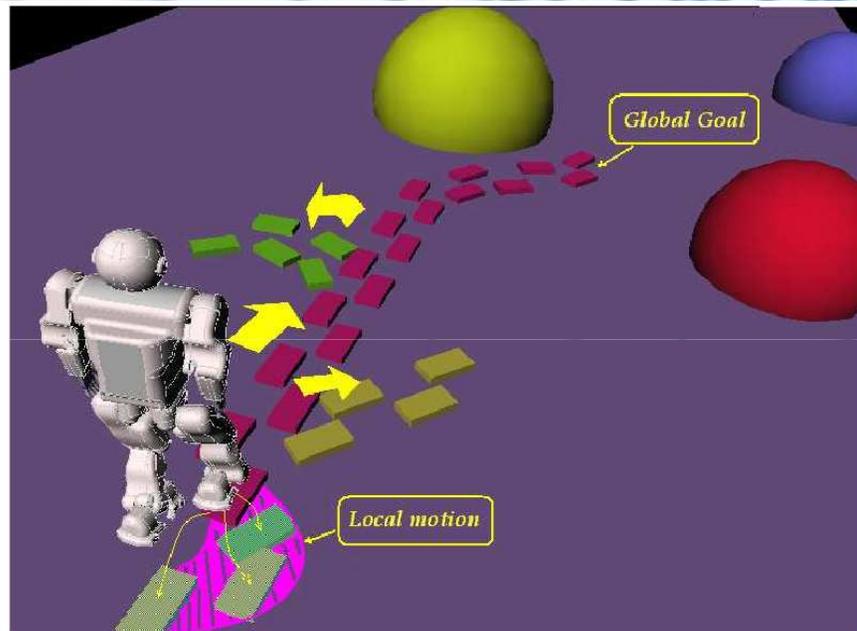
$$x_{ZMP} = x - \frac{z_c}{g} \ddot{x}$$
$$y_{ZMP} = y - \frac{z_c}{g} \ddot{y}$$

# Generación de trayectorias estables

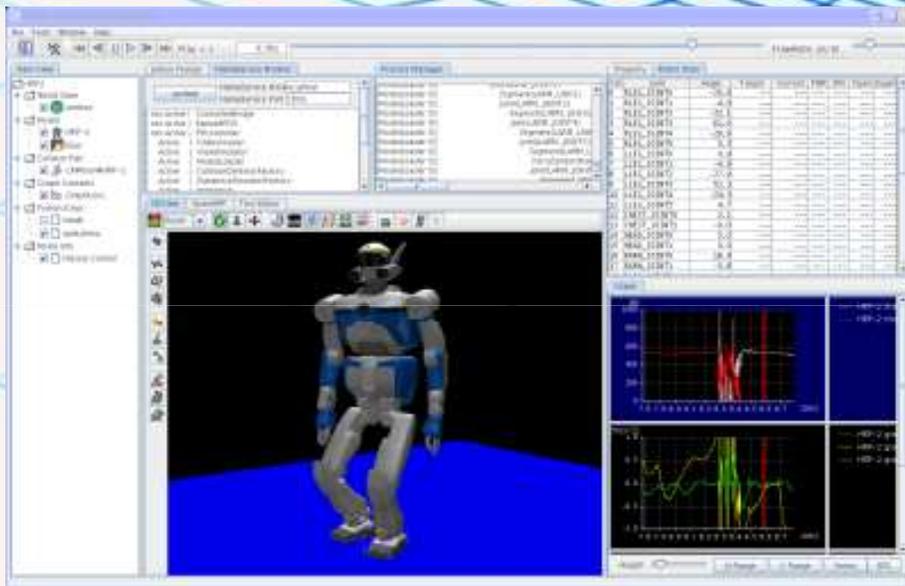
- Cart-Table (Kajita,2003).
- Para generar trayectorias estables se debe introducir una referencia ZMP.
- Esto se hace mediante control predictivo.



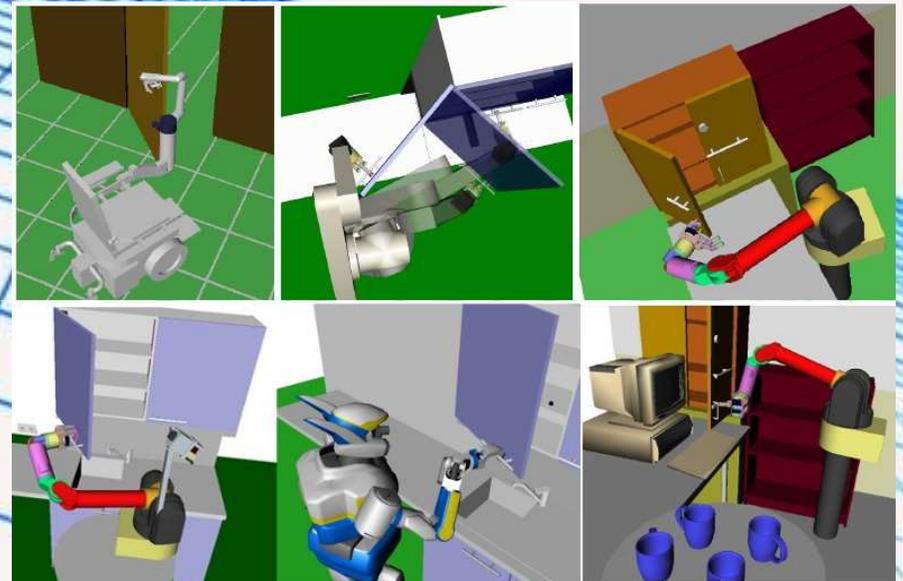
# Planificación de movimientos



# Simuladores



Open-VRP



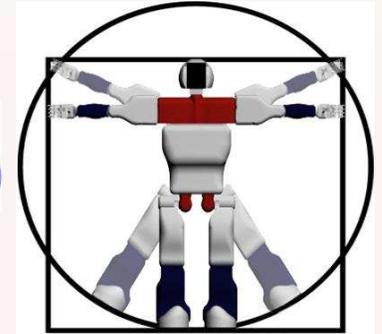
Open-Rave

# Conclusiones

- Los robots humanoides son candidatos a colaborar con nosotros.
- La robótica es un campo con mucho futuro.
- En la UC3M se está investigando en este tema.
- Existen muchos problemas no resueltos en robótica humanoide.



Robotics Lab



Muchas gracias

[robotica@alumnos.uc3m.es](mailto:robotica@alumnos.uc3m.es)

Miguel González-Fierro ([mgpalaci@ing.uc3m.es](mailto:mgpalaci@ing.uc3m.es))