

# Introducción a la simulación computacional

## Contenido I

### Generalidades de la simulación

#### 1 Definiciones

¿Por qué usar simulación?

¿Cuándo se puede usar la simulación?

¿Cómo simular?

#### 2 Simulación Virtual

#### Simulación Dinámica

## Definición

La simulación, en general, pretende tratar algo real cuando usando una imitación menos compleja.

En Ingeniería esa imitación es un modelo computacional de la realidad simulada.

## Generalidades de la simulación

### 1. Proceso físico

Fenómeno físico de la vida real.

### 2. Modelo

Descripción matemática de un fenómeno de la vida real.

### 3. Algoritmo de simulación

Un método para resolver las ecuaciones, para saber como cambia el sistema en el tiempo.

### 4. Programa computacional

Un programa que se escribe para implementar el algoritmo.

### 5. Simular

Correr el programa

## Definiciones

**Sistema dinámico:** cualquier colección de cosas que se mueven o cambian.

**Simulación:** correr un modelo matemático de un sistema sea dinámico o estático dentro de un computador. Una simulación no muestra usualmente el todo el comportamiento del sistema real porque se usan modelos simples.

**Simulación Online:** aquella que se corre tan rápido como el sistema real.

## Definiciones

**Simulación Offline:** aquella que corre más despacio que el sistema real.

**Simulación interactiva:** aquella que es tan rápida como para que una persona la pueda controlar ("dentro del ciclo")

**Simulación en tiempo real:** aquella que se garantiza que actualizará el sistema un número fijo de veces por segundo.

## ¿Por qué usar simulación?

Los modelos son usados en diversos campos en donde **es muy costoso, peligroso y a menudo imposible, hacer experimentos sobre los sistemas reales.**

Los modelos son fieles descripciones de la realidad, experimentando con ellos se tienen **ahorros de dinero, tiempo y mayor seguridad** para su construcción.

## ¿Cuándo se puede usar la simulación?

Los sistemas **cambian con el tiempo e implican aleatoriedad**. Modelar **sistemas dinámicos complejos teóricamente necesita muchas simplificaciones** y los modelos resultantes pueden no ser válidos, por lo tanto, la **simulación no requiere de muchas simplificaciones a los supuestos**, haciéndolo solamente se crea una herramienta llana, ausente de aleatoriedad.

## ¿Cómo simular?

Se puede describir gráficamente el comportamiento de este sistema **trazando en una gráfica su comportamiento, el estado del sistema. Cada vez que el sistema cambia, la gráfica se modifica.** Esta gráfica, llamada camino de la muestra, podría ser obtenida por observación del sistema verdadero, pero puede también ser artificialmente construida. Tal construcción artificial y el análisis del camino muestra resultante (o más caminos muestrales, en casos más complejos) es parte de la simulación.

## ¿Cómo se hace la simulación?

- **Manualmente**
- Programación de computador
- Como un proceso de captura que servirá de entrada a un software simulador.
- Corriendo el programa apropiadamente suministra los caminos muestrales y sus análisis.

## Clases de simulación

**Para eventos discretos:** Entre dos tiempos consecutivos nada sucede, la gráfica es horizontal.

Cuando el número de eventos es finito, llamamos a la simulación de eventos discretos.

**Para eventos continuos:** En algunos sistemas el estado cambia todo el tiempo, no como con el caso de algunos eventos discretos. En tales casos una **simulación continua es más apropiada**, aunque la simulación de eventos discretos puede servir como aproximación.

## Tipos de Software para la simulación.

La simulación puede ser realizada de varias formas:

- Simulación con hojas de cálculo
- Simulación escrita en lenguajes generales.
- Simulación escrita en lenguajes especiales para simulación.
- Simuladores de propósito especial trabajan solo en un campo específico y regularmente no pueden tratar con todas las tareas, solo aquellas para las que fueron destinados.

## Estática

Es la rama de la mecánica que se ocupa del **análisis de cargas** (fuerza y par, o "momento") que actúan sobre sistemas físicos que no experimentan una aceleración ( $a = 0$ ), sino que se encuentran en **equilibrio estático** con su entorno.

$$F = m \times a$$

$$F = 0 \quad (\text{equilibrio})$$

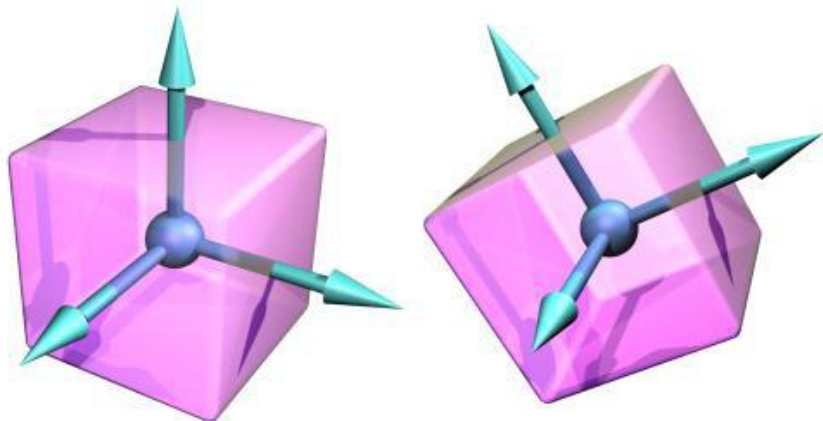
## Dinámica

Es una rama de las matemáticas aplicadas que se ocupa del estudio de las fuerzas y momentos de torsión y su efecto sobre el movimiento; a diferencia de la cinemática, que estudia el movimiento de los objetos sin hacer referencia a sus causas.

$$F = m \cdot v / t$$

*Dinámica de partículas, dinámica de tejidos, dinámica de ondas, dinámica de fluidos, dinámica corporal flexible, dinámica de fracturas..*

## Cuerpos rígidos



## Cuerpos rígidos

Un cuerpo rígido tiene varias propiedades desde el punto de vista de la simulación. Algunas propiedades cambian con el tiempo:

**Vector de posición**  $(x, y, z)$  del **punto de referencia del cuerpo**. Actualmente, el punto de referencia debe corresponder al centro de masa del cuerpo.

**Velocidad lineal** del **punto de referencia, un vector**  $(v_x, v_y, v_z)$ .

**Orientación** de un cuerpo, representado por un cuaternión  $(q_s, q_x, q_y, q_z)$  o una **matriz de rotación  $3 \times 3$** .

**Vector de velocidad angular**  $(\omega_x, \omega_y, \omega_z)$  que describe cómo **cambia la orientación con el tiempo**.

## Cuerpos rígidos

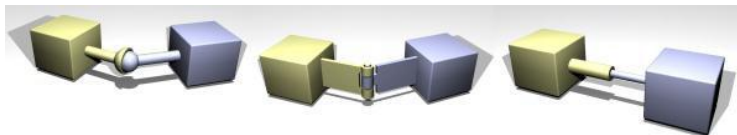
Otras propiedades corporales suelen ser constantes en el tiempo:

- Masa del cuerpo.
- Posición del centro de masa con respecto al punto de referencia. En la implementación actual, el centro de masa y el punto de referencia deben coincidir.
- Matriz de inercia. Esta es una matriz de  $3 \times 3$  que describe **cómo se distribuye la masa del cuerpo alrededor del centro de masa**. Conceptualmente, cada cuerpo tiene un marco de coordenadas x-y-z incrustado en él, que se mueve y gira con el cuerpo.

## Articulaciones y restricciones

En la vida real, una articulación **es algo** así como una bisagra, **que se usa para conectar dos objetos**.

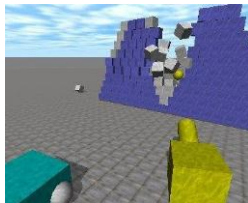
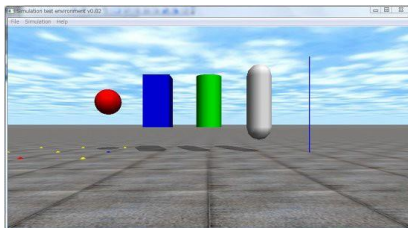
Es una relación que se impone entre dos cuerpos, de modo que **solo pueden tener ciertas posiciones y orientaciones entre sí**.



**Figura:** Tres tipos diferentes de restricciones (juntas)

## Detección de colisiones

La detección de colisiones normalmente se refiere al problema computacional de detectar la intersección de dos o más objetos.



## Detección de colisiones

La intersección entre cuerpos está determinada por el uso de varias primitivas y operaciones.

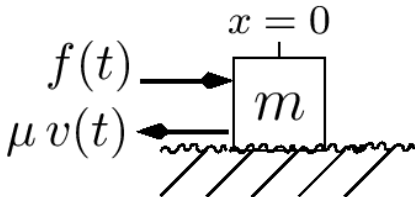
	Ray	Plane	Sphere	Box	Capsule	Cylinder	Trimesh	Convex	Heightfield
Ray	No <sup>2</sup>	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Plane	-	No <sup>2</sup>	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No <sup>2</sup>
Sphere	-	-	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Box	-	-	-	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes <sup>3</sup>	Yes
Capsule	-	-	-	-	Yes	Yes <sup>3</sup>	Yes	Yes <sup>3</sup>	Yes
Cylinder	-	-	-	-	-	Yes <sup>3</sup>	Yes	Yes <sup>3</sup>	Yes
Trimesh	-	-	-	-	-	-	Yes	No	Yes
Convex	-	-	-	-	-	-	-	Yes	Yes
Heightfield	-	-	-	-	-	-	-	-	No <sup>2</sup>

Figure: Detección de colisiones en <http://www.ode.org> library

## Fricción

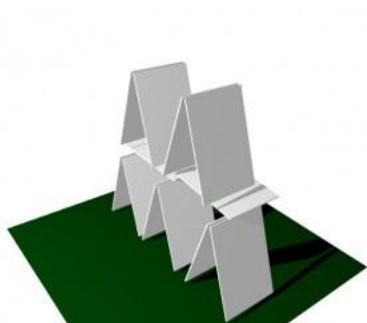
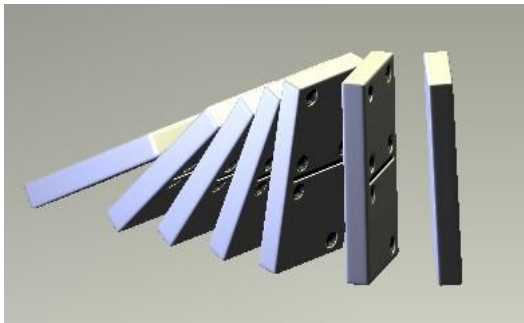
Fuerza  $f(t)$  que impulsa la masa  $m$  a lo largo de la superficie con fuerza de fricción  $\mu v(t)$

$$\begin{aligned} f(t) &= m \ddot{x}(t) + \mu v(t) \\ &= m \ddot{x}(t) + \mu \dot{x}(t) \end{aligned}$$

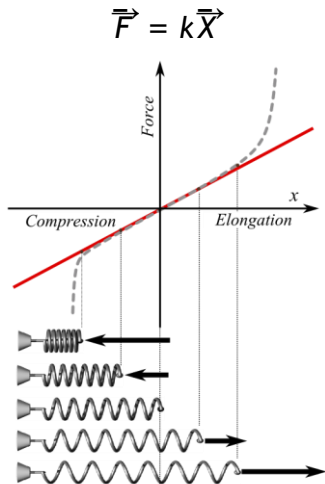


## Fricción

La fricción mantiene estable una torre de cartas.



# Ley de Hooke



# Masa-resorte-amortiguador

**SimView**

Finn Haugen  
12. January 2008

Web page with information and exercises:  
[http://techt teach.no/simview/mass\\_spring\\_damper/](http://techt teach.no/simview/mass_spring_damper/)

STOP

## Mass Spring Damper

Simulation time scaling factor:

Mass **m**

15,0 20,0 25,0  
10,0 30,0  
5,0 35,0  
0,0 40,0

[kg]

Spring constant **k<sub>f</sub>**

4,0 6,0  
2,0 8,0  
1,0 10,0

[N/m]

Damping constant **D**

2,0 2,5 3,0  
1,5 3,5  
1,0 4,5  
0,5 5,0  
0,0

[N/(m/s)]

Show parameters of transfer function from F to y

Force, F [N]

8,0  
5,0  
2,5  
0,0  
-2,5  
-5,0  
-8,0

0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60

t [sec]

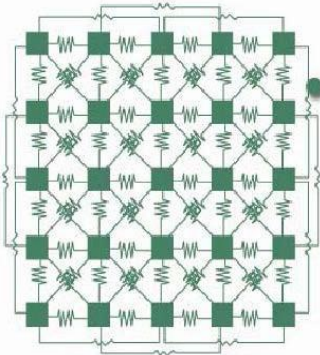
Position, y [m]

4,0  
3,0  
2,0  
1,0  
0,0  
-1,0  
-2,0  
-3,0  
-4,0

0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60

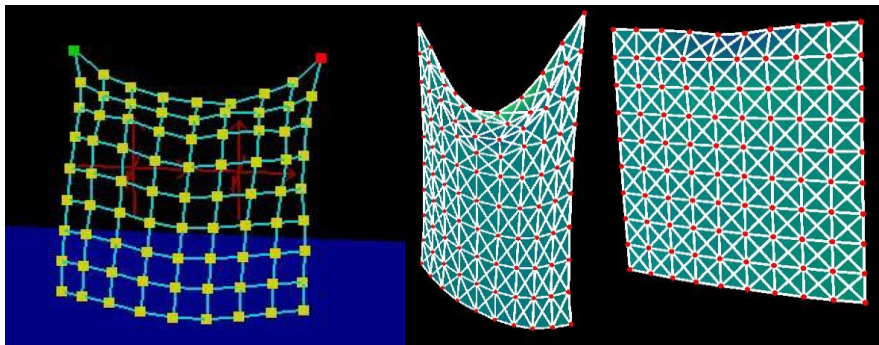
y [m]

## Simulación de telas

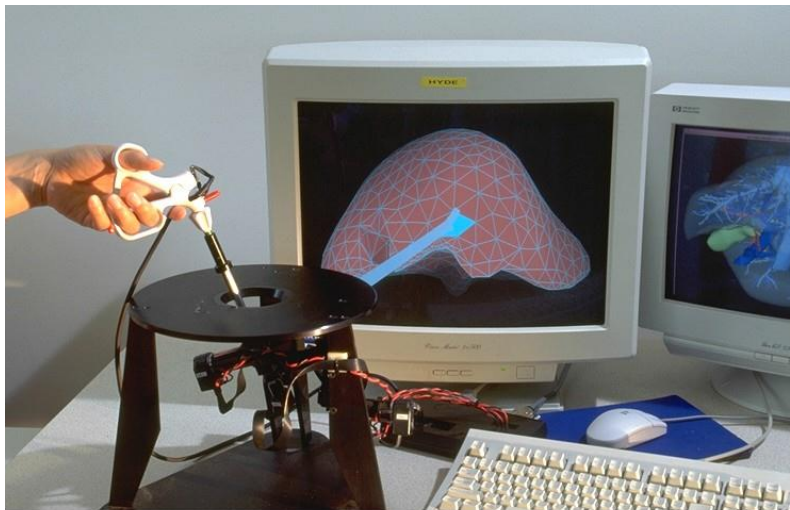


**Particles are connected by  
Stretch Springs, Shear Springs  
and Bend Springs.**

# Simulación de telas



## Método de los elementos finitos











## Método de los elementos finitos

**Preprocesamiento:** Definición del material, mallado, condiciones de contorno, cargas aplicadas

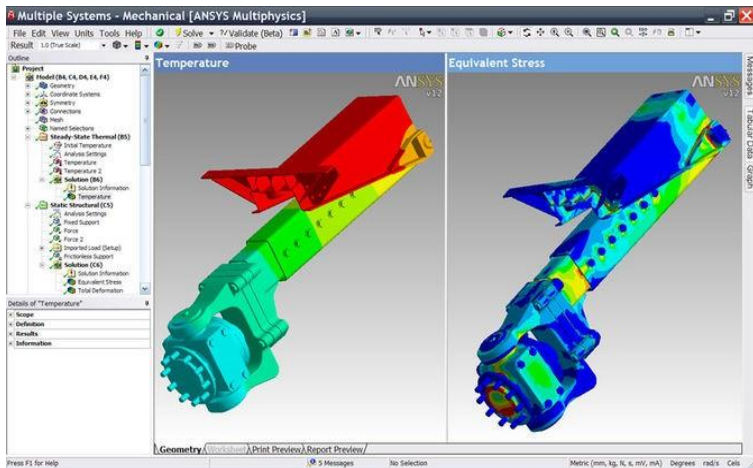
**Solución:** Métodos de resolución por computador (basados en CPU y/o GPU) <https://www.youtube.com/watch?v=sQQ1IWLsN4>

**Post-procesamiento:** Gráficos de contorno, tablas de resultados, *análisis*

Element Order	2D Solid	3D Solid	3D Shell	Line Elements
Linear	 PLANE42 PLANE182	 SOLID45 SOLID185	 SHELL63 SHELL181	 BEAM3/44 BEAM188
Quadratic	 PLANE82/183 PLANE2	 SOLID95/186 SOLID92/187	 SHELL93	 BEAM189

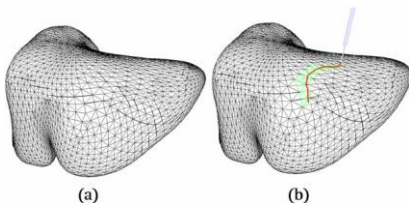
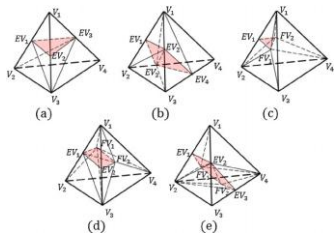
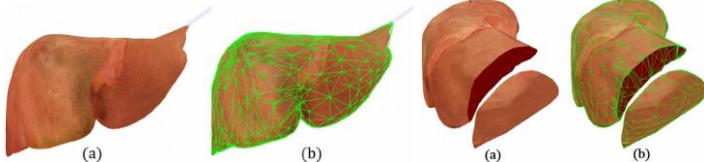
## Método de elementos finitos - desventajas

Tiempo de procesamiento Corte y división de mallas Tiempo real



## Corte de mallas

### Simulación virtual de cirugía



## Corte de mallas

### Simulación virtual de cirugía



<https://www.youtube.com/watch?v=dxRRc4Q61eg>

## Referencias

- ✓ Open Dynamics Engine. <http://www.ode.org>
- ✓ Pan, Junjun, et al Metaballs-based physical modeling and deformation of organs for virtual surgery. The Visual Computer 31.6-8: 947-957 2015
- ✓ Coss Raúl. Simulación. Un Enfoque Práctico. LIMUSA, 1997, México
- ✓ Centro de Realidad Virtual UMNG;  
<https://www.youtube.com/user/crvumng/videos>