

# Dispositivos hápticos

TÉCNICAS Y DISPOSITIVOS DE REALIDAD VIRTUAL

MASTER EN INFORMÁTICA GRÁFICA,  
JUEGOS Y REALIDAD VIRTUAL

Marcos García  
Marcos.garcía@urjc.es



# Bibliografía

- Grigore C. Burdea, Philippe Coiffet . *Virtual Reality Technology (Second Edition)* .Ed. Wiley-IEEE Press, 2003
- R. J. Adams and B. Hannaford. *A Two-port Framework for the Design of Unconditionally Stable Haptic Interfaces*. In Proc. of IEEE/RSJ Int. Conference on Intelligent Robots and Systems, 1998.
- C. Basdogan, C. H. Ho and M. Srinivasan. *A Ray-based Haptic Rendering Technique for Displaying Shape and Texture of 3D Objects in Virtual Environments*. In the Proc. of ASME Dynamic Systems and Control Division, 1997.
- G. Burdea. *Force and Touch Feedback for Virtual Reality*. John Wiley and Sons, 1996.
- S. A. Ehmann and M. C. Lin. *Accurate and Fast Proximity Queries between Polyhedra Using Surface Decomposition*. In Proc. of Eurographics, 2001.

# Bibliografía

- A. Gregory, M. C. Lin, S. Gottschalk and R. M. Taylor II. *H-Collide: A Framework for Fast and Accurate Collision Detection for Haptic Interaction*. In Proc. of IEEE Virtual Reality Conference, 1999.
- A. Gregory, A. Mascarenhas, S. Ehmann, M. C. Lin and D. Manocha. *Six Degree-of-Freedom Haptic Display of Polygonal Models*. In Proc. of IEEE Visualization, 2000.
- V. Hayward and B. Armstrong. *A New Computational Method of Friction Applied to Haptic Rendering*. In Lecture Notes in Control and Information Sciences, Vol. 250, Springer-Verlag, 2000.
- Y. J. Kim, M. A. Otaduy, M. C. Lin and D. Manocha. *Six-Degree-of-Freedom Haptic Display Using Localized Contact Computations*. Haptic Symposium, 2002.

# Bibliografía

- W. R. Mark, S. C. Randolph, M. Finch, J. M. Van Verth, and R. M. Taylor II. *Adding Force Feedback to Graphics Systems: Issues and Solutions*. In Proc. of ACM SIGGRAPH, 1996.
- W. A. McNeely, K. D. Puterbaugh and J. J. Troy. *Six Degree-of-Freedom Haptic Rendering Using Voxel Sampling*. In Proc. of ACM SIGGRAPH, 1999.
- D. C. Ruspini, K. Kolarov, and O. Khatib. *The Haptic Display of Complex Graphical Environments*. In Proc. of ACM SIGGRAPH, 1997.
- C. Zilles and K. Salisbury. *A Constraint-based God Object Method for Haptic Display*. In Proc. of IEEE/RSJ Int. Conference on Intelligent Robots and Systems, 1995.

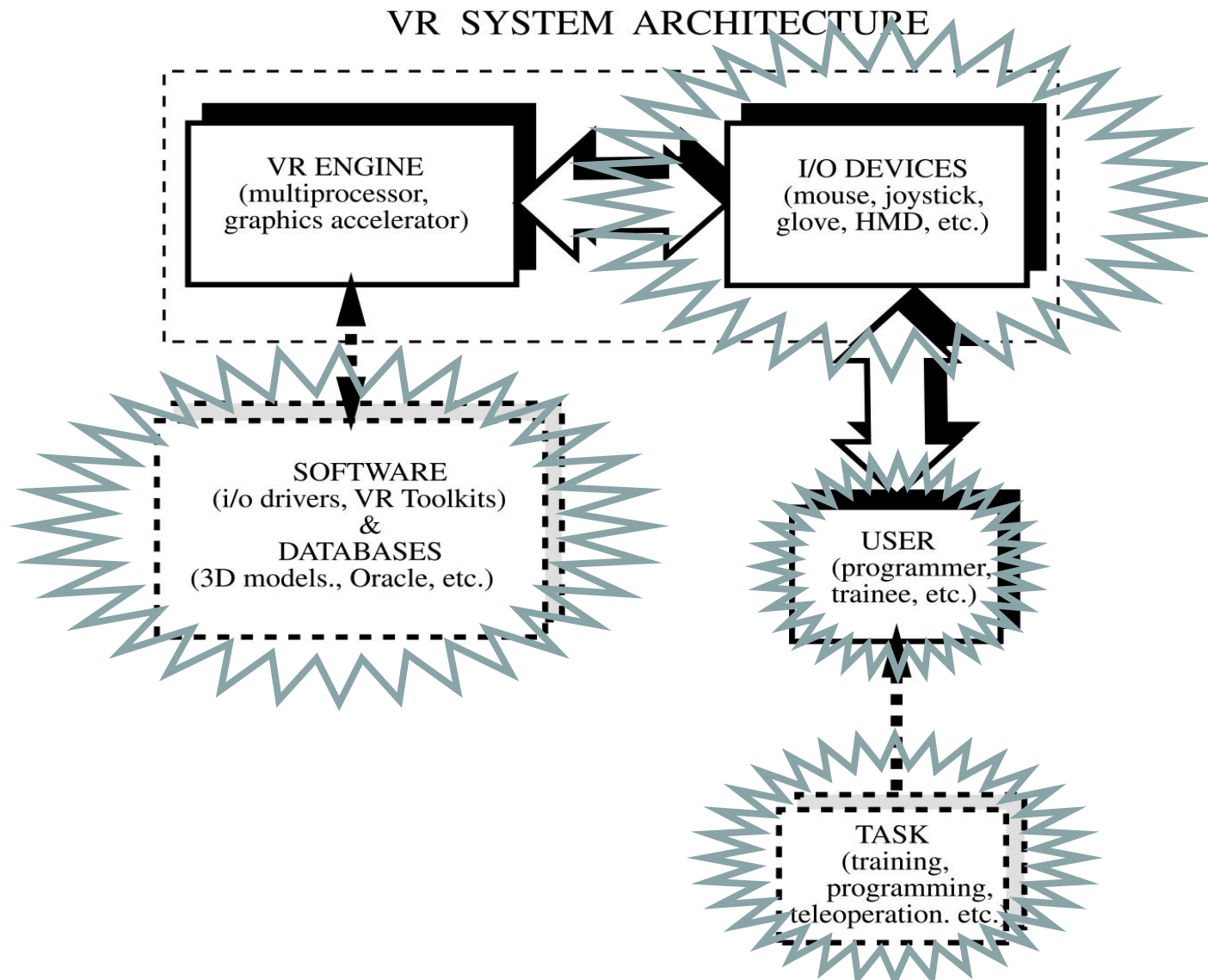
# Índice

- Introducción
- Diseño y mecánica de dispositivos hápticos
- Percepción háptica
- Renderizado háptico

# Introducción

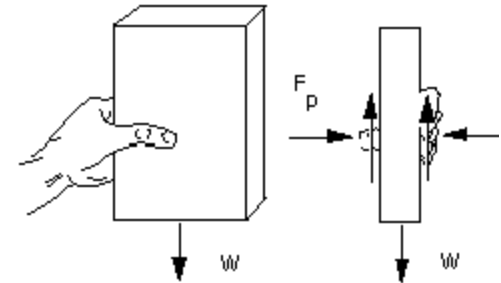
- I<sup>3</sup> por Inmersión-Interacción-Imaginación.
- Interacción – Inmersión (uso de distintos canales sensoriales):
  - **Visual**
  - **Auditivo**
  - Háptico
    - Propioceptivo
      - Sistema kinestésico (gran desarrollo en los últimos años)
      - Sistemas táctiles (en desarrollo)
      - Sistema vestibular (equilibrio)
  - Olfato (en desarrollo)

# Introducción



# Introducción

- ¿En que nos pueden ayudar los dispositivos hápticos?
  - Manipulación de objetos
    - Peso, fricción
  - Inserción, contacto
    - Restricciones de superficie
  - Movimiento controlado
    - Dureza, fricción



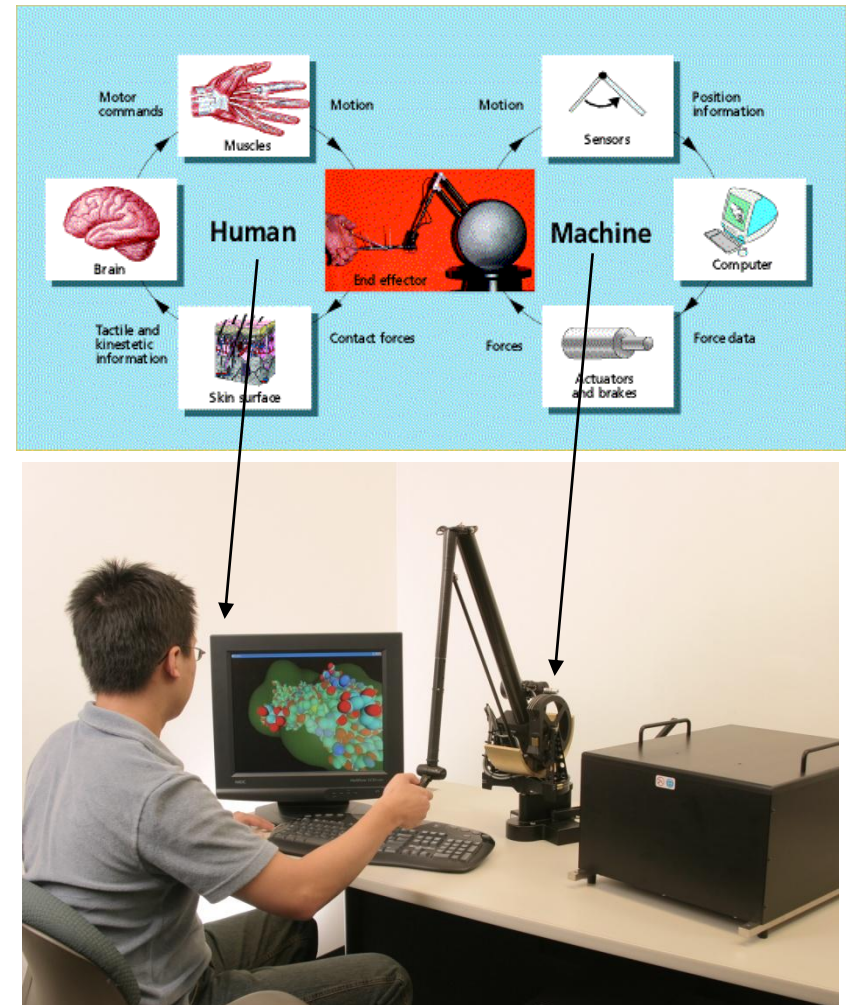


# Introducción

Definición de términos	
Término	Definición
Háptico	<i>Relativo al sentido del tacto.</i>
Proprioceptivo	<i>Relacionado con la información sensorial acerca del estado corporal tanto sensaciones cutáneas, kinésicas y vestibulares.</i>
Vestibular	<i>Relativo a la percepción de la posición de la cabeza, su aceleración y deceleración.</i>
Kinésica	<i>Implica la sensación del movimiento. Sensaciones originadas en los músculos, tendones y uniones.</i>
Cutánea	<i>Perteneciente a la piel en sí misma o como órgano sensorial. Incluye las sensaciones de presión, temperatura y dolor.</i>
Táctil	<i>Referido a la sensación cutánea pero principalmente a la presión.</i>
Realimentación de fuerza	<i>Relativo a la producción mecánica de información sensorial por el sistema kinésico.</i>

# Introducción

Los dispositivos hápticos proporcionan la realimentación de fuerza al sujeto que interactúa con entornos virtuales o remotos. Tales dispositivos trasladan una sensación de presencia al operador.



# Introducción

Dispositivos de retroalimentación de fuerza de propósito general.



# Introducción

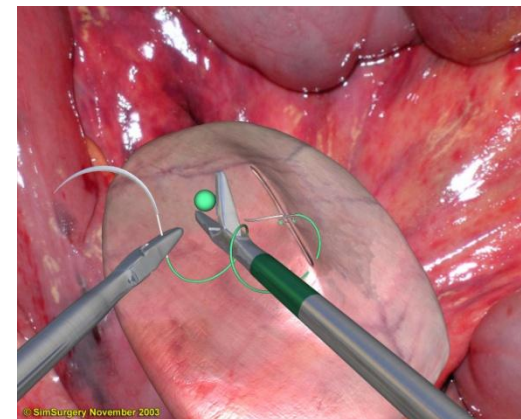
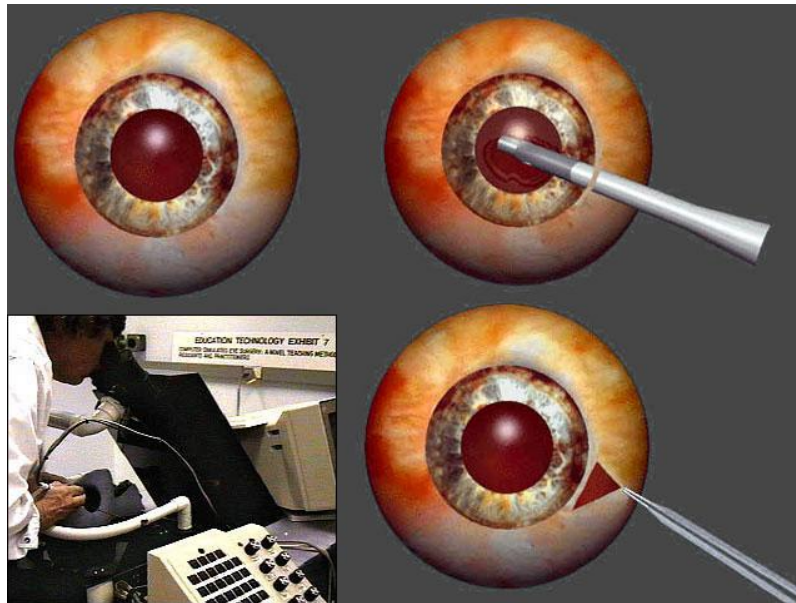
Dispositivos de retroalimentación de fuerza de propósito específico.





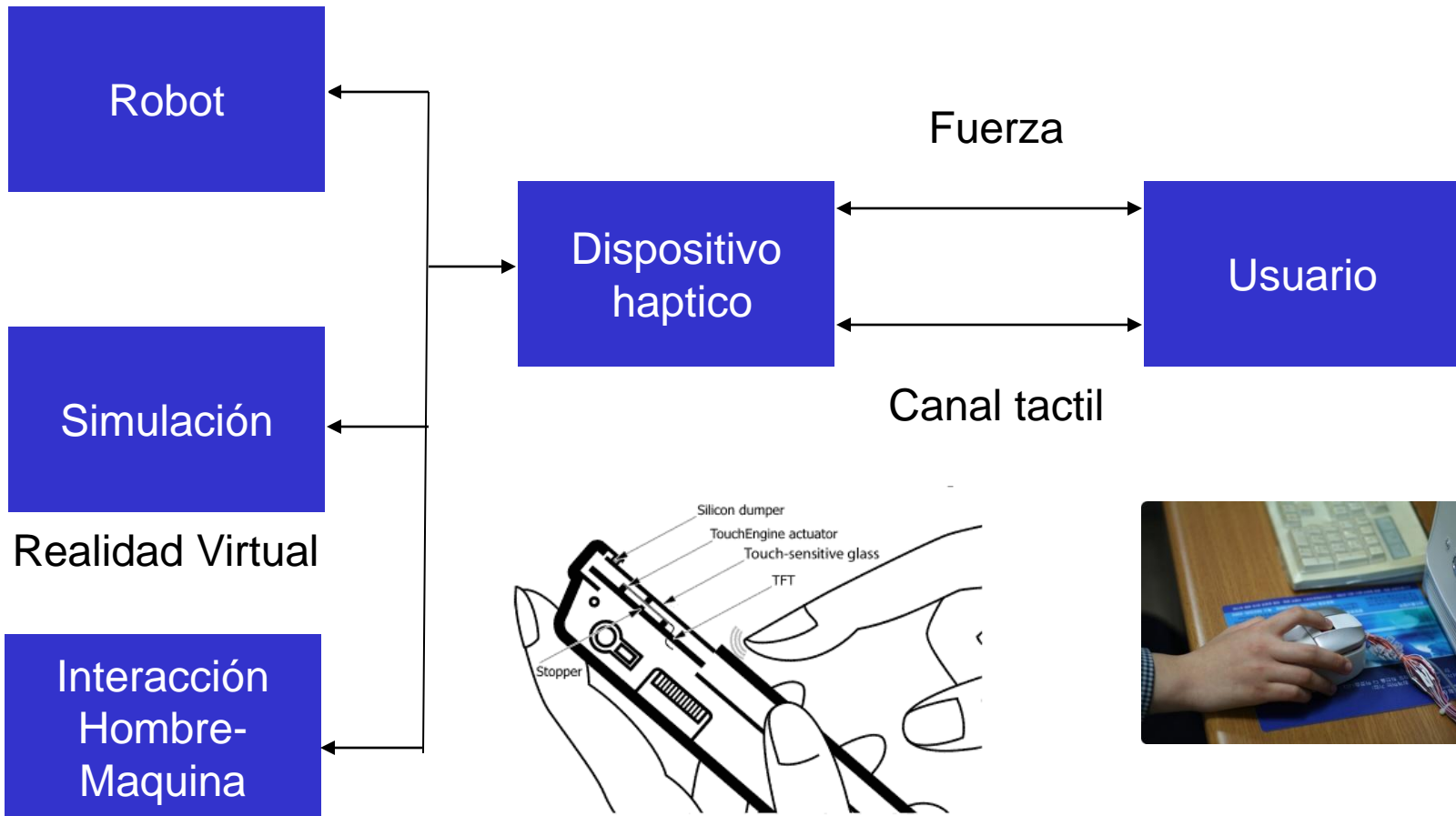
# Introducción

Los diseñados específicamente para una operación, como los diseñados para aplicaciones médicas suelen incorporar un software de simulación



# Introducción

## Tele-operación



Dispositivos hápticos – Machine Haptics

# **DISEÑO Y MECÁNICA DE DISPOSITIVOS HÁPTICOS**

# Impedancia vs. Admitancia

- Control de impedancia o admitancia.
  - *Impedancia*: el usuario mueve el dispositivo, y el dispositivo reaccionará con una fuerza si es necesario.
    - Entrada: desplazamiento
    - Salida: fuerza
    - Ej. PHANToM
  - *Admitancia*: el dispositivo mide las fuerzas que el usuario ejerce sobre él, y reacciona con el movimiento (la aceleración, la velocidad, la posición).
    - Entrada: fuerza
    - Salida: desplazamiento
    - Ej. HapticMaster



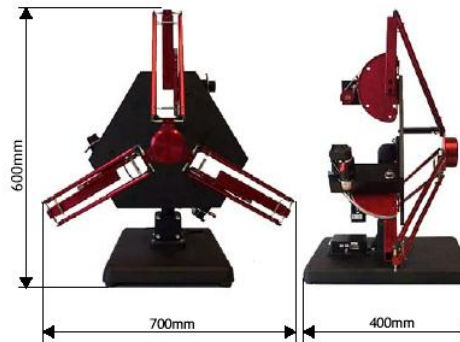
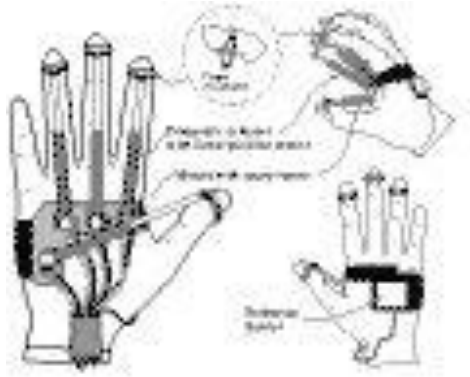
# Impedancia vs. Admitancia

- El caso que encontraremos con más frecuencia será el de la impedancia, el flujo de control incluirá los siguientes eventos:
  - Sensores de desplazamiento recogen el movimiento
  - Envío mediante driver de este desplazamiento al simulador software.
  - **Interacción con el mundo virtual y cálculo de fuerzas**
  - Se envía señal al driver.
  - El dispositivo produce la fuerza necesaria.

# Clasificación

- Según el número de grados de libertad
  - 2DOF, 3DOF, 6DOF...
- Según el efector:
  - Tipo lapiz:
    - Phantom de SensAble Technologies
  - Tipo guante:
    - CyberGrasp
  - Específicos, esféricos ....

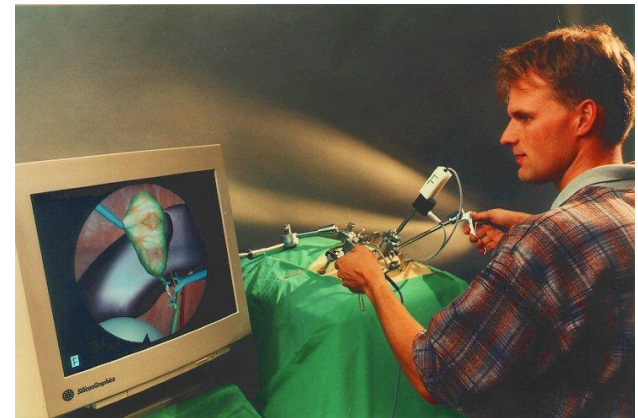
# Clasificación



# Clasificación

- Según su ámbito de aplicación:
  - Específicos:
    - Aplicaciones médicas: Immersion Corporation.
  - Propósito General

# Clasificación



# Clasificación

- Según el tipo de receptor sensorial
  - Retroalimentación de fuerza
  - Retroalimentación táctil
    - iFeel Mouse de Logitech
    - WingMan Force Feedback Mouse
  - Vestibulares
  - Mixtos

# Tecnologías

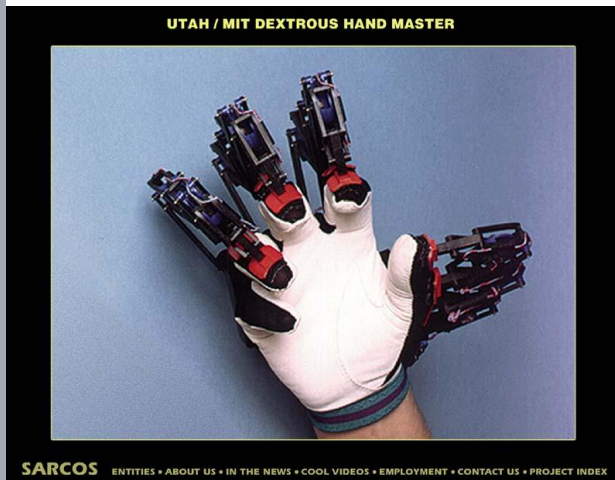
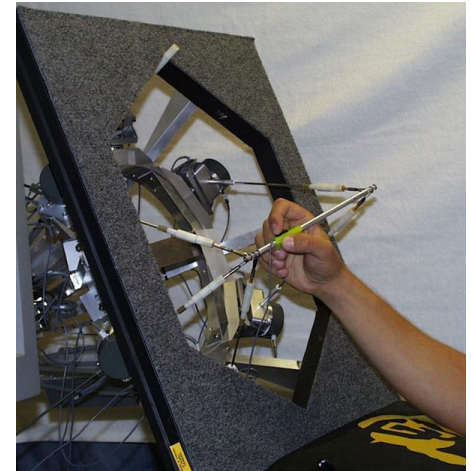
- ***Displays de superficie activa.***
  - Feelex-Haptic Screen
  - Tactile Shape Displays for Small Scale Shape Feedback
  - Elastic Force Sensor
- ***Brazos Hápticos.***
  - Sarcos Dextrous Arm
  - PHANToM
  - Palmtop Display for Dextrous Manipulation
  - WYSIWYF Display
  - Freedom 6S
  - HapticMASTER
  - Force dimension DELTA- OMEGA
  - Falcon

# Tecnologías

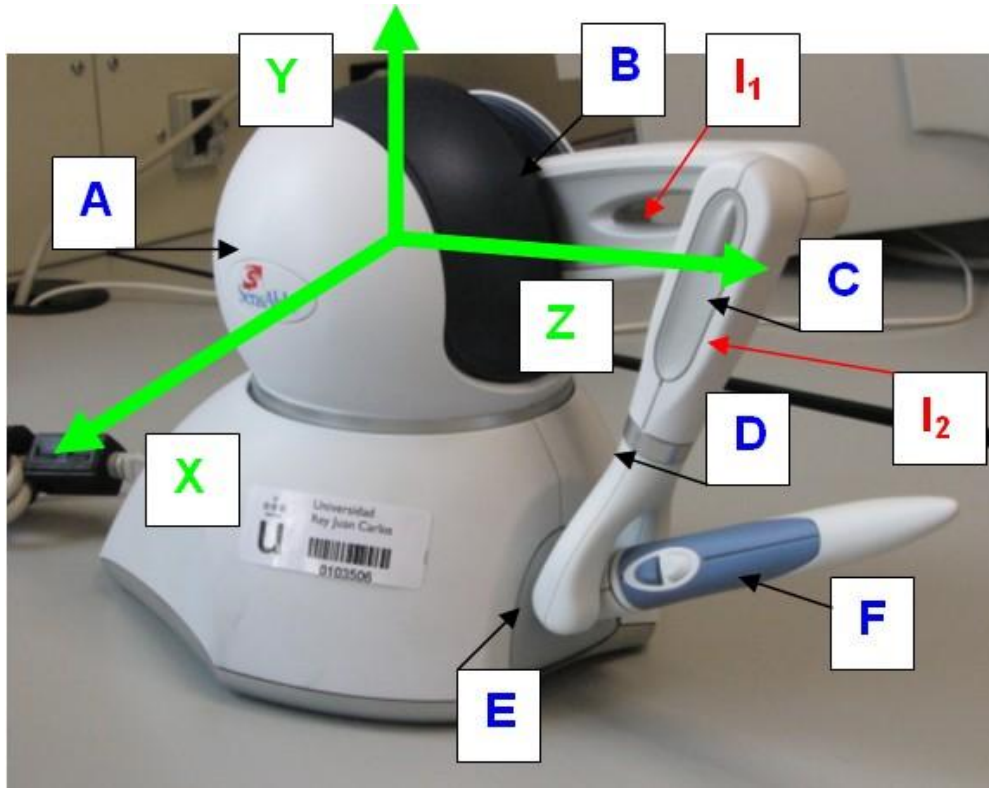
- ***Guantes***
  - UTAH/MIT Dextrous Hand
  - Rutgers Master II (La fuerza se aplica desde dentro)
  - Cyber Grasp (La fuerza se aplica desde fuera)
- ***Dispositivos magnéticos***
  - Magnetic Levitation Haptic Interfaces
- **Otros:**
  - Hidraulicos,...



# Tecnologías

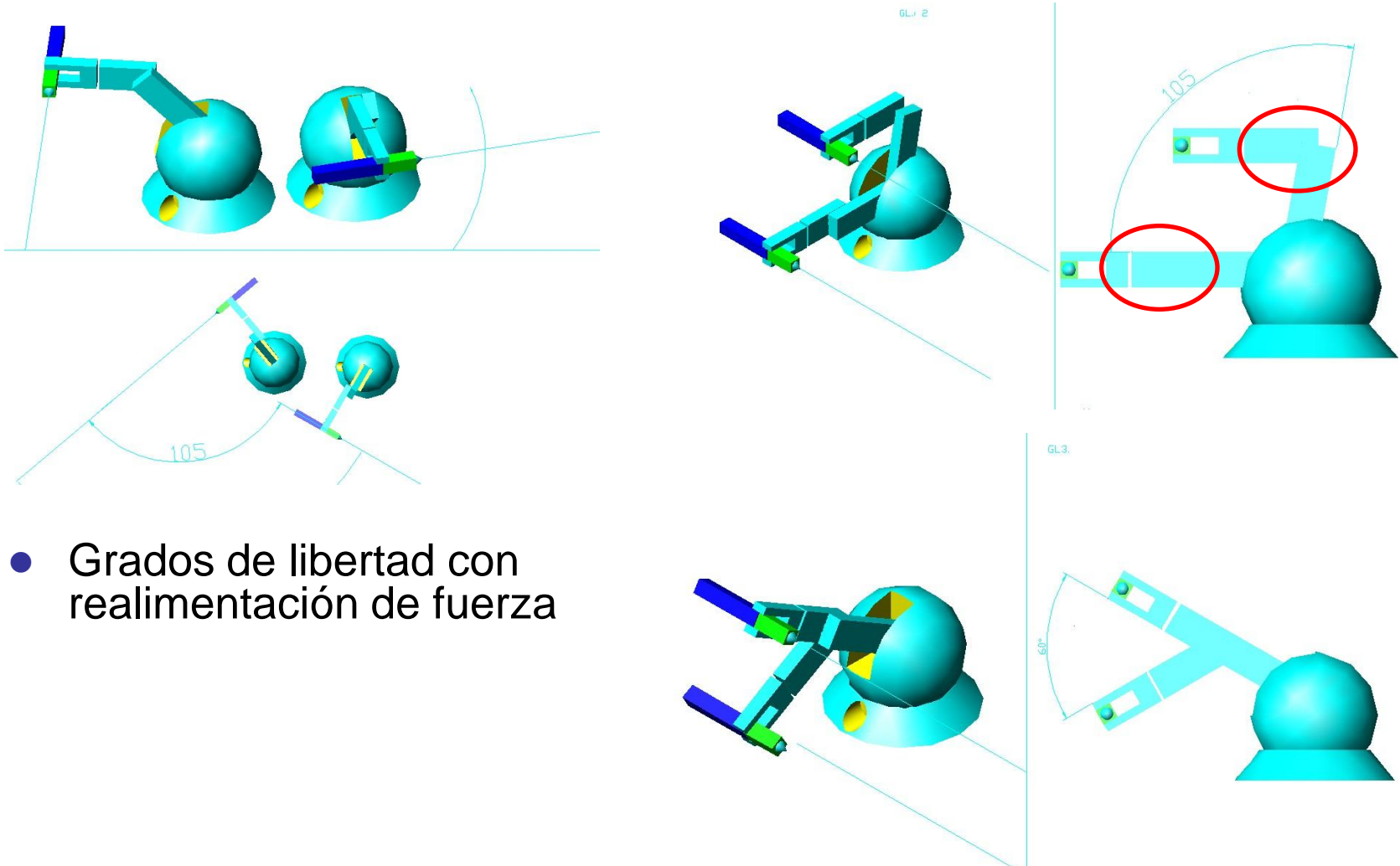


# Mecánica de hápticos



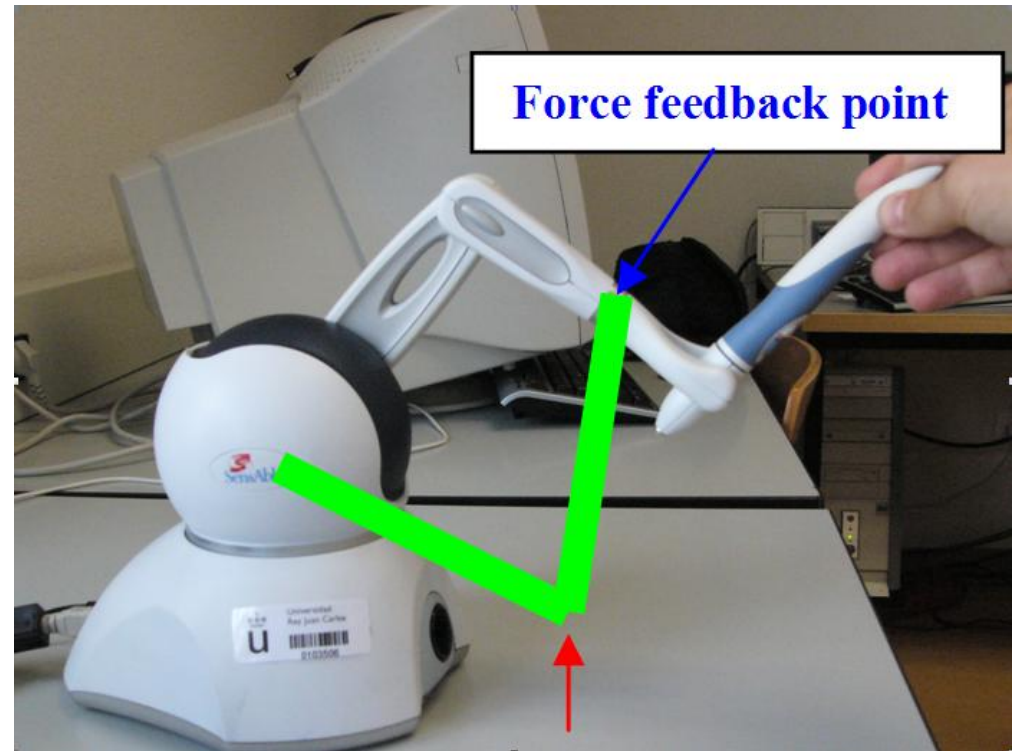
- A gira alrededor del eje Y definiendo el ángulo  $\theta_1$ . B gira alrededor del eje X definiendo el ángulo  $\theta_2$ . C gira alrededor del eje X' relativo definiendo el ángulo  $\theta_3$ .
- D, E y F son ejes ortogonales situados en el Elemento Final y son ángulos Gimbal.

# Mecánica de hápticos



- Grados de libertad con realimentación de fuerza

# Mecánica de hápticos



# Cinemática

## Cinemática Directa

$$R_{04} = \begin{pmatrix} \cos(\theta_1) & -\sin(\theta_1)\sin(\theta_3) & \cos(\theta_3)\sin(\theta_1) \\ 0 & \cos(\theta_3) & \sin(\theta_3) \\ -\sin(\theta_1) & -\cos(\theta_1)\sin(\theta_3) & \cos(\theta_1)\cos(\theta_3) \end{pmatrix}$$

$$x = (l_1 \cos \theta_2 + l_2 \sin \theta_3) \sin \theta_1$$

$$y = l_1 \sin \theta_2 - l_2 \cos \theta_3$$

$$z = (l_1 \cos \theta_2 + l_2 \sin \theta_3) \cos \theta_1$$

# Cinemática

## Cinemática Inversa

$$\theta_1 = -\arctan\left(\frac{x}{z}\right);$$

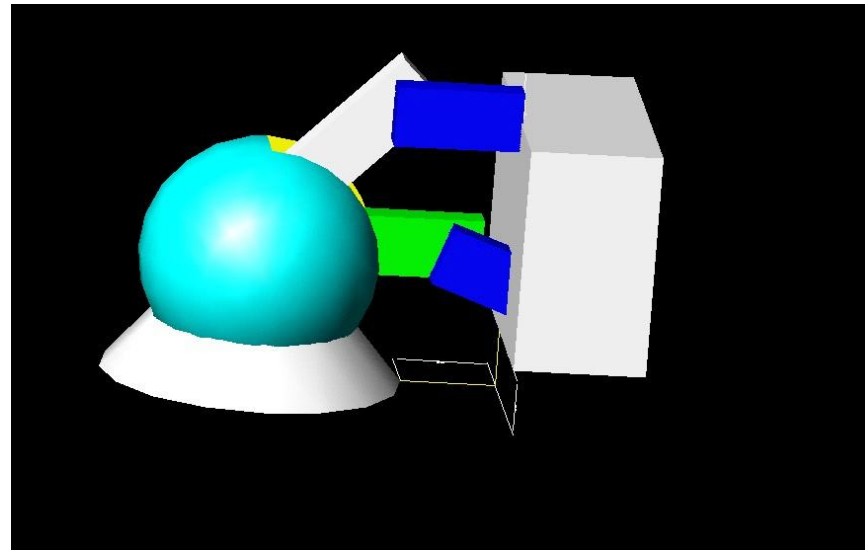
$$\theta_2 = \arctan\left(\frac{y}{H}\right) + \arccos\left(\frac{L^2 + l_1^2 - l_2^2}{2l_1L}\right)$$

$$\theta_3 = \arctan\left(\frac{H - l_1 \cos \theta_2}{l_1 \sin \theta_2 - y}\right)$$



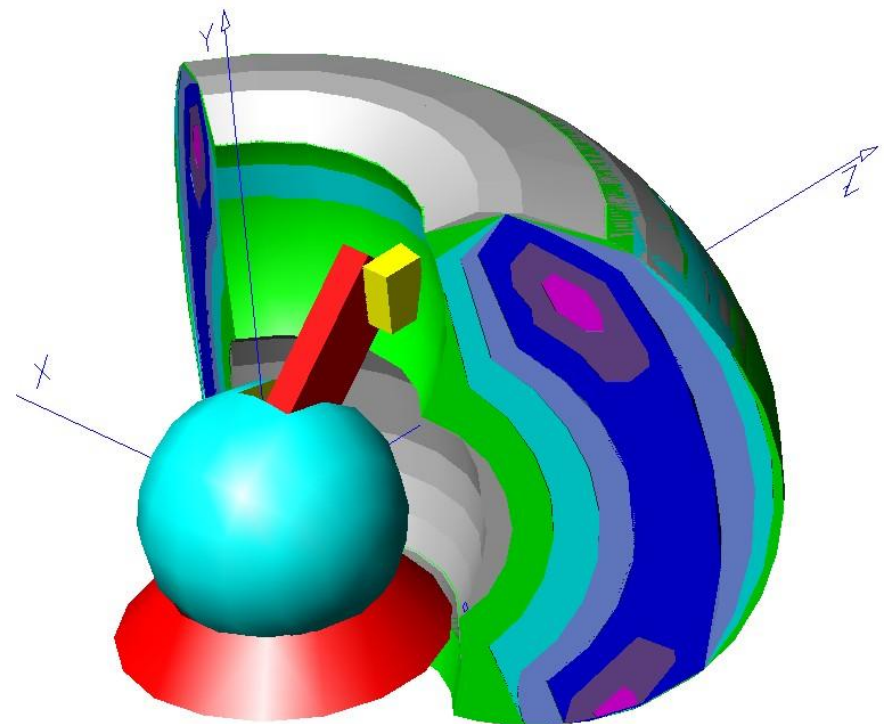
# Áreas de trabajo

- **Espacio de trabajo nominal:** Es el volumen en el cual el fabricante del dispositivo garantiza la precisión y realimentación de fuerza especificada en la hoja de características. En el caso del dispositivo OMNi se trata de un prisma rectangular de dimensiones (160 Ancho, 120 Alto, 70 Profundidad) mm.



# Áreas de trabajo

- **Espacio de trabajo real.** Se trata del volumen que es posible recorrer con el extremo del manipulador. Pero este espacio real incluye una zona marginal donde el comportamiento del dispositivo puede ser inaceptable para algunas aplicaciones o además de inestable.



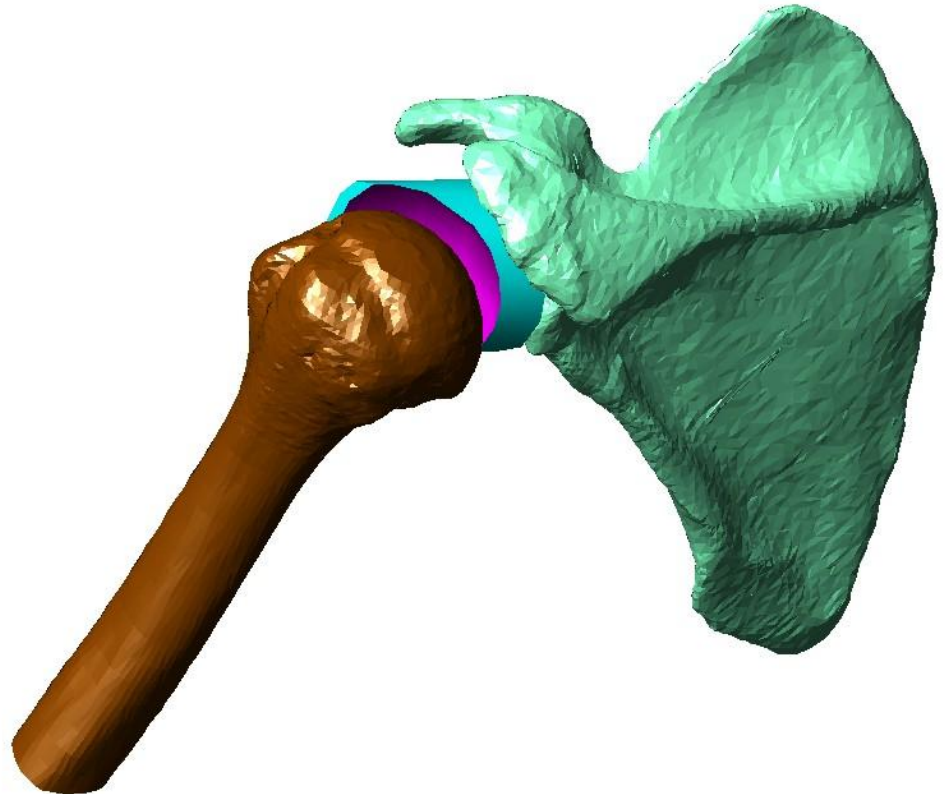


# Áreas de trabajo

- **Espacio de trabajo de la aplicación.**

Es el volumen de la aplicación que se está simulando, luego es diferente para cada sistema.

Por ejemplo en una simulación quirúrgica de una operación de hombro sería el volumen de la simulación de hombro.



# Force Dimension: DELTA-OMEGA



**Espacio de trabajo Nominal:**  $\varnothing 360$  mm x L 300mm

**Fuerza máx. continua:** 20.0 N

**Resolución** < 0.03 mm

Mecanismo paralelo y compensación activa de gravedad. Robustez.

Dispositivos hápticos – Human haptics

# PERCEPCIÓN HAPTICA

# Percepción háptica

- Ventajas de utilizar dispositivos hápticos
  - Manipular entornos virtuales de forma natural
    - Se trabaja en 3D no con proyecciones 2D
    - Facilitamos tareas
  - Añadimos información multi-sensorial
    - Facilita la realización de distintas tareas
    - Mejora la inmersión, la presencia y plausibilidad
    - Mejora el atractivo

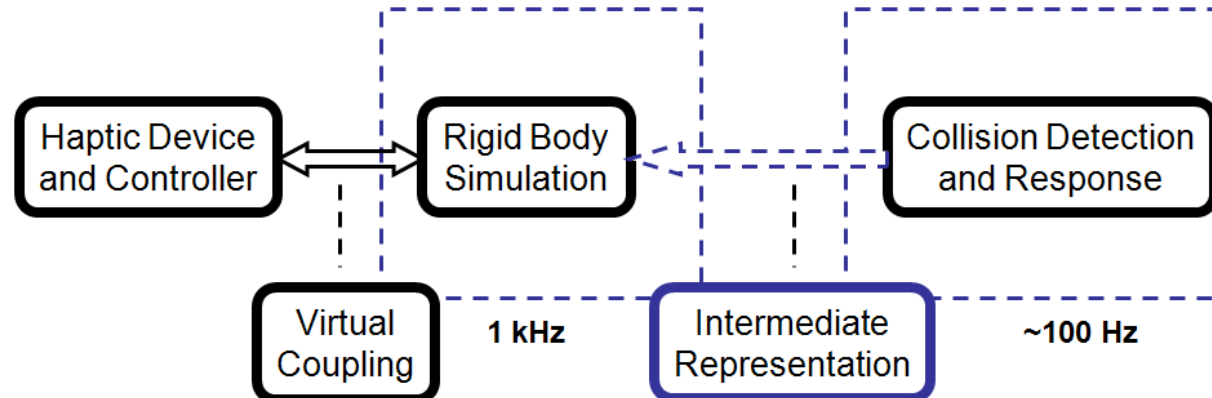
# Percepción háptica

- Conocer como el ser humano percibe la fuerza y la información táctil para mejorar su experiencia
- Principales claves
  - Rango de impedancia ideal (z-width)
    - Zero en movimiento libre
    - Infinito cuando hay contacto
  - La información visual prevalece sobre la háptica
    - Corrige las limitaciones de los dispositivos
  - Sensación de continuidad 1000Hz
    - Especialmente importante a la hora de tocar sólidos rígidos
    - Menos importante a al hora de tocar objetos deformables
  - Dificultad para percibir pequeñas variaciones
    - Depende de la intensidad (ley de Weber)

# Percepción háptica

- Limitación de los 1000Hz

- Necesaria para percibir la fuerza de forma continua
- Especialmente importante a la hora de tocar sólidos rígidos
- Menos importante a la hora de tocar objetos deformables
- Limita la cantidad de cálculos que podemos realizar
  - Detección de colisiones, dinámica de sólidos rígidos...
- Solución:
  - Bucle ligero! } Filtrado de fuerzas
  - Bucle pesado! }

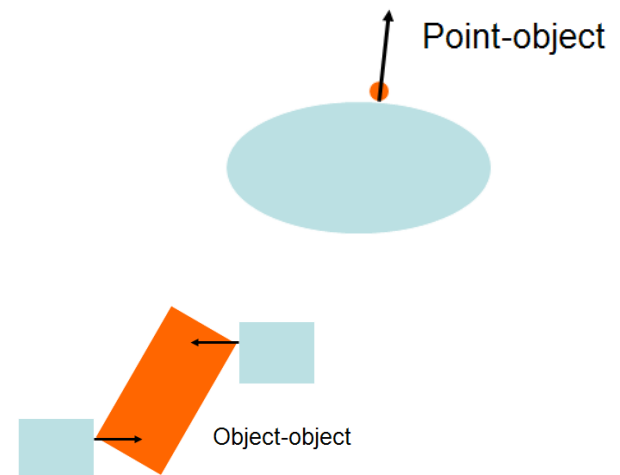


Dispositivos hápticos – Human haptics

# RENDERIZADO HAPTICO

# Renderizado háptico

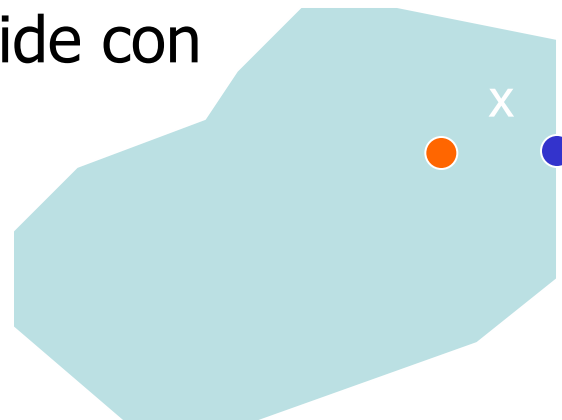
- Nos centramos en dispositivos de impedancia
- Procesado de las fuerzas que debe producir el dispositivo
- Clasificación
  - Por el número de grados de libertad (DOF)
    - 3 DOF
    - 6 DOF
  - El tipo de datos
    - Algoritmos superficiales
      - Poligonales
      - Superficies explícitas
    - Algoritmos volumétricos
    - Estructuras filiformes, guiado,
    - otros efectos (texturas, viscosidad, fuerzas volumetricas...)





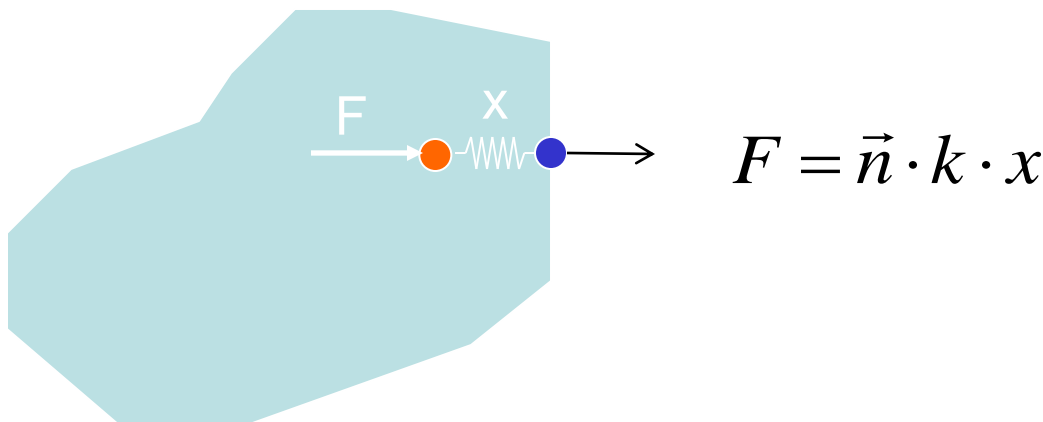
# Modelos para el cálculo de fuerza

- HIP: Haptic interface point. Representación del dispositivo en le mundo virtual.
  - $HIP = T * P$
- Proxy, god object, CHIP...: Representación coherente del dispositivo virtual.
  - Mejora la inmersión (limitaciones del dispositivo háptico)
  - Si no hay collision coincide con el HIP



# Modelos para el cálculo de fuerza

- Fuerzas de contacto
- Penalty Forces:
  - La fuerza es factor de:
    - la penetración del HIP (primeras aproximaciones)
    - la distancia entre el proxy y el Hip
  - Modelo lineal:
    - Ley de Hook



# Modelos para el cálculo de fuerza

- El valor máximo de  $k$  está limitado por la estabilidad del dispositivo
- ¿Cómo mejorar la sensación de rigidez?
  - Si se añade un amortiguador  $F = \vec{n} \cdot k \cdot x + d \cdot v_{HIP}$ 
    - Además mejora la estabilidad
    - Puede simular fricción con el medio
  - Modelos no lineales
    - Aplicar una fuerza muy grande o de crecimiento abrupto al principio e incrementarla de forma más suave
    - Pre-contact braking
    - Otros modelos no lineales

$$F = \vec{n} \cdot k \cdot x^n + d \cdot x^n \cdot v_{HIP}$$

$$n < 1$$

# Modelos para el cálculo de fuerza

- Mejora de la sensación háptica

- Suavizado de fuerzas:

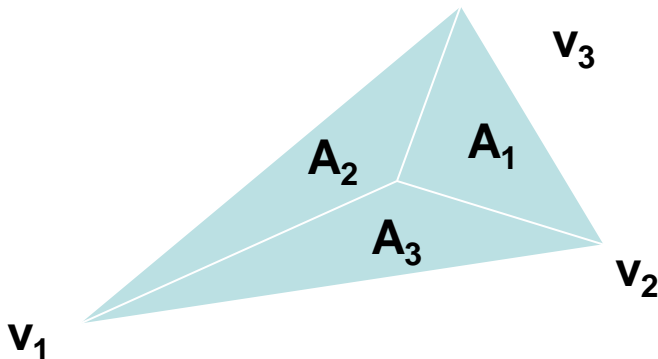
- Cambios bruscos en la dirección o magnitud de la fuerza pueden causar inestabilidades

- Interpolar direcciones y magnitudes, si superan un umbral

```
if(( $F_{1_x} - F_{0_x}$ ) >  $2F_{max}$ )  
    then  $F_{1_x} = F_{0_x} + F_{max}$   
else if( $F_{1_x} - F_{0_x}$ ) >  $F_{max}$   
    then  $F_{1_x} = (F_{0_x} + F_{1_x})/2$   
return  $F_{1_x}$ 
```

- Suavizado de Phong

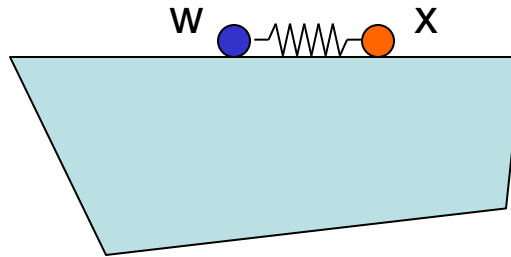
» Permite utilizar menos poligonos



$$N' = \frac{\sum_{i=1}^3 A_i \cdot N_i}{\sum_{i=1}^3 A_i} \quad N = \frac{N'}{\|N'\|}$$

# Modelos para el cálculo de fuerza

- Mejora de la sensación háptica
  - Modelos de fricción
    - Diferencia entre el proxy "x" y el punto de adhesión "w"



- Añadir texturas hápticas
- Viscosidad
- Inercia
- Fuerzas volumétricas

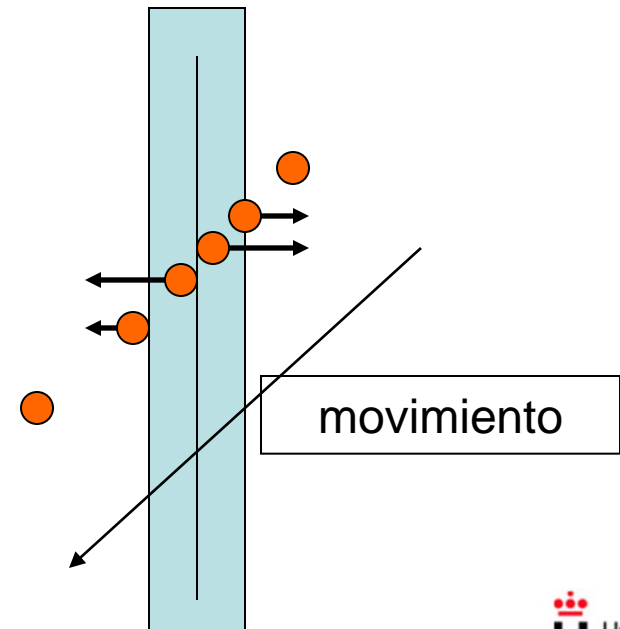
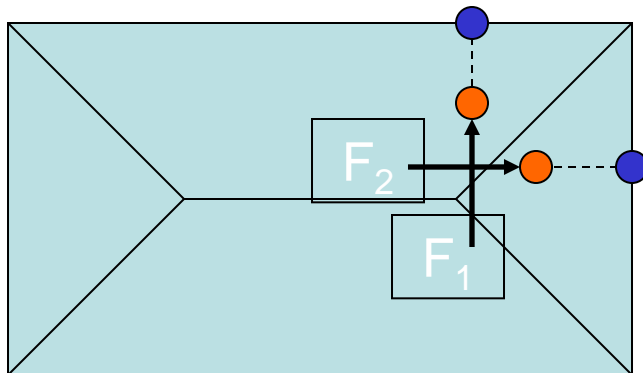
# Calculo del proxy

- Proxys puntuales
  - 3DOF
- Herramientas tridimensionales
  - 6DOF
  - Sólidos rígidos
  - Herramientas deformables

# Calculo del proxy

- Proxys puntuales

- Colocar el proxy sobre la superficie del objeto en el punto más cercano
- Dividir el objeto utilizando un diagrama voronoi
- Problemas
  - Discontinuidad en las fuerzas
  - Objetos delgados



# Calculo del proxy

- Uso de restricciones

- Colocamos el proxy en el punto mas cercano al HIP que verifica las restricciones impuestas.
- Por simplicidad se obliga a que el proxy se coloque sobre el plano de restricción

$$A_i \cdot x + B_i \cdot y + C_i \cdot z + D_i = 0$$

- Se minimiza la distancia entre el HIP y el proxy

$$E = \frac{1}{2} \cdot k \cdot ((x - x_{HIP})^2 + (y - y_{HIP})^2 + (z - z_{HIP})^2)$$

- Utilizando multiplicadores de lagrange:

$$C = \frac{1}{2} \cdot k \cdot ((x - x_{HIP})^2 + (y - y_{HIP})^2 + (z - z_{HIP})^2) + \sum_{i=1}^3 \lambda_i \cdot (A_i \cdot x + B_i \cdot y + C_i \cdot z + D_i)$$



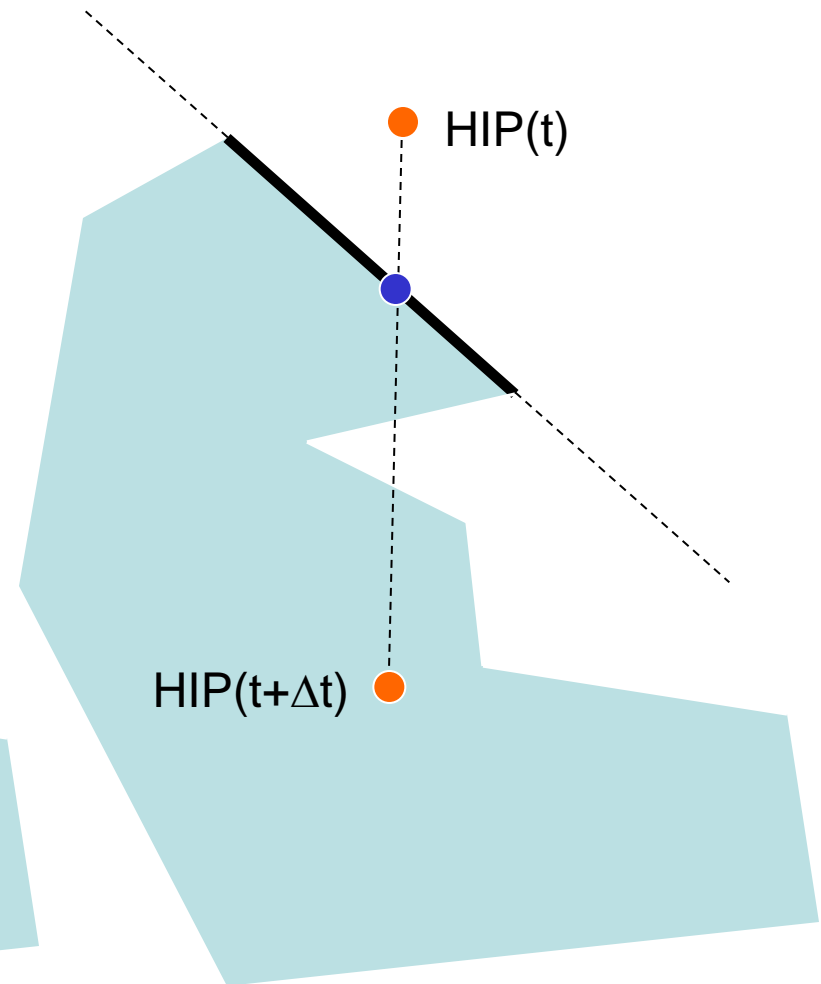
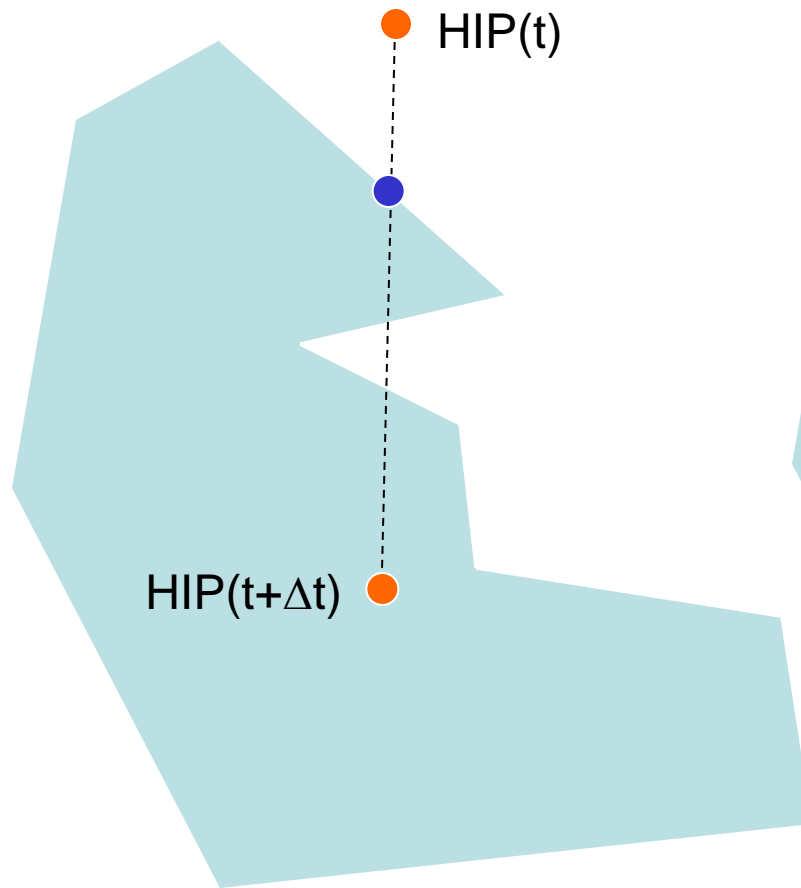
# Calculo del proxy

- Debemos resolver el siguiente sistema:
  - Máximo 3 planos

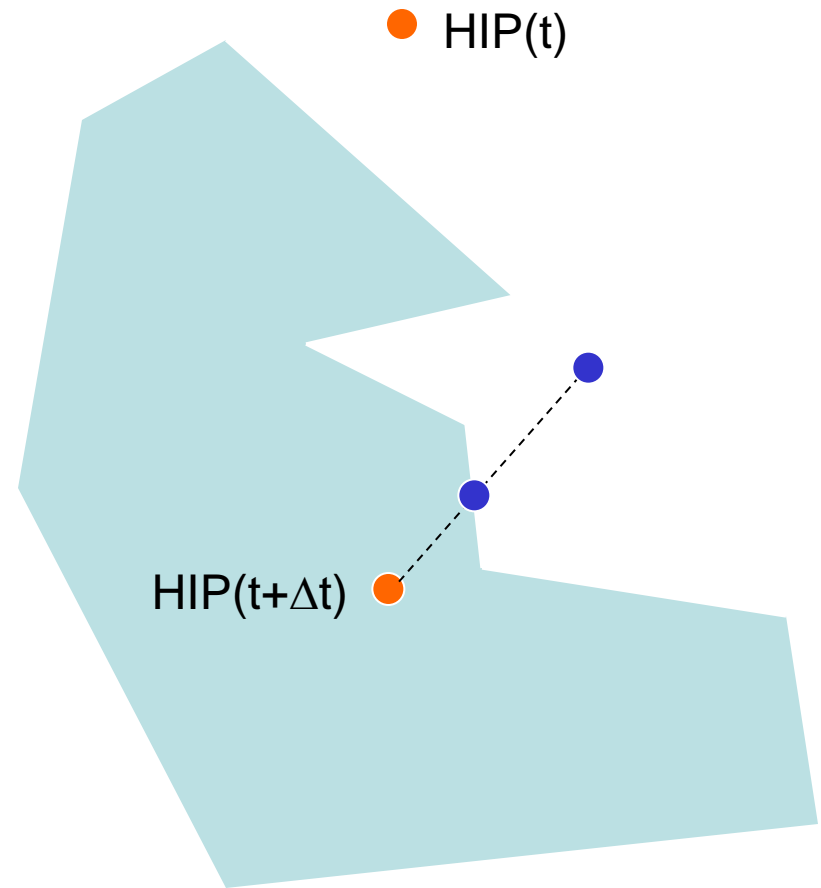
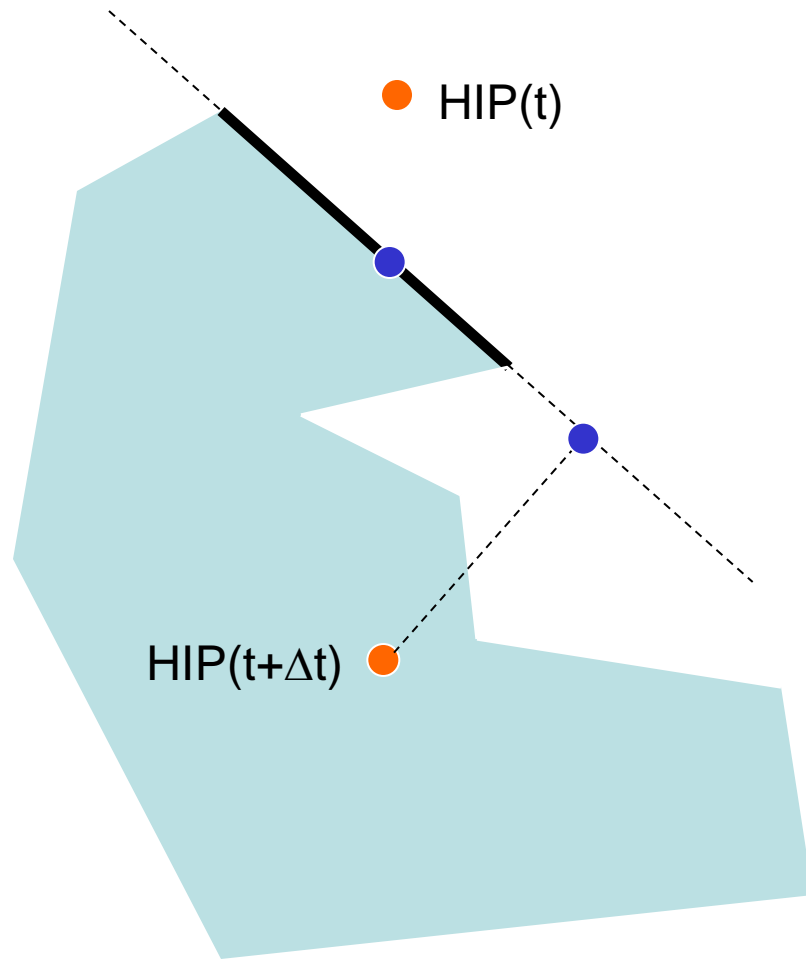
$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & A_1 & A_2 & A_3 \\ 0 & 1 & 0 & B_1 & B_2 & B_3 \\ 0 & 0 & 1 & C_1 & C_2 & C_3 \\ A_1 & B_1 & C_1 & 0 & 0 & 0 \\ A_2 & B_2 & C_2 & 0 & 0 & 0 \\ A_3 & B_3 & C_3 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \lambda_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{HIP} \\ y_{HIP} \\ z_{HIP} \\ D_1 \\ D_2 \\ D_3 \end{pmatrix}$$

# Calculo del proxy

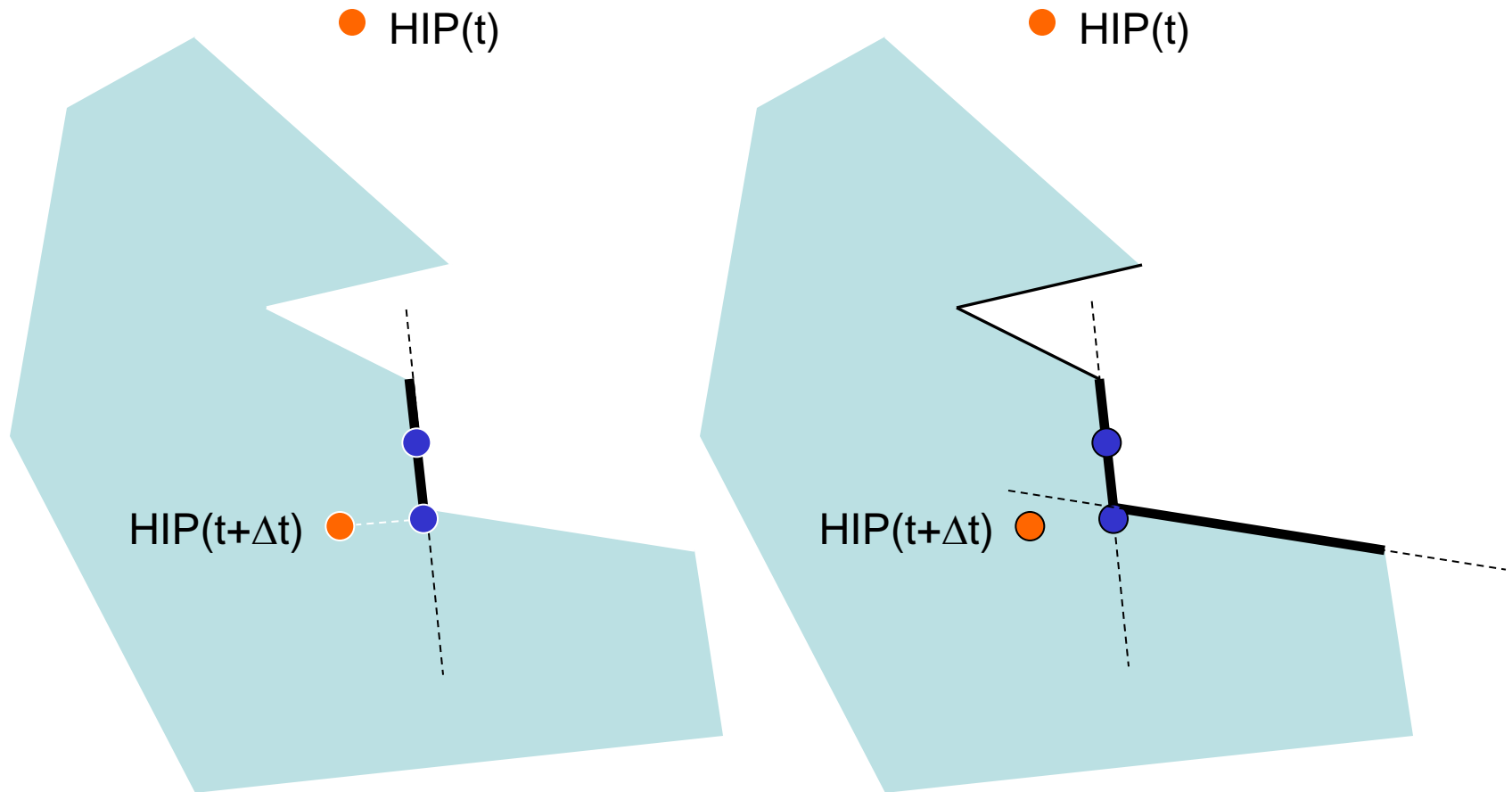
- Proceso iterativo



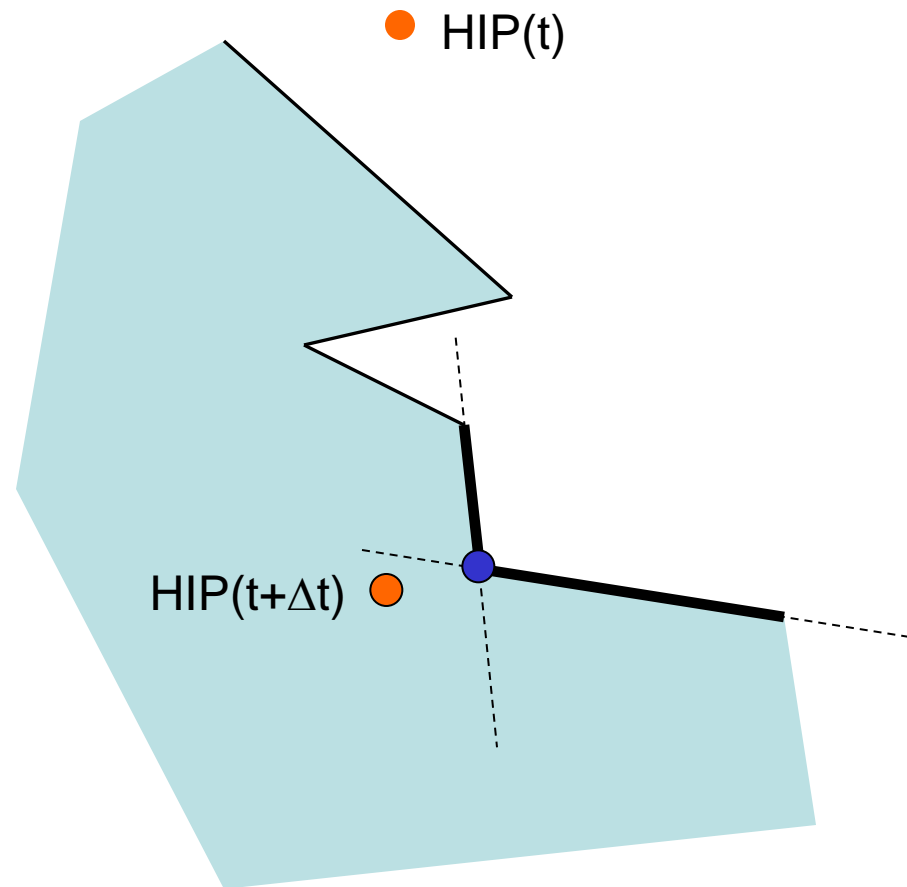
# Calculo del proxy



# Calculo del proxy



# Calculo del proxy

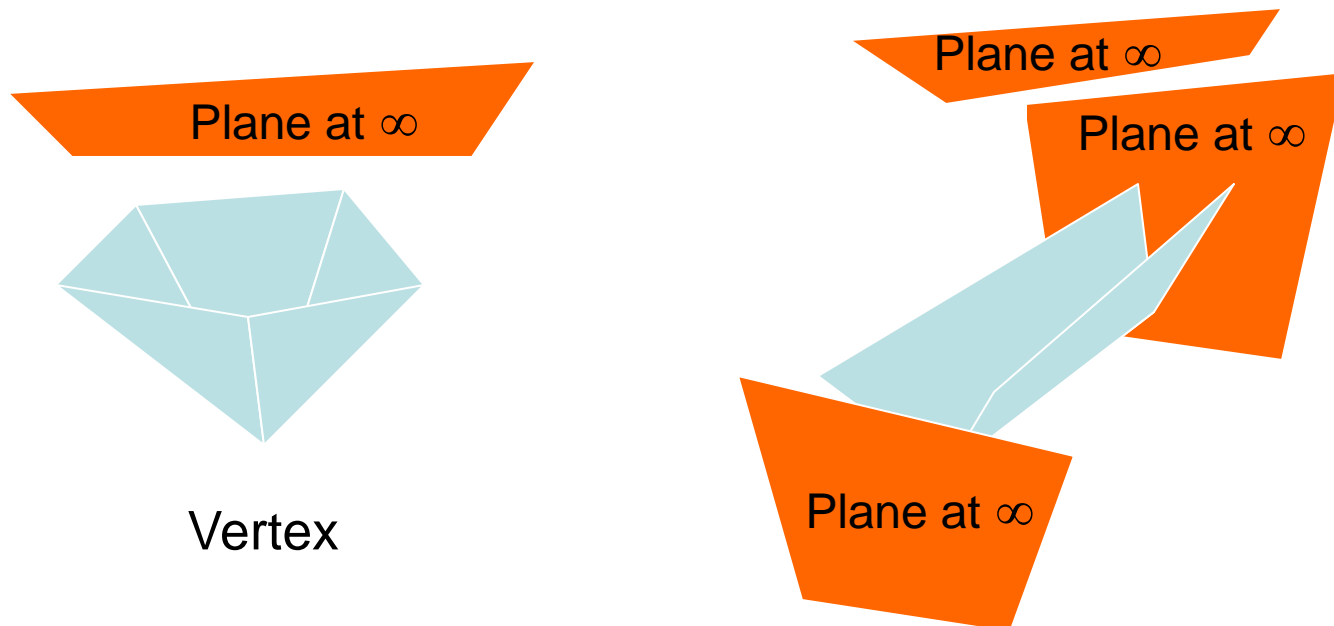


# Calculo del proxy

- Problema solo 3 planos
- Solución programación lineal cuadrática LCP

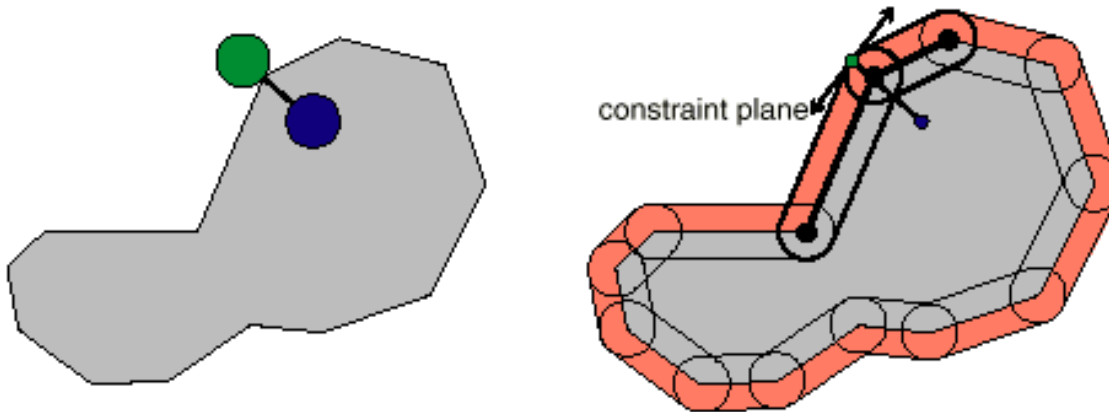
$$C = \|VP_{i+1} - HIP(t + \Delta t)\|$$

$$N_i \cdot (VP_{i+1} - VP_i) \geq 0$$



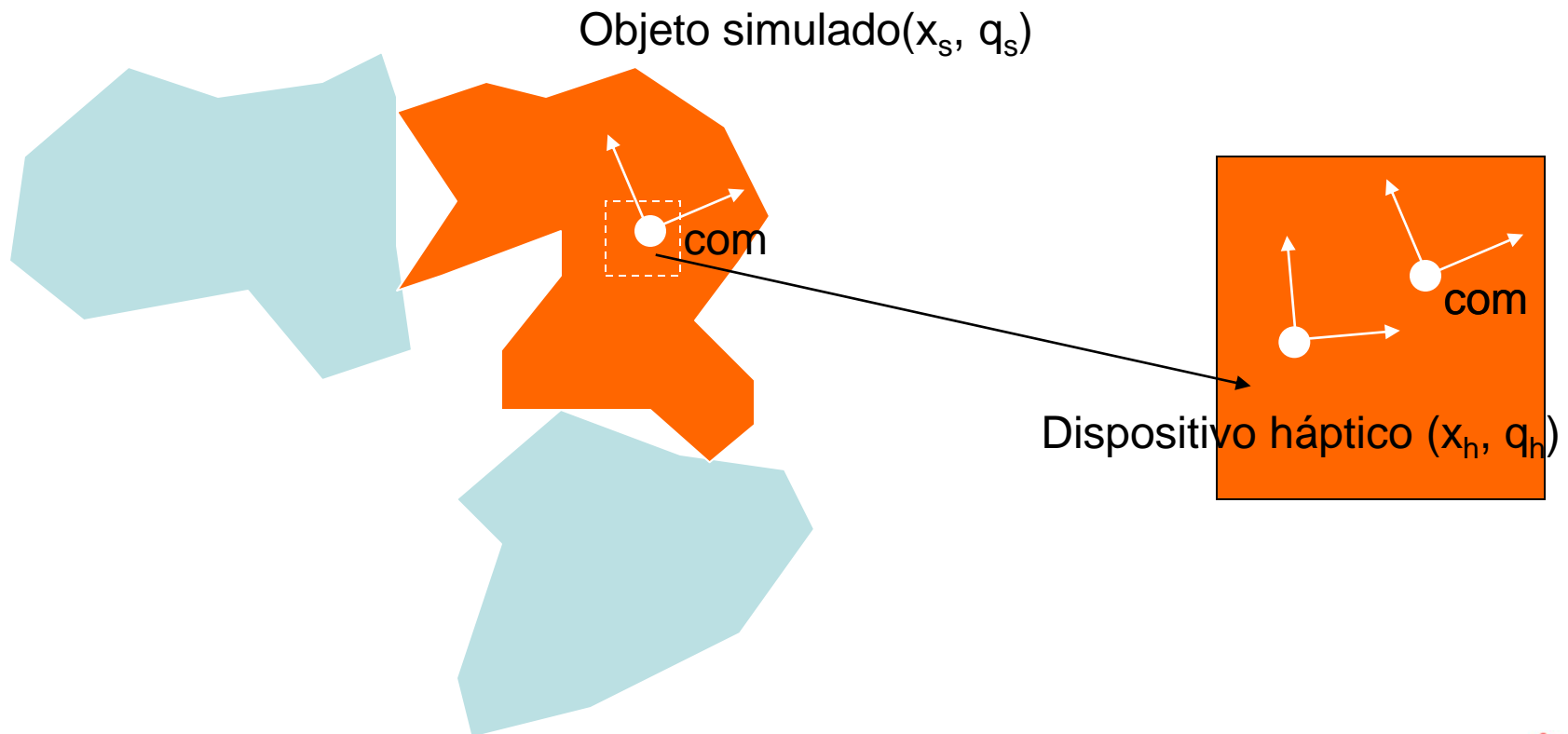
# Calculo del proxy

- Utilizar una esfera en lugar de un punto
  - Fácilmente extensible
    - Se modifica la geometría de los objetos
  - Aporta robustez al sistema
    - Elimina huecos (errores de redondeo)



# Modelos no puntuales

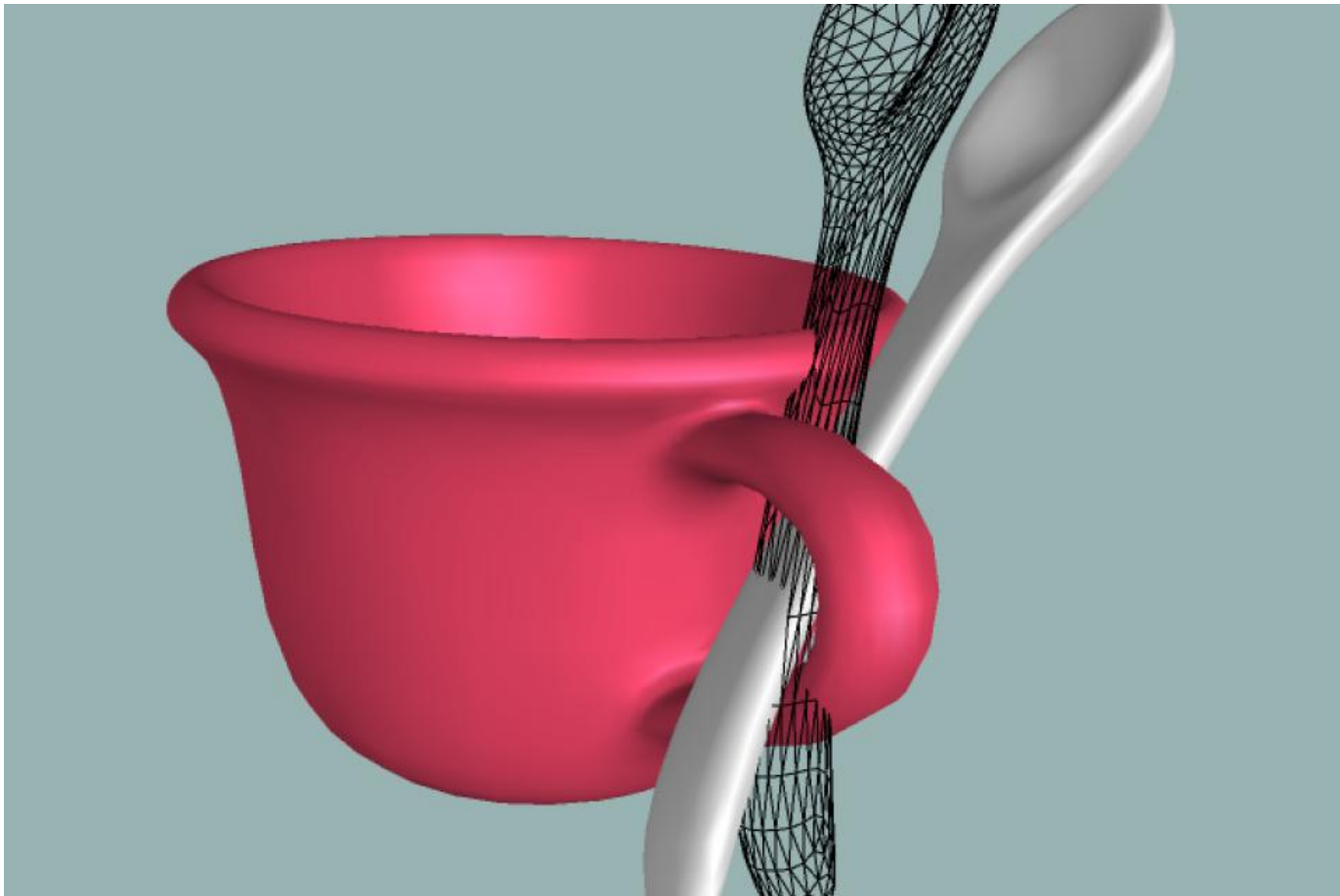
- 6DOF





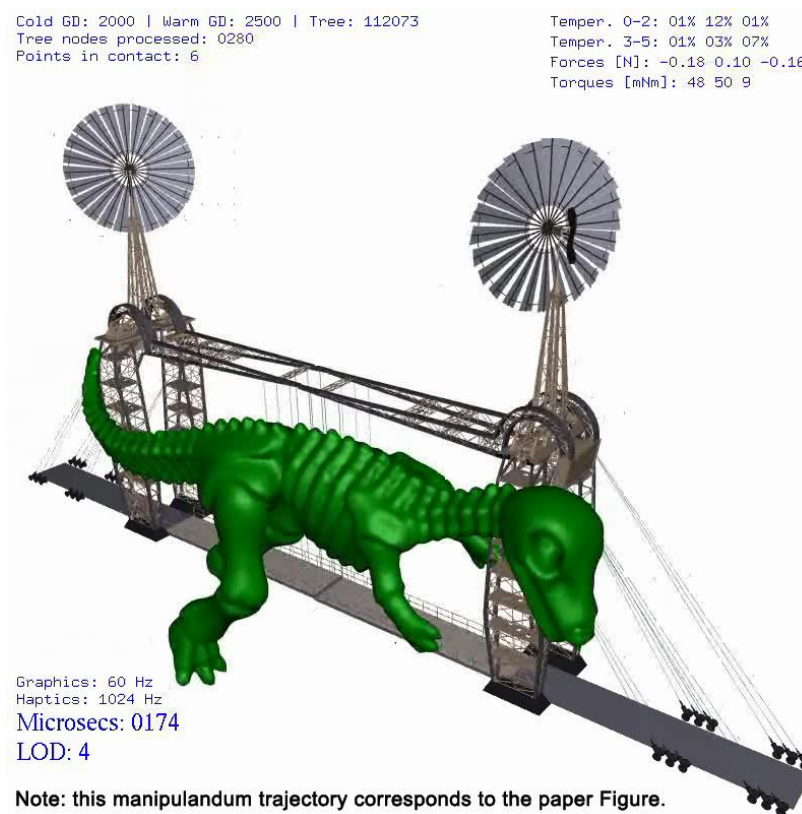
# Modelos no puntuales

- Objeto rígido - objeto rígido



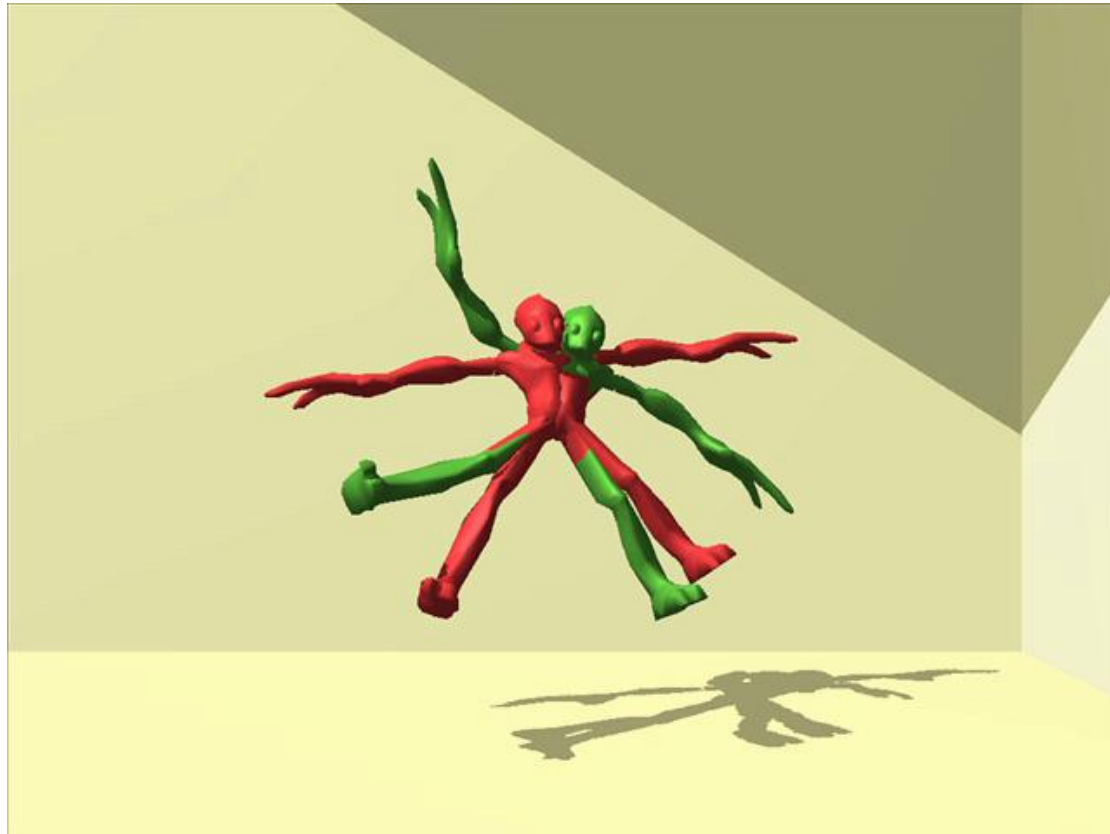
# Modelos no puntuales

- Objeto rígido - objeto deformable



# Modelos no puntuales

- Objeto deformable - objeto deformable



# Modelos volumétricos

**Haptic Navigation along  
Filiform Neural Structures**

**IEEE - World Haptics Conference 2011**