

Facultad de Informática  
Universidade da Coruña

Proyecto de Fin de Carrera  
Alumno: Gabriel Sanmartín Díaz  
Directores: Carlos Dafonte Vázquez  
Julián Flores González

# SIMULACIÓN DE ELEMENTOS ELÁSTICOS MEDIANTE FFD CON VOLÚMENES DE BÉZIER

# ÍNDICE

---

- × **Introducción y Resumen**
- × Metodología de trabajo: Ciclo de vida
- × Base 3D
- × Deformación Ósea
- × Cinemática Inversa
- × Elasticidad
- × Integración
- × Planificación
- × Conclusiones y trabajo futuro

# INTRODUCCIÓN: RESUMEN

---

- ✘ Estudio de varias técnicas de deformación en tiempo real de objetos en entornos 3D.
- ✘ Partiendo de una API gráfica (OpenGL) se ha creado un pequeño motor gráfico con:
  - + Representación jerárquica de objetos (modelos + texturas)
  - + Soporte para sistemas óseos y animaciones
  - + Capacidades de cinemática inversa
- ✘ Proporcionar infraestructura para una nueva técnica que dota de comportamiento elástico a personajes 3D
- ✘ Necesidades:
  - + Consistencia intuitiva (realismo)
  - + Tiempo real (eficiente)
  - + Escalable e integrable con otras técnicas

# ÍNDICE

---

- × Introducción
- × **Metodología de trabajo: Ciclo de vida**
- × Base 3D
- × Deformación Ósea
- × Cinemática Inversa
- × Elasticidad
- × Integración
- × Planificación
- × Conclusiones y trabajo futuro

# METODOLOGÍA DE TRABAJO: CICLO DE VIDA

- ✘ Incremental: construir gradualmente las funcionalidades o capacidades del programa en cada revisión, a través del desarrollo en módulos.
  - + Repetición continua del ciclo de vida en cascada (Fase inicial de extracción de requisitos, análisis, diseño, implementación, pruebas)
  - + Cada incremento es un programa funcional (no prototipo)
- ✘ Por qué?
  - + El riesgo de un proyecto grande se reduce al trabajar sobre proyectos pequeños
  - + Funcionalidades graduales y en incrementos → más fácil determinar si los requisitos para los siguientes son correctos.
  - + No es necesario contar con una especificación completa de los requisitos de fases avanzadas para comenzar a trabajar
  - + Error en diseño o análisis → más sencillo “volver atrás” en desarrollo (deshaciendo iteración anterior).

# ÍNDICE

---

- × Introducción
- × Metodología de trabajo
- × **Versión 1: Base 3D**
- × Deformación Ósea
- × Cinemática Inversa
- × Elasticidad
- × Integración
- × Planificación
- × Conclusiones y trabajo futuro

# VERSIÓN 1 : BASE DEL MOTOR 3D

- ✘ Desarrollo de un marco de trabajo base para la representación de objetos 3D de forma jerárquica y completa.
- ✘ Interfaz que abstraiga de y trabaje sobre OpenGL para simplificar la carga y dibujo de objetos
- ✘ Uso de formato de modelado ampliamente extendido (OBJ) + elementos básicos (iluminación, texturas...)
- ✘ Organización jerárquica: nodos → trasladar un objeto = trasladar a todos los elementos hijos
- ✘ Gestión de ventanas

# ÍNDICE

---

- × Introducción
- × Metodología de trabajo
- × Base 3D
- × **Versión 2: Deformación Ósea**
- × Cinemática Inversa
- × Elasticidad
- × Integración
- × Planificación
- × Conclusiones y trabajo futuro

# VERSIÓN 2: DEFORMACIÓN ÓSEA

- ✘ Transformaciones básicas (traslación, rotación, escalado): se realizan de forma global sobre los objetos
- ✘ Personaje 3D, necesario que mueva únicamente partes localizadas de su cuerpo (p. ej. Brazo)
- ✘ Este trabajo vértice a vértice para cada fotograma es inviable.
- ✘ Necesaria abstracción / simplificación: Sistema de deformación ósea

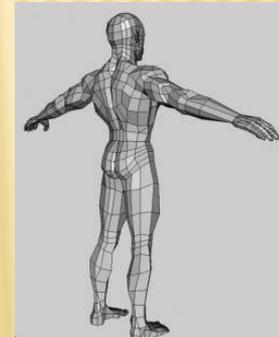
## JERARQUÍAS DE VARIOS OBJETOS

- ✗ Ventajas
  - + Maleabilidad
  - + Menor almacenamiento
  - + Animaciones sencillas
- ✗ Desventajas
  - + Huecos entre elementos



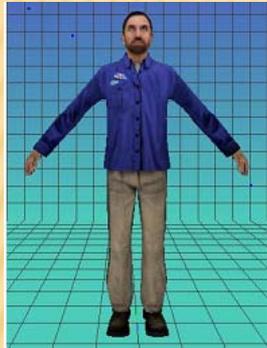
## MALLA ÚNICA

- ✗ Ventajas
  - + Visualmente mejor
  - + Más rápido
- ✗ Desventajas
  - + Obtener animaciones en tiempo real es más difícil
  - + Almacenar posiciones de todos los vértices en cada

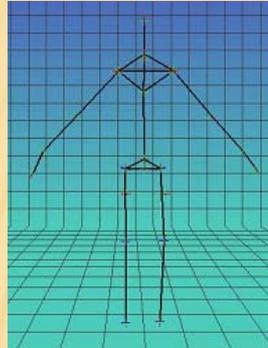


# VERSIÓN 2: DEFORMACIÓN ÓSEA

# VERSIÓN 2: DEFORMACIÓN ÓSEA



Malla



Jerarquía



Malla deformable única

- ✗ Partiendo de “bind pose” se asigna cada vértice a un número de articulaciones
- ✗ Se calcula la matriz que mueve la art. desde origen hasta su posición en BP y se obtiene su inversa
- ✗ Se calcula la matriz para el hueso en la posición final
- ✗ Se aplica sobre cada vértice:

$$\text{verticeMundo} = \text{verticeBase} * (\text{matrizBase})^{-1}$$

$$\text{verticeFinal} = \text{verticeMundo} * \text{matrizActual}$$

- ✗ Ojo a los grados de libertad

# ÍNDICE

---

- × Introducción
- × Metodología de trabajo
- × Base 3D
- × Deformación Ósea
- × **Versión 3: Cinemática Inversa**
- × Elasticidad
- × Integración
- × Planificación
- × Conclusiones y trabajo futuro

# VERSIÓN 3: CINEMÁTICA INVERSA

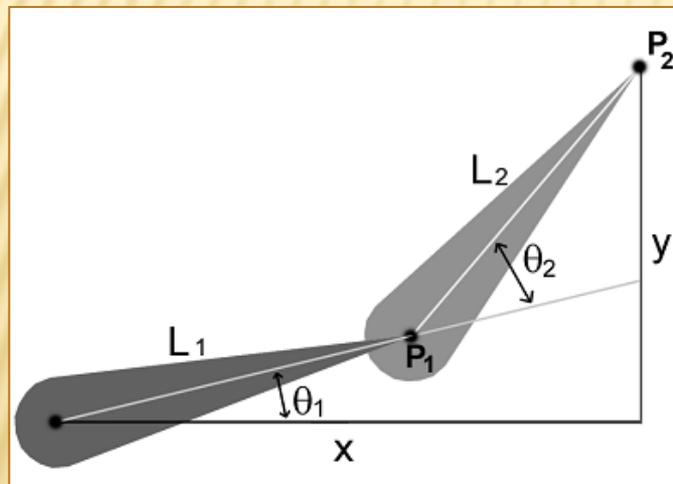
- ✘ Animaciones en tiempo real dependientes del estado del mundo vs. Animaciones pregrabadas.
- ✘ Caso: Personaje elástico cuyas extremidades se estiran para alcanzar un punto arbitrario



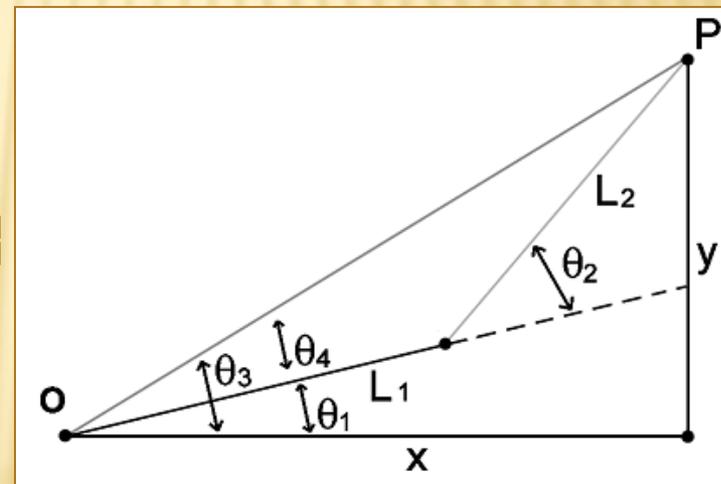
- ✘ Esto requiere cinemática inversa para orientar el brazo de forma animada

# VERSIÓN 3: CINEMÁTICA INVERSA

- ✘ Múltiples técnicas
- ✘ Solución analítica vs. numérica
- ✘ Analítica: Análisis geométrico



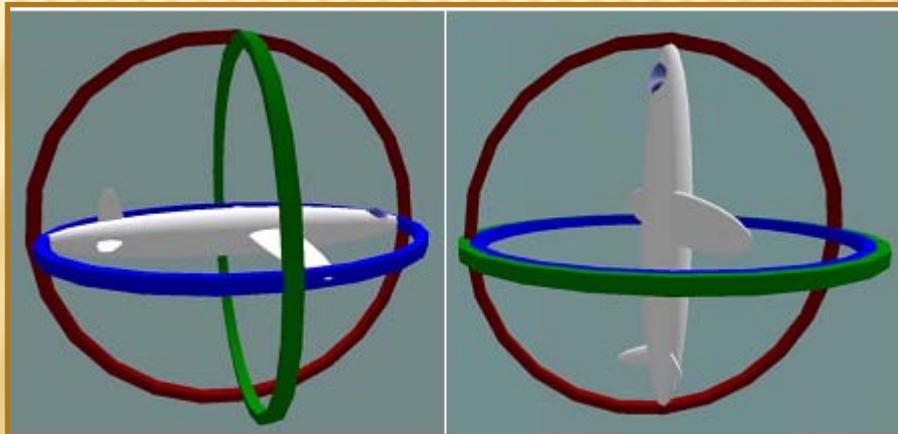
=



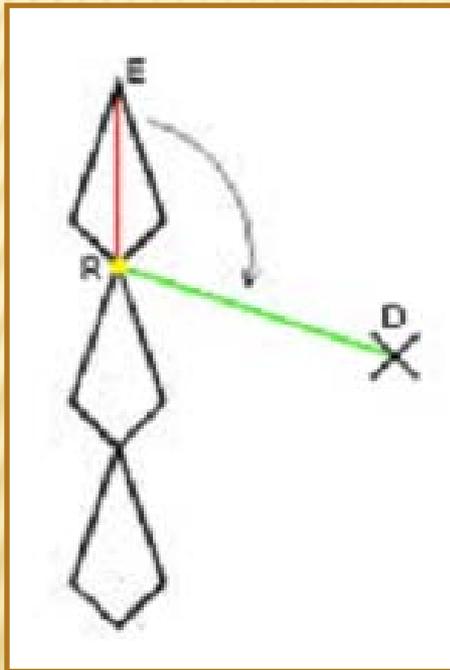
- ✘ Comp. inviable & resultados no adecuados

# VERSIÓN 3: CINEMÁTICA INVERSA

- ✘ Numérica: “Cyclic-Coordinate Descent (CCD)” : método de minimización del error ajustando cada elemento por separado.
- ✘ Comienza por el último eslabón de la cadena (efector) y continúa hacia atrás, ajustando los ángulos
- ✘ Necesario el trabajo en 3 dimensiones → uso de cuaterniones por el problema del “Gimbal Lock”



# VERSIÓN 3: CINEMÁTICA INVERSA



- ✘ Vector desde R, a la posición actual del efector, E.
- ✘ Vector desde R a la posición deseada, D.
- ✘ Ángulo  $\alpha$  necesario para rotar RE y que sea paralelo con RD.
- ✘ Producto escalar (ángulo) + Producto vectorial (dirección)
- ✘ Se repite el proceso para el elemento anterior y así sucesivamente
- ✘  $n$  veces por fotograma hasta alcanzar un mínimo aceptable

# ÍNDICE

---

- × Introducción
- × Metodología de trabajo
- × Base 3D
- × Deformación Ósea
- × Cinemática Inversa
- × **Versión 4: Elasticidad**
- × Integración
- × Planificación
- × Conclusiones y trabajo futuro

# VERSIÓN 4: ELASTICIDAD

---

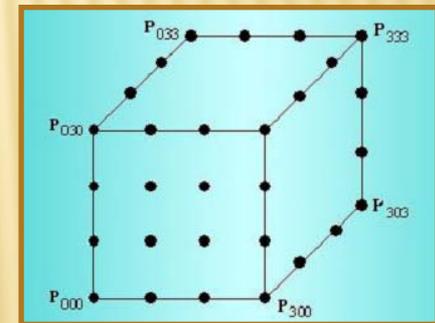
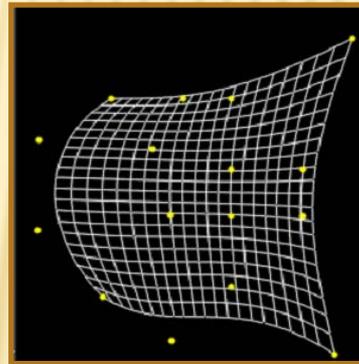
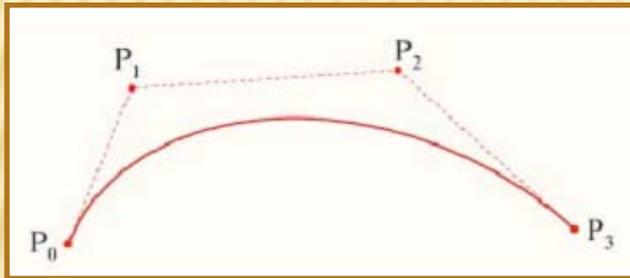
- ✘ Sistema para dotar de comportamiento elástico a personajes animados 3D
- ✘ Coherencia visual con las propiedades físicas y estéticas del entorno
- ✘ Trabajo de forma localizada + número arbitrario de deformaciones

# VERSIÓN 4: ELASTICIDAD

- ✘ “Free-Form Deformation” (FFD):
  1. El objeto se introduce en un sistema de coordenadas regular definido por tres ejes mutuamente perpendiculares (X,Y,Z).
  2. El sistema de coordenadas se deforma, los ejes anteriormente rectos se convierten en curvos.
  3. Las posiciones de los vértices de los objetos en el anterior sistema de coordenadas se actualizan para situarse en el punto en el que terminaron tras deformarse el sistema de coordenadas.
- ✘ FFD: técnica muy general válida sobre cualquier tipo de objeto (poligonales, curvas de Bézier, “B-Splines”...)

# VERSIÓN 4: ELASTICIDAD

- ✘ Base de FFD: volúmenes de Bézier
- ✘ Generalización de las conocidas curvas de Bézier



$$Q(u, v, w) = \sum_{l=0}^3 \sum_{j=0}^3 \sum_{k=0}^3 P_{l,j,k} B_{l,3}(u) B_{j,3}(v) B_{k,3}(w)$$

# VERSIÓN 4: ELASTICIDAD

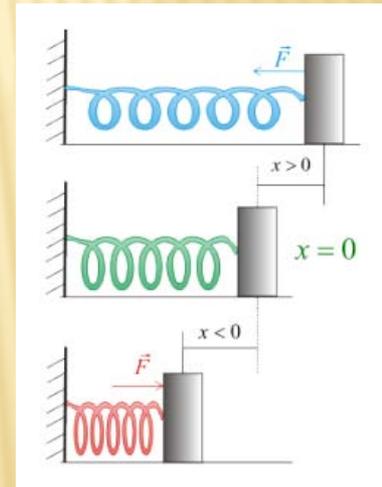


1. Transformar vértices al sistema de coordenadas  
+ Puntos interiores: valores entre 0 y 1
2. Al desplazar cualquiera de los ptos. de control  $P_{ijk}$  se pasa su coordenada [0-1] por la ecuación paramétrica de Bézier
3. El vector resultante es la posición deformada de ese vértice

# VERSIÓN 4: ELASTICIDAD

- ✗ Elasticidad → aplicar un modelo físico de ésta a los puntos de control
- ✗ Oscilador Armónico Amortiguado
  - + Basado en Ley de Hooke:

$$f = -k * x$$



- ✗ Integración de Verlet: cálculo de la posición en cada  $t$ , la velocidad implícita ( $x-x_0$ ): más rápido y siempre en sincronización
  - +  $pos = pos + (pos - old\_pos) * (1.0 - Kd) + aceleración * TIEMPO * TIEMPO$

# ÍNDICE

---

- × Introducción
- × Metodología de trabajo
- × Base 3D
- × Deformación Ósea
- × Cinemática Inversa
- × Elasticidad
- × **Versión 5: Integración y Optimización**
- × Planificación
- × Conclusiones y trabajo futuro

# VERSIÓN 5: INTEGRACIÓN Y OPTIMIZACIÓN



- ✘ Combinación con sistema óseo: sistema jerárquico de deformaciones sincronizado con el hueso
- ✘ En cada fotograma se actualiza la orientación del FFD a la del hueso tomando su matriz del sistema óseo
- ✘ Restricción del FFD al origen de coordenadas: lo que desplazamos son los vértices al origen antes de iniciar el proceso, el FFD permanece quieto → Simplificación

# ÍNDICE

---

- × Introducción
- × Metodología de trabajo
- × Base 3D
- × Deformación Ósea
- × Cinemática Inversa
- × Elasticidad
- × Integración
- × **Planificación del proyecto**
- × Conclusiones y trabajo futuro

# PLANIFICACIÓN TEMPORAL DEL PROYECTO

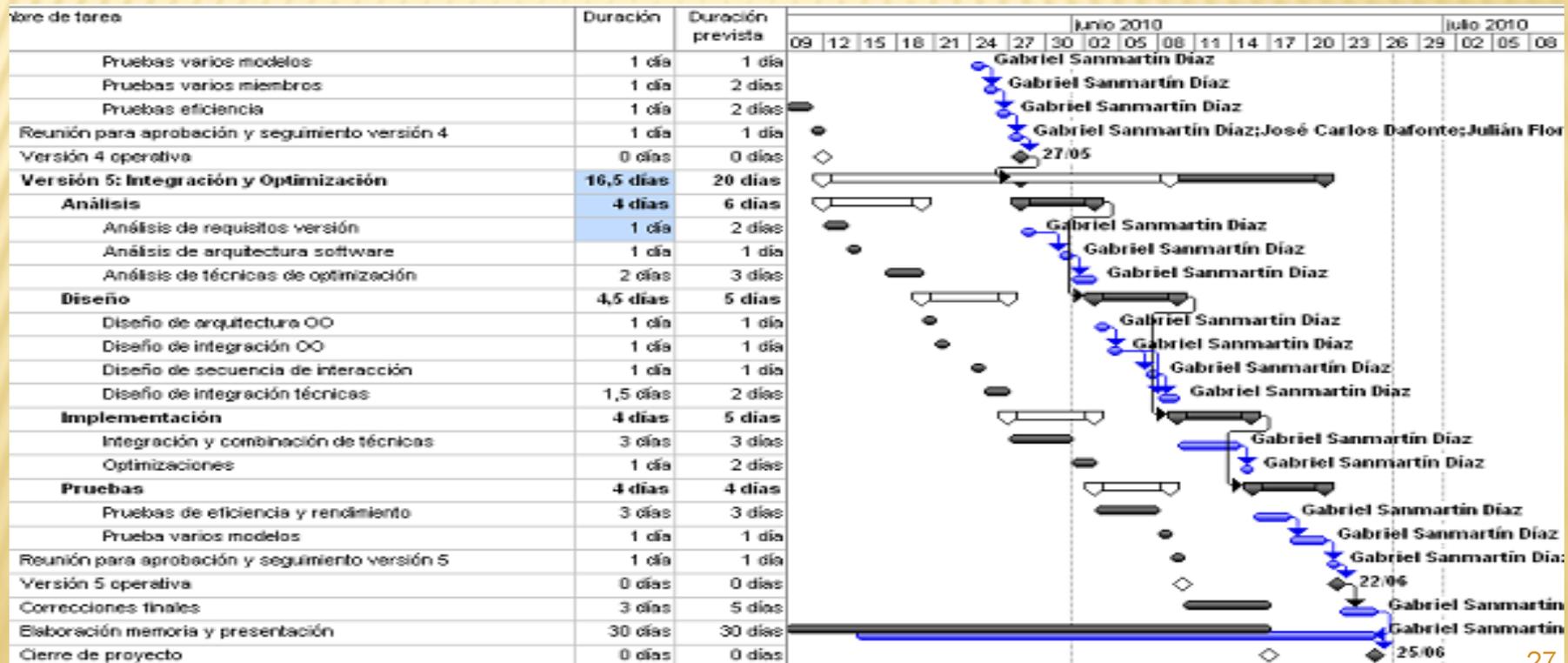
## ✘ Planificación prevista:



<b>Fecha de inicio del proyecto:</b>	Lunes 7 de septiembre del 2009
<b>Fecha de finalización prevista:</b>	Miércoles 16 de junio del 2010
<b>Duración:</b>	207 días (7 meses), 621 horas

# PLANIFICACIÓN TEMPORAL DEL PROYECTO: SEGUIMIENTO A FINAL DEL PROYECTO

- ✘ Retraso total de más de 9 días
- ✘ Finalización el día 25 de junio



# PLANIFICACIÓN DE COSTES DEL PROYECTO

## ✘ RRHH + Recursos materiales

Función	Nombre	Dedicación (horas)	Coste unitario	Total
<i>Desarrollador</i>	Gabriel Sanmartín	Completa (621 horas)	30	18630
<i>Director de proyecto</i>	Julián Flores	Parcial (60 horas)	50	3000
<i>Director de proyecto</i>	Carlos Dafonte	Parcial (60 horas)	50	3000
<b>TOTAL:</b>				24630€

Nombre material	Cantidad	Coste unitario	Total
<i>Ordenadores</i>	1	1200/ud.	1200
<b>TOTAL:</b>			1200



<i>Total Recursos Humanos</i>	24630
<i>Total Hardware</i>	1200
<b>TOTAL:</b>	25830

## ✘ No hay costes asociados al SW (SW libre)

# ÍNDICE

---

- × Introducción
- × Metodología de trabajo
- × Base 3D
- × Deformación Ósea
- × Cinemática Inversa
- × Elasticidad
- × Integración
- × Planificación
- × **Conclusiones y trabajo futuro**

# CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

- ✘ Se ha desarrollado motor completo y aprendido conceptos fundamentales 3D: estructura de un motor, deformación ósea y esqueletos, cinemática inversa, acceso a vértices...
- ✘ Desarrollado técnica novedosa basada en conceptos extendidos (Free-Form Deformation)
- ✘ Publicación artículo Congreso Español de Informática Gráfica (CEDI2010)
- ✘ Trabajo futuro: Optimización aprovechando procesadores vectoriales de las GPUs

**GRACIAS POR SU ATENCIÓN**