

Entornos Virtuales

2. Modelado geométrico

J.C. Torres

Lab. Realidad Virtual UGR,
Universidad de Granada

March 13, 2019

Tema 2. Modelado geométrico para entornos virtuales

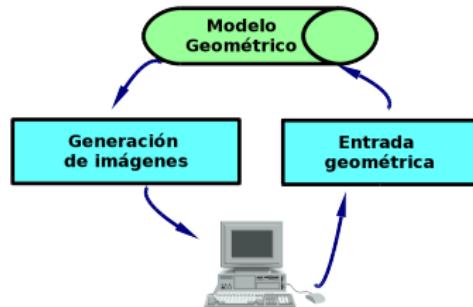
Tema 2: Modelado geométrico para entornos virtuales

- 2.1: Modelo geométrico
- 2.2: Grafos de escena
- 2.3: Métodos de representación
- 2.4: Mallas de polígonos
- 2.5: Modelos Multiresolución. Simplificación.
- 2.6: Texturas
- 2.7: Curvas y superficies
- 2.8: Digitalización.
- 2.9: Técnicas de aceleración de la visualización.
- 2.10: Modelado procedural

Modelado geométrico

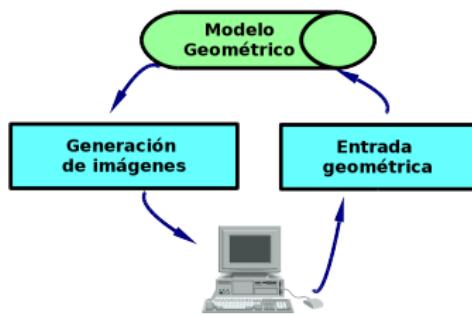
Representación de la escena

- Suele consistir en un conjunto de estructura de datos
- En una aplicación interactiva debe permitir
 - la edición de la escena
 - su visualización
 - generación de cálculos y simulaciones



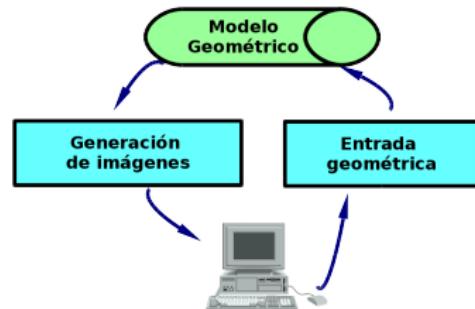
La edición del modelo requiere

- La identificación de elementos del modelo
- La entrada interactiva de posiciones



Para generar las imágenes es necesario

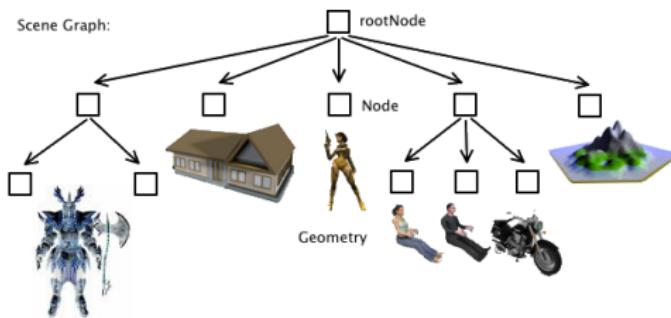
- Extraer del modelo los componentes visibles
- Transformarlos y transferirlos al procesador gráfico



Grafos de escena

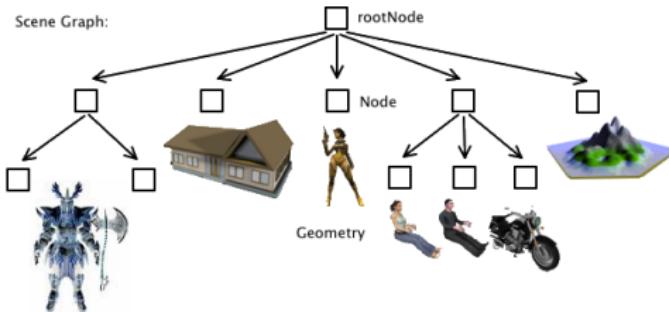
Un grafo de escena es un grafo (usualmente acíclico dirigido) que representa la estructura de una escena

- Los nodos del grafo representan entidades u objetos de la escena
- Los arcos del grafo representan relaciones de composición
- Las propiedades se heredan de padres a hijos



Los grafos de escena son útiles para:

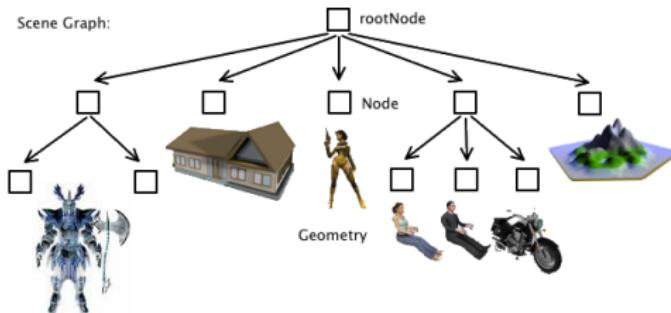
- Entender las dependencias entre objetos
- Diseñar el modelo geométrico
- Editar y animar el modelo
- Reutilizar geometría



http://wiki.jmonkeyengine.org/doku.php/jme3:the_scene_graph

Contenido de los nodos

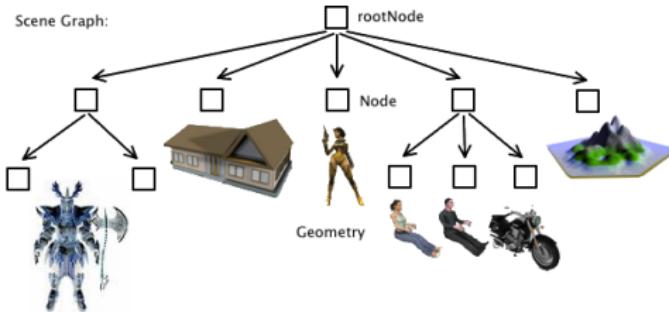
- Los nodos terminales contiene primitivas y objetos simples
- Los nodos internos contienen transformaciones y propiedades
- El nodo raíz representa la escena



http://wiki.jmonkeyengine.org/doku.php/jme3:the_scene_graph

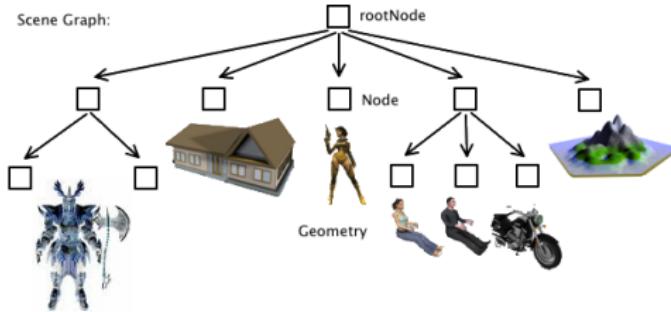
Visualización

- La cámara y las luces se pueden integrar en el grafo de escena
- Para visualizar la escena el sistema hace un recorrido del grafo de escena
- Las transformaciones y propiedades se apilan al bajar de nivel y se desapilan al subir



Procedimiento

- Descomponer la escena en componentes mas simples
- Descomponer los componentes hasta obtener primitivas u objetos simples
- Los componentes que comparten transformaciones deben estar agrupados en la misma rama del grafo



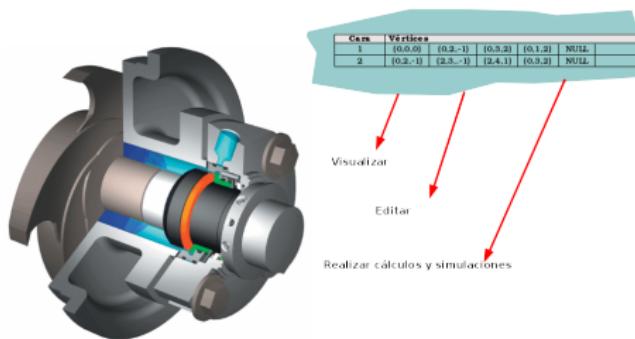
Ejemplo



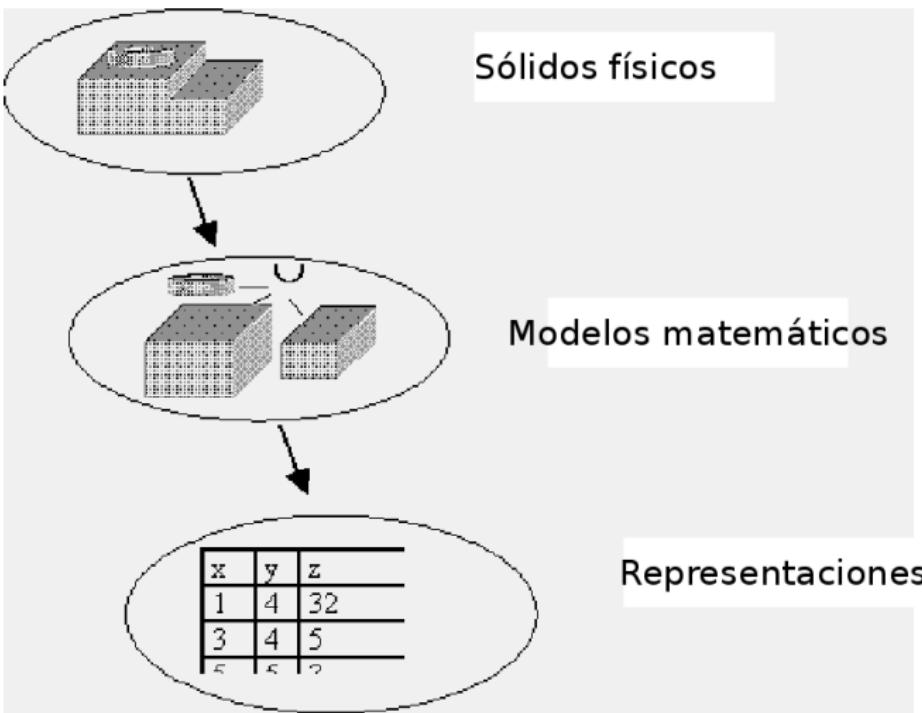
Métodos de representación

La representación de un objeto sólido utiliza para

- Visualizarlo
- Editarlo
- Realizar simulaciones y cálculos



Métodos de representación

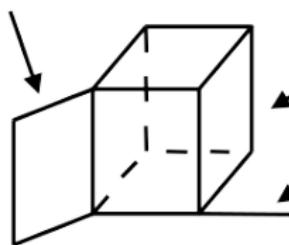


Modelos matemáticos: Modelo topológico

Subconjunto de E^3

- Cerrado y acotado
- Rígido. Dos sólidos que se diferencian tan solo en una transformación rígida son el mismo sólido
- Homogeneidad tridimensional

2D (cara que cuelga)



3D (sólido)

1D (arista que cuelga)

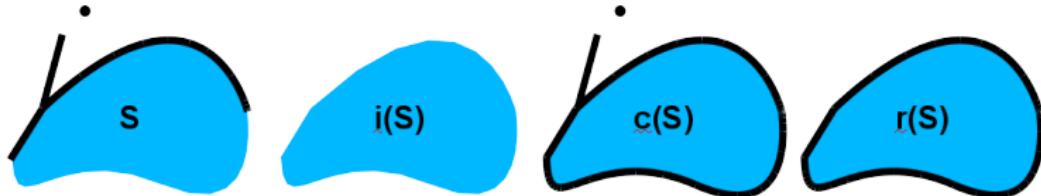
Modelo topológico: regularización

La **regularización** de un conjunto se define como la clausura de su interior:

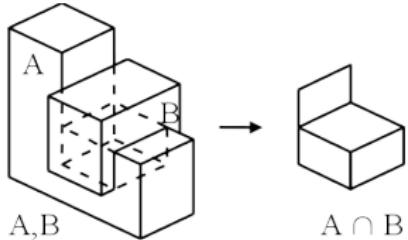
$$r(S) = c(i(S))$$

Un **conjunto** es **regular** si es igual a su regularización:

$$S = r(S)$$



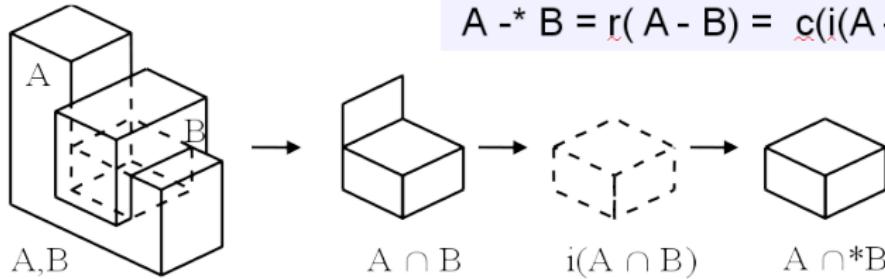
Modelo topológico: operaciones regularizadas



$$A \cap^* B = r(A \cap B) = c(i(A \cap B))$$

$$A \cup^* B = r(A \cup B) = c(i(A \cup B))$$

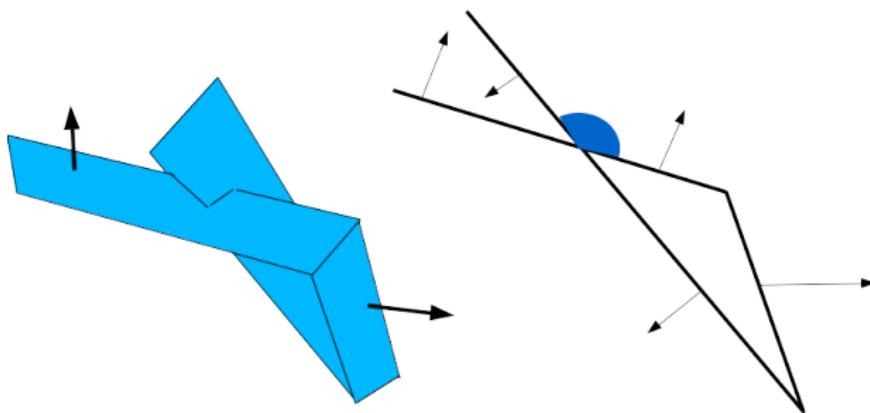
$$A -^* B = r(A - B) = c(i(A - B))$$



Modelos matemáticos: Modelo algebraico

Volumen encerrado por una superficie

- Cerrada
- Orientable



Se han propuesto un gran número de métodos de representación:

- Instanciación de primitivas
- Descomposición espacial
- Geometría constructiva de sólidos (CSG)
- Octrees
- Barrido
- Fronteras (Brep)

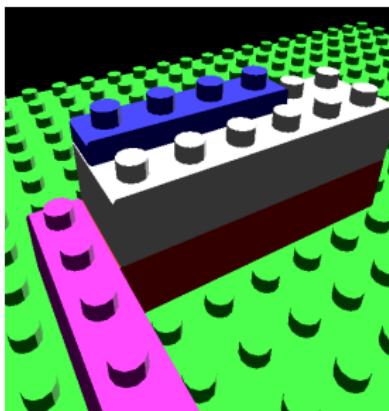
Cada método tiene diferentes características en cuanto a:

- Dominio de objetos representables
- Posibilidad de representar sólidos
- Posibilidad de calcular propiedades volumétricas
- Facilidad de visualización
- Comportamiento de la aplicación de representación (unicidad, ambigüedad y validez)
- Facilidad de edición

Instanciación de primitivas

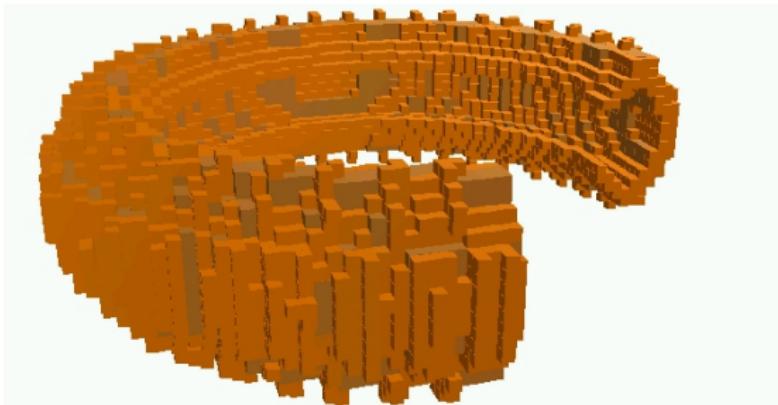
El objeto se representa como un conjunto de primitivas que se instancian en el escenario

- Las primitivas se pueden intersectar
- No se pueden calcular propiedades



El sólido se describe en base a una descomposición del espacio en una colección de celdas

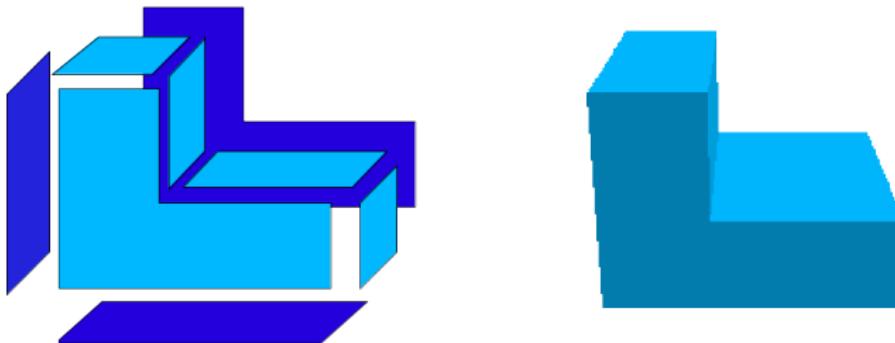
- Las celdas son elementos simples disjuntos
- El forma mas común de celda es la cúbica
- La representación de un sólido es la enumeración de las celdas que ocupa



Representación de fronteras B-rep

El objeto se representa mediante un conjunto de caras que describen su frontera

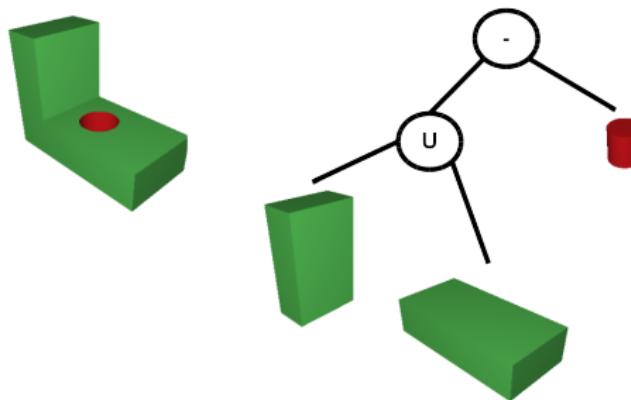
- Cuando se representa un sólido la frontera debe ser cerrada y orientable
- La mayor parte de los sistemas utilizan representaciones de fronteras, con caras poligonales



Geometría Constructiva de Sólidos (CSG)

El sólido se representa como una expresión booleana que indica como construirlo a partir de primitivas simples

- La representación es la propia expresión
- Las primitivas son sólidos parámetricos
- La representación no es única



Mallas de polígonos

Una malla es una terna (V, E, F) donde

$$V = \{p_i \in \mathbb{R}^3 \mid 1 \leq i \leq n\}$$

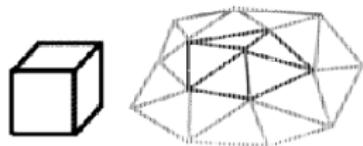
$$E = \{(i, j) \in V \times V\}$$

$$F = \{(i_1, i_2, \dots, i_n) \mid i_k \in V, (i_k, i_{k+1}) \in E\}$$

que cumple

- Cada arista E pertenece al menos a una cara F .
- Cada vértice V pertenece al menos a una arista E .

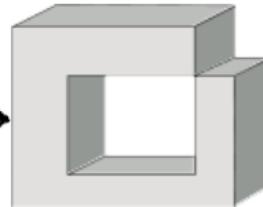
- Una arista es frontera si pertenece a una sola cara.
- Una malla es variedad (manifold) si:
 - Cada arista pertenece a lo sumo a dos caras
 - Para cada vértice sus polígonos adyacentes forman un disco



Manifold



Non-manifold

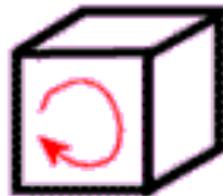
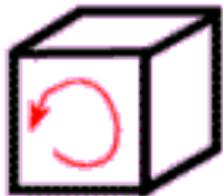


Una malla es un poliedro si:

- Es una variedad
- Es cerrado
- No hay intersecciones entre caras (salvo en aristas y vértices compartidos)

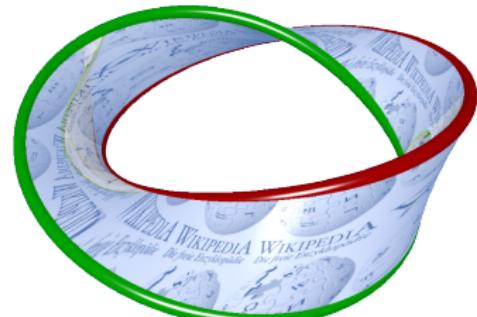
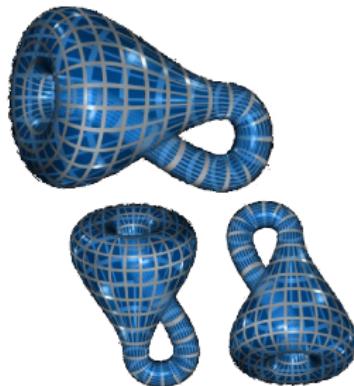
A cada cara se le puede asignar una orientación

- La orientación se determina por el recorrido de sus vértices
- Puede ser horario (CW) o antihorario (CCW)
- El lado exterior (o frontal) de la cara se determina por convenio (suele ser CCW)



Una malla es orientable si todas sus caras se pueden orientar de forma consistente

- Todas con orientación CW o CCW
- Cada arista se recorre en sentido contrario en sus dos caras



Una malla cerrada orientable representa un sólido.

Relaciones topológicas

Relaciones de vecindad entre componentes de la malla

- | | |
|-----------|--------------------------|
| 1. vertex | all neighboring vertices |
| 2. vertex | all neighboring edges |
| 3. vertex | all neighboring faces |
| 4. edge | all neighboring vertices |
| 5. edge | all neighboring edges |
| 6. edge | all neighboring faces |
| 7. face | all neighboring vertices |
| 8. face | all neighboring edges |
| 9. face | all neighboring faces |

VV

VE

VF

EV

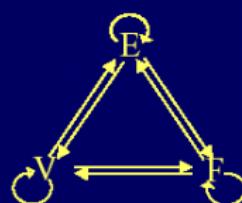
EE

EF

FV

FE

FF



Chiew-Lan Tai: Polygonal Mesh – Data Structure and Processing.

<http://slideplayer.com/slide/4808586/>

Caras-aristas-vértices

Sólido = lista de caras

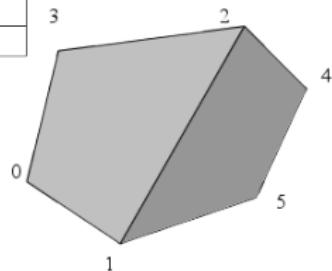
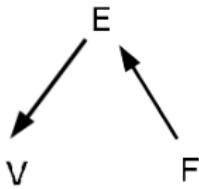
Cara = lista de aristas

Arista = par de vértices

Aristas	V _i	V _f	C _{izq}	C _{der}
0	0	1	1	3
1	1	2	1	2
2	2	3	1	4
3	3	0	1	5
4	1	5	2	3
5	5	4	2	6
6	4	2	2	4

Cara	Aristas
1	0 1 2 3 NULL
2	4 5 6 1 NULL
3	

Vértice	X	Y	Z
0	0	0	0
1	0	2	-1
2	0	3	2
3	0	1	2
4	2	4	1
5	2	3	-1

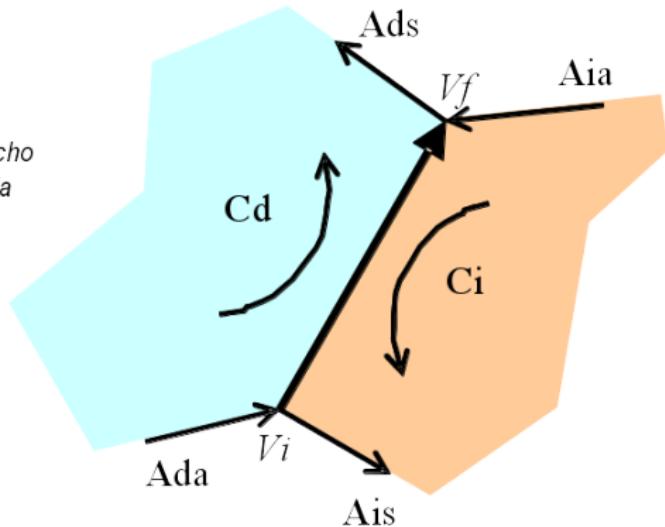


Aristas aladas

Leyenda:

- Vi - Vértice inicial de la arista
- Vf - Vértice final de la arista
- Cd - Cara que recorre la arista al derecho
- Ci - Cara que recorre la arista invertida
- Ada - Arista anterior según Cd
- Ads - Arista siguiente según Cd
- Aia - Arista anterior según Ci
- Ais - Arista siguiente según Ci

Sólido = lista de aristas



2 vértices

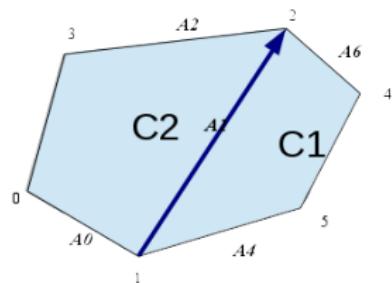
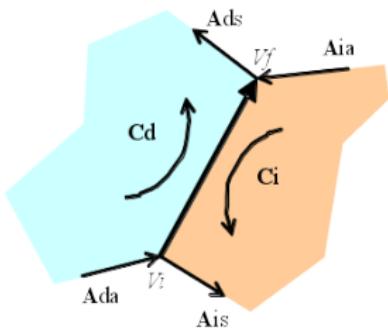
Arista = 2 caras (una que recorre la arista derecha y otra inversa)
arista anterior y siguiente al recorrer cada cara

Aristas aladas

Aristas	Vi	Vf	Cd	Ci	Ada	Ads	Aia	Ais
0	0	1	1		3	1		
1	1	2	2	1	0	2	6	4
2	2	3	1		1	3		
3	3	0	1		2	0		
4	5	1		2			1	5
5	4	5		2			4	6
6	2	4		2			5	1

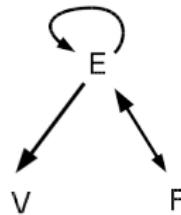
Cara	Arista	Normal
1	4	(1,0,0)
2	0	(0,1,0)
3		

Vértice	X	Y	Z
0	0	0	0
1	0	2	-1
2	0	3	2
3	0	1	2
4	2	4	1
5	2	3	-1



Propiedades

- El elemento central son las aristas
- Mallas manifold
- Añadiendo enlaces V-E se puede mover por todo el diagrama



Criterios

- Tamaño de las mallas (vértices/caras)
- Velocidad y memoria del ordenador
- Tipos de mallas (triángulos/quads/polígonos)
- Funcionalidad necesaria
- Nivel de redundancia

Aumentar la redundacia

- Acelera las consultas
- Hace mas complejas y lentas las actualizaciones

Modificación directa

- Mover/Crear/Borrar elementos (vértices, caras, aristas)
- Subdividir
- Cortar aristas

Selección

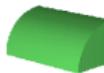
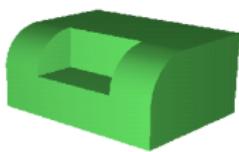
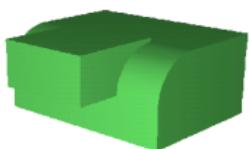
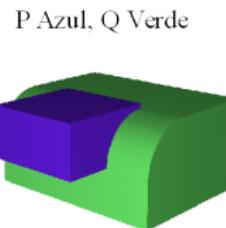
- Un elemento: vértice, cara, arista
- Varios elementos: anillos, zonas interiores

Barrido

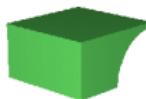
- Barrido lineal
- Revolución
- Barrido generalizado



Operaciones booleanas



Intersección: $P \cap Q$

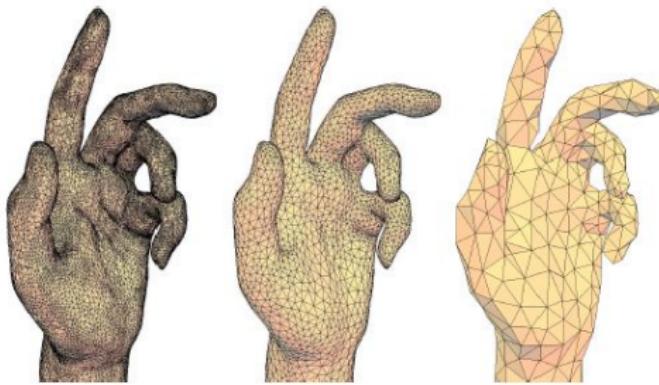


Diferencia: $P - Q$

Modelos multiresolución. Simplificación

Simplificación

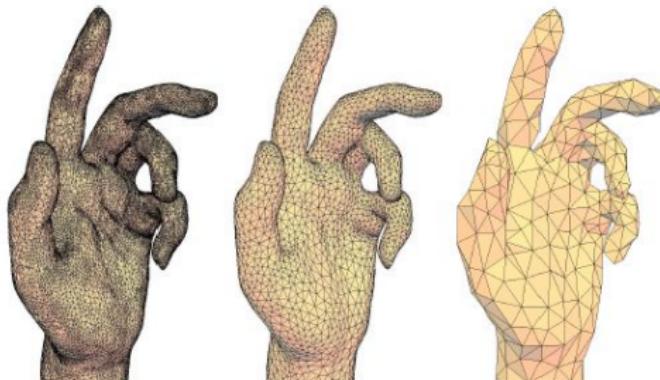
- Métodos de reducción de la complejidad del modelo
- El modelo resultante tiene menos elementos geométricos y mantiene la forma
- El objetivo puede ser reducir el tamaño o el tiempo de procesamiento



(a) 25,000 vertices. (b) 5,000 vertices. (c) 500 vertices.

Componentes de estrategias de simplificación

- Criterio para elegir elementos a eliminar (importancia)
- Método de eliminación



(a) 25,000 vertices.

(b) 5,000 vertices.

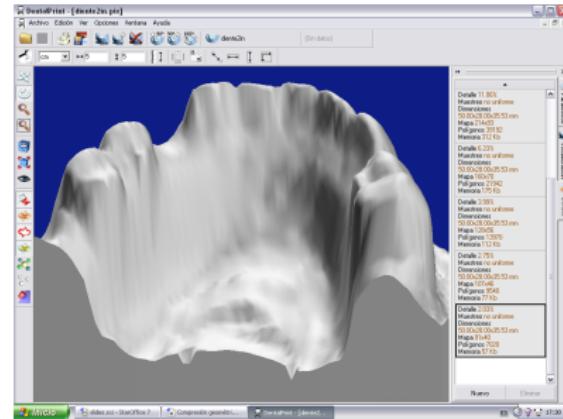
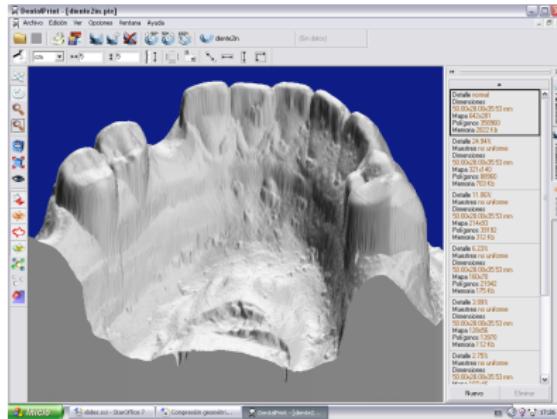
(c) 500 vertices.

Ramsay Dyer, Hao Zhang, and Torsten Moeller, "Delaunay Mesh Construction," Proc. of Eurographics Symposium on Geometry Processing (SGP) 2007, pp. 273-282.

Métodos de simplificación (II)

Ejemplo de estrategia de simplificación

- Muestreo regular
- Retriangulación



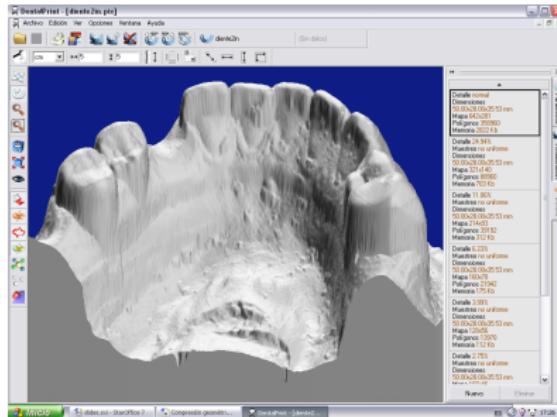
Dentalprint: 359K triángulos (2.8MB)

7k triángulos (57KB)

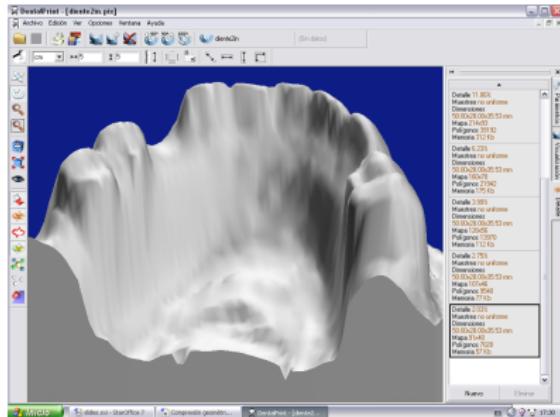
Métodos incrementales

Métodos incrementales

- Realizan actualizaciones locales
 - Cada actualización reduce el tamaño de la malla
 - Los elementos se ordenan de acuerdo a un criterio de error



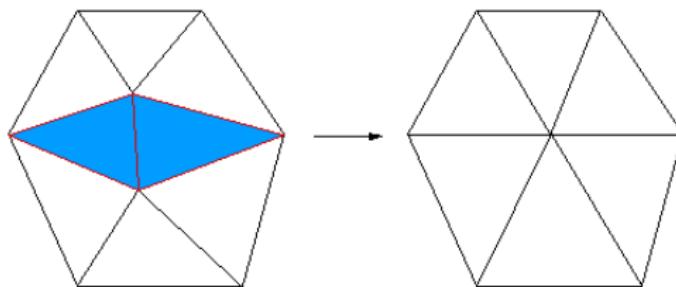
Dentalprint: 359K triángulos (2.8MB)



7k triángulos (57KB)

Elimina aristas de forma incremental

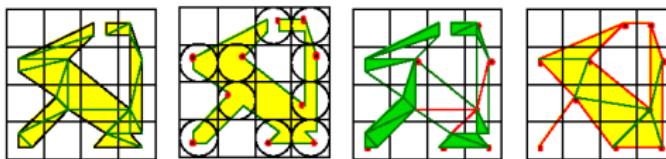
- Selecciona la arista mas corta
- Elimina los dos triángulos adyacentes
- Colapsa los dos vértices adyacentes



Paul Bourke: "Surface (polygonal) Simplification".
<http://paulbourke.net/geometry/polygonmesh/>

Discretiza el espacio en celdas cúbicas

- Fusiona los vértices que están en la misma celda
- Elimina los elementos degenerados
- Puede alterar la topología del modelo



Jarek Rossignac: Simplification and Compression of 3D Scenes.
EUROGRAPHICS'97 Tutorials.

Modelo multi-resolución

Representación que permite extraer en tiempo real un modelo a diferentes niveles de resolución, dependiendo de la distancia al observador o la importancia del elemento.

- El cambio de nivel de detalle puede ser apreciable (elevaciones "popping").
- La transición suave de imagen se puede conseguir usando alpha "blending"



(a) Close inspection



(b) Normal viewing

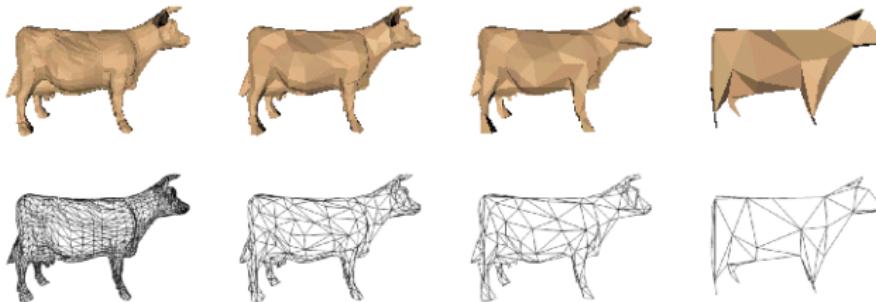
#

(c) Far in distance

Modelos multi-resolución discretos

Multi-resolución discreta

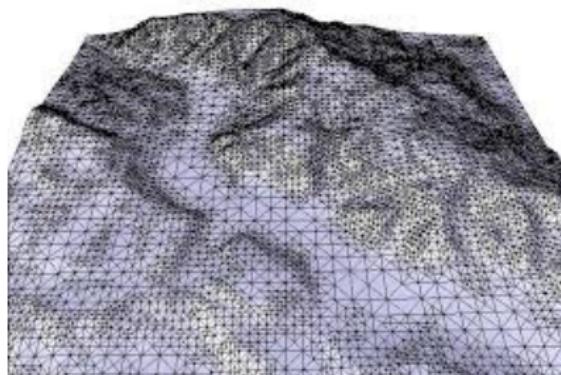
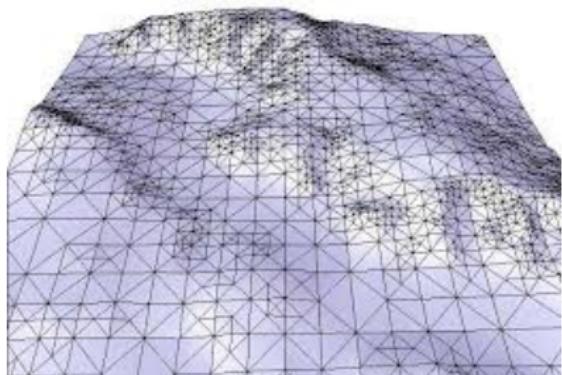
- Se almacena una colección de niveles de detalle precalculados
- En cada momento se selecciona el nivel con el que se trabaja
- Los niveles de detalle se generan por simplificación



Modelos multi-resolución continuos

Multi-resolución continua

- Se almacena un único modelo utilizando estructuras jerárquicas
- La representación permite obtener la geometría del modelo con diferentes niveles de detalle
- Se puede usar distinto nivel detalle en diferentes zonas

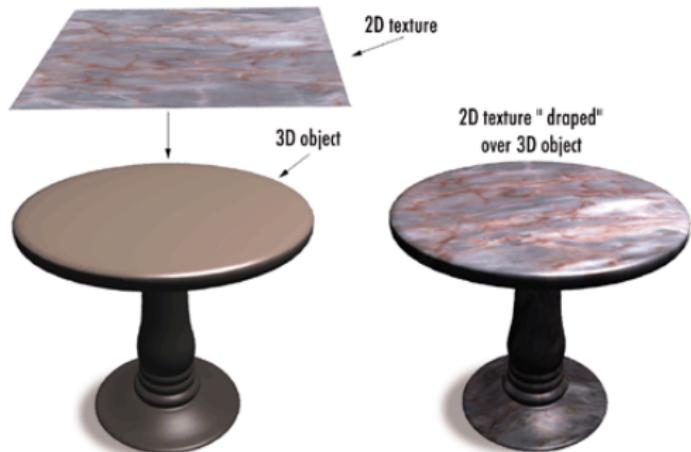


Texturas

Una textura es una imagen almacenada en la memoria de la GPU.

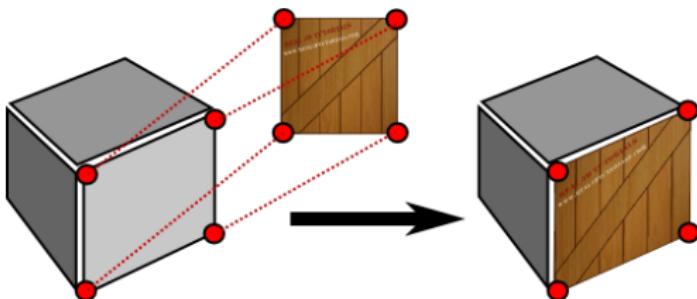
Texture mapping

- Aplicación de una imagen para dar color a cada punto de una superficie
 - La textura suele ser una imagen 2D



Texture mapping

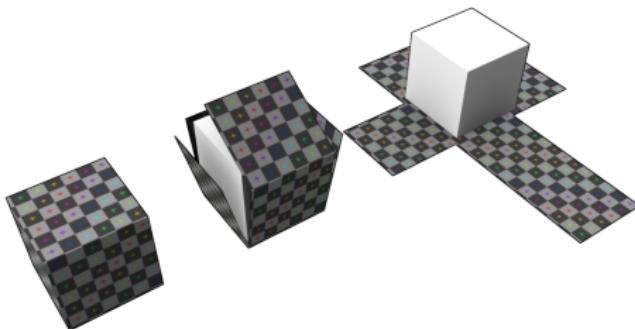
- Para aplicar la textura se hace corresponder cada vértice de la malla con un punto de la textura
- La correspondencia se establece asociando al vértice las coordenadas del punto de la textura (coordenadas de textura)
- Las coordenadas de textura se dan normalizadas



Las coordenadas de textura se puede obtener desplegando las caras del objeto

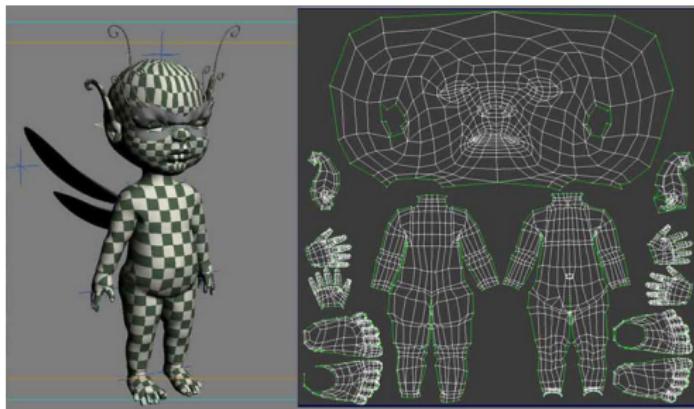
Al desplegar el modelo pueden aparecer:

- Islas
- Aristas *abiertas* formando costuras (*seams*) en el modelo
- Zonas no utilizadas en la textura



Ejemplo de parametrización

- Para que no se aprecien las costuras es necesario que la imagen de la textura sea continua a través de ellas.
- Si la parametrización no es uniforme distintas zonas del modelo tendrán distinto nivel de detalle



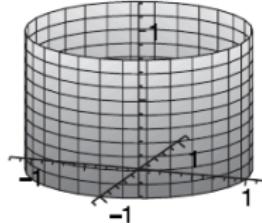
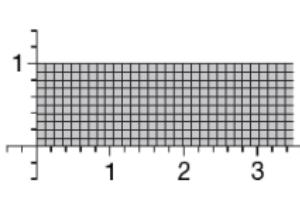
Se puede realizar la parametrización de forma automática o manual

Parametrización automática

- Envolver el objeto con una superficie paramétrica
- Asignar coordenadas de textura en a partir de puntos correspondientes en la superficie
- La parametrización es la inversa de la función paramétrica que define la superficie

$$\text{parameterization: } f(u, v) = (\cos u, \sin u, v)$$

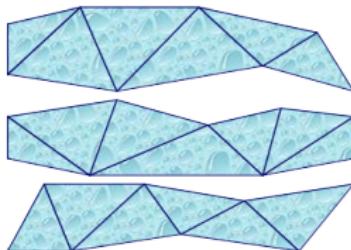
$$\text{inverse: } f^{-1}(x, y, z) = (\arccos x, z)$$



La proyección genera distorsiones y no es unívoca

Se puede obtener representando cada triángulo de forma independiente o desplegando cintas de triángulos

- Genera muchas costuras
- Genera muchos espacios perdidos
- Genera muchas islas

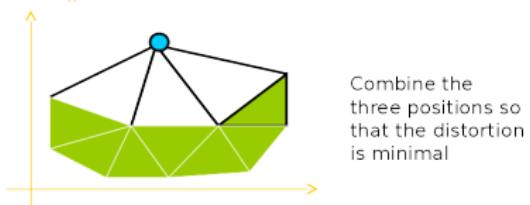
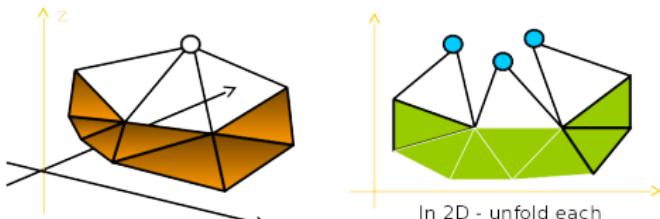


Olga Sorkine and Daniel Cohen-Or: Warped textures for UV mapping encoding.
SHORT PAPER EUROGRAPHICS 2001

Para hacer una parametrización sin distorsión y con menos costuras utilizando métodos más complejos

Warped textures for UV mapping encoding

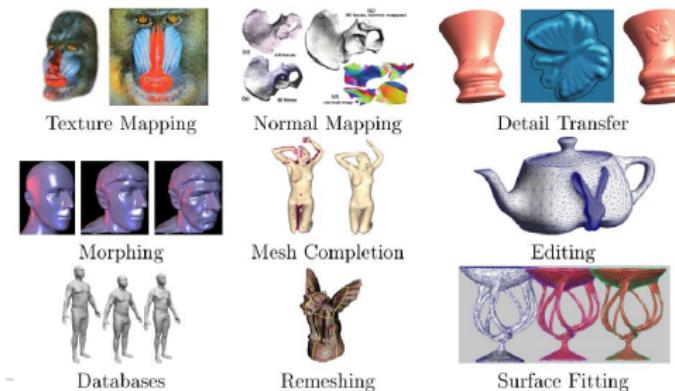
- Seleccionar un triángulo
- Desplegar vecinos mientras la distorsión este acotada
- Cuando no se pueda continuar comenzar una nueva isla



Aplicaciones de la parametrización

Se utiliza entre otras operaciones para:

- Editar
- Morphing
- Reparar mallas



Olga Sorkine and Daniel Cohen-Or: Warped textures for UV mapping encoding.
SHORT PAPER EUROGRAPHICS 2001

Atlas de texturas

Un atlas de texturas es una imagen que contiene la textura de varios objetos de la escena.

Se utilizan para minimizar la carga de texturas en la GPU.



Curvas y superficies

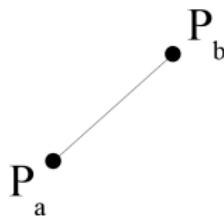
Curva en el plano

$$\begin{aligned}x &= f_1(u) \\y &= f_2(u) \quad u \in [u_1, u_2]\end{aligned}$$

Segmento de recta

$$\begin{aligned}x(u) &= (1 - u) \cdot X_a + u \cdot X_b \\y(u) &= (1 - u) \cdot Y_a + u \cdot Y_b \quad u \in [u_1, u_2]\end{aligned}$$

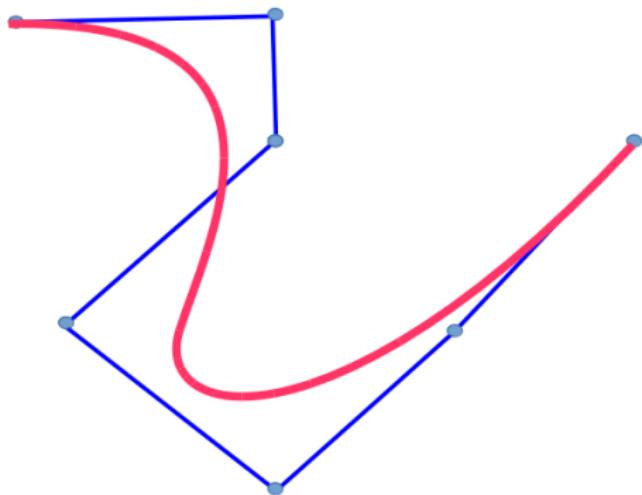
$$\mathbf{P}(u) = (1 - u) \cdot \mathbf{P}_a + u \cdot \mathbf{P}_b \quad u \in [u_1, u_2]$$



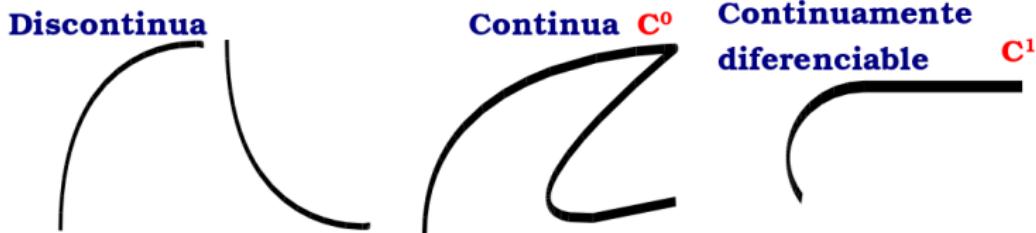
$$P(u) = \sum_{i=1}^n P_i \cdot B_i(u)$$

Funciones de forma

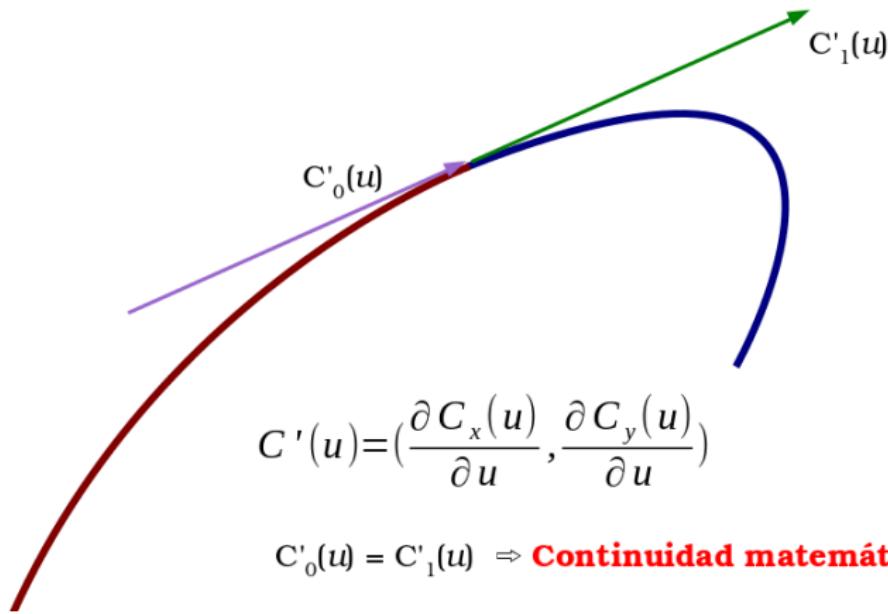
Puntos de control



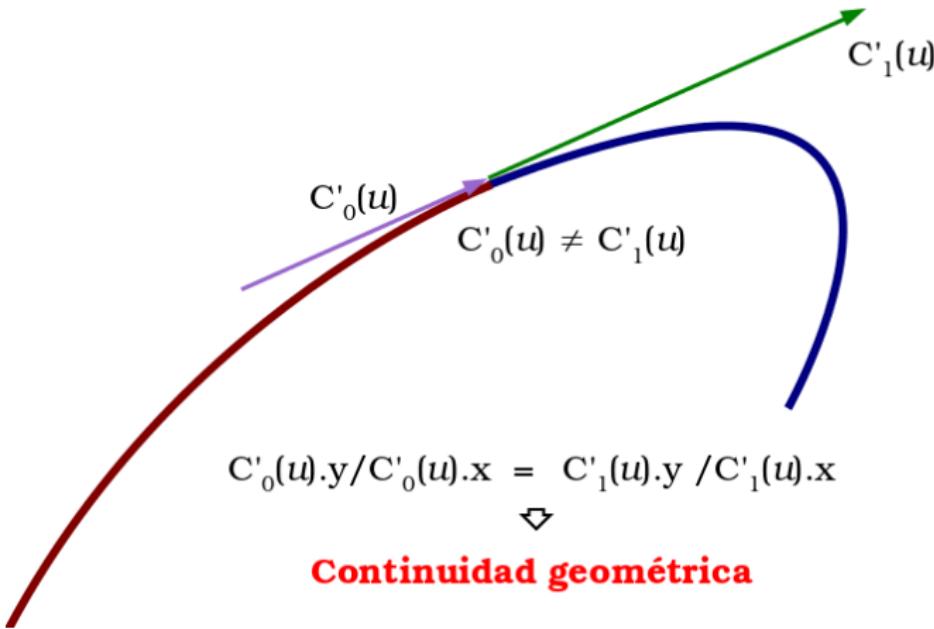
Si usamos ecuaciones diferentes en tramos adyacentes puede no haber continuidad



C^k Continua y diferenciable k veces



Las tangentes son iguales



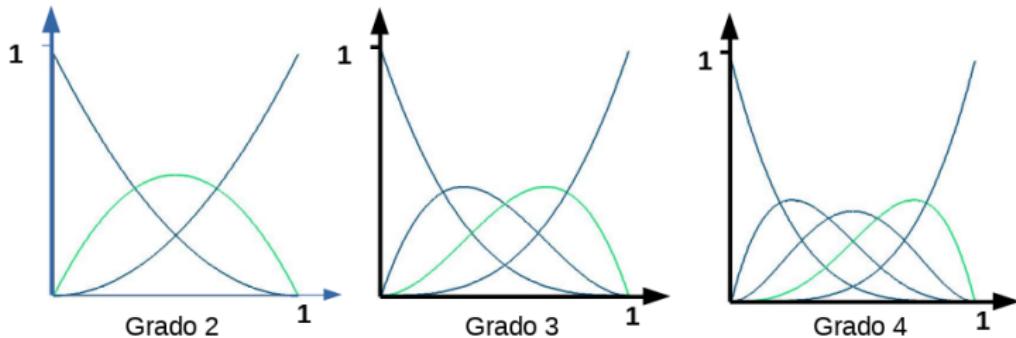
Las tangentes tienen la misma dirección

$$P(u) = \sum_{i=0}^n P_i B_i^n(u) \quad u \in [0,1]$$

$$B_i^n(u) = \binom{n}{i} (1-u)^{n-i} \cdot u^i$$

$$\binom{n}{i} = \frac{n!}{i! \cdot (n-i)!}$$

Curvas de Bèzier



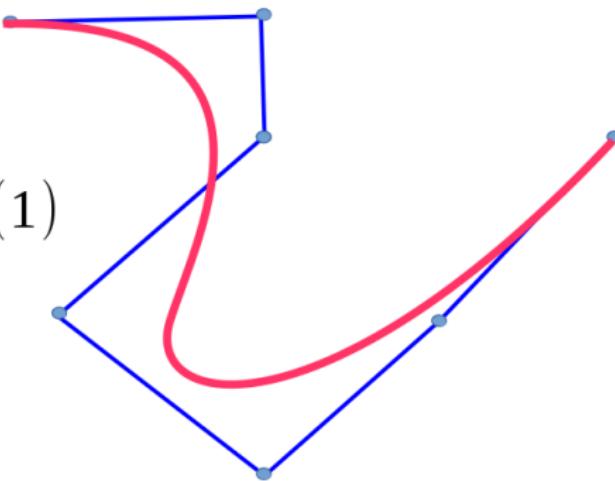
$$\sum_{i=0}^n B_i^n(u) = 1$$

$$B_i^n(u) \geq 0$$

La curva no interpola los puntos de control, salvo el primero y último

$$B_i^n(u) \neq 1$$

salvo $B_0^n(0)$ y $B_n^n(1)$

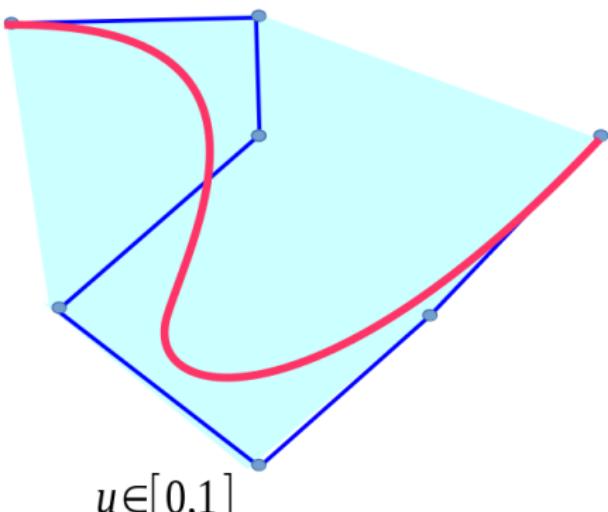


La curva está contenida en la envolvente convexa de los puntos de control

$$\sum_{i=0}^n B_i^n(u) = 1$$

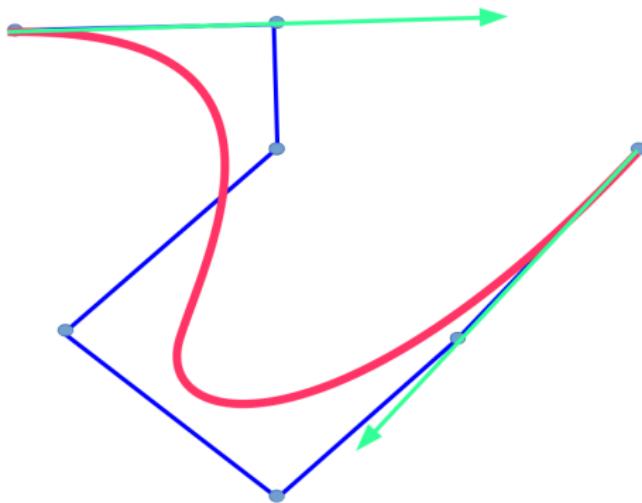
$$B_i^n(u) \geq 0$$

$$P(u) = \sum_{i=0}^n P_i B_i^n(u)$$



$$u \in [0,1]$$

La dirección en los extremos está determinada por P_1 y P_{n-1} . El grado del polinomio es el número de puntos menos uno. La modificación de un punto de control afecta a toda la curva. La curva sigue la forma de la poligonal. La continuidad es C^∞ .



Las funciones de forma son polinomios a trozos

$$P(u) = \sum_{i=0}^n P_i \cdot N_{i,k}(u) \quad u_{\min} \leq u \leq u_{\max} \quad 2 \leq k \leq n+1$$

$$N_{i,1}(u) = \begin{cases} 1 & \text{si } t_i \leq u < t_{i+1} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$N_{i,k}(u) = \frac{u - t_i}{t_{i+k-1} - t_i} \cdot N_{i,k-1}(u) + \frac{t_{i+k} - u}{t_{i+k} - t_{i+1}} \cdot N_{i+1,k-1}(u)$$

$$t_j \leq t_{j+1} \quad 0 \leq j \leq n+k$$

$$u_{\min} = t_{k-1}$$

$$u_{\max} = t_{n+1}$$

K Orden

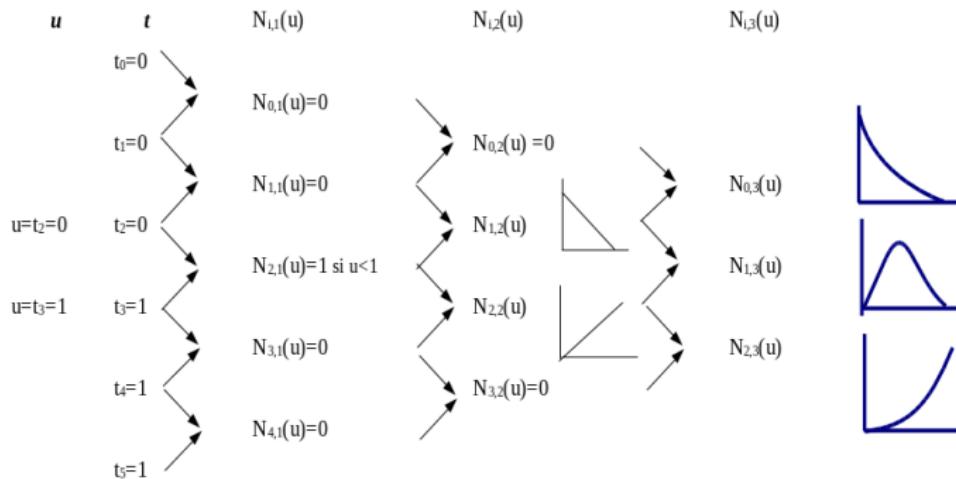
Número de puntos de control: n+1

Grado polinomio: k-1

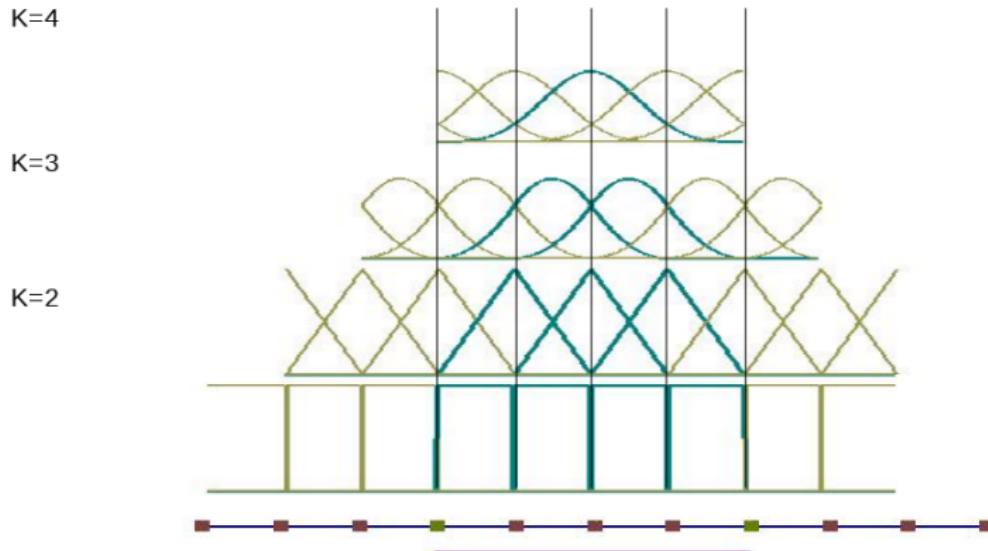


Resumen

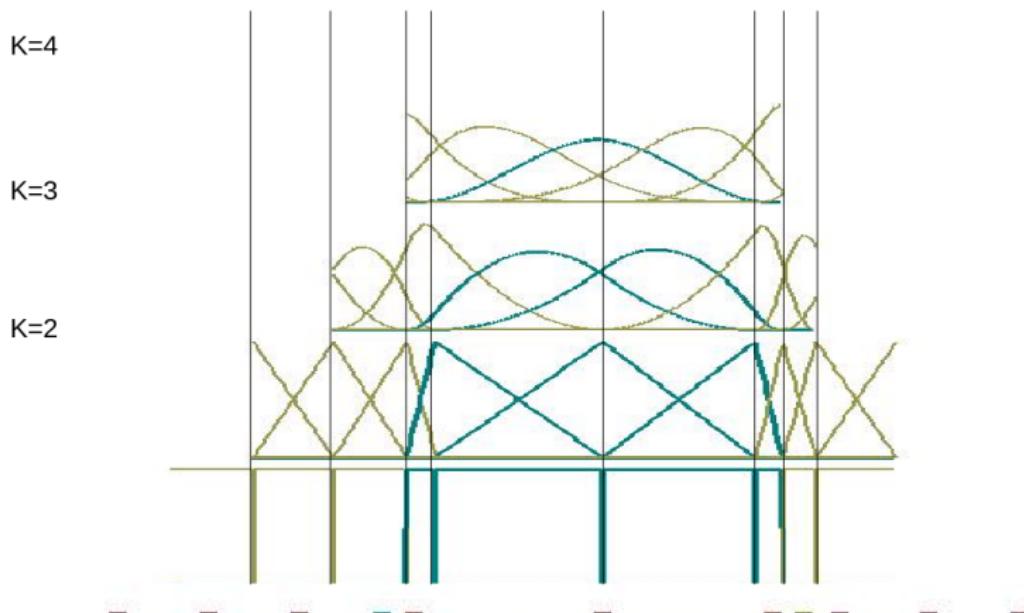
Las funciones de forma se definen recursivamente



El vector de nodos indica los intervalos de cada ecuación



Modificando el vector de nodos se controla la continuidad de las funciones de forma



B-Splines: propiedades

Positividad : $N_{i,k}(t) \geq 0$

Partición de la unidad : $\sum_i N_{i,k}(t) = 1$

Soporte local : $N_{i,k}(t) = 0$ si $t \in [t_i, t_{i+k+1}]$

Continuidad : $N_{i,k}$ es $(k - 2)$ veces diferenciable

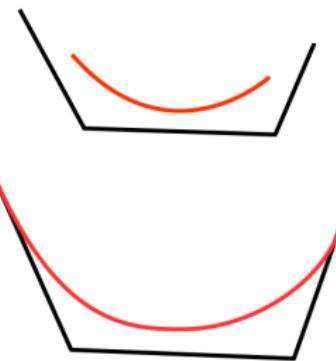
Hay dos configuraciones básicas

Uniformes y periódicos

$$t_i = t_{i-1} + \delta$$

No periódicos

$$t_i = \begin{cases} 0 & \text{si } 0 \leq i < k \\ i-k+1 & \text{si } k \leq i \leq n \\ n-k+2 & \text{si } i > n \end{cases}$$



Cualquier otra configuración se denomina no uniforme

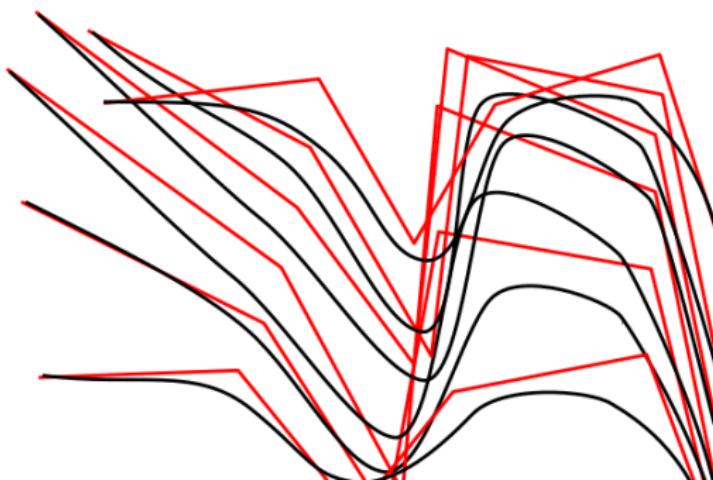
Se pueden construir generalizando los métodos de diseño de curvas a dos dimensiones

$$S(u, v) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m P_{ij} \cdot N_{i,k}(u) \cdot N_{j,l}(v)$$

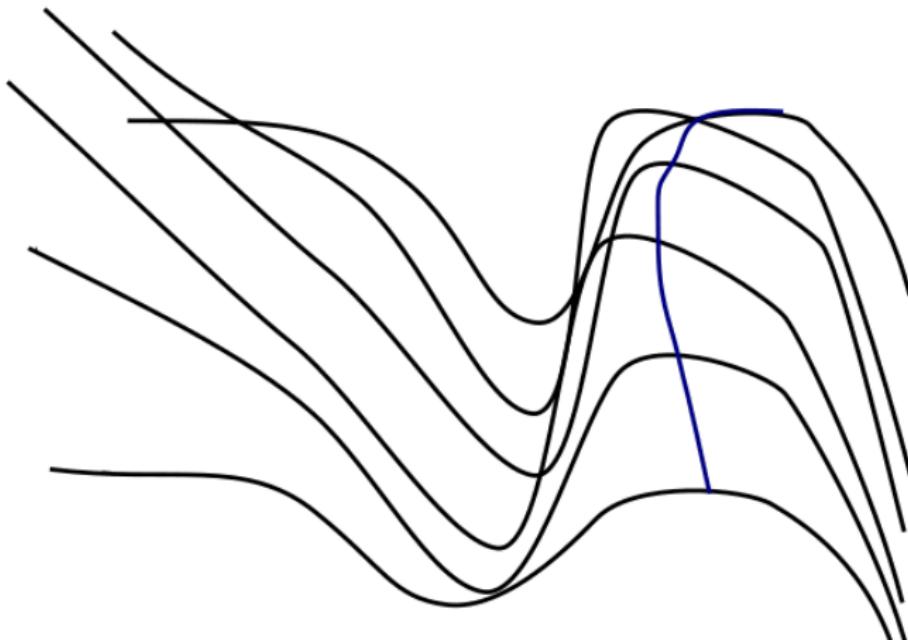
$$u_{min} \leq u \leq u_{max} \quad 2 \leq k \leq n+1$$

$$v_{min} \leq v \leq v_{max} \quad 2 \leq l \leq m+1$$

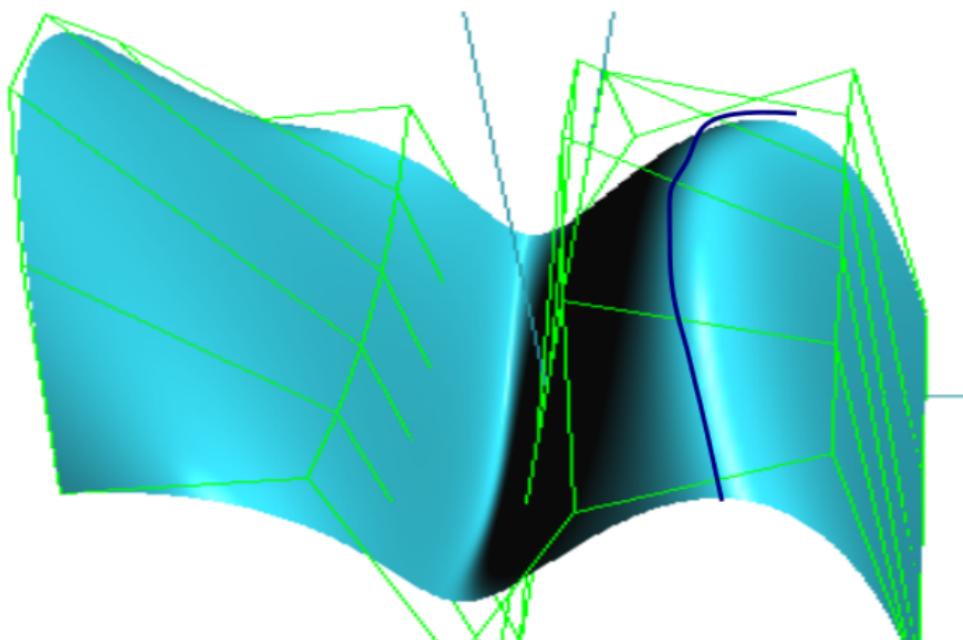
$$S(u, v) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m P_{ij} \cdot N_{j,l}(u) \cdot N_{i,k}(v)$$



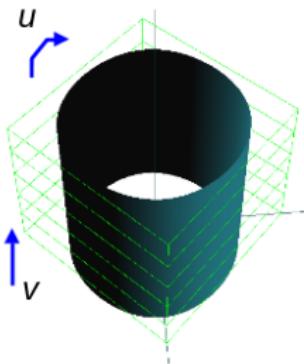
$$S(u, v) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m P_{ij} \cdot N_{j,l}(u) \cdot N_{i,k}(v)$$



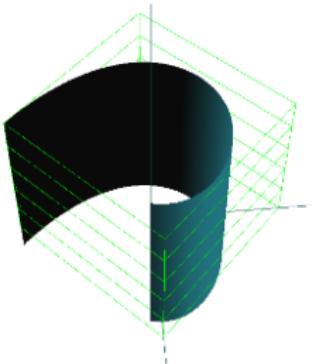
$$S(u, v) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m P_{ij} \cdot N_{j,l}(u) \cdot N_{i,k}(v)$$



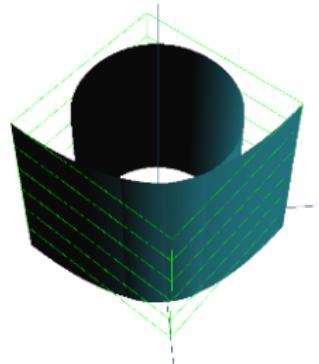
Superficies B-Spline



Uniforme y periódico en u
No periódico en v

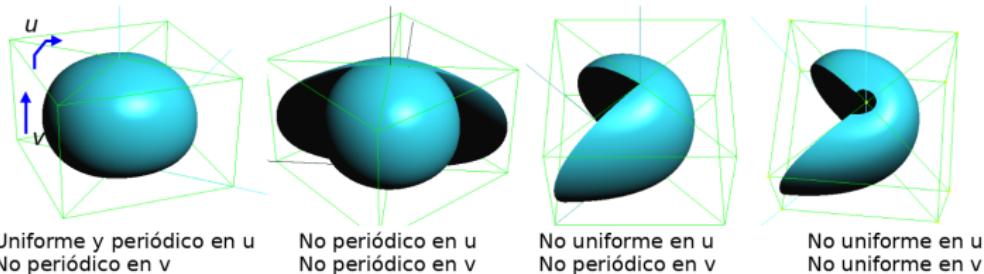


No uniforme en u
No periódico en v



No periódico en u
No periódico en v

Superficies B-Spline

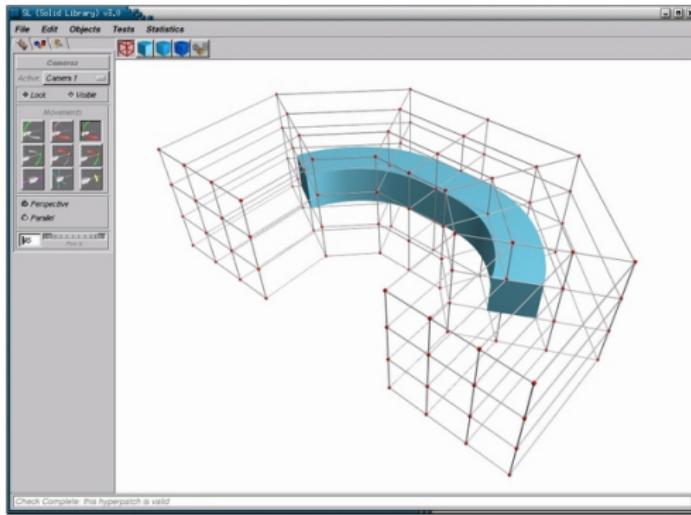


Objetos complejos se diseñan conectando varias superficies (a cada superficie individual se le llama parche)

Modelado analítico de sólidos

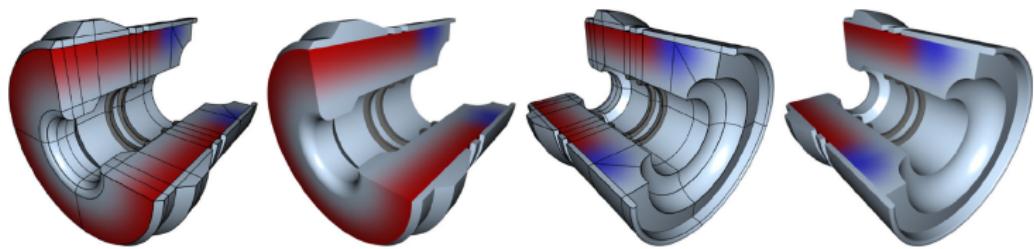
Un hyperparche es la generalización a 3D de las superficies

$$S(u, v) = \sum_{i=0}^n \sum_{k=0}^l \sum_{j=0}^m P_{ijk} \cdot B_j(u) \cdot B_i(v) \cdot B_k(w)$$



Modelado a partir de Hyper-patches

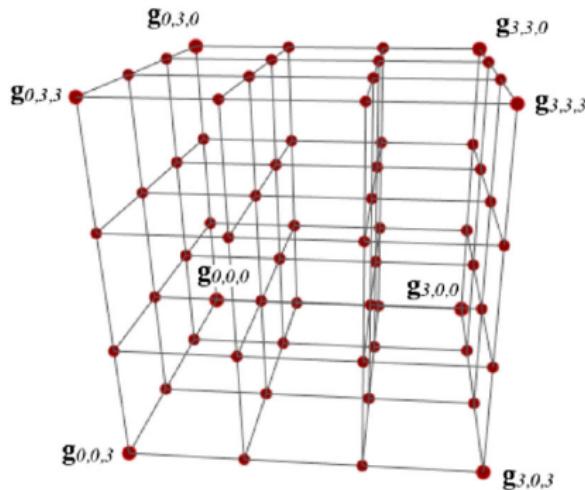
El objeto se descompone en celdas disjuntas cada una representada como un hyper-parche



Usando funciones Bézier

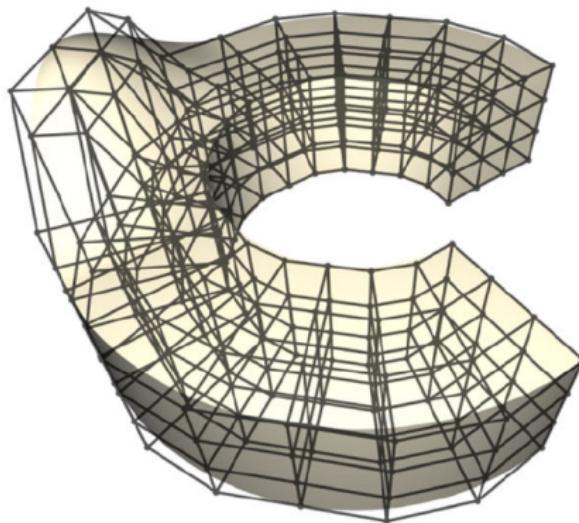
$$S(u, v, w) = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 \sum_{k=0}^3 P_{i,j,k} B_i^3(u) B_j^3(v) B_k^3(w)$$

cada hyper-parche está representado por 64 puntos de control

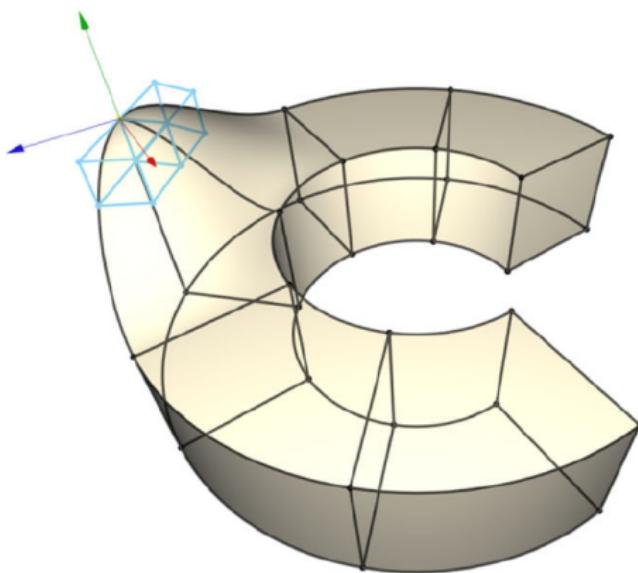


El hiper-parche representa una celda que está delimitada por 8

No es viable editar el modelo moviendo los 64 puntos de control de cada celda.



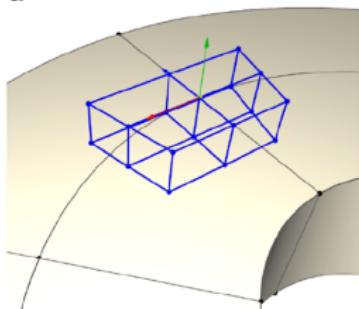
Los puntos de control se organizan de forma jerárquica. El usuario solo ve los corner point, cuya edición es intuitiva y fácil. Cuando se selecciona un corner point se visualizan los puntos de control vecinos, que se pueden editar, junto con las condiciones de continuidad.



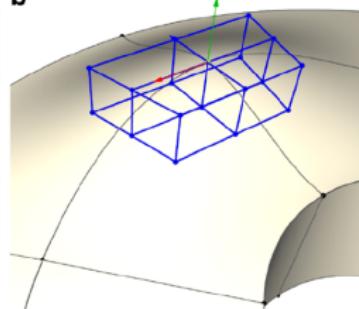
Edición del modelo

En la edición de los puntos de control se garantiza que se mantienen las condiciones de continuidad.

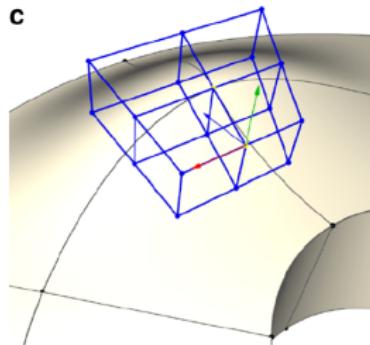
a



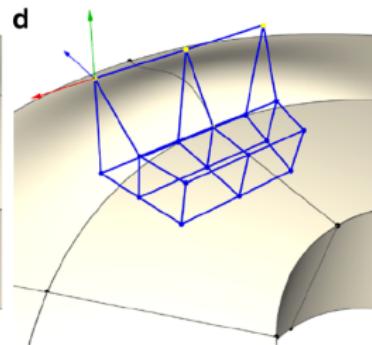
b



c

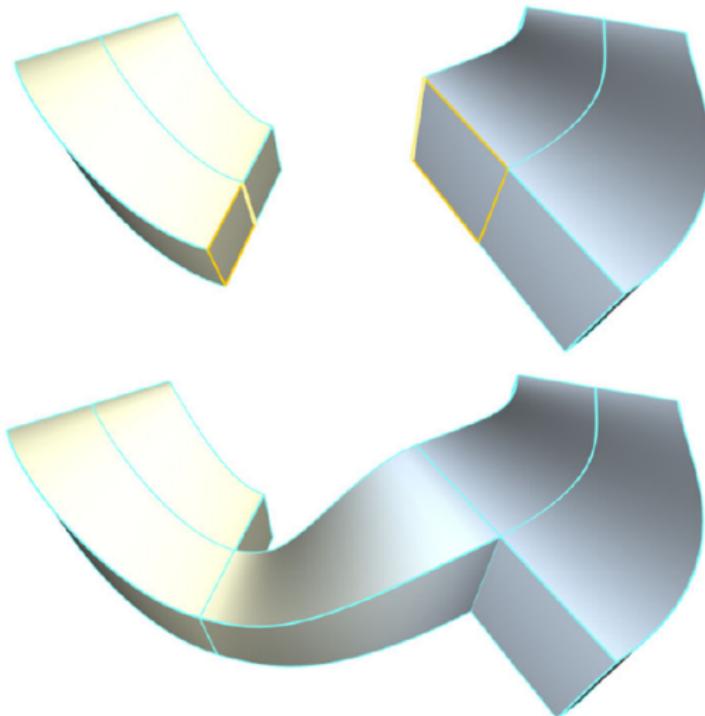


d

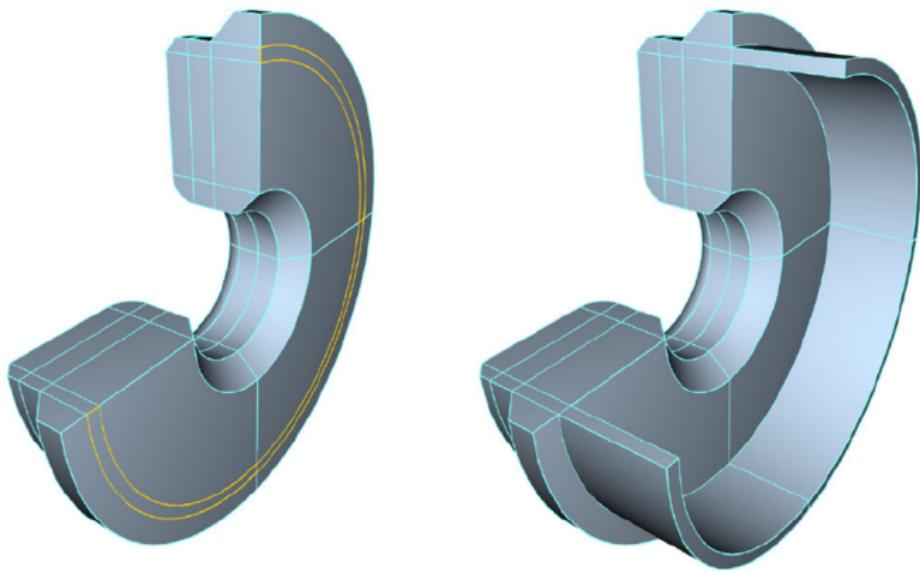


Edición del modelo

Se pueden realizar operaciones de edición a mas alto nivel como blending.



La extrusión crea celdas que prolongan el modelo a través de caras seleccionadas.

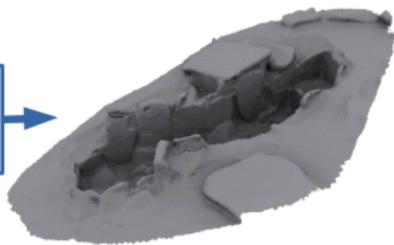


"The Ultimate Francisco Conde: MODELADO DE SÓLIDOS. HETEROGRÉNEOS MEDIANTE. HIPERPARCHES.

<https://hera.ugr.es/tesisugr/25627508.pdf>

Digitalización

La digitalización o reconstrucción 3D es la creación automática de modelos geométricos que sean copia fiel de objetos reales.



La copia debe permitir la exploración y el análisis obteniendo los mismo resultados que en el objeto real:

- Tomar medidas
- Analizar el color
- Calcular propiedades físicas
- Tener las mismas sensaciones



Modelo fiel: Precisión

El modelo debe ser **preciso**, tanto en geometría como en color:

El error en posiciones y colores debe ser menor que una tolerancia prefijada.



Herramientas de modelado

Una forma clásica de reconstrucción 3D es utilizar herramientas de modelado (3D studio, Blender, Maya,...).

De esta forma es posible crear modelos completos, pero no podemos controlar la precisión de la reconstrucción.



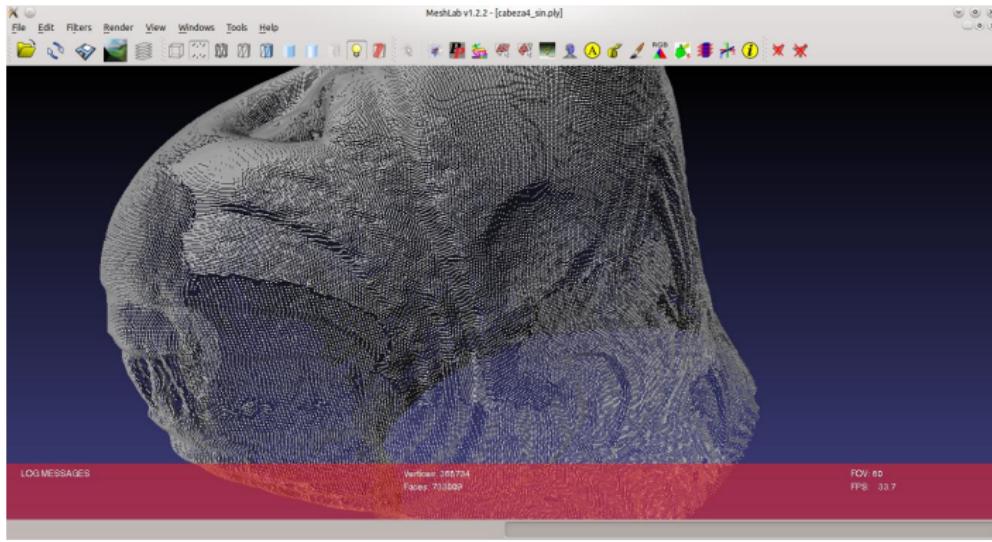
La digitalización 3D es la creación de modelos 3D usando métodos automáticos:

- Menor coste de generación del modelo.
- Error conocido.
- Modelos más precisos.



La digitalización 3D implica una toma de datos del objeto y un procesamiento informático de los mismos.

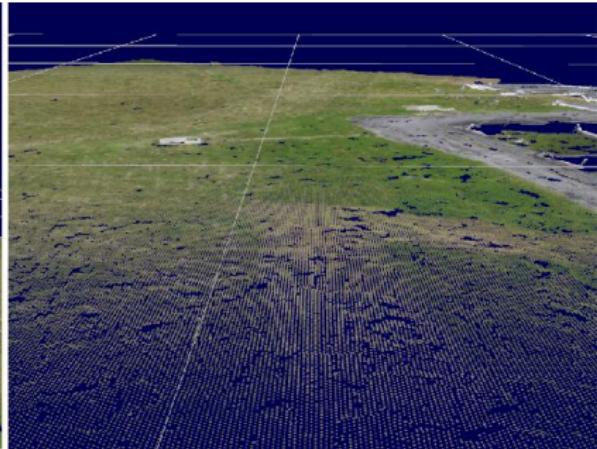
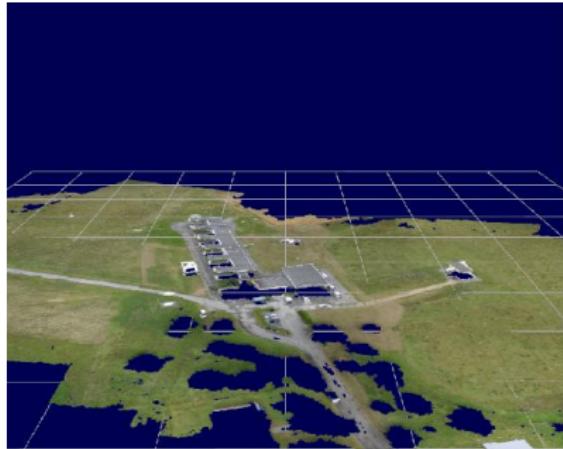
Podemos ver este proceso como la medida de las posiciones de un conjunto de puntos de la superficie del objeto



Nube de puntos

Al conjunto de puntos muestreados se le denomina nube de puntos. A veces se usa directamente la nube de puntos para representar el modelo. Tiene muchas limitaciones:

- Solo sirve para visualizar
- La visualización es correcta solo a distancias grandes



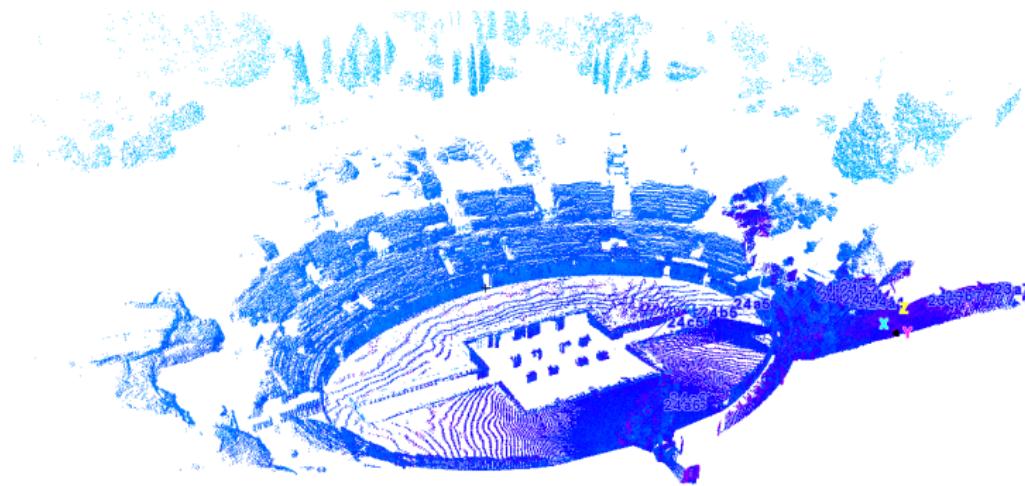
Nube de puntos

Una nube de puntos es una colección de puntos.

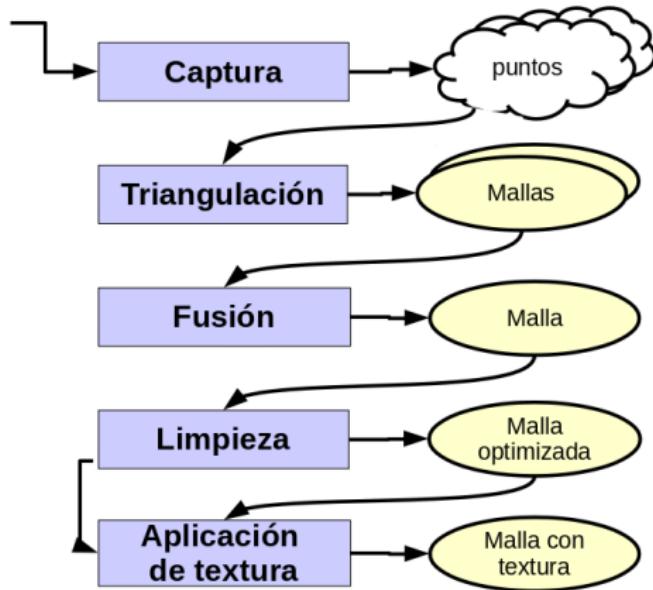
Es la estructura de datos que devuelven los dispositivos de captura.

Cada punto tiene sus coordenadas y puede tener asociada otra tipo de información como:

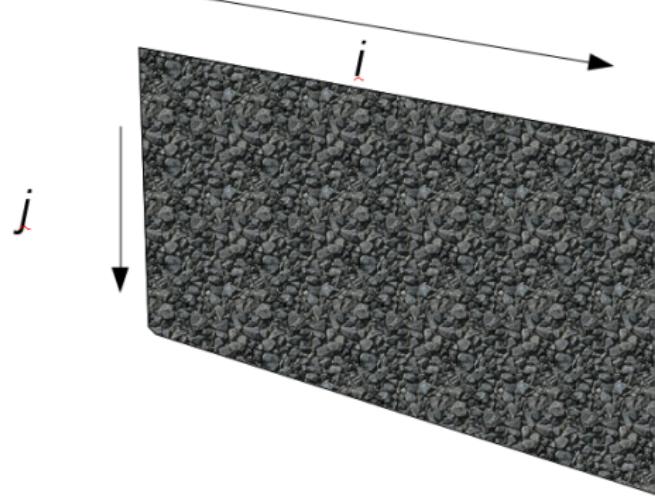
- Color en el punto
 - Normal en el punto
 - Distancia al dispositivo de captura



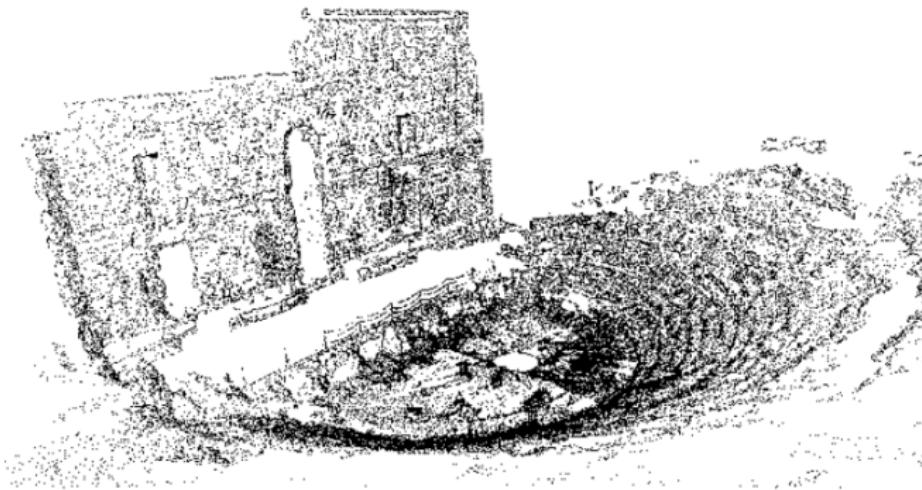
Para la mayor parte de las aplicaciones es necesario generar una malla de triángulos a partir de las nubes de puntos generadas.



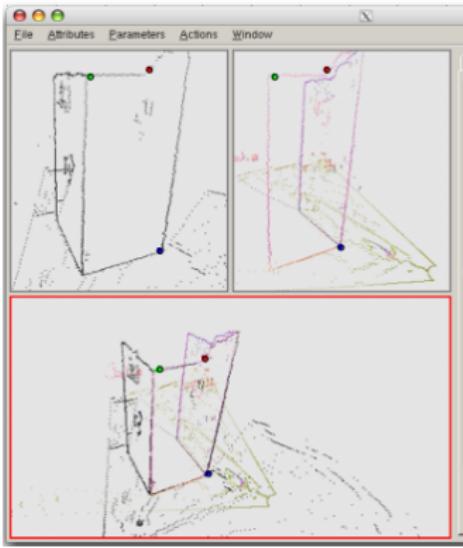
De una sola toma se puede realizar de forma simple teniendo en cuenta la estructura de los datos en la nube de puntos



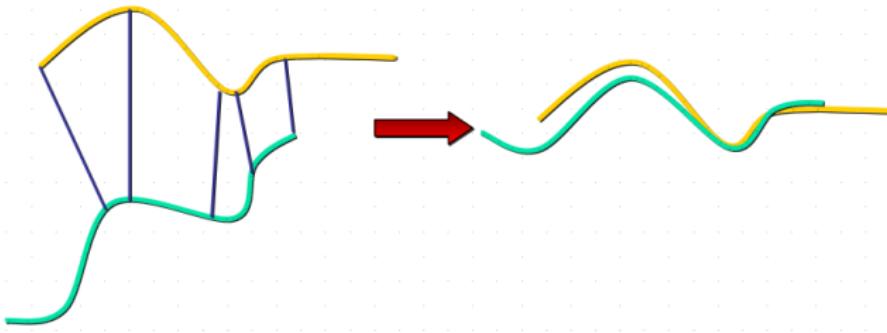
Si se realiza después de fusionar varias tomas se debe hacer calculando la distancia entre puntos y teniendo en cuenta las normales de la superficie en los puntos



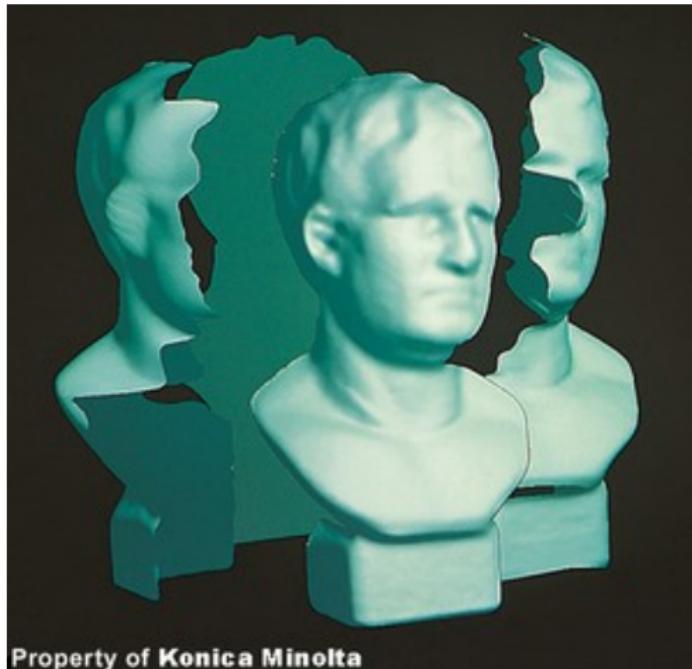
Todas las tomas se deben convertir al mismo sistema de coordenadas. Esto implica obtener la transformación geométrica que liga los distintos sistemas. Se suele hacer además un ajuste global automático minimizando la distancia entre las mallas.



Un algoritmo simple para realizar la alineación automática es el Iterative Closest Points (ICP). Asumiendo que las dos mallas (o nubes de puntos) están suficientemente próximas, seleccionamos puntos en una de ellas y buscamos el punto más próximo a cada uno en la otra malla, y buscamos la transformación que minimiza la distancia

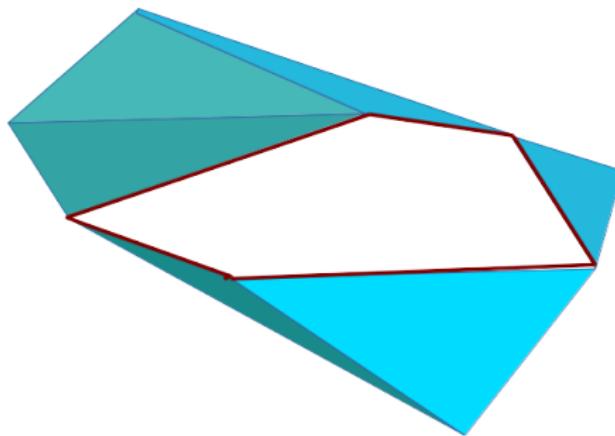


Cada toma es una estructura de datos independiente. Se deben combinar las de las distintas tomas para generar una única estructura. Si la alineación se realiza antes de la triangulación la fusión es simplemente mezclar las nubes de puntos



Detectar fisuras sin información topológica

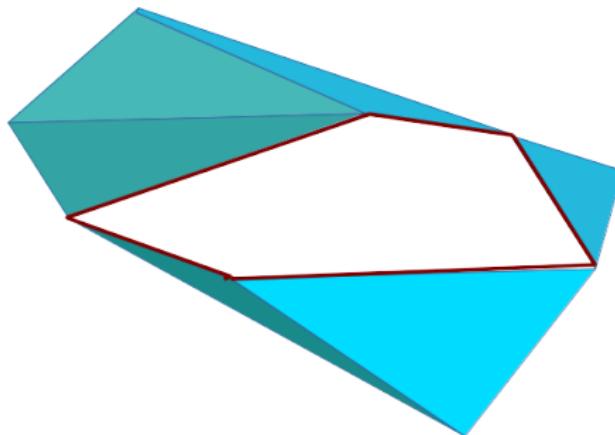
- Recorrer los triángulos del modelo, generando sus tres arista
- Buscar cada arista en el resto de los triángulos.
- Las aristas que no se encuentren delimitan una fisura



Uso de información topológica

Detectar fisuras con información topológica (aristas aladas)

- Recorrer la lista de aristas
- Las aristas que no tienen dos caras delimitan una fisura



Cualquier método que permita medir un conjunto suficientemente grande de posiciones sobre la superficie de un objeto se puede usar para digitalizar.

Con contacto

- **Cortes:** Destructivo
- **Brazos**

Sin contacto

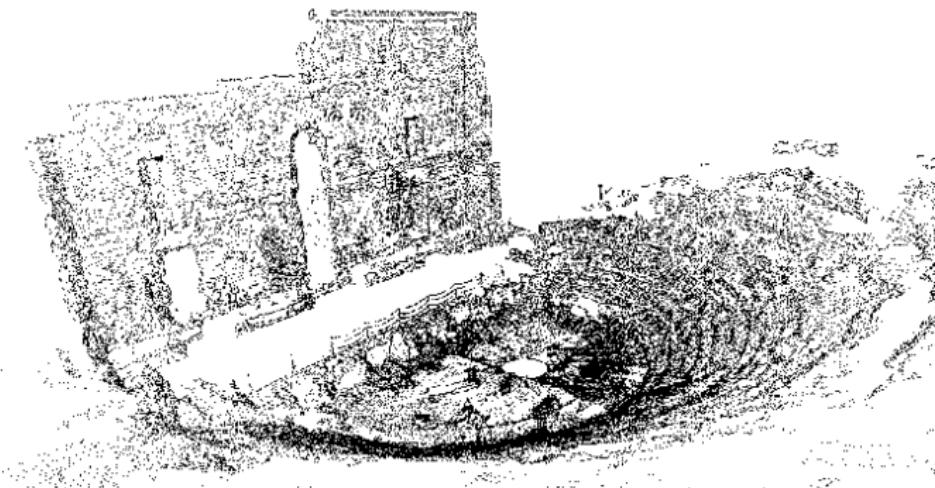
- Reflexión
 - Pasivos: **Fotografía**
 - Activos
 - Ópticos de triangulación: **láser, luz estructurada**
 - Ópticos distancia: **Tiempo de vuelo, Fase**
 - No ópticos: **Georadar, Radar, Sonar**
- Transmisión: **Tomografía**

Escáner de punzón: Pizca

- La aguja desciende sobre el objeto midiendo su altura en una densa rejilla de puntos.
- Volumen máximo: 152 x 101 x 40 mm
- Precisión X-Y: 0.05 mm Z: 0.025 mm
- Tiempo > 1 h

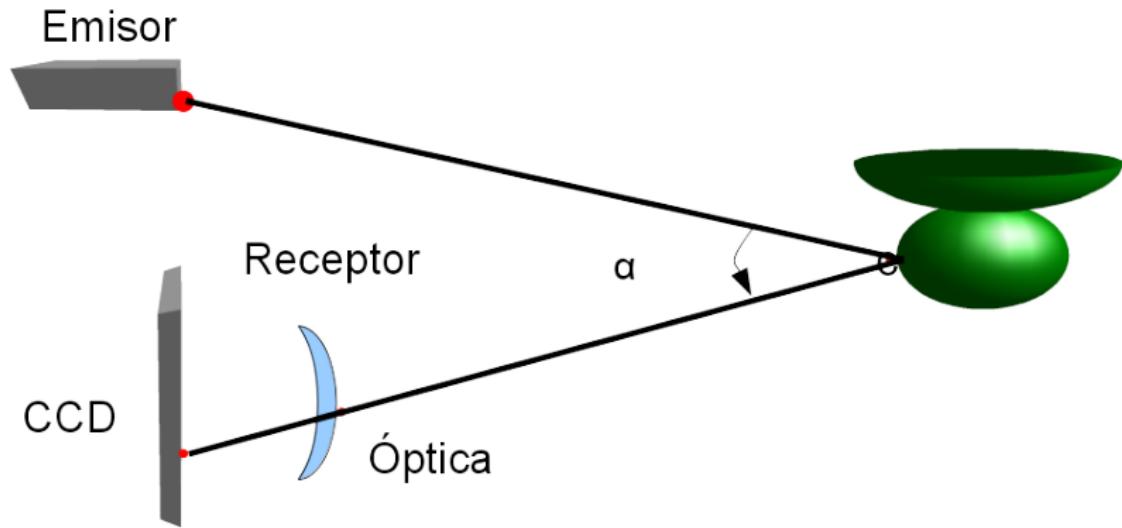


- Emiten un haz láser y calculan la profundidad a partir de la información del rebote del láser en la superficie.
- Los sistemas láser no digitalizan determinadas superficies (transparentes, especulares, negras, translúcidas).
- Generan una nube de puntos



Escáner láser de triangulación

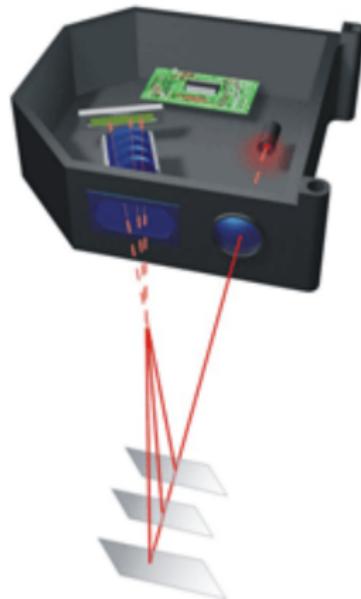
El dispositivo envía un haz láser a la escena y mide el ángulo de rebote. El emisor y el receptor no están en la misma posición.



Escáner láser de triangulación

El dispositivo mide el ángulo, y a partir de él calcula la distancia.

Solo se puede utilizar para distancias pequeñas.



Minolta Vivid 910

Genera una imagen parcial con profundidad.

Rango: 0.6 a 2.5m

Precisión: X: $\pm 0.22\text{mm}$, Y: $\pm 0.16\text{mm}$,

Z: $\pm 0.10\text{mm}$

Resolución: 3-D data : 640 x 480
(307,000 puntos)

Color: 640 x 480 x 24 bits

Tiempo: 2.5 s

Tres lentes intercambiables

Peso: 11Kg



NextEngine 3D scanner ultra HD

Genera una imagen parcial con profundidad.

Rango: 50 cm

Precisión: $\pm 0.22\text{mm}$

Color

Incluye plataforma giratoria

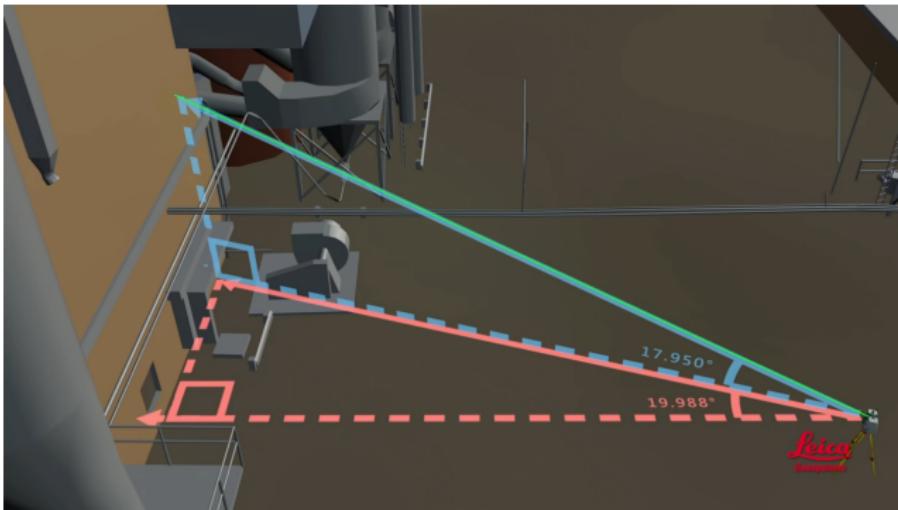


Escáner láser de tiempo de vuelo

El dispositivo envía un haz láser a la escena y mide el tiempo que tarda en volver.



Escáner láser de tiempo de vuelo



Genera una imagen de bóveda con profundidad.

Rango: 2m - 1km

Precisión: 10 mm a 50 m

Campo de visión 80° x 360°

Color: Cámara acoplada

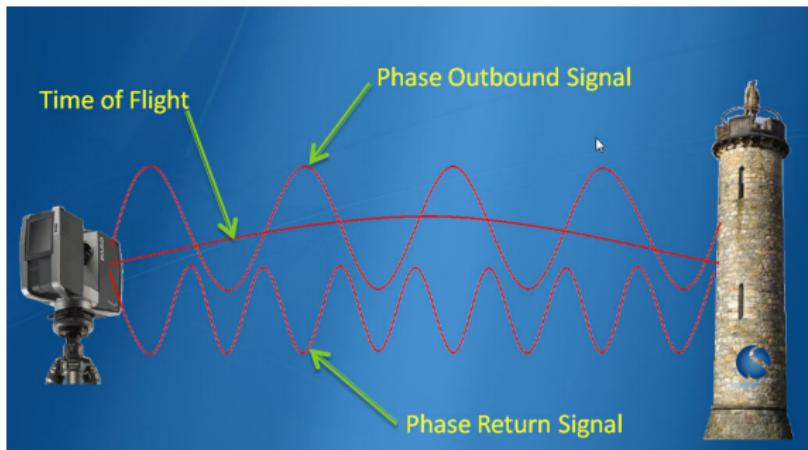
Velocidad de captura: 12.000 puntos/seg

Peso: 13.5 Kg



Escáner láser de fase

El dispositivo envía un haz láser modulado a la escena y mide el desfase con la señal reflejada.



Genera una imagen de bóveda con profundidad.

Rango: 0.6 a 130m

Precisión: 0.2 mm a 25 m

Resolución: 111 puntos /grado

Campo de visión 150° x 360°

Color: Cámara integrada 70M pixeles

Velocidad de captura: 122.000 a 976.000 puntos/seg

Autonomía: 4,5 h

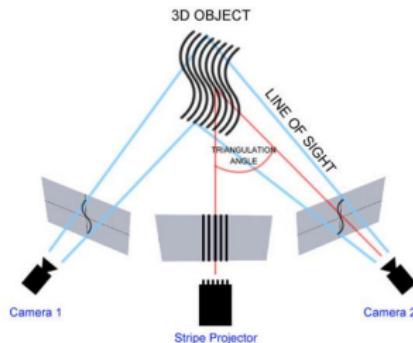
Diámetro del haz: 3mm

Peso: 5.2 Kg



Escáner de luz estructurada

El dispositivo proyecta un patrón de luz blanca y capta la imagen del objeto. Calcula profundidad por triangulación.



- Dispositivos de pequeño tamaño.
- Se utilizan para capturar zonas no accesibles con escáner de trípode.
- Utilizan diferentes técnicas.
- Digitalizan mientras se barre la superficie del objeto.



Se ha diseñado dispositivos para propósitos especiales
Cultlab3D es un sistema para la digitalización masiva de artefactos



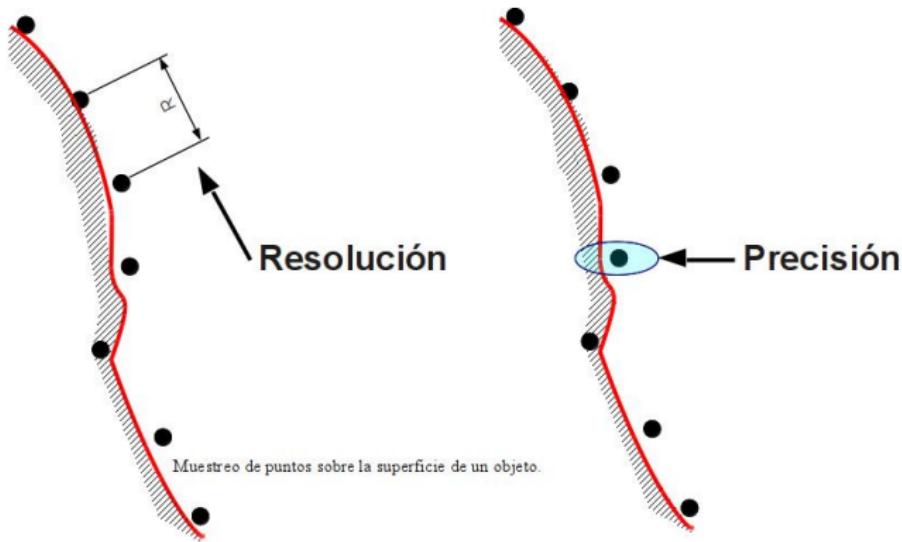
Los escáner láser solo se pueden usar con objetos que reflejen en todas direcciones (difusos).

No se pueden usar con objetos:

- Totalmente negros
- Especulares
- Transparentes
- Ni en espacios que interfieran en la propagación de la luz (humo, niebla...).

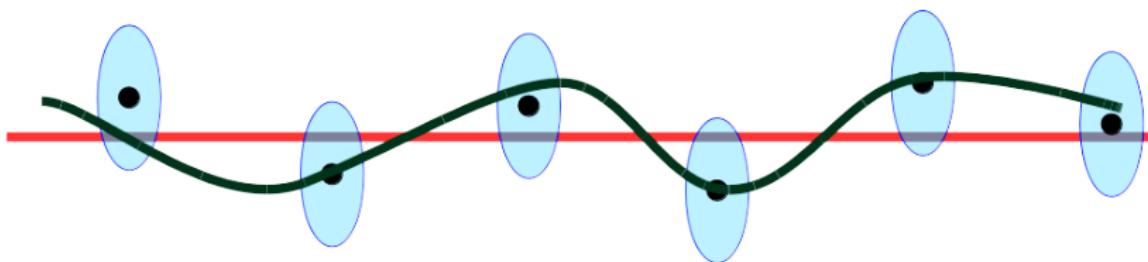
Dos parámetros fundamentales en el proceso de captura son:

- Resolución: Distancia entre muestras
- Precisión: Error de cada una de las medidas



La precisión es el error máximo cometido en las medidas realizadas de los puntos en la superficie del modelo.

Es decir, podemos tomar medidas en el modelo digital y saber que la medida en el modelo real no diferirá en más de ese error.

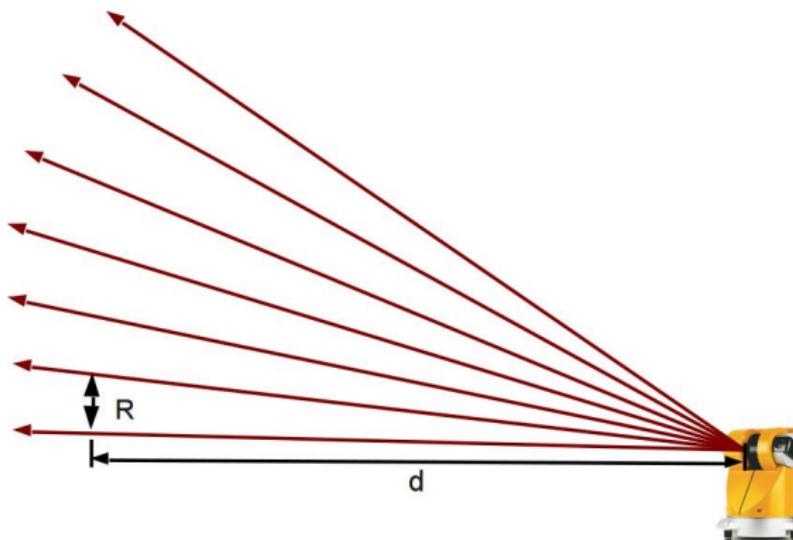


La distancia entre muestras.

Tamaño del menor detalle que puede capturar.

La resolución depende de:

- La tecnología del escáner
- La distancia a la que se ha capturado el objeto
- La orientación de la superficie respecto al escáner

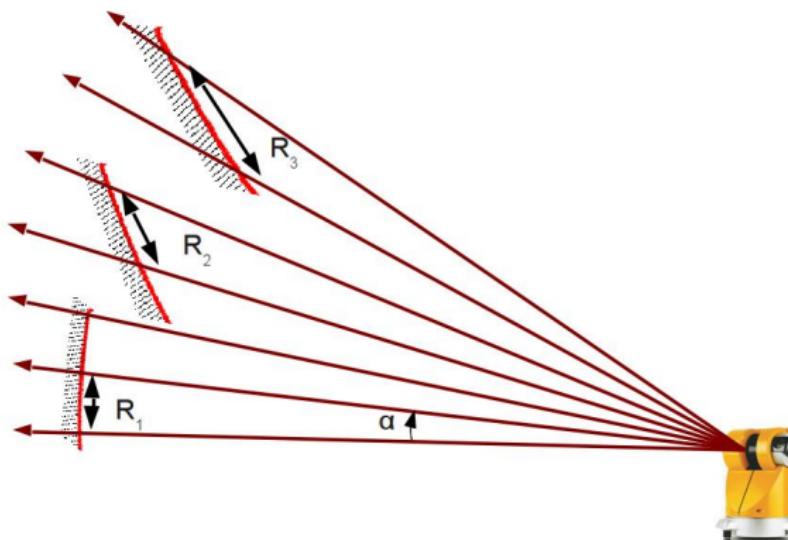


La distancia entre muestras.

Tamaño del menor detalle que puede capturar.

La resolución depende de:

- La tecnología del escáner
- La distancia a la que se ha capturado el objeto
- La orientación de la superficie respecto al escáner



- Velocidad de captura,
- Seguridad - Potencia del láser
- Alcance
- Tamaño del haz (spot)
- Facilidad de transporte (peso)
- Autonomía
- Posibilidad de uso a distancia
- Posibilidad de uso sin ordenador
- Captura de color



Metodología de captura

El escáner solo captura lo que es visible desde su posición.

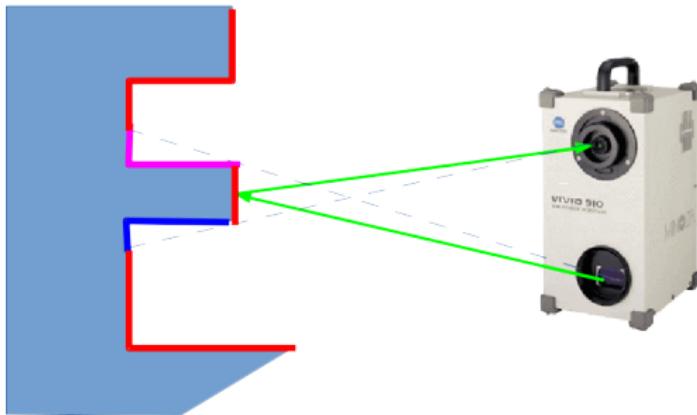
Para digitalizar un objeto completo hay que colocar el escáner en distintas posiciones :

- Moviendo el escáner
- Moviendo el objeto



Zonas ocluidas en escáner de triangulación

En los escáner de triangulación solo se mide lo que es visible simultáneamente por el emisor y el receptor.



Antes de iniciar una digitalización es necesario realizar una planificación detallada.

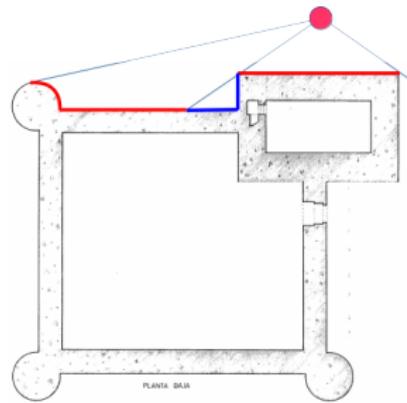
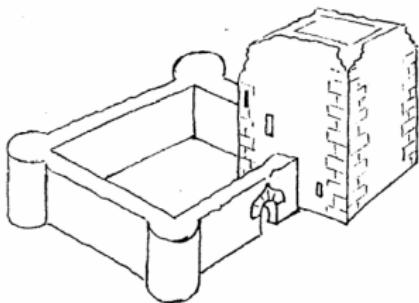
El objetivo de la planificación es :

- Seleccionar el tipo de dispositivo de captura
- Determinar las tomas a realizar
- Estimar el tiempo necesario
- Organizar la campaña de digitalización

La precisión y la resolución necesarias condicionarán el tipo y modelo de escáner a usar.

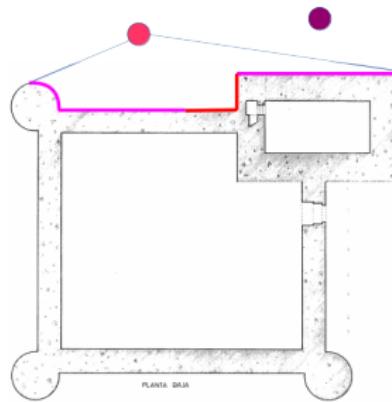
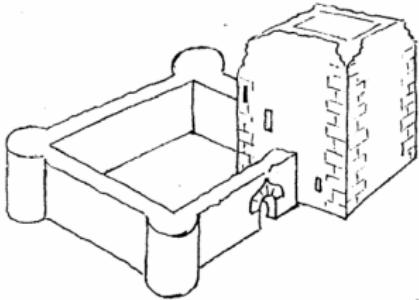
Determinar las tomas a realizar

- Para planificar las tomas concretas a realizar se debe contar con información detallada del espacio.
- Sobre un plano podremos decidir las ubicaciones óptimas del escáner, teniendo en cuenta la visibilidad y la accesibilidad.
- Podemos trazar la cobertura de cada toma



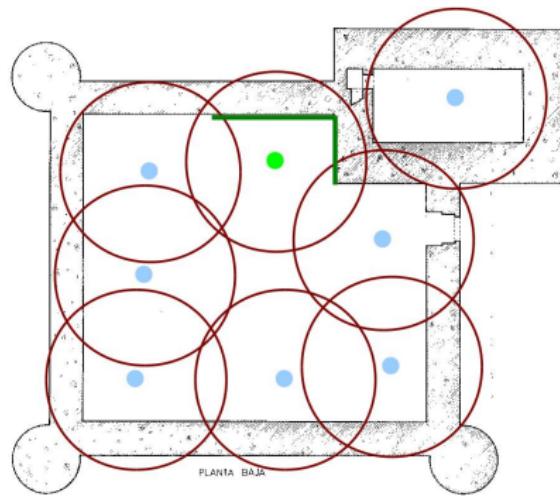
Planificación de las tomas

- Solapamiento entre tomas de un 20 % como mínimo
- Tener en cuenta relación de resolución con la orientación



Planificación de las tomas

- Tener en cuenta relación de resolución con la distancia



Para ayudar a alinear la diferentes tomas se pueden usar dianas. El software reconoce las dianas y las utiliza para colocar correctamente las tomas.

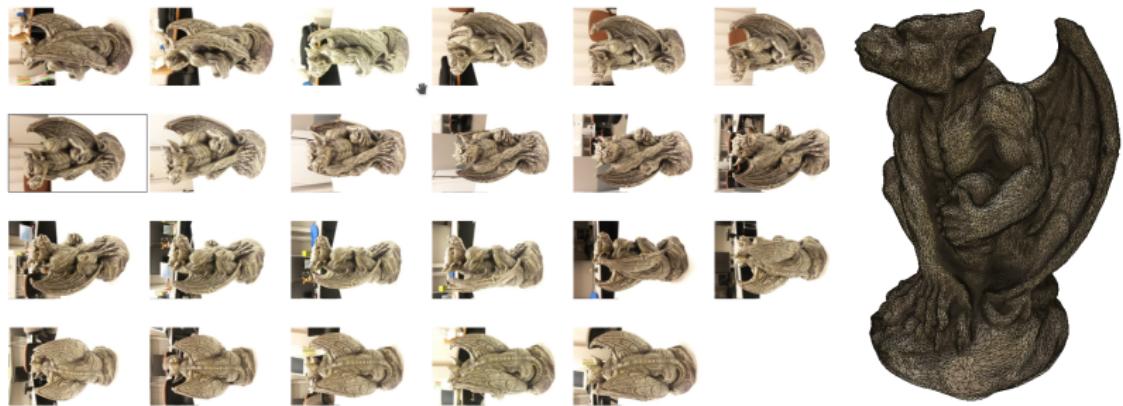


- GPS
- Sistema inercial de control de desplazamiento
- Mesa rotatoria

Reconstrucción a partir de fotografías

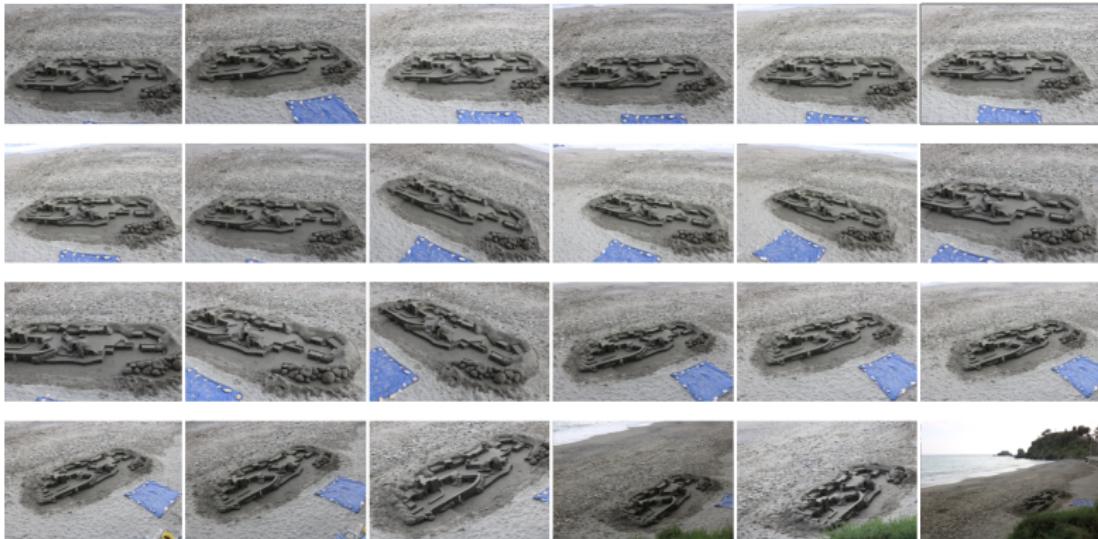
¿Digitalizar a partir de fotografías?

- El dispositivo de captura es una cámara fotográfica.
- No hay emisor.
- La(s) fotografía(s) se procesa(n) usando un software especial.



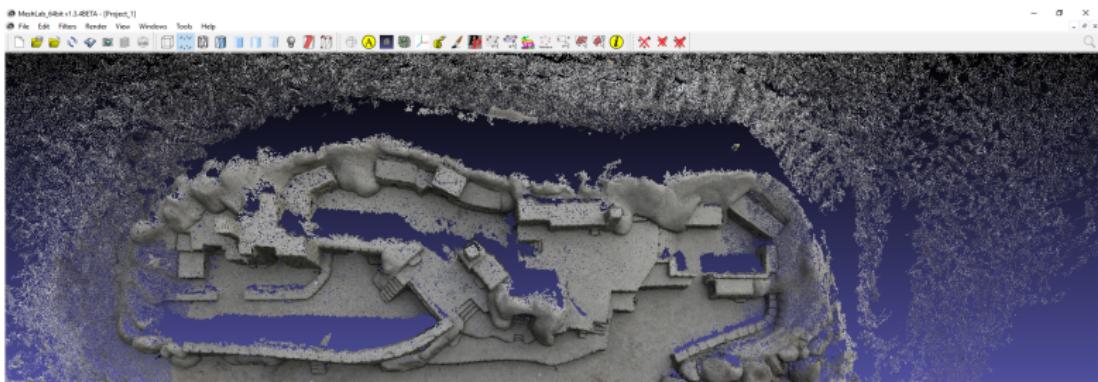
¿Qué se puede obtener de una fotografía?

- Se genera una nube de puntos similar a la obtenida con escáner.
- Algunas aplicaciones generan una malla.



¿Que se puede obtener de una fotografía?

- Se genera una nube de puntos similar a la obtenida con escáner.
- Algunas aplicaciones generan una malla.



Ventajas

- Coste de dispositivo.
- Movilidad.
- Autonomía.
- Captura de materiales translúcidos.



Invonvenientes

- Tamaño relativo. Hay que escalar el modelo con una medida real.
- Difícil estimación de la precisión.
- Complejidad del proceso de cálculo.
- No sirve para superficies planas sin textura.



El sistema visual humano captura información de profundidad usando muchos mecanismos:

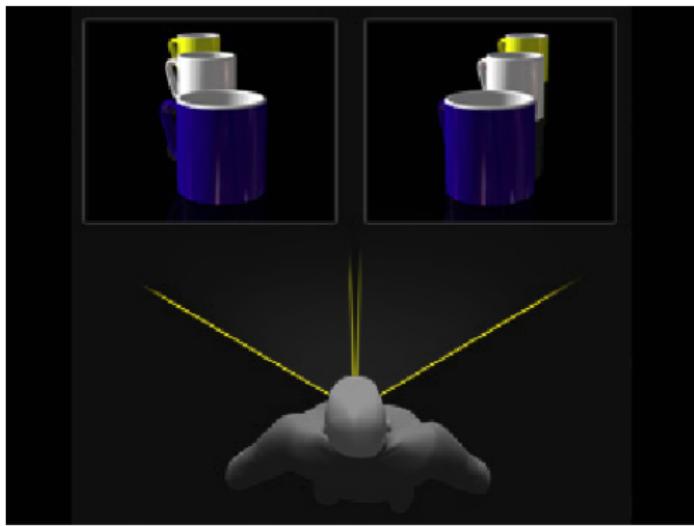
Pistas visuales (visual cues)

- Estéreo.
- Perspectiva.
- Acomodación.
- Desenfoque.
- Movimiento.
- Tamaño.
- Oclusión.
- Iluminación y sombreado.
- Niebla.



Pistas visuales: Estéreo

Cada ojo percibe una imagen desde un punto de vista diferente.
El cerebro las combina para obtener información de profundidad.

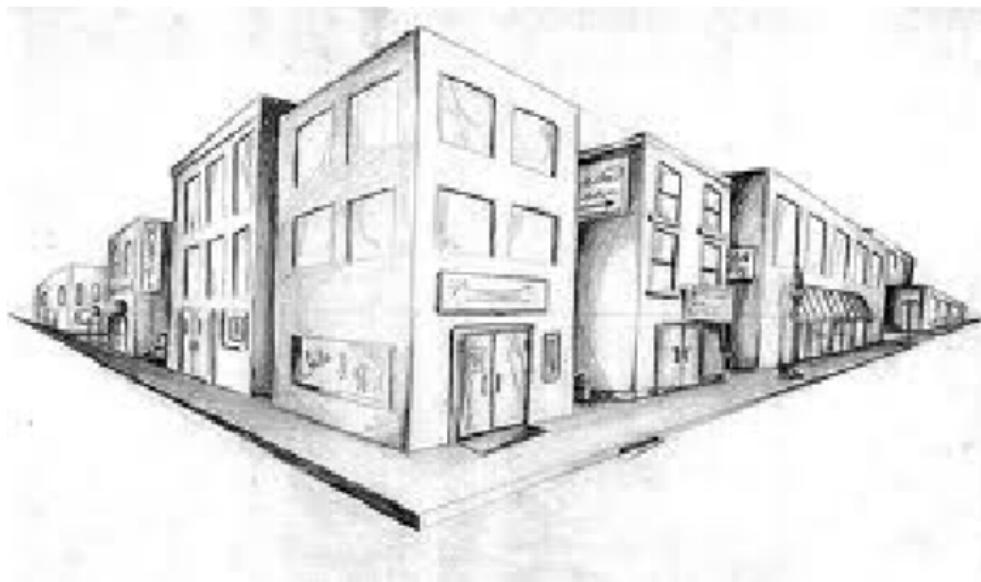


Obtenemos información de profundidad de los músculos encargados del enfoque del ojo.

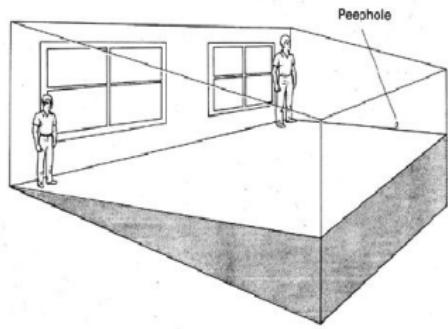


La imagen de líneas paralelas confluyen en puntos de fuga.

La distancia entre líneas paralelas disminuye con la distancia.



Perspectiva



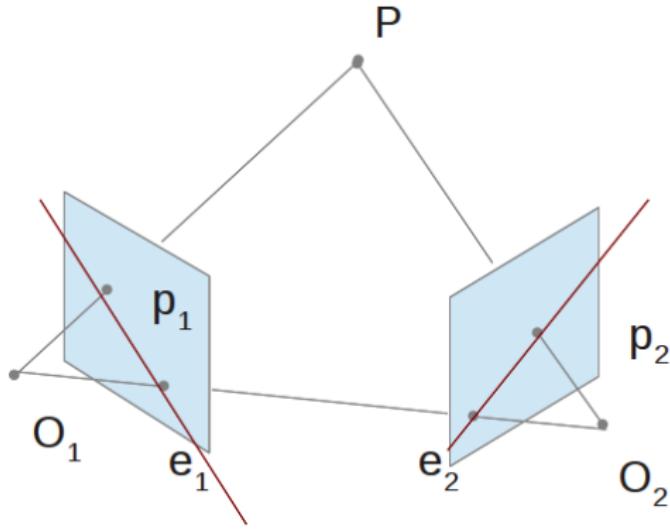
La velocidad aparente a la que se desplazan los objetos cuando nos movemos depende de la distancia a la que se encuentran.



Existen diversas técnicas de generación de modelos 3D a partir de fotografías. Cada una está basada en un método diferente para obtener información de profundidad.

- Estereoscopía.
- Perspectiva a partir de puntos de fuga.
- Dibujo sobre la imagen.
- Structure from Motion.

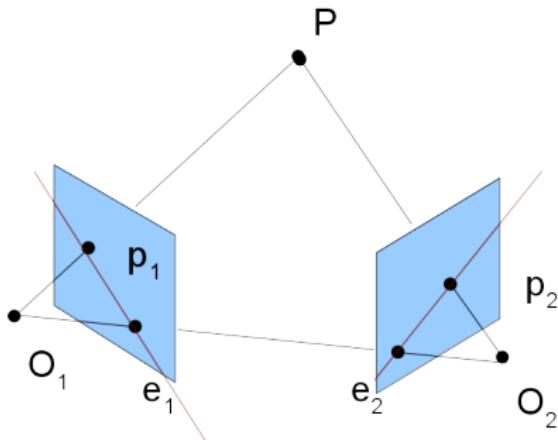
Conociendo la posición de la imagen de un punto en dos fotografías, y los parámetros y la posición y orientación de las cámaras, se puede reconstruir la posición del punto por triangulación.



Un punto de la escena con los dos centros de proyección forman un triángulo, cuya intersección con los planos de proyección son las líneas epipolares.

Proceso

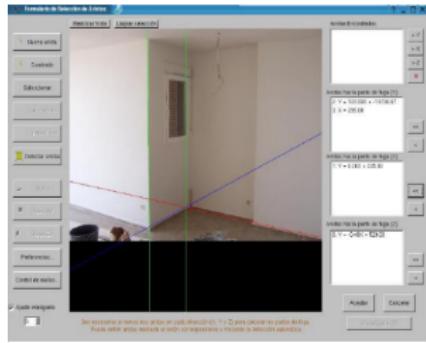
- ① Calibrar el sistema.
- ② Para cada punto en la imagen izquierda buscar el punto correspondiente sobre la línea epipolar.
- ③ Calcular profundidad.



Perspectiva a partir de los puntos de fuga

Perspectiva a partir de los puntos de fuga

Las líneas paralelas en el modelo se intersectan en la imagen en los puntos de fuga. Se pueden calcular la proyección de los puntos de fuga en la imagen, y a partir de esta calcular las coordenadas 3D de los puntos de la imagen.

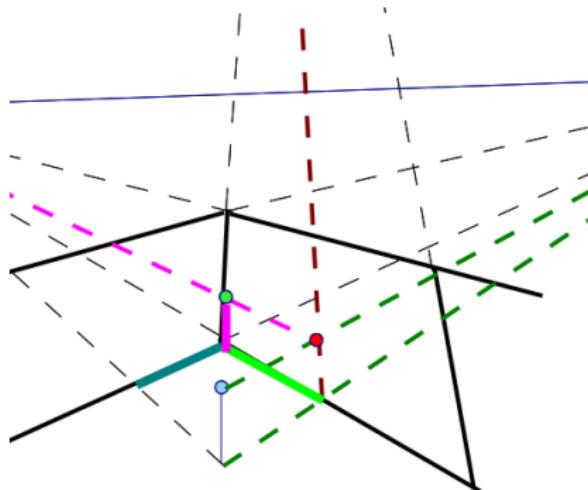


Perspectiva a partir de los puntos de fuga

Un punto de la escena con los dos centros de proyección forman un triángulo, cuya intersección con los planos de proyección son las líneas epipolares.

Proceso

- ① Calcular puntos de fuga.
- ② Fijar origen.
- ③ Calcular Ejes.
- ④ Marcar punto y proyección en el suelo
- ⑤ Calcular coordenadas proyectando sobre los planos de coordenadas.



Modelos 3D de pinturas



The Music Lesson. Johannes Vermeer (1632-1675).

Bringing Pictorial Space to Life: computer techniques for the analysis of paintings Antonio Criminisi, Martin Kemp, Andrew Zisserman, in on-line Proc. Computers and the History of Art (CHArt), November 1, 2002,

Modelado sobre una fotografía

Creación interactiva a partir de una fotografía

Se han propuesto diferentes métodos para crear modelo 3D interactivamente utilizando como base la información de un fotografía. La aplicación usa la fotografía para ajustar tamaños de primitivas

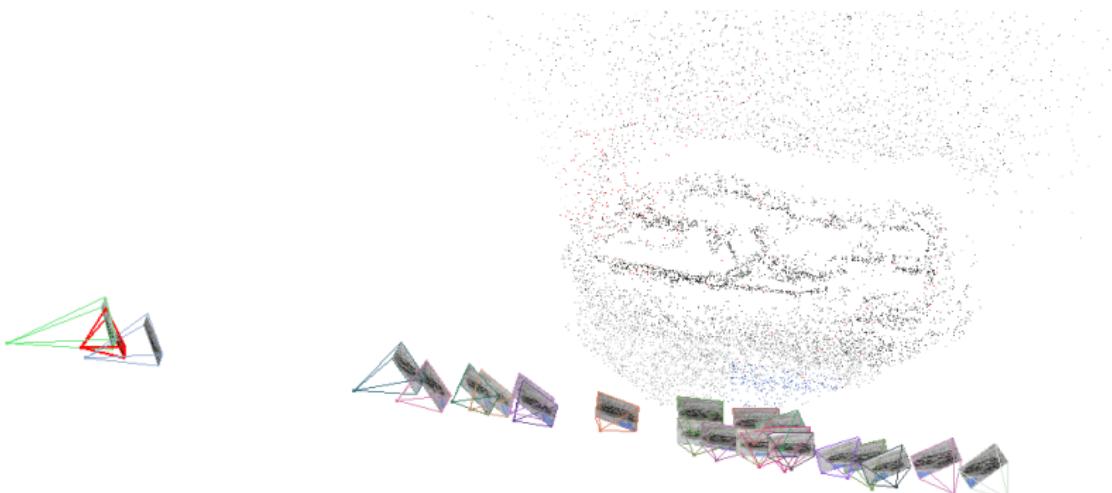


<https://www.youtube.com/watch?v=0ie1ZXWceqM&t=2s>



Structure from motion

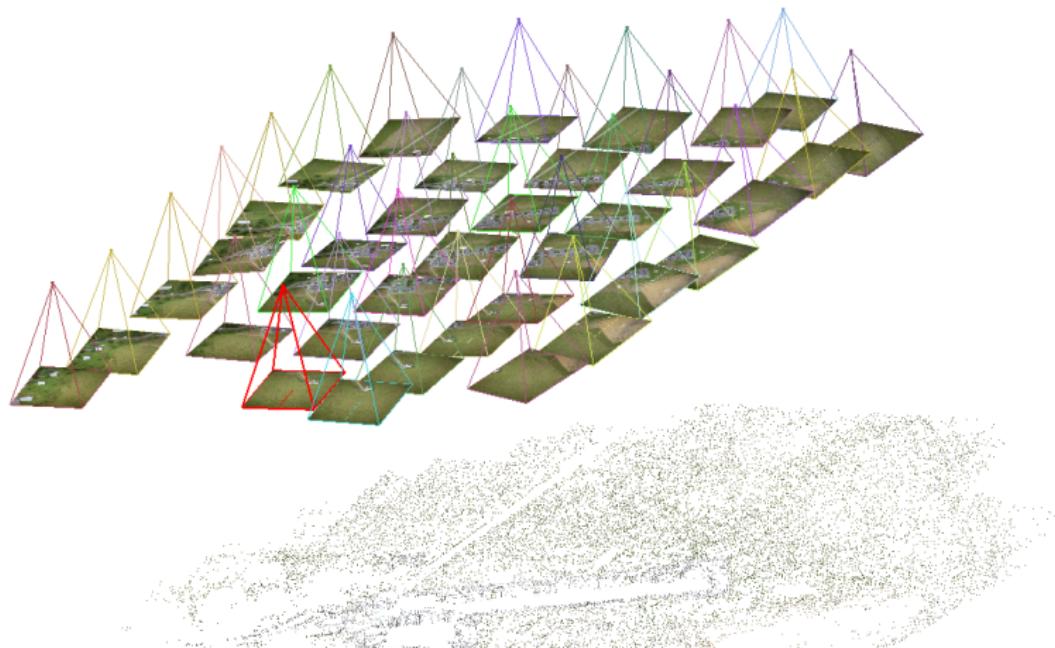
- Reconstrucción a partir de varias fotografías.
- Tomadas desde posiciones distintas.
- Con cámaras distintas, sin calibrar.
- Debe haber solapamiento alto entre fotografías (75 %).



Structure from motion (Sfm)

Devuelve

- Nube de puntos.
- Posición, orientación y parámetros de las cámaras.



Generalización de estereoscopía.

Proceso

- ① Detección de características.
- ② Buscar correspondencias.
- ③ Emparejar imágenes.
- ④ Calcular parámetros.
- ⑤ Calcular posiciones de características.
- ⑥ Calcular nube densa.



<https://www.youtube.com/watch?v=i7ierVkJya8&t=60s>



Fotografías aéreas

Se pueden crear modelos a partir de fotografías tomadas desde un dron (uav).



Modelo de la estación de esquí de Pradollano creado a partir de fotografías (resolución 0.5m)



<https://www.youtube.com/watch?v=qJ-b9h0TH1k>



Visual Sfm

- Interfaz gráfica que usa programas de sfm de código abierto.
 - Multiplataforma (Windows, Linux, Mac OSX).

<http://ccwu.me/vsfm/>



Utilización

- ① Cargar imágenes
- ② Calcular puntos característicos
- ③ Calcular reconstrucción dispersa
- ④ Calcular reconstrucción densa



<https://www.youtube.com/watch?v=5cei0d8Yx3g>

Postproceso

- ① Cargar el archivo .out y la lista de imágenes
- ② Calcular normales
- ③ Eliminar aristas non-manifold
- ④ Triangulación con Poisson
- ⑤ Parametrizar
- ⑥ Proyectar color
- ⑦ Escalar

https://www.youtube.com/watch?v=5EUSh2NKU_U

<https://www.youtube.com/watch?v=Nsl0fUtc2ug>



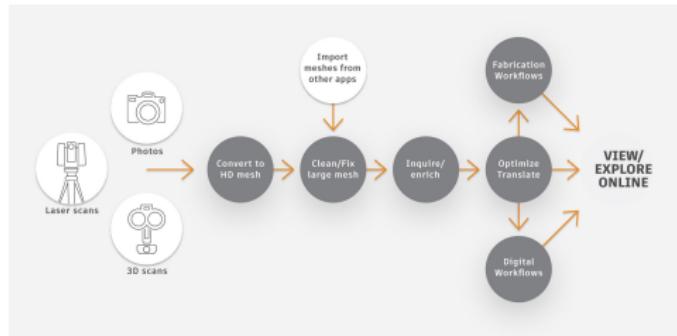
Remake

- Software de Autodesk
- Desarrollado sobre ReMake, Memento y 123D
- Integra reconstrucción por sfm y procesamiento
- Versión en la nube y local



Utilización

- ① Crear cuenta
- ② Cargar imágenes
- ③ Fijar parámetros
- ④ Procesar
- ⑤ Descargar modelo



<https://www.youtube.com/watch?v=wRWo3r-woMI>



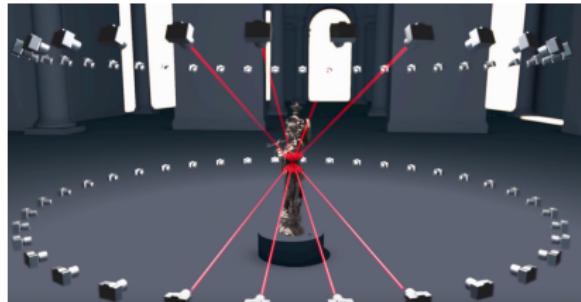
Otras aplicaciones para reconstrucción

- ARC3D (web) <https://homes.esat.kuleuven.be/~visit3d/webservice/v2/>
- AgiSoft PhotoScan (comercial) <http://www.agisoft.com/>
- Photomodeler (comercial) <http://www.photomodeler.com/>
- Apero <http://logiciels.ign.fr/?Telechargement,20>



Recomendaciones

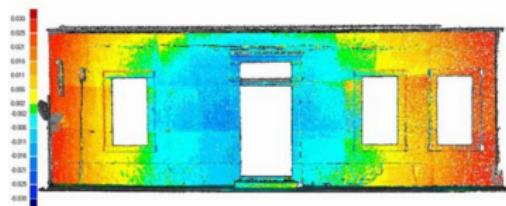
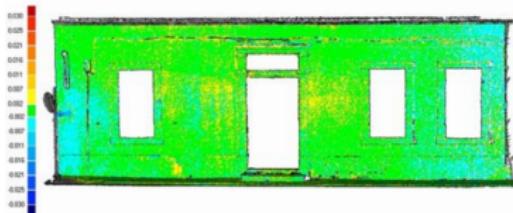
- Usar formato raw
- Solapamiento importante entre fotografías (75 %)
- Cada punto debe ser visto por al menos dos fotografías



<https://www.youtube.com/watch?v=D7Torjkfec4>

Fotografía vs escáner

- Coste
- Autonomía
- Complejidad del procesamiento
- Error



Skarlatos, D., & Kiparissi, S. (2012). Comparison of laser scanning, photogrammetry and SFM-MVS pipeline applied in structures and artificial surfaces. ISPRS annals of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences, 3, 299-304.

Técnicas de aceleración de la visualización

Funciones cuyo coste depende del tamaño del modelo:

- Visualización
- Selección
- Calculo de colisiones

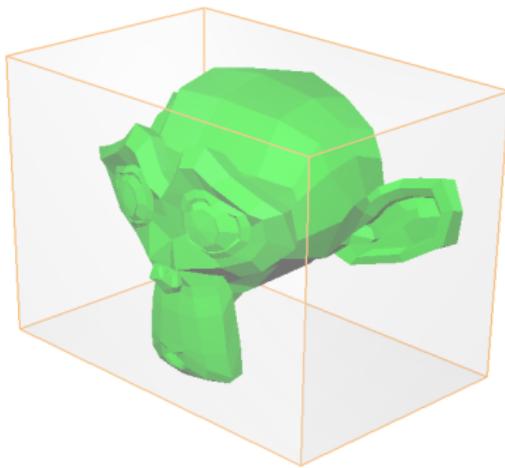


http://www.game-stuff.com/level/destroyed_level/

Se almacena un volumen envolvente de cada componente.

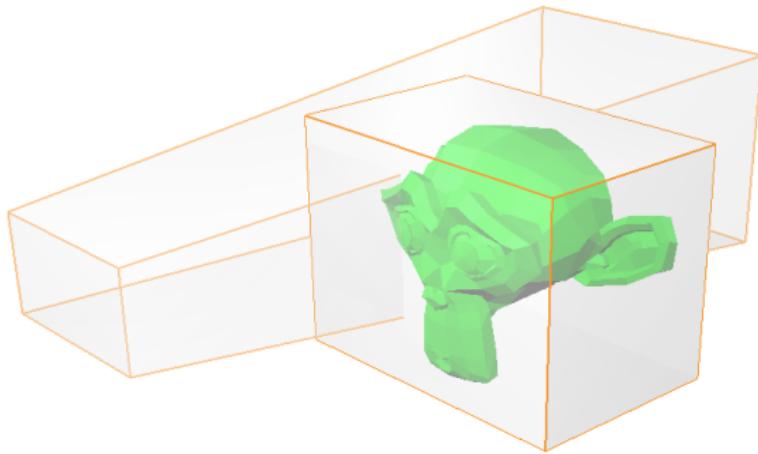
Generación:

- Recorrer vértices
- Obtener Xmin,Xmax,Ymin,Ymax,Zmin,Zmax



Eliminación de partes no visibles

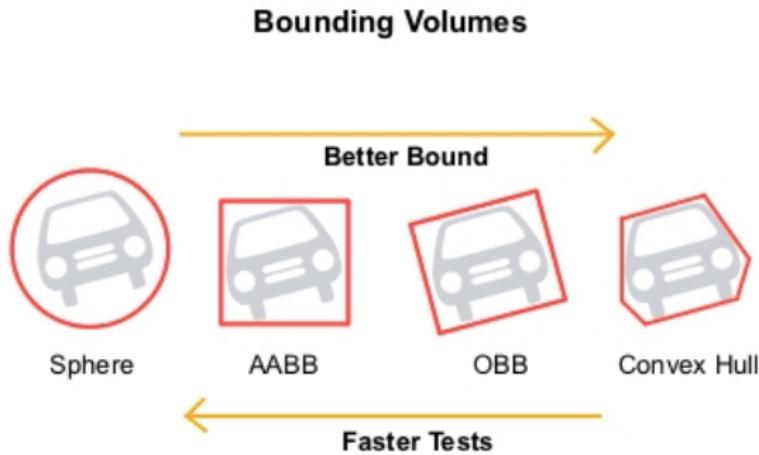
- Si la envolvente es visible
- Visualizar componente



Volúmenes envolventes

La efectividad dependerá de lo ajustado que sea el volumen

El coste de cálculo, almacenamiento y filtrado también.



copyright haroldsserrano.com

<https://www.haroldsserrano.com/blog/>

tips-for-developing-a-collision-detection-system

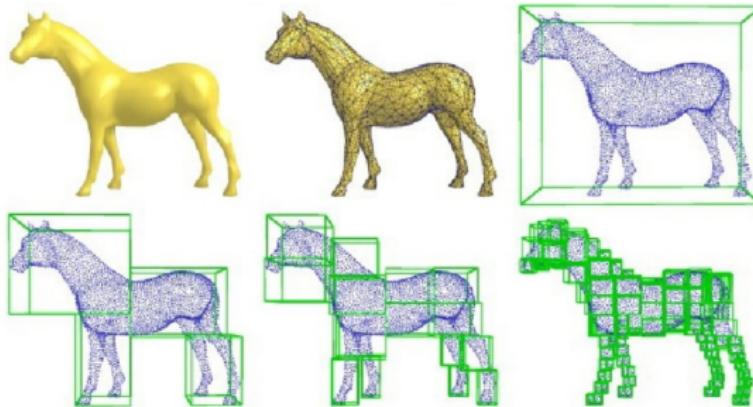
Índices espaciales



Jerarquía de volúmenes envolventes

La efectividad dependerá de lo ajustado que sea el volumen

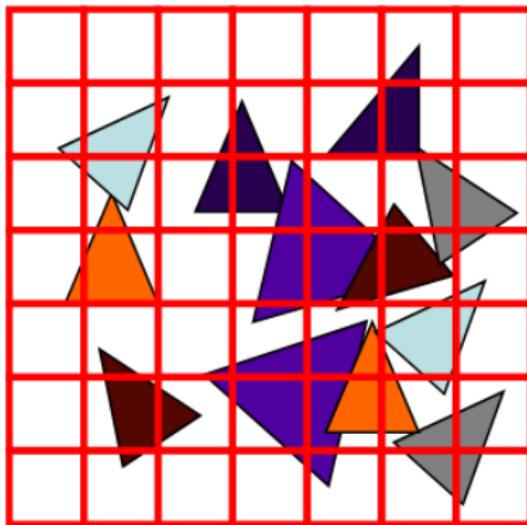
El coste de cálculo, almacenamiento y filtrado también.



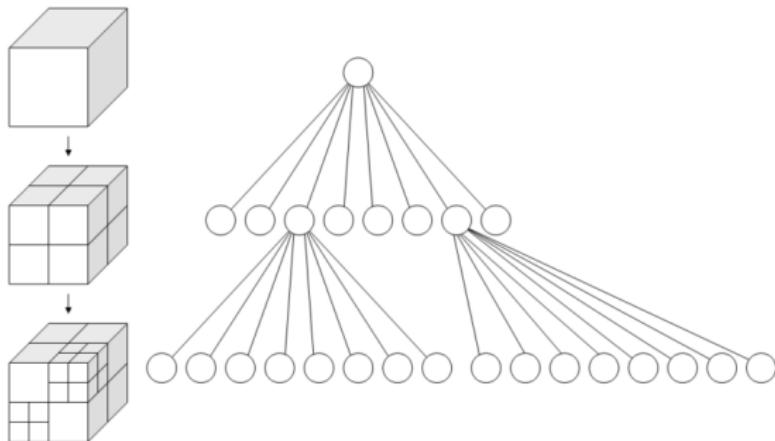
J.P. Sauta, D.Sidobrebc: "Efficient models for grasp planning with a multi-fingered hand Author links open overlay panel"

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921889011001515>

- Se subdivide el espacio en celdas
- En cada celda se almacena la lista de objetos que contiene
- El índice puede ser un array 3D o un hash



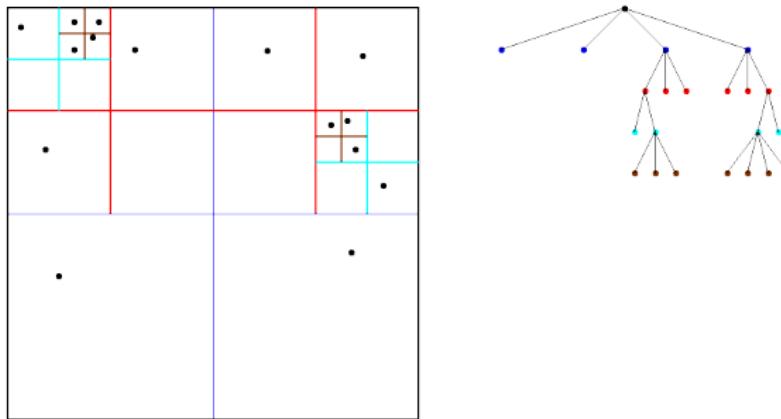
- El nodo raíz representa el cubo envolvente de la escena
- Cada nodo se subdivide en 8 subnodos (hasta un tamaño o un número de objetos contenidos prefijado)
- Los nodos terminales almacenan la lista de objetos



Indexación: Quadtree

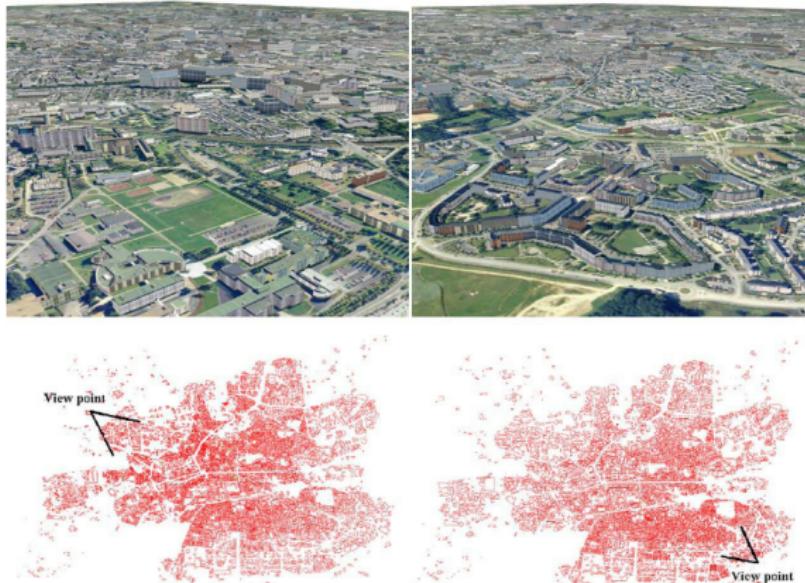
- Igual que un octree pero en el plano
- Se puede utilizar para indexar un plano del entorno

Adaptive quadtree where no square contains more than 1 particle



Visualización adaptativa

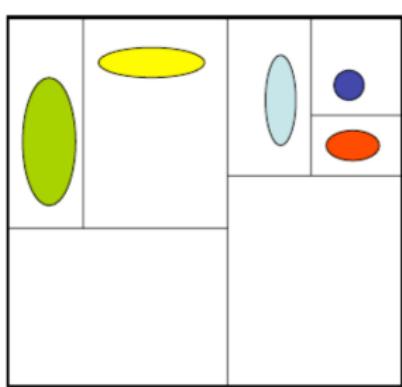
Se seleccionan los componentes de la escena y su nivel de detalle en función del punto de vista



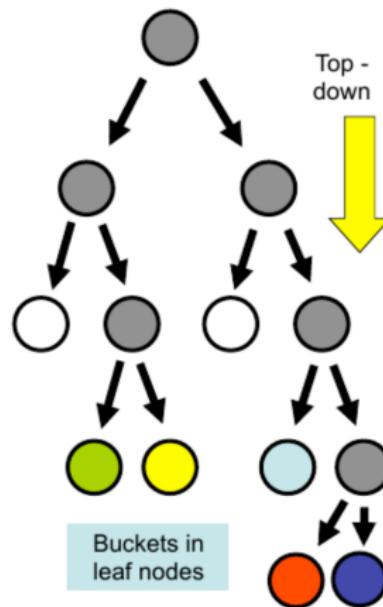
J. J. Royan et al. : MPEG-4 Adaptive Streaming for Virtual Cities Flyover: https://www.researchgate.net/publication/229076917_MPEG-4_Adaptive_Streaming_for_Virtual_Cities_Flyover

Visualización adaptativa: Método

Generación de un índice espacial

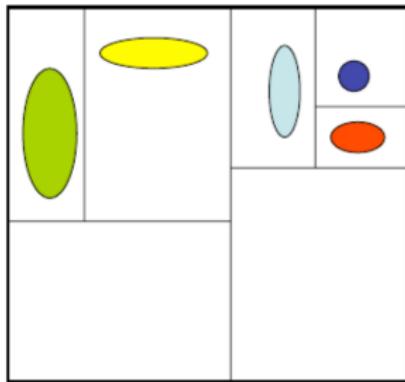


Step 1: Space subdivision and distribution of the mesh triangles

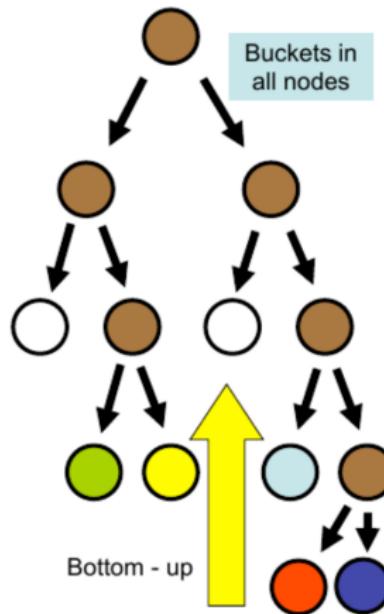


Visualización adaptativa: Método

Generación de niveles de detalle intermedios en todos los nodos

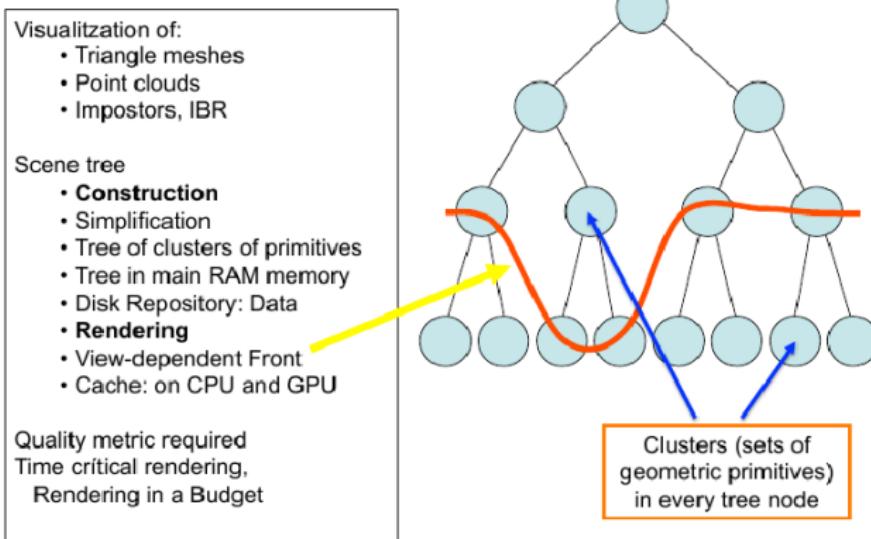


Step 2: Simplification: information
in all tree nodes



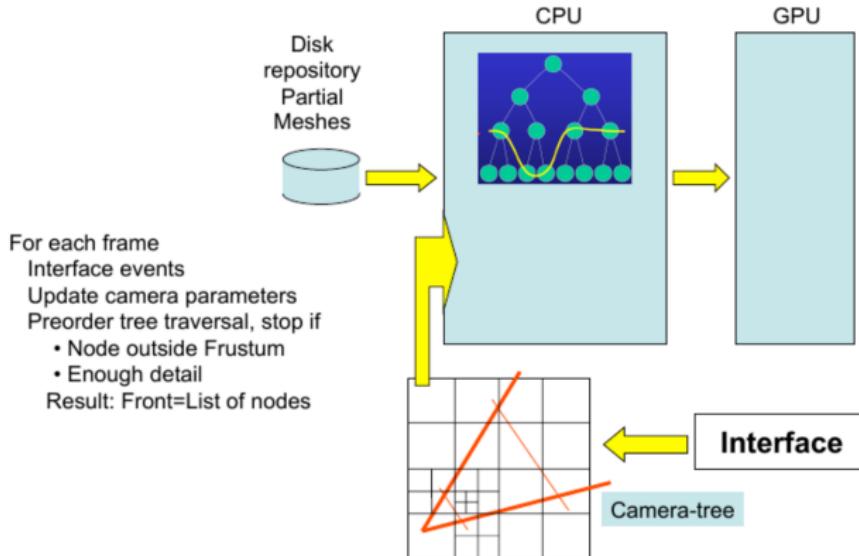
Visualización adaptativa: Método

Durante la visualización se mantiene un frente que indica el nivel de profundidad a la que se visualiza cada rama



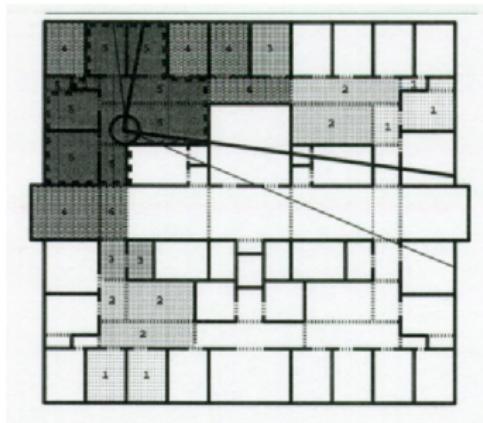
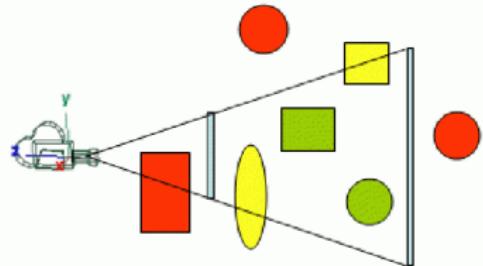
Visualización adaptativa: Método

El frente se actualiza en cada frame en función de la posición de la cámara

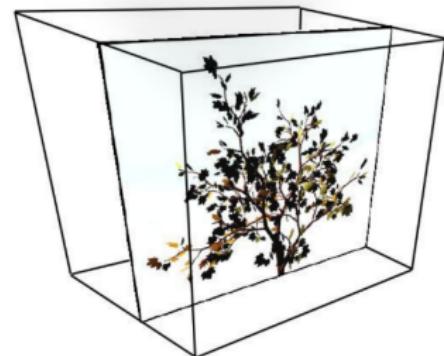


Precálculo de visibilidad

Para escenarios formados por estancias conectadas se puede precalcular la visibilidad, almacenando en cada una los elementos contenidos y las estancias que son visibles desde ella

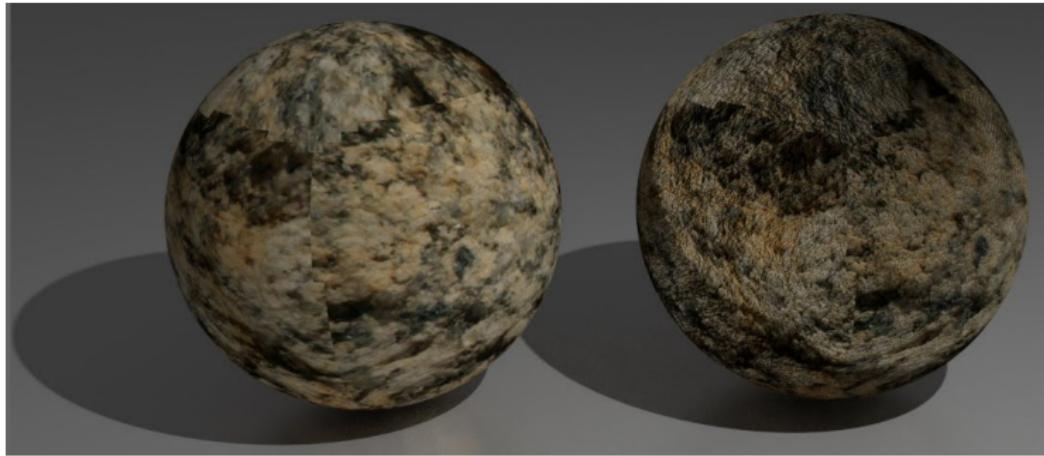


- Se sustituye una geometría compleja por una imagen prerenderizada
- La imagen se debe sustituir si el punto de vista cambia de forma apreciable

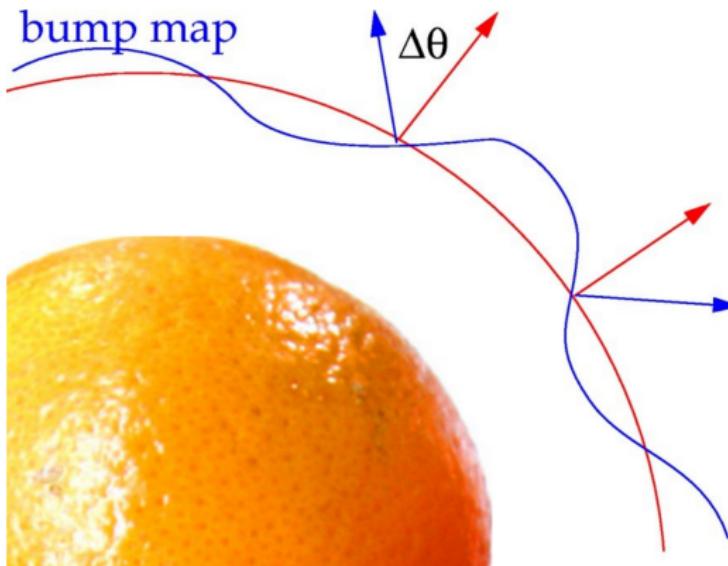


Detalles de la superficie

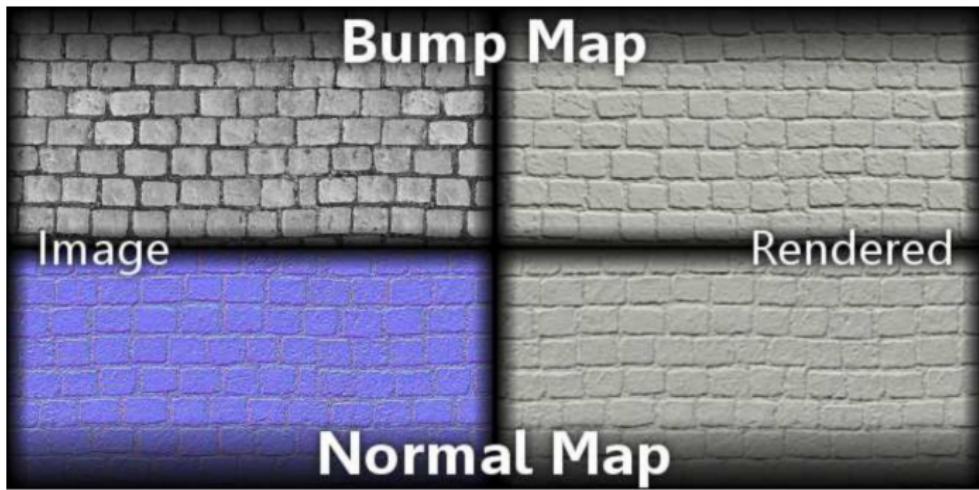
- Al simplificar una superficie se pierde de su relieve
- Las texturas no afectan a la iluminación
- Se mejora añadiendo modificaciones locales de las normales



- Utiliza un campo de alturas para calcular una perturbación de la normal

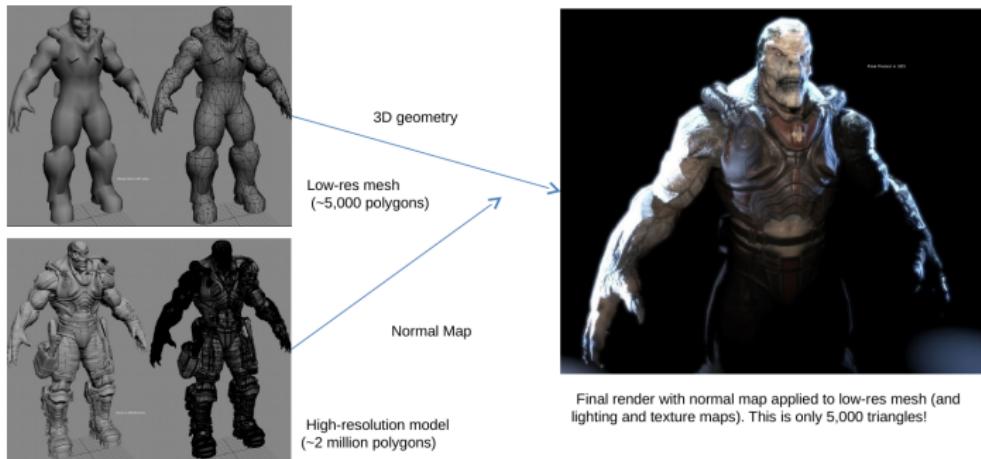


- Se sustituyen las normales de la geometría por las almacenadas en el mapa de normales



Creación de mapas de normales

- Se pueden crear a partir de un modelo de alta resolución



<http://www.cs.tufts.edu/comp/175/lectures/19-polygonrendering.pptx>

Mapas de desplazamiento

- Se utiliza un campo de alturas para modificar la geométria de la superficie
- Se visualiza usando ray casting



Ejemplo



<http://moving.cs.upc.edu/papers/CiutatsPublicat.pdf>

Modelado procedural

El modelo 3D se describe usando código en lugar de datos

Ventajas:

- Generación automática
- Representación concisa
- Facil parametrización

A. Finkelstein: Procedural modeling

<http://www.cs.princeton.edu/courses/archive/spr03/cs426/lectures/16-procedural.pdf>

- Modelos autosemejantes
- Útiles para describir objetos naturales



J. Kiriyathan, M.

Meili https://graphics.ethz.ch/teaching/former/imagesynthesis_06/miniprojects/p1/index.html

Generación de fractales determinísticos

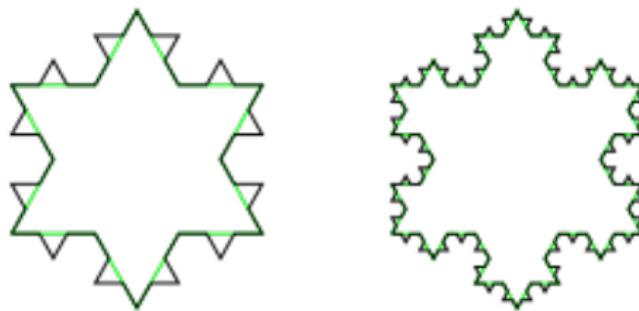
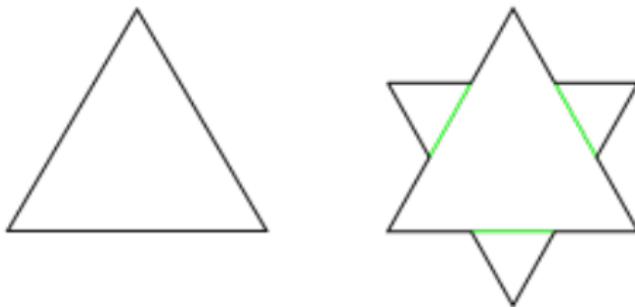
Proceso de generación:

- Se parte de una forma inicial (iniciador) y una regla de sustitución
- En cada interacción se sustituye una parte usando la regla de sustitución



<http://natureofcode.com/book/chapter-8-fractals/>

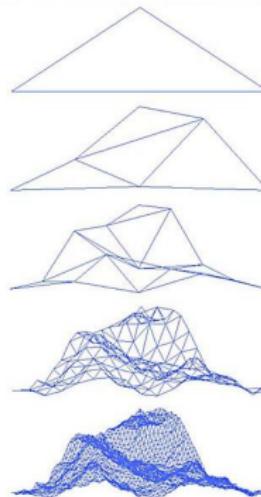
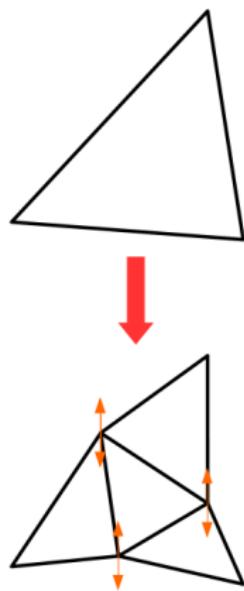
Generación de fractales determinísticos



Generación de fractales estadísticos

Proceso de generación:

- La regla de sustitución contiene parámetros aleatorios



<http://themancave-rayc.blogspot.com.es/2011/12/mandelbrot-set-fractals.html>

Descripción usando L-Systems (Lindermayer)

Es una gramática

$$G = (V, \omega, P)$$

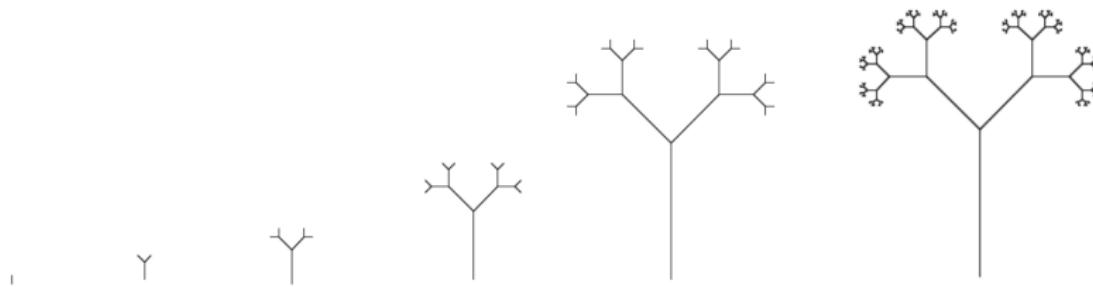
donde:

- V es el alfabeto
- ω es el símbolo inicial
- P es un conjunto de producciones la regla de sustitución

L-Systems (Lindermayer)

Ejemplo:

- V : Yema, Tallo, [,]
 - ω : Yema
 - reglas
 - $Y : T [Y] Y$
 - $T : T T$



BySvick-Ownwork, CC BY 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=5393189>

Generación de fractales determinísticos



Percarin et al.: A Procedural Approach to the Modeling of Urban Historical Contexts. CAA 2010,