

Animación y simulaciones físicas usando gráficas por computadora

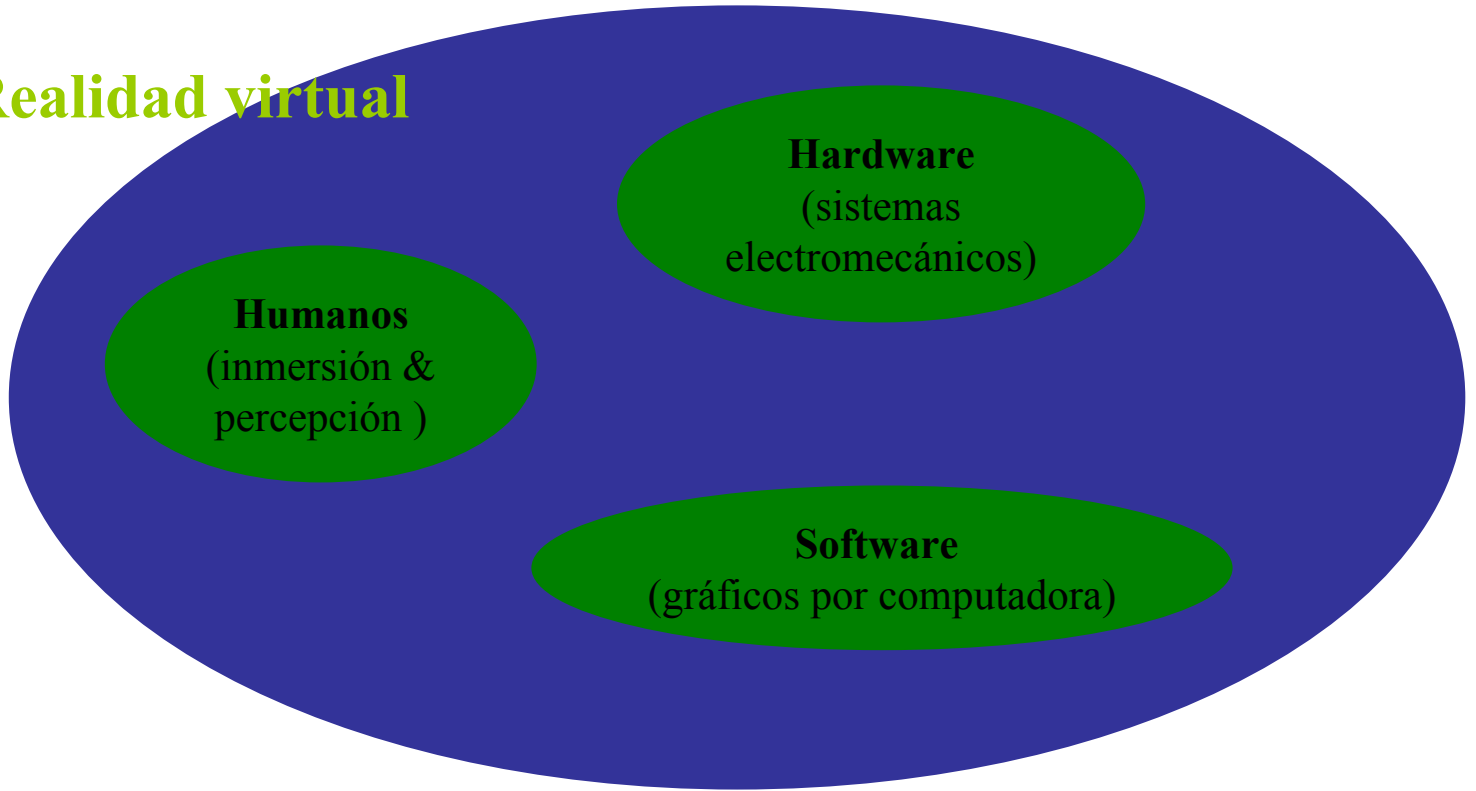
César Mendoza (www.mendozajullia.com)

Asesorías: Miércoles 5 – 7 pm

Departamental II

Despacho 147

Realidad virtual



Temas ...

- **Iluminación en tiempo real,**
- **Visualización científica,**
- **Texturado,**
- **Sombreado,**
- **Renderizado en tiempo real,**
- **Programación tarjetas GPU,**
- **Animación y modelado de sistemas físicos**
- **etc.**



- Simulación física e interactiva de:
 - Objetos rígidos
 - Fluídos
 - Objetos deformables
 - Gases
 - Explosiones
 - Cabello
 - Nieve
 - Nube
 - Ropa...i.e. Todo tipo de fenómenos naturales

Animación
Convencional

Simulación
científica

Animación basado
en leyes físicas

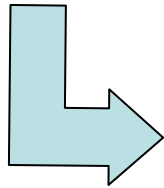
Quién es quién ?

- Animación convencional
 - Interpolación + keyframes
 - Totalmente controlable
 - Predefinido, no interactivo
- Animación basada en leyes físicas
 - Sigue leyes de nuestro macromundo
 - Cálculos en tiempo real
 - Interactiva

Quién es quién ?

- **Simulación científica**
 - Reproducción de fenómenos físicos
 - Substituto de experimentos reales
- **Animación basada en leyes físicas**
 - Imitación de los fenómenos físicos
 - Comportamiento plausible
 - Realismo (depende de la rapidez de cálculo y restricciones de estabilidad)

- Física es un campo muy extenso



Dinámica: Estudio de fuerzas y masas que causan movimientos a lo largo del tiempo.

Aplicaciones

- Simulación de materiales
- Modelo del comportamiento de agentes de videojuegos
- Simuladores de cirugía
- Industria fílmica

Elementos clave en una simulación-animación

- Poner los objetos en un mismo marco de referencia
- Análisis de interacciones (detección de colisiones entre objetos, cálculo de fuerzas)
- Cálculo de dinámica, posición del objeto
- Renderizado de objetos

Factores importantes en el rendimiento de una simulación

- Técnicas para resolver las ecuaciones dinámicas de un modelo físico (métodos de integración, paso de tiempo)
- Nivel de detalle del objeto
- Número de elementos en la escena virtual
- Técnicas de detección de colisión
- Cálculo de la respuesta a la colisión
- Técnicas de renderizado (sombreado, iluminación, etc.)

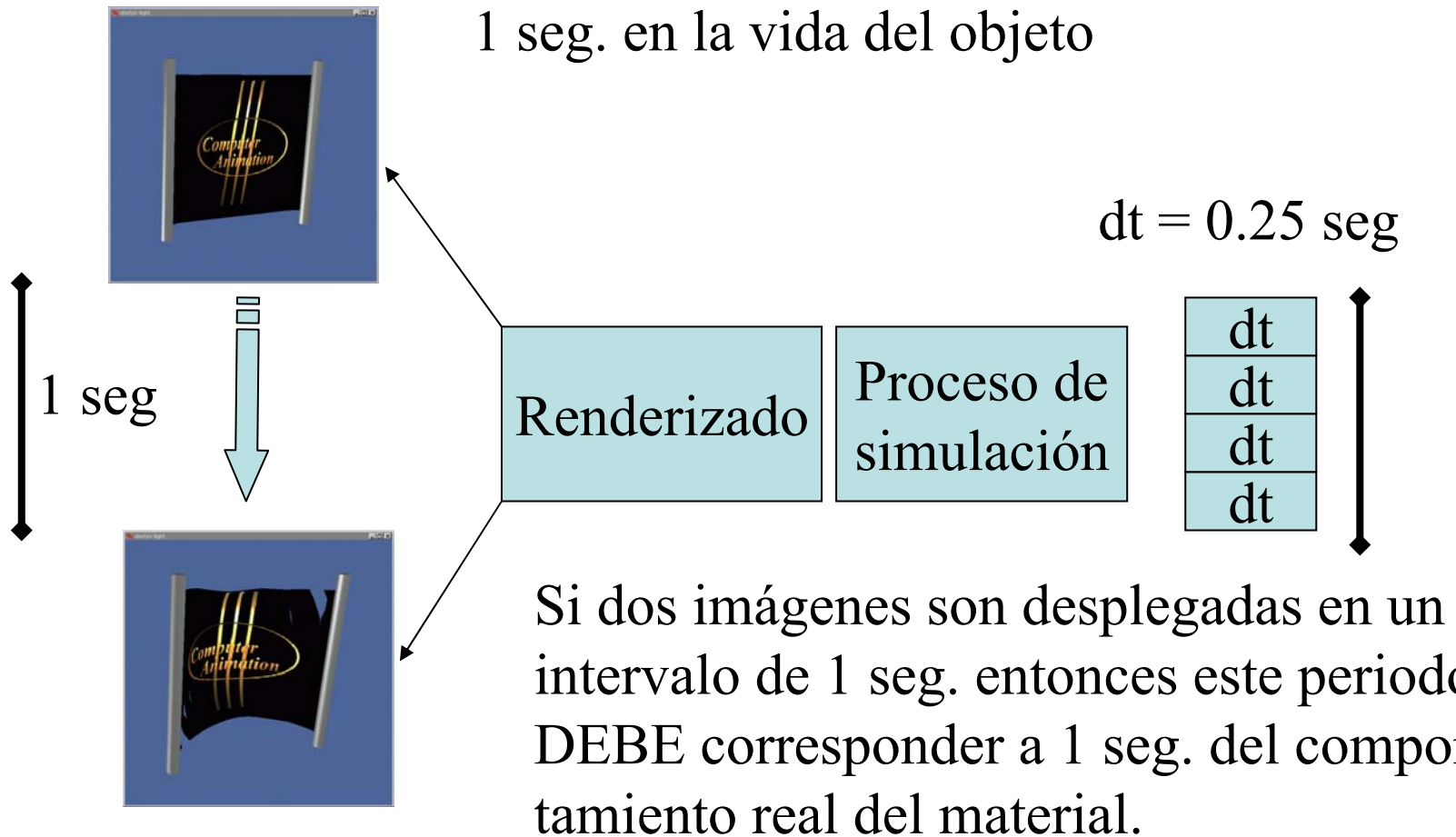
Rapidez

- Que tan rápido son resueltas las ecuaciones dinámicas de los objetos simulados.

Interactividad  Tiempo-real

REAL tiempo real: la imagen que el usuario percibe debe corresponder a un paso de simulación.

« Real » tiempo-real



De lo contrario, muy lento

1 seg. del tiempo en la vida real del objeto



$dt = 0.25\text{seg}$

dt



Imágenes actualizadas cada dt

dt



Proceso muy complicado !

O ... muy rápido

1 seg. de la vida real del objeto

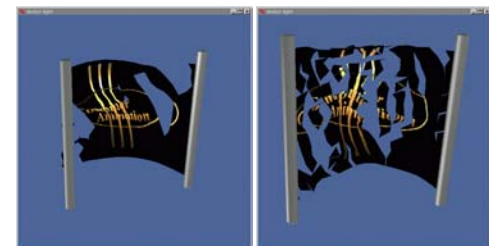


$dt = 0.25$



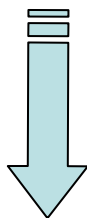
Proceso muy sencillo !

Imágenes actualizadas cada dt



Sincronización

Aún cuando podemos tener 30 imágenes por segundo, si no corresponden a $1/30$ segundos de la vida real, entonces el sistema no está sincronizado.



No tiempo real *real*

Tipo de modelo

La rapidez tambien depende del tipo de modelo:

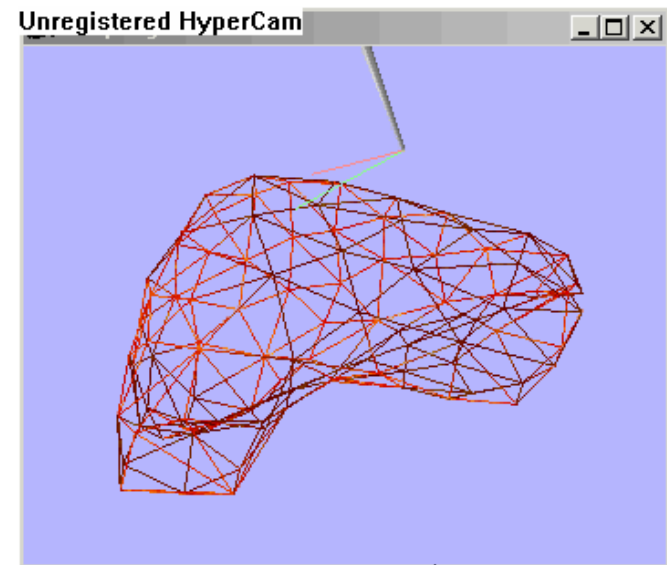
- Masa-muelle (muy rápido)
- Método de elemento largo (muy rápido)
- Método de elementos de frontera (rápido)
- Método de elementos finitos (FEM):
 - Formulación clásica (muy lento)
 - Con simplificaciones :
 - Condensado (muy rápido)
 - Explicito (rápido)

Numero de elementos

- Número de muelles
- Número de tetrahedros
- Número de puntos
- Muestreo espacial adaptativo

Muestro espacial adaptativo

- También conocido como simulación por nivel de detalles
- Representaciones jerárquicas
- Cantidades de puntos-masa para diferentes precisiones en el modelado de objetos
- Este método permite enfocar la carga computacional en regiones de interés del objeto.



Pero existen algunos problemas:

- ¿ Cómo se definen las regiones de interés ?
- ¿Cuál es la mejor combinación entre la deformación geométrica y la deformación basada en la física.
- ¿ Cuántos y cuáles deben ser los grados de libertad para las deformaciones ?
- ¿ Como se cambia entre los diferentes niveles de detalle de un objeto ?
- ¿ Cual es la mejor técnica para realizar el actualizado de los puntos de los objetos ?
- Casi imposible de realizar en tiempo-real modificaciones topológicas



Aún mucho por investigar ...

Manejo de las colisiones

- Detectar la colisión entre uno o más objetos
- Detectar la respuesta a las colisiones

Aun hay mucha investigación que se hace para realizar la detección de colisión entre objetos:

- Fase de optimización: Da una idea de donde puede existir la colisión (métodos de descomposición espacial, jerarquías de cajas englobantes)
- Fase de localización exacta de la colisión (algoritmo de GJK).
- Aceleración por hardware

Demasiado ! Requieren varias clases

Detección de la colisión

- Depende del tipo de modelo:
 - **Modelos non-poliedrales** (e.g. superficies implícitas, paramétricas)
 - **Modelos poliedrales** (e.g. sopas de polígonos, objetos estructurados concavos y convexos)

Algunos factores que influyen en la interactividad:

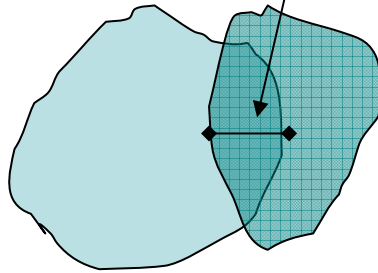
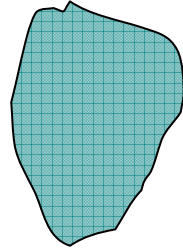
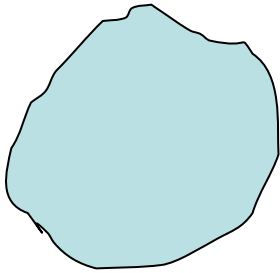
- La forma geométrica del objeto
- El número de polígonos en el objeto
- La naturaleza física del objeto (rígido ó deformable)

Modelos para el cálculo de la respuesta a la colisión

- **Modelos basados en los impulsos:** el fenómeno de la colisión es considerado instantáneo (objetos rígidos)
- **Modelos basado en el método de penalidades:** en el momento de la colisión, la fuerza reactiva primero reduce la velocidad relativa de dos objetos y después los repela dependiendo de la penetración.

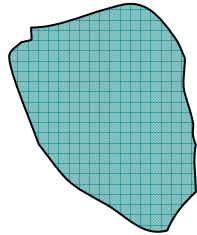
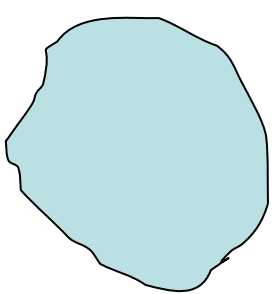
Hipótesis: deformación == interpenetración

(objetos rígidos y deformables)

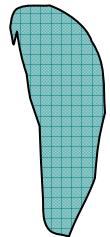
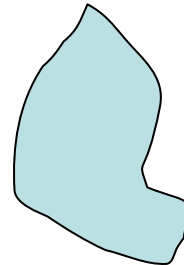


Interpenetración

Caso rigido



Caso deformable



Método de penalidad

Fuerza = rigidez * interpenetración

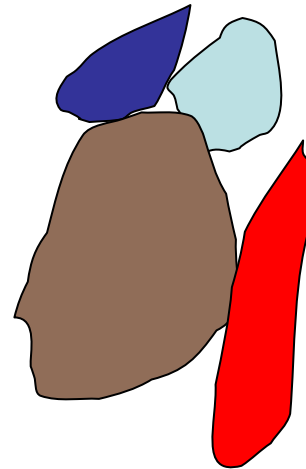
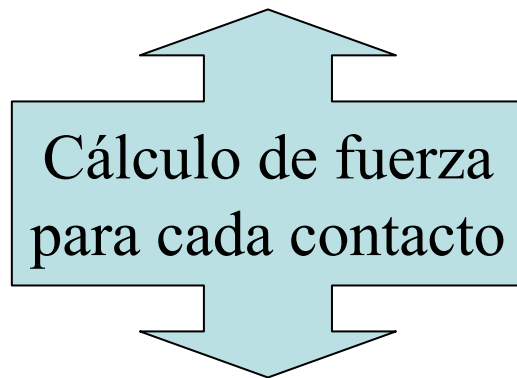
(aunque otros modelos mas complicados existen)

Para objetos rígidos: Rápido, solo se realiza un cálculo

Para objetos deformables: Lento, cálculo de la fuerza para cada primitivo (triángulos, puntos, etc.)

Además ...

Varios objetos en contacto



Se reduce el rendimiento

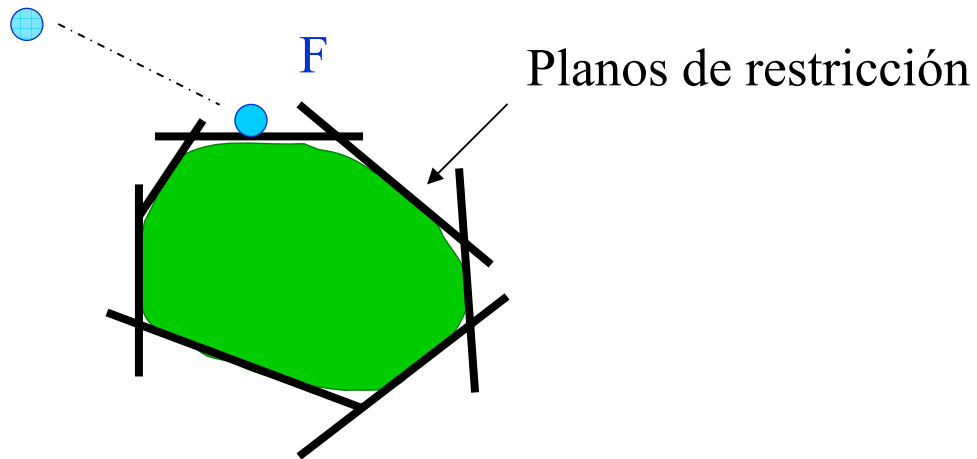
- Modelos basados en la restricción:

$$\text{Movimiento}(t) = f(\text{fuerza})$$

$$C(\text{Movimiento}(t)) > 0$$

El movimiento de los objetos es una función de la fuerza sujeta a restricciones de no penetración.

A continuación un ejemplo ...

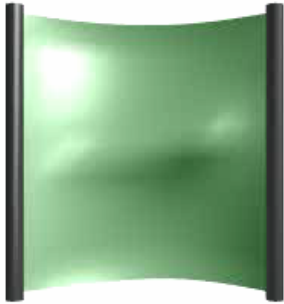


El movimiento de la esfera depende de la fuerza

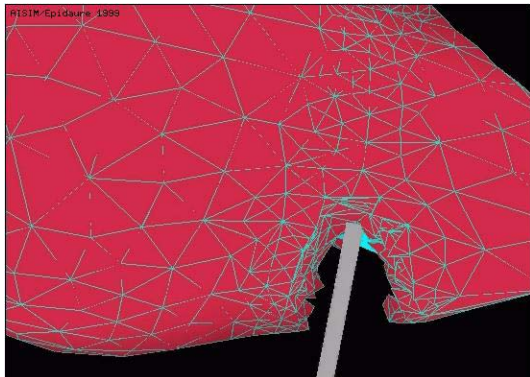
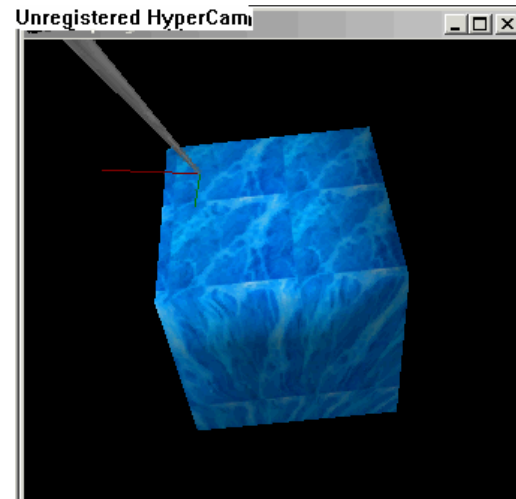
Restricción:

Posición de la esfera $>$ normal_plano * puntoEnPlano

Fuerzas externas pueden afectar la topología de los objetos...



20.0 FPS - 1312 % real-time



- Separar, dividir o destruir elementos de los objetos
- Verificar a cada paso de tiempo la complitud del objeto (estabilidad).

Técnicas de renderizado

- Técnicas del Nivel de detalle (Level of detail - LoD)
Nuevamente: Problema entre el intercambio de diferentes niveles de detalles.
- Display lists de OpenGL (solo para objetos rígidos)
 - Se almacenan los primitivos del objeto
El problema no es la razón de cambio del actualizado de los objetos, sino el transporte de datos del procesador a la tarjeta gráfica.
 - Actualmene, se puede reducir este tráfico de datos con simples operaciones en la tarjeta gráfica (e.g. vertex shaders)
- Multi-procesos
- Clipping

Paso de tiempo

Como lo dijimos previamente, el rendimiento de un sistema de simulación depende del paso de tiempo que se utiliza para resolver las ecuaciones de un modelo.

e.g [Volino,Thalman 2001]

*Simulación de ropa, 4096 vértices, 16875 tetraedros,
22320 muelles, Intel Pentium 4, 2 GHz*

Método	time-step[ms]	comp.time[ms]
Expl.Euler	0.5	9.5
RK 2	3.8	18.9
Impl.Euler	49.0	172
RK 4	17.0	50.0
Verlet	11.5	9.5

Paso de tiempo adaptativo

- Se minimizan los gastos computacionales al utilizar pasos de tiempo adaptativos.
 - Pasos de tiempo muy pequeño si las fuerzas en los vértices cambian rápidamente
 - Pasos de tiempo grandes si las fuerzas no

Pero:

- Carga computacional por el rastreo del cambio de fuerzas
- Cambios de los pasos de tiempo puede perturbar la suavidad de la simulación.

Ejemplos:

- Una esfera que cae libremente no requiere pasos de tiempo adaptativo.
- La deteccion de colision requiere pasos de tiempo adaptativos

