



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ACATLÁN

"ANIMACIÓN: UNA APLICACION  
DE LOS GRÁFICOS POR COMPUTADORA"

TESINA  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
LICENCIADA EN MATEMÁTICAS APLICADAS Y COMPUTACIÓN

PRESENTA  
LUISA IRENE RICO UREÑA

ASESOR: FIS. MAT. JORGE LUIS SUÁREZ MADARIAGA

NAUCALPAN, EDO. DE MEX.

AGOSTO 2005

m. 347278



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

---

# Agradecimientos

---

A mis padres

**Margarita Ureña Medina**

**Manuel Rico Saenz**

Por haberme dedicado sus vidas  
por sus enseñanzas, fe, cariño y apoyo.

A mi esposo e hijos

**Rodolfo Derbez Lozada**

**Brell y Dahl**

Por permitirme seguir aprendiendo  
y progresando, por enseñarme a ser mejor  
persona, por su amor, motivación  
y tiempo.

A mis hermanos y sus familias

**Estela, Amalia, Víctor,**

**Mary, Ogilvia, Juan**

**Guillermo y Edmundo**

Porque han sido un apoyo e  
influencia en mi vida.

A la familia Derbez Lozada

**María del Pilar Yolanda Lozada Castro**

**Fructuoso Derbez Ramírez**

**Miriam Mirsa**

**Edgar Ernesto**

Por abrirme las puertas de su casa,  
por su apoyo y motivación.

A la familia Roa Derbez

**Diana Mónica Derbez Lozada**

**Mario Eduardo Roa Hernández**

**Abish Ariadna**

**Lesly Dayan**

**Dafne Alexy**

por su ayuda, confianza  
y cariño.

A la **Universidad Nacional Autónoma de México**

Por permitirme formarme como  
profesional y como persona.

A mis **Profesores**

Por compartir sus enseñanzas,  
y ejemplo.

A mis sinodales

**Fis. Mat. Jorge Luis Suárez Madariaga**

**Ing. Pablo Héctor González Videgaray**

**Mtra. María del Carmen Villar Patiño**

**Lic. Oscar Gabriel Caballero Martínez**

**Ing. Juan Antonio Juárez Arroyo**

Por su tiempo y apoyo.

---

# Índice

---

|                                 |   |
|---------------------------------|---|
| Planteamiento del problema..... | 3 |
| Justificación.....              | 3 |
| Objetivo general.....           | 4 |
| Objetivos particulares.....     | 4 |
| Introducción.....               | 5 |

## 1. Conceptos y evolución de la animación

|  |    |
|--|----|
| 1.1 Animación.....                                     | 7  |
| 1.2 Animador.....                                      | 8  |
| 1.3 Historia de la animación.....                      | 10 |
| 1.4 Métodos y técnicas tradicionales de animación..... | 15 |
| 1.5 Animación por computadora.....                     | 23 |
| 1.6 Aplicaciones de la animación.....                  | 34 |

## 2. Tecnología de despliegue de gráficos

|  |    |
|--|----|
| 2.1 Tarjetas gráficas.....             | 37 |
| 2.2 Tubo de rayos catódicos (CRT)..... | 41 |
| 2.3 Rastreo al azar.....               | 44 |
| 2.4 Rastreo con rastreador.....        | 45 |
| 2.5 Monitores CRT de color.....        | 47 |
| 2.6 Otras tecnologías.....             | 49 |

## 3. Fundamentos de los gráficos por computadora

|  |     |
|--|-----|
| 3.1 Primitivas.....                                  | 54  |
| 3.2 Transformaciones.....                            | 60  |
| 3.3 Representaciones tridimensionales.....           | 67  |
| 3.4 Vista tridimensional.....                        | 82  |
| 3.5 Eliminación de superficies y líneas ocultas..... | 85  |
| 3.6 Modelos de sombreado y color.....                | 87  |
| 3.7 Técnicas avanzadas de animación.....             | 100 |

## **4. Herramientas de animación**

|     |                                  |     |
|-----|----------------------------------|-----|
| 4.1 | Hardware.....                    | 105 |
| 4.2 | Software.....                    | 108 |
| 4.3 | Asociaciones, Universidades..... | 110 |

## **5. Análisis de una aplicación en el área cinematográfica “Pixar”**

|                    |                                 |     |
|--------------------|---------------------------------|-----|
| 5.1                | Proceso de animación Pixar..... | 114 |
| 5.2                | Tecnología.....                 | 118 |
| 5.3                | Desarrollos.....                | 119 |
| 5.4                | Bolsa de Trabajo Pixar.....     | 128 |
| 5.5                | Entrevista con David Tart ..... | 129 |
|                    |                                 |     |
| Anexo 1.....       |                                 | 142 |
| Anexo 2.....       |                                 | 143 |
|                    |                                 |     |
| Conclusión.....    |                                 | 144 |
| Bibliografía ..... |                                 | 147 |

---

## **Planteamiento del problema**

---

Actualmente la aplicación de las matemáticas en la animación es un área de oportunidad poco explorada por los Licenciados en Matemáticas Aplicadas y Computación, por lo que resulta de gran importancia tener los conocimientos básicos para poder incursionar en el desarrollo de la tecnología de la animación en México.

---

## **Justificación**

---

La presente investigación sirve para motivar al estudiante de la carrera de Matemáticas Aplicadas y Computación a internarse en el fascinante mundo de la animación, dándole a conocer el entorno actual de estas tecnologías.

---

# Objetivos

---

## Objetivo General

Dar a conocer los fundamentos básicos de la animación y la tecnología existente.

## Objetivos Particulares

- Presentar los conceptos y evolución de la animación desde sus inicios hasta nuestros días, así como la tecnología existente de despliegue de gráficos.
- Motivar al Lic. en Matemáticas Aplicadas y Computación (MAC) por medio del presente trabajo a interesarse en la animación por computadora, ya que la carrera nos ofrece las bases matemáticas (álgebra lineal, probabilidad, cálculo, métodos numéricos, etc.) que nos permite entender las técnicas utilizadas para generar objetos con volumen, movimiento, texturas, luz y color, de la misma forma, el área de programación cubierta por el temario de la carrera, proporciona los elementos necesarios para implementar algoritmos que generan la animación.
- Exponer los fundamentos matemáticos básicos utilizados en la animación comenzando con los gráficos elementales desde el punto y la recta con sus ecuaciones correspondientes hasta llegar a generar figuras tridimensionales de formas caprichosas por medio de métodos de interpolación y poder obtener movimiento mediante transformaciones de matrices.
- Mostrar el hardware y software existente para la animación por computadora para que el alumno se familiarice con las opciones y características específicas de cada fabricante para su futura utilización en el campo profesional.
- Dar a conocer a los Licenciados en Matemáticas Aplicadas y Computación el área de animación como una oportunidad de desarrollo profesional mediante la presentación de una compañía líder en la rama.

---

# Introducción

---

En los inicios de la animación las personas involucradas eran fundamentalmente artistas gráficos, con el advenimiento de la computadora se abrió una amplia gama de trabajo para los profesionistas que tenían conocimiento de las matemáticas y la computación.

Sin embargo, la animación por computadora no ha tenido el auge necesario en el desarrollo de software en México, por lo que es necesario que como alumnos en Matemáticas Aplicadas y Computación nos intereseamos y adentremos en este fascinante mundo de la animación.

Es importante entender que la animación es un trabajo interdisciplinario ya que intervienen creativos, dibujantes, científicos, ingenieros y nosotros realizamos la parte tecnológica (software).

En el presente trabajo se dan a conocer los conceptos de la animación, así como, un recorrido por la historia de la animación desde sus orígenes hasta nuestros días.

De igual forma nos permite darnos cuenta que es necesario entender como trabajan los dispositivos de despliegue, como se trazan en dichos dispositivos los gráficos básicos y en base a esos, como construimos, mediante operaciones matemáticas figuras tridimensionales con alto grado de dificultad.

Posteriormente, se dan a conocer las técnicas de modelado, sombreado, color, etc., para que las figuras tridimensionales tomen vida y realismo.

Actualmente, existe hardware y software enfocado a la animación, por lo que se dedica un capítulo a presentar estas tecnologías, así como algunas compañías que lo desarrollan.

Por último veremos una aplicación real en la industria cinematográfica con una de las compañías más grandes que está a la vanguardia en tecnología y desarrollo en todo el mundo en el campo de la animación por computadora. "Pixar Animation Studios".

---

# 1. Conceptos y evolución de la animación

---

## 1.1 Animación

La animación es el proceso de crear imágenes que parezcan moverse. Al observar un trozo de película nos podemos dar cuenta que está constituido por muchas imágenes fijas. Desde un punto de vista estrictamente científico, la animación se basa en la mecánica y en cierta medida, en las imperfecciones del ojo.

Cuando los objetos se desplazan con una rapidez superior a la de una determinada frecuencia (entre 18 y 24 veces por segundo), entra en juego un fenómeno fisiológico denominado persistencia de visión y el movimiento tiende a hacerse borroso. Esto es así porque una imagen única recogida, de manera instantánea, por el ojo, se retiene en el cerebro durante más tiempo que el de registro real en la retina. Por consiguiente, si una imagen de un segundo se capta de manera instantánea en un determinado período de tiempo mínimo (unos 50 milisegundos), el cerebro sigue reteniendo la última imagen y se pueden combinar las dos imágenes.

Cuando una serie de imágenes se presenta en una rápida sucesión, tal como se realiza con un proyector de películas, el cerebro mezcla las imágenes juntas y cuando estas imágenes sólo cambian muy poco de una a la siguiente, el efecto final es el de un movimiento continuo. Esta ilusión óptica es el fundamento de la perfección de las películas cinematográficas y de las imágenes televisivas.

La película de 35mm estándar, que es la mostrada en las salas cinematográficas, utiliza una frecuencia de 24 cuadros por segundo. Esto significa que cada segundo aparecen

24 cuadros de información en la pantalla, a esta frecuencia, no suele producirse ningún parpadeo visible. En la película de cámara de 8 mm, por el contrario, la frecuencia de 18 cuadros por segundo hace más notable el parpadeo de estas películas. Cuando una película se muestra en la pantalla televisiva, existe una discrepancia en la frecuencia de los cuadros.

La televisión tiene una frecuencia de 30 cuadros por segundo, mientras que una película suele haberse creado con el formato de 24 cuadros por segundo. Esta conversión se realiza mostrando cada cuarto cuadro, dos veces.

La velocidad a la que los objetos parecen moverse en una animación es una función del número de dibujos utilizados para conseguir un movimiento y de la distancia entre la posición del objeto en cuadros sucesivos. Por ejemplo, si vamos a dar animación al rebote de una pelota, cuanto más lejos se haya desplazado la pelota en cada cuadro adyacente, tanto más rápida parecerá saltar desde un punto a otro en la pantalla, en lugar de desplazarse con suavidad.

Es fácil comprender que una alta frecuencia de cuadros puede dar lugar a la necesidad de un gran número de cuadros. Considérese este caso, se tendrá que 24 cuadros en un segundo equivale a 1,440 cuadros en un minuto y en una hora de animación pueden tenerse hasta 86,400 cuadros individuales. Por consiguiente, una animación de dos horas necesitaría 172,800 individuales, lo que es un número digno de consideración. Antes de que las computadoras se utilizaran, cada uno de estos cuadros tenía que dibujarse a mano, pintarse y fotografiarse.

## 1.2 Animador

Aunque algunas personas consideran que animador es un individuo que se limita a dibujar los cuadros individuales de una película, proporcionando a algún objeto la ilusión de movimiento, nada podría estar más lejos de la verdad. Un animador es, en realidad, un suministrador de emoción (definición debida a Alvy Ray Smith de Lucasfilm). Los animadores realmente importantes son mucho más que grandes artistas. En lugar de limitarse a captar la esencia de un personaje en una imagen estática, tienen que dar vida a imágenes de dos dimensiones. El animador bosqueja con rapidez las diferentes partes de la figura en movimiento con el empleo de dotes intuitivas. A continuación, los ayudantes de los animadores convierten los bosquejos en la imagen artística final. Aunque cualquiera puede realizar una animación sencilla, las animaciones realmente grandes de estudios cinematográficos tales como los de Disney tuvieron su origen en individuos altamente dotados.

Para el año 2005 la Compañía Disney ha cerrado sus estudios de animación tradicional despidiendo una gran cantidad de animadores. Esta estrategia esta basada en realizar los largometrajes en tercera dimensión. Actualmente se cuenta con un estudio de animación en tercera dimensión en Burbank, y se encuentra en construcción una unidad especial en Glendale, California destinada al desarrollo de las secuelas de los éxitos animados "Toy story", este filme inició con la colaboración laboral entre el legendario Disney y el entonces novato Pixar Animations, hoy convertido en el estudio de animación más importante del mundo.

Con el contrato de trabajo entre ambos a punto de expirar, Disney se decidió ir por lo seguro y realizar la continuación de las exitosas "Toy story" (1995) y "Toy story 2"

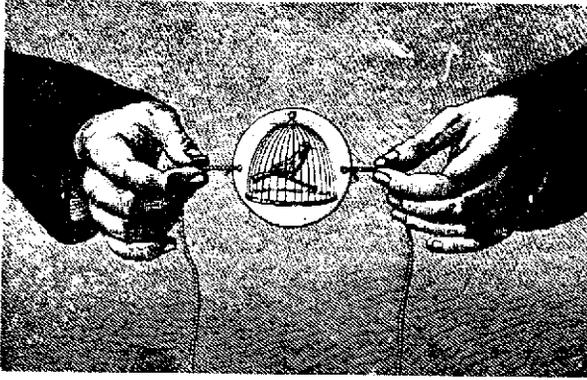
(1999), ya que el acuerdo estipula que posee los derechos para producir las secuelas de las cintas hechas en conjunto.

El presidente de la compañía Dick Cook agregó que se planea producir un película al año, cuyo estreno está programado para el verano o las vacaciones de invierno, por lo pronto la tercera parte de "Toy story" será presentada en los cines en el año 2008.

Esto no quiere decir que los animadores tradicionales ya no tengan oportunidades laborales, ya que en la primera mitad del proceso de realización de animación en tres dimensiones es necesario el trabajo de estos fantásticos animadores tradicionales, ellos se encargan de la realización de los cuadros claves, los cuales contienen las posiciones más significativas de los personajes, indicando la trayectoria que siguen las figuras en el comienzo y final de una secuencia de movimiento.

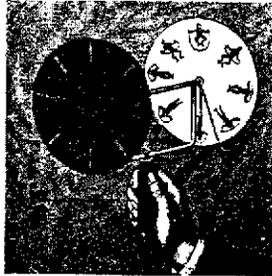
### **1.3 Historia de la animación**

El primer dispositivo de animación se denominó el taumatropo. Fue inventado en 1826 por un doctor inglés, John Paris, la idea básica era la de emplear unos cordeles para hacer girar un disco con una imagen diferente en cada lado. Cuando se hacía girar el disco, podían verse ambas imágenes al mismo tiempo. La idea para la creación del taumatropo es probable que se originara en la observación del giro de una moneda. Cuando una moneda se hace girar y se observa desde un lado, el fenómeno de la persistencia de visión del ojo humano hace que las imágenes aparezcan superpuestas entre sí.



El primer dispositivo de animación, el taumatropo (hacia 1826)  
(Stanford University Museum of Art.)

El primer dispositivo que produjo, en realidad, imágenes animadas fue el fenaquistoscopio que significa mostrador de movimientos, que hizo su aparición en 1832. Su inventor, Joseph Plateau, estaba parcialmente ciego por mirar el sol durante 20 minutos, al realizar una prueba de persistencia de la visión. Este dispositivo está constituido por una rueda giratoria ranurada unida a una manija. El disco giratorio contiene una serie de imágenes dibujadas, que presentan cada una a un cuadro de animación. Para observar las animaciones, hay que sujetar la rueda de enfrente de un espejo, mirar a través de las ranuras y hacer girar la rueda. Las ranuras actúan como el obturador de un proyector de películas, permitiendo ver cada cuadro en solamente una fracción de segundo en lugar de en una imagen borrosa continua.



La primera imagen animada, el fenaquistoscopio (hacia 1832).  
(Stanford University Museum of Art.)

La siguiente herramienta de animación importante, denominada zoetropo, o Rueda de la vida, se inventó hacia 1834 por William G Horner, en Inglaterra, en donde se le llamaba la rueda del demonio.

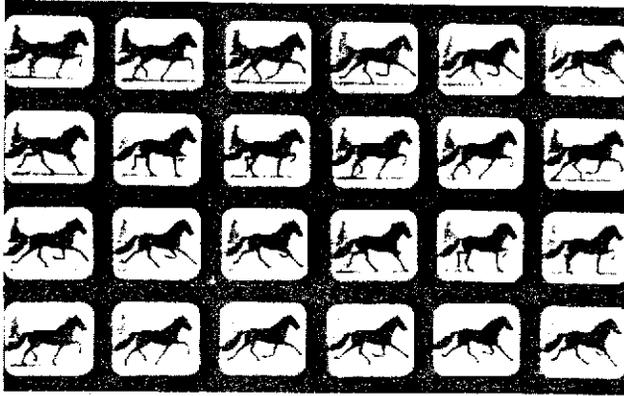
Fue rediseñado en Francia por Pierre Desvignes en 1860. El zoetropo es un tambor giratorio con imágenes dibujadas en su interior. Como el fenaquistoscopio, el zoetropo tiene también ranuras con separación idénticas en las superficies laterales. Cuando se hace girar el tambor, las imágenes pueden observarse cuando se mira a través de las ranuras. El tambor puede sustituirse por un reproductor fonográfico.



Zoetropo. (Stanford University Museum of Art.)

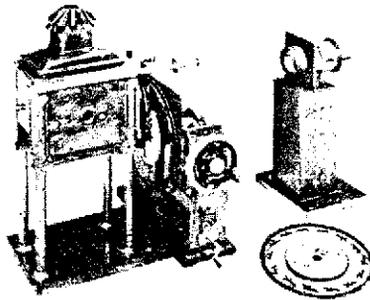
Mucho antes de que se inventaran las cámaras cinematográficas, un hombre llamado Eadweard Muybride alineó una serie de cámaras fijas para fotografiar un caballo cuando corría en un hipódromo. Muybridge tenía los obturadores de las cámaras conectados a unos cordeles situados a través de la pista, de modo que las patas del caballo dispararan cada cámara cuando pasaran por encima. Tuvo la posibilidad de establecer una apuesta entre el gobernador Leland Stanford de California y otro millonario. Stanford aseveraba que cuando

un caballo está galopando tiene, en un momento determinado, sus cuatro patas separadas del suelo. Como puede observarse el gobernador tenía razón.



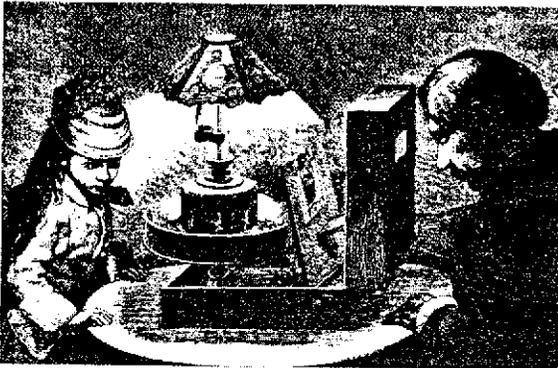
Los caballos de Eadweard Muybridge.

Más adelante, Muybridge desarrolló el zoopraxiscopio para proyectar sus imágenes en movimiento sobre una pantalla. Utilizó ruedas de cristal con sus imágenes desplazándose a lo largo de la periferia. El disco giraba en un proyector que mostraba un ciclo repetitivo de movimiento. No obstante, un ciclo completo sólo duraba medio segundo aproximadamente.



El zoopraxiscopio de Muybridge. (Stanford University Museum of Art.)

El praxinoscopio fue un dispositivo que sustituyó las ranuras del zoetropo por espejos. Su inventor, Emile Reynaud, creó una versión de este dispositivo que proyectaba imágenes sobre una pantalla. Con el empleo de largas tiras de papel translúcido, con cuadros dibujados en ellos como película, se introdujo en la producción comercial y abrió la primera sala cinematográfica del mundo en París en el año 1892. El espectáculo tenía una duración muy corta, pero esto no impedía que las personas acudieran a su proyección.



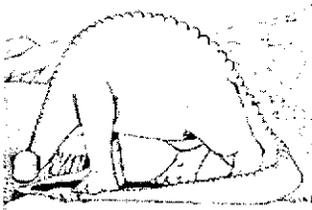
El praxinoscopio. (Stanford University Museum of Art.)

Otra forma popular de producir la animación en los “tiempos antiguos” era el libro de hojear rápido, denominado en el ámbito técnico como el Cineógrafo. Con este dispositivo se dibujaban figuras animadas en tarjetas individuales, se les apilaba como en una baraja y se mantenían sujetas entre sí. Bastaba la permutación rápida de la pila con el dedo pulgar y la observación de la acción. Este dispositivo se patentó en 1868, pero se utilizó desde mucho tiempo antes.

## 1.4 Métodos y principios tradicionales de animación

Las películas de dibujos animados tuvieron su pionero en 1908 con otro francés, Emile Cohl. Este inventor puso dibujos lineales negros en hojas de papel blanco y los fotografió. En la pantalla utilizaba el negativo para mostrar figuras blancas desplazándose sobre un fondo negro.

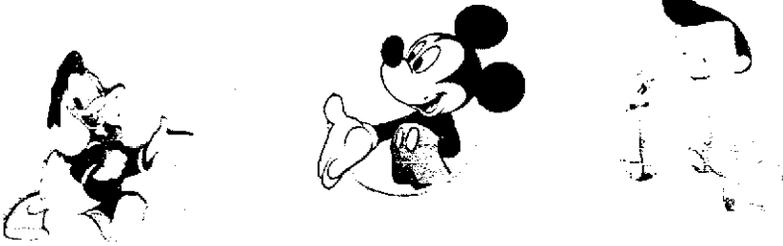
En los años siguientes se produjo una súbita aparición de nuevas películas de dibujos animados, entre ellas se encontraban "Gertie el Dinosaurio Domesticado" (1909) y en 1917 apareció el primer personaje de dibujos animados realmente memorable, "Félix El Gato".



A principios de la década de los años 20, el trabajo de dibujar los fondos se hizo por separado de la tarea principal del movimiento de la animación. Especialistas en fondos perfeccionaban las escenas sobre las que los encargados de la animación colocaban sus figuras. En una posterior división del trabajo, se aisló la larga tarea de tomar los bosquejos de las figuras y de rellenarles con el color en la transparencia o soporte de celuloide. Esta tarea separada recibe la denominación de opacado o relleno.

Las técnicas de la animación comenzaron a experimentar un gran adelanto cuando se mejoraron los métodos para producir el movimiento y el desplazamiento con apariencia natural.

En 1928 los estudios cinematográficos de Walt Disney comenzaron a producir las populares películas de dibujos animados (Mickey Mouse, Blanca Nieves, Pinocho, Fantasia, Dumbo, Pato Donald).



Desde comienzos de la década de los años 30 a la década de los años 60, la animación de películas produjo un gran número de títulos notables y memorables que atrajeron la imaginación del público

Popeye (Max Fleischer)



Tom y Jerry (MGM)



El Pajaro Carpintero (Walter Lantz)



Bugs Bunny y Sylvester (Warner Brothers)



Mr. Magoo (UPA)

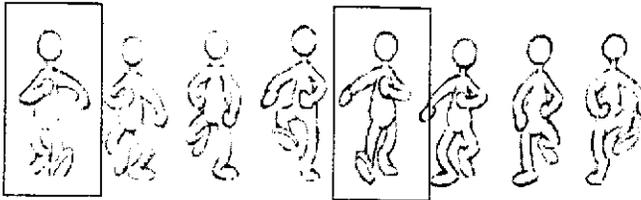


Se hizo costumbre la proyección de dibujos animados al comienzo de cualquier película. Con el transcurso del tiempo, estas películas llegaron a constituir una parte principal del espectáculo televisivo.

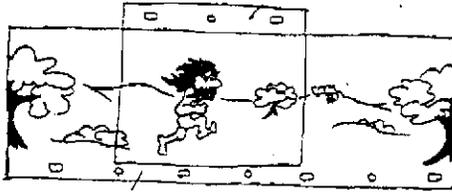
### Métodos tradicionales de animación

Se desarrollaron y experimentaron, con anterioridad a la aparición del personaje de Félix El Gato, los siguientes métodos:

- Las películas de siluetas. Figuras recortadas negras se utilizaban sobre fondos blancos para crear la animación. Estas figuras eran fáciles de dibujar y de desplazar en comparación con los dibujos lineales.
- Animación por cuadros claves (*keyframe*). Considerando la enorme cantidad de trabajo que requería una secuencia de animación, el procedimiento consistía en que el dibujante principal dibujara los cuadros más importantes y un dibujante secundario dibujaba los cuadros de transición entre cuadros clave (*in-betweening*).



- Animación de celuloide. Este procedimiento utilizaba acetatos transparentes para el primer plano y el fondo se dibujaba en otro acetato, las escenas se creaban superponiendo capas. De este modo, las figuras de primer plano podrían desplazarse a cualquier lugar sobre el fondo y sólo era necesaria una fotografía.



### Principios tradicionales de animación

Los principios tradicionales de animación son:

- Sentido del tiempo (Timing)
- Entrada y Salida lenta (Slow in and out)
- Arcos (Arcs)
- Anticipación (Anticipation)
- Exageración (Exaggeration)
- Compresión y Extensión (Squash and stretch)
- Acción Secundaria (Secondary action)
- Prolongación y Acción Superpuesta (Follow through and overlapping action)
- Colocación (Staging)
- Atracción (Appeal)

#### *Sentido del tiempo (Timing)*

La velocidad a la que algo se mueve nos explica que es el objeto y porque se está moviendo. Un simple parpadeo puede ser rápido o lento. Si es rápido, el personaje parecerá alerta y despierto. Si es lento el personaje puede parecer cansado y aletargado.

### *Entrada y salida lenta (Slow in and out)*

La entrada o salida lenta en una escena tiene que ver con la aceleración o desaceleración gradual de un objeto. Por ejemplo una pelota botando, cuando va hacia arriba, la gravedad le afecta y va frenando (entrada lenta), después, inicia su movimiento descendente cada vez más rápido hasta que golpea el suelo.

### *Arcos (Arcs)*

En el mundo real, casi todas las acciones se mueven en un arco. Al animar, uno debe intentar conseguir trayectorias curvas en lugar de rectas. Es muy raro que un personaje o alguna parte de él, se mueva en línea recta. Incluso los movimientos más toscos del cuerpo, cuando caminamos tienden a no ser perfectamente rectos. Cuando un brazo o una mano se extienden para alcanzar algo, tienden a moverse en un arco. Por ejemplo en un movimiento de cabeza, está gira de izquierda a derecha, en el punto intermedio, debería ser inclinada ligeramente hacia abajo o hacia arriba dependiendo del punto al que esté mirando. Esto corregirá la rotación para que no parezca perfectamente lineal o mecánica.

### *Anticipación (Anticipation)*

En animación, la acción normalmente esta conformada por tres etapas:

- La preparación para el movimiento (Anticipación)
- El movimiento en sí mismo
- La prolongación de la acción

En algunos casos la anticipación es necesaria físicamente. Por ejemplo, antes de poder lanzar una pelota, hay que echar el brazo hacia atrás. El movimiento hacia atrás es la anticipación, el lanzamiento en sí mismo es la acción.

La anticipación se utiliza para dirigir la atención del espectador preparándole para la acción que viene a continuación. Generalmente, para las acciones más rápidas se necesita un mayor periodo de anticipación. Este es el caso donde un personaje sale muy rápido fuera de la pantalla dejando sólo humo. Normalmente, justo antes del movimiento, hay una pose donde el personaje levanta la pierna y arquea ambos brazos como si estuviera a punto de correr. Esa es la pose de anticipación para la carrera.

#### *Exageración (Exaggeration)*

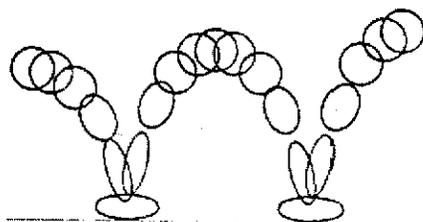
La exageración se utiliza para acentuar una acción. Se debe utilizar de forma cuidadosa y equilibrada, no arbitrariamente. Hay que encontrar el objetivo deseado de una acción o secuencia y que partes necesitan ser exageradas. El resultado será que la acción parecerá más realista y entretenida.

Se pueden exagerar movimientos, por ejemplo un brazo se puede mover un poquito más lejos, brevemente, en una posición extrema. Generalmente cuando se anima con un diálogo, se escucha el sonido y se resaltan puntos donde éste parece tener más tensión o importancia, después se tienden a exagerar poses o movimientos que coincidan con esos puntos concretos.

#### *Compresión y Extensión (Squash and stretch)*

La compresión y extensión se utiliza para deformar un objeto de manera que se haga evidente su grado de rigidez. Por ejemplo, si una pelota de goma bota y golpea el suelo,

tiende a aplastarse (compresión) un poco en el momento del choque. Cuando empieza de nuevo a subir, se estirará en la dirección del movimiento. Una característica importante de la compresión y extensión, es que independientemente de cómo un objeto se deforme, debería parecer que conserva su volumen. Es decir, si una pelota se aplasta hasta la mitad de su tamaño normal, tendrá que ser dos veces más ancha para mantener su volumen.



#### *Acción Secundaria (Secondary action)*

La acción secundaria es una acción que ocurre como consecuencia de otra acción. Por ejemplo, si un perro está corriendo y de repente se detiene, sus orejas probablemente continuarán moviéndose durante un instante. La acción secundaria aporta interés y realismo a la animación. Debe ser realizada de manera que se note pero que no sobrepase a la acción principal.

#### *Prolongación y Acción Superpuesta (Follow through and overlapping action)*

Prolongación es el movimiento que se produce al final de una acción. En la mayoría de los casos, los objetos no se detienen abruptamente, sino que tienden a continuar un poco más allá de su punto final. Por ejemplo, al arrojar una pelota, después de soltar está, el brazo sigue moviéndose aún un poco. Esto se conoce como prolongación.

Lo normal es que si un personaje se mueve o detiene su movimiento, no se desee que todas las partes de este comiencen a moverse o se detengan al mismo tiempo. Si esto ocurre, parecerá demasiado rígido o mecánico. Esta ligera rotura de "timing" es la acción superpuesta. Por ejemplo, un personaje saltando y cayendo al suelo. En lugar de hacer que ambos pies toquen el suelo al mismo tiempo y los brazos se balanceen hacia atrás (un buen ejemplo de prolongación y acción superpuesta).

### *Colocación (Staging)*

Colocación es la presentación de una acción o elemento de manera que se entienda con facilidad. En general, se presenta un elemento de acción cada vez. Si ocurren demasiadas cosas a la vez, la audiencia dudará hacia donde mirar y la acción estará sobre colocada. Por ejemplo, si estás colocando una pose triste puedes colocar al personaje encorvado, con los brazos colgando a los lados y un ángulo de cámara elevado... pero si colocas una gran sonrisa en su cara no encajará con el resto de la pose.

### *Atractivo (Appeal)*

El atractivo tiene que ver con algo que a la gente le gusta ver. Esto puede ser una especie de encanto, diseño, simplicidad, comunicación o magnetismo. El atractivo se consigue con la correcta utilización de las técnicas antes mencionadas, como son exageración acción superpuesta, etc. Evitando diseños, formas y movimientos débiles o desagradables.

Estos principios aunque se desarrollaron en la realización de dibujos animados en 2D son aplicables en la actualidad para la animación 3D.

## 1.5 Animación por computadora

En los años 60, dos científicos de Bell Laboratories desarrollaron las primeras animaciones por computadora en el mundo. Los logros de Zajac y Knowlton estaban en el área de las configuraciones abstractas y texturizadas. Estos trabajos establecieron los cimientos de las posteriores animaciones de alta tecnología en computadoras poniendo de manifiesto que las texturas podían modelarse en una pantalla. Una posterior investigación en el empleo de las computadoras para la salida de gráficos contribuyó al avance en el campo de la animación por computadora. Algunos de los más importantes laboratorios desarrollaron aplicaciones para la animación por computadora.

Desde la década de los años 70's a la fecha la animación por computadora se ha desarrollado a medida que se perfeccionaban las computadoras y se descubren nuevas técnicas para la manipulación de imágenes. Se han establecido firmas especializadas en la generación de la animación por computadora. Los publicistas televisivos se convirtieron en los principales compradores de la animación, utilizándola para atraer la atención del televidente y con la esperanza de hacerles recordar el anuncio increíble que observó en la pantalla.

Algunas de las primeras películas que utilizaron animación por computadora fueron:

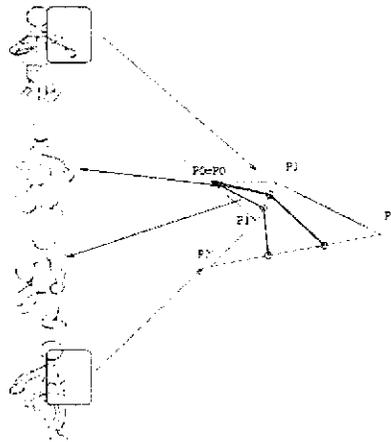
*La guerra de las galaxias y Tron.*



## Animación asistida por computadora

La ayuda que brinda la computadora es fundamentalmente para animación en dos dimensiones, permite liberar al dibujante de las actividades más tediosas. La computadora sustituye al dibujante en algunas tareas como son:

- Creación de cuadros: Se escanean los bocetos, se retocan, se colorean y se hacen librerías de los personajes para posteriormente modificarlos.
- Transición entre cuadros clave (In-betweening): El animador especifica dos dibujos clave y el procesador calcula los dibujos intermedios mediante una interpolación, en el caso de movimiento a lo largo de trayectorias la interpolación lineal no es adecuada, por lo que es necesario utilizar curvas, estas permiten especificar trayectorias introduciendo información espacial y temporal en la misma gráfica.



## **Animación generada por computadora ó animación 3D**

La animación 3D tiene un fundamento cien por ciento matemático, pero una vez implementadas las fórmulas matemáticas en un software llámese “Maya”, “Swish” o cualquier otro, podemos hacer uso de él, para obtener sorprendentes animaciones.

La mayor parte del software de animación tiene una interfase, la cual consiste en una línea de tiempo para la animación cuadro por cuadro, un editor de curvas spline, una interfaz para guardar y ver la animación producida, algunos tienen mejores interfases que otros pero todos ellos nos permiten adentrarnos a este mundo de la animación 3D.

Antes de comenzar la animación debemos definir las siguientes características para cada uno de los objetos que deseamos animar:

Objeto : Posición, orientación, forma, color y transparencia

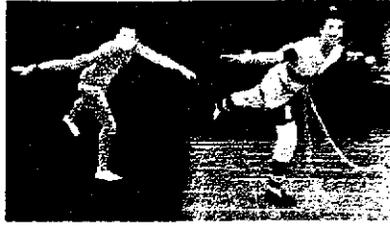
Cámara: Posición, punto hacia el que apunta y apertura angular

Fuentes de iluminación: posición intensidad y color

Para esto es imprescindible un trabajo previo el cual consiste en definir el concepto de lo que se desea animar, posteriormente se puede utilizar dos formas para definir un objeto, por medio de la captura ó el modelado.

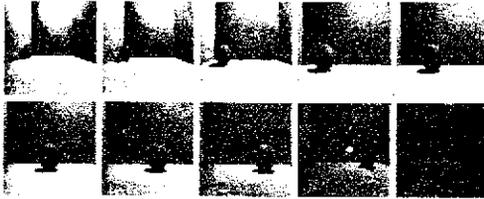
### **Objeto capturado**

Los valores de los parámetros se obtienen desde el exterior por medio de la conexión de dispositivos electromagnéticos, este método es muy utilizado en video juegos y realidad virtual.

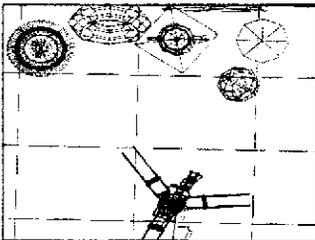


### Objeto Modelado

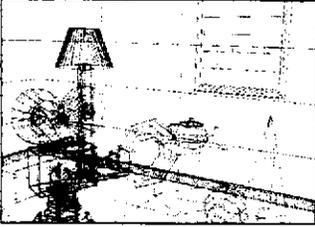
Se conoce también como animación algorítmica ya que las fórmulas matemáticas que definen a los objetos son implementadas por medio de software.



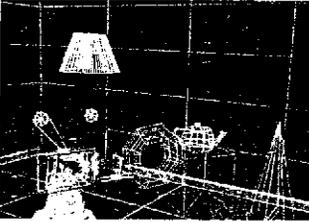
### Proceso de animación 3D



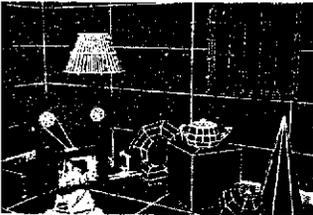
Se definen los objetos por medio de primitivas (Capítulo 3.1) Se muestra la escena representada como un modelo de alambre mediante polígonos (Capítulo 3.3).



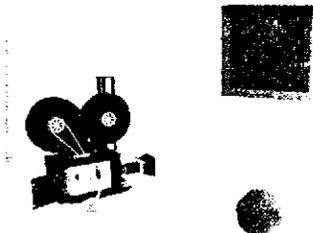
La escena se presenta en una proyección en perspectiva (Capítulo 3.4) y se puede lograr varias vistas mediante el paneo de cámaras (Capítulo 3.2)



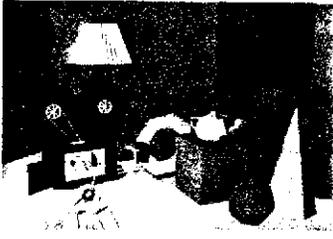
Se colorean los vectores para definir cada uno de los objetos (Capítulo 3.6) y se aplica antialiasing a las líneas para evitar el escalonamiento (Capítulo 3.1)



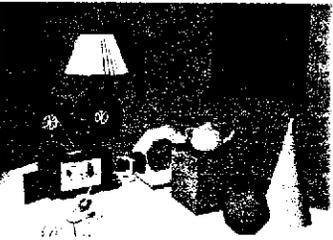
Se determinan las superficies ocultas (Capítulo 3.5)  
Mediante la supresión de partes de la imagen que no son visibles desde una posición de observación seleccionada.



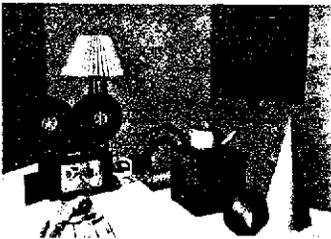
Se aplican fuentes de luz que puede ser de sol, ó de lámpara (Capítulo 3.6)



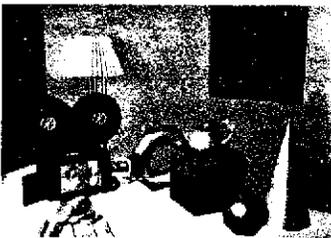
Mediante la aplicación de un método de superficie oculta con una fuente de luz en este caso con reflexión difusa, podemos determinar cuáles secciones de la superficie no pueden observarse y por lo tanto estas son las áreas de sombra. (Capítulo 3.6)



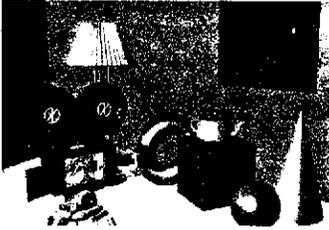
El sombreado Gouraud elimina la discontinuidad de intensidad entre planos adyacentes y la reflexión difusa es una luz disipada que permite que la superficie parezca igualmente brillante desde todas las direcciones. (Capítulo 3.6)



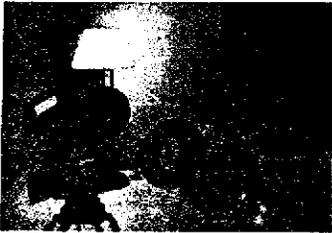
El sombreado Gouraud con reflexión especular permite un efecto de luz o manchas brillantes mediante fuentes de punto. (Capítulo 3.6)



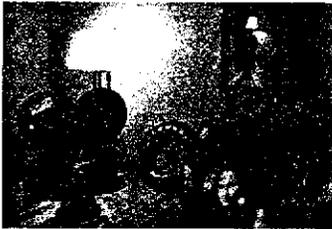
El sombreado Phong con reflexión especular despliega toques de luz más reales sobre la superficie, mediante el calculo de interpolación de vector normal. (Capítulo 3.6)



Las superficies curvas con reflexión especular se presentan para suavizar las figuras. Existen curvas como Bézier , Spline y B-spline (Capítulo 3.3).



Los modelos de iluminación y luces múltiples se utilizan para dar mas realismo. Podemos observar la luz de la lámpara que es emitida y las luces que son reflejadas por la pelota. (Capítulo 3.6).



El mapeado de texturas se utiliza, ya que en la vida real las superficies no son lisas, las texturas se necesita para modelar con exactitud los objetos. (Capitulo 3.6)

Una vez modelados los objetos, se define el movimiento mediante la manipulación de cuadros claves (keyframe) por medio de interpolación se generan los cuadros intermedios (in-betweening) realizando el rendereado, el cual consiste en la interpretación de los datos para cada uno de los cuadros incorporándole textura, color y todas las características que logren el realismo esperado.

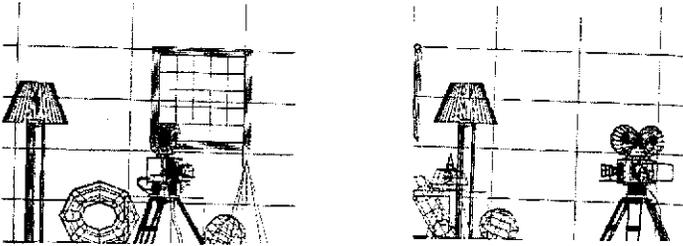
## Principios de animación en 3D

### *Planeación*

Hay que planear las acciones con bocetos rápidos y sin detalle, y planear las ideas para los tiempos en una hoja de exposición general.

### *Visualización de escenas*

Debe haber al menos dos vistas para asegurarse que la animación funcione bien desde cualquier punto de vista.



### *Reutilización de escenas*

Ya que la animación por computadora es realmente 3D, es posible reutilizar la animación de una escena o de partes de la animación y dar la impresión de que no es exactamente el mismo movimiento. En muchos casos, con simplemente mirar una animación desde un ángulo de cámara distinto hará que se vea completamente diferente. En ocasiones en que si se llega a percibir la acción muy similar se puede variar ligeramente el tiempo del movimiento original. Esta técnica se utiliza en tomas con multitudes.

### *Peso y tamaño*



Con una computadora se tiene la habilidad de crear imágenes que se vean realistas. Las técnicas más recientes de render, mapeo de texturas, etc. Nos dan la habilidad especial de hacer objetos que se vean como si realmente estuvieran hechos de mármol, hule o cualquier material que se desee. Pero más que cualquier otra cosa es el tiempo del movimiento de un objeto lo que define el peso del mismo.

Se puede lograr que dos objetos de formas y tamaños idénticos, aparenten estar hechos de diferentes materiales manipulando únicamente su tiempo ("timing"). Mientras más pesado es un objeto, su masa es mayor, y se requiere mayor fuerza para cambiar su movimiento. Un cuerpo pesado se acelera con más lentitud que uno ligero. Los objetos ligeros tiene mucho menos resistencia al cambio del movimiento y por lo tanto requieren de mucho menos tiempo para empezar a moverse. La flexión de un dedo es suficiente para que un globo se aleje acelerado. Cuando este objeto se mueve tiene poca inercia e incluso la fricción del aire lo puede detener rápidamente.

### *El carácter pensante*

Cuando se animan personajes cada movimiento, cada acción, se realiza por una razón. Si un personaje se moviera en una serie de acciones sin relación, se volvería obvio que es un animador el que lo dirige, no que es el movimiento propio del personaje. Todos los movimientos y acciones del personaje son el resultado de sus procesos de pensamiento. Al crear un "personaje pensante" el animador le da vida al carácter al conectar sus acciones con un proceso de pensamiento. Como decía Disney: "En muchas instancias, la fuerza que dirige la acción son el estado de ánimo, la personalidad, la actitud de carácter, o los tres

factores juntos. Como se ve la mente es el piloto. Pensamos las cosas antes que el cuerpo las haga”.



Para conseguir transmitir la idea de que los pensamientos del personaje están manejando sus acciones el truco más simple es la anticipación. Esto quiere decir que siempre hay que guiar los actos con los ojos o con la cabeza. Si el personaje tiene ojos, estos se deben mover primero y fijarse en el foco de la acción unos cuantos cuadros antes de la cabeza. Las únicas ocasiones en que los ojos o la cabeza no deben guiar la acción debe ser cuando fuerzas externas manejen los movimientos externos del personaje, en vez de sus propios pensamientos. Por ejemplo, si el personaje es golpeado por la espalda por un borrego de vuelo rasante, la fuerza del impacto causará que su cuerpo se mueva primero, dejando la cabeza atrás y arrastrándola siguiendo el movimiento principal del cuerpo.

### *Deteniendo la acción*

En la animación tradicional es muy común tener una escena donde una acción se detiene en una pose unos cuantos cuadros y luego se comienza la acción.



Tratándose de animación bidimensional, la acción se mantiene viva incluso si se repite el mismo dibujo. Lo mismo sucede en animación con marionetas o barro. Pero en la animación 3D por computadora, en el momento mismo que el carácter se detiene en una pose la acción se muere. El ojo se da cuenta inmediatamente, y lo percibe como movimiento robótica. Para combatir esto se debe usar un “detenidí movido”. En vez de que todas las partes del carácter se detengan, hay que hacer que alguna parte continúe

moviéndose ligeramente en la misma dirección, como un brazo, la cabeza o incluso todo el cuerpo. Incluso el más ligero movimiento será suficiente para mantener al personaje vivo.

### *Emociones*

La personalidad del carácter es transmitida por las emociones y estas son el mejor indicador de que tan rápida debe ser la acción. Un carácter no hará una acción particular de



la misma manera en dos estados emocionales distintos. Cuando el carácter está feliz, los tiempos de sus movimientos serán más rápidos. A la inversa, si la tristeza se apodera del carácter sus movimientos serán más lentos.

Para lograr que a una audiencia le parezca verdadera la personalidad del carácter, debe tener una personalidad diferenciada de la de los otros caracteres en escena. Una simple manera de distinguir la personalidad de los caracteres es por el contraste de movimiento. En ningún caso dos caracteres distintos harán la misma acción del mismo modo. Por ejemplo, en Luxo Jr. Tanto el Papá, como Jr. Empuja la pelota con sus cabezas. Sin embargo el Papá, que es más grande y más viejo, se inclina sobre la pelota y solo tiene que usar su pantalla para empujarla. Jr. es más pequeño, más joven y lleno de energía, golpea la pelota con toda la pantalla moviendo todo el cuerpo al hacerlo.

### *Legibilidad de las acciones*

Un "timing" apropiado es primordial en hacer una idea legible. Es importante pasar suficiente tiempo (pero sin pararse) preparando a la audiencia para:

- La anticipación de una acción

- La acción en sí misma
- La reacción a la acción (el seguimiento)

Si se gasta demasiado tiempo en cualquiera de estos, la atención de la audiencia se habrá dispersado. Si se gasta muy poco tiempo en el movimiento se habrá terminado antes de que la audiencia se haya dado cuenta de lo que pasa, y por lo tanto se habrá desperdiciado la idea.



Cada idea y acción debe ser escenificada de la manera más fuerte y simple antes de pasar a la siguiente idea o acción. El animador debe decir en efecto: "Miren esto, ahora esto, ahora esto." En muchos casos no es necesario que una acción se detenga totalmente para dar inicio a la acción siguiente; la segunda acción puede traslapar con la primera. Este traslape es pequeño y sirve para mantener el flujo y la continuidad entre frases completas de acciones.

## 1.6 Aplicaciones de la animación por computadora

En la actualidad, existe un un gran número de aplicaciones para la animación por computadora, ya que somos una cultura eminentemente visual. En una encuesta realizada por Sony Corp., se descubrió que el público confiaba más en la validez de una imagen contemplada en la televisión que en las que veían en una fotografía o en un libro.

Algunas áreas en donde se aplica la animación por computadora

- Arqueología
- Arquitectura
- Industria militar
- Industria química

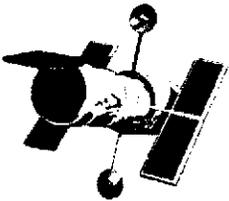
- Artes
- Ingeniería
- Aviación
- Investigación médica
- Educación
- Publicidad
- Entretenimiento
- Televisión
- Exploración espacial
- Simulación
- Industria cinematográfica
- Visualización Científica

Se mencionarán algunas de ellas.



### **Industria cinematográfica**

Quizás la utilización con más rápido crecimiento de la animación por computadora esté en la industria cinematográfica. El motivo por el cual se ha desarrollado es debido a que la resolución proporcionada por las computadoras puede superar ahora a la suministrada por las películas y puesto que un modelo simulado por computadora que sea destruido en la película no necesita reconstrucción, el método informático promete mejorar el realismo y, al mismo tiempo, reducir los costos de la producción.



### **Exploración espacial**

En el área de la exploración espacial, la animación por computadora desempeña una función muy valiosa. Introduciendo las leyes físicas del espacio y del movimiento en la computadora,

los científicos de la NASA pudieron observar la forma de determinadas trayectorias y las escenas como si estuvieran en el lugar. La computadora permite también modificaciones en perspectivas que puede colocar al observador detrás del vehículo, lo que le permite observar la escena completa siendo visibles, al mismo tiempo, el vehículo y el planeta. Con la ayuda de la computadora, pudieron corregirse con seguridad algunos errores que habrían sido, de cualquier otro modo, devastadores. Por ejemplo, si se calculara de forma errónea una órbita de lanzamiento, lo peor que podría suceder es que todos los puntos en la imagen se observaran de un color rojo ardiente.

### **Investigación médica**

El empleo de la animación en las ciencias médicas se hizo importante al servir de ayuda a los médicos y a los investigadores en la visualización de la composición de una estructura ósea u órgano particular.



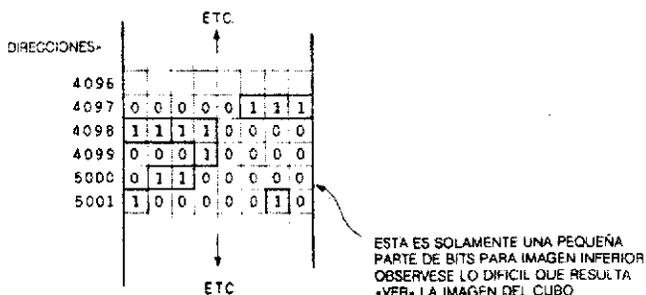
## 2. Tecnología de despliegue de gráficos

### 2.1 Tarjetas gráficas

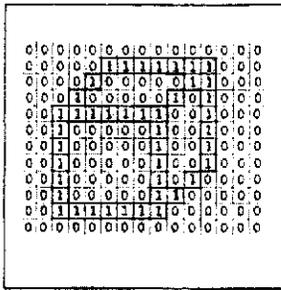
La tarjeta gráfica, (también llamada controlador de video) es un componente electrónico requerido para generar una señal de video que se manda a una pantalla de video.

La tarjeta gráfica reúne toda la información que debe visualizarse en la pantalla y actúa como interfaz entre el procesador y el monitor.

Las imágenes están constituidas por puntos diminutos de luz. Estos puntos se denominan pixels, (abreviación de "picture element") estos están almacenados en una zona especial de la memoria llamada frame búffer, un punto que es visible en la pantalla se almacena como un (ON), mientras que todos los puntos invisibles están almacenados como tensiones de desconexión (OFF). Las posiciones de memoria que almacenan estas tensiones se denominan bits.

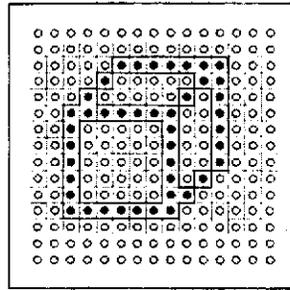


a) COMO APARECEN LOS BITS EN UNA MEMORIA DE 8 BITS DE ANCHURA



OBSERVACION: LOS «1» CORRESPONDEN A LOS PUNTOS OSCUROS EN LA IMAGEN DE LA DERECHA

D) REPRESENTACION EN DOS DIMENSIONES



■ = 1 = BIT ACTIVADO  
○ = 0 = BIT DESACTIVADO

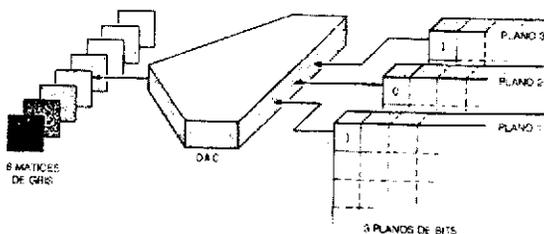
C) PIXELS EN LA PANTALLA

La correspondencia entre memoria y puntos en la pantalla puede indicarnos la cantidad de bytes de memoria necesaria para una determinada resolución deseada. Por ejemplo, Si suponemos que la computadora tiene una visualización blanco y negro y que cada punto ocupa un bit de memoria. Por lo tanto la presentación visual tendrá una resolución de 640 puntos horizontales por 480 líneas, el resultado es  $640 \times 480 = 307,200$  píxeles. Puesto que (8 bits = 1byte), necesitamos 38,400 bytes.

Para el año 2005, las resoluciones más utilizadas son: 640x480, 1024x768 y 1280x1024

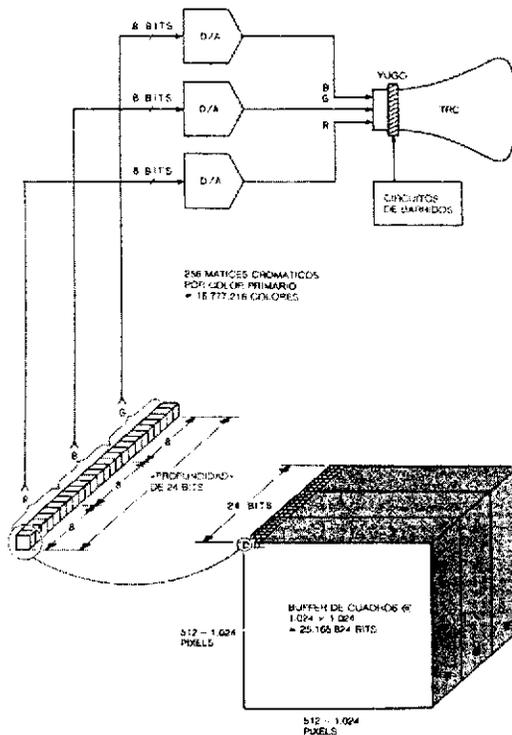
Para crear una imagen con matices cromáticos de gris se controla la intensidad del haz electrónico cuando realiza la explotación de cada píxel en la pantalla.

Por ejemplo, si queremos tener 8 niveles de gris, se requerirán 3 bits.



Otra forma de determinarlo es el número de bits requeridos será el exponente al que hay que elevar 2 para obtener el número deseado es decir  $2^3$ . Cuando el número de bits por píxel se incrementa más allá de un cierto número (256 niveles de gris), resulta casi imposible establecer la diferencia entre la imagen digital de una computadora y una fotografía.

La intensidad de cada color se establece, a su vez, por el número de bits que representa dicho color en el plano de bits. Por ejemplo, si asignamos ocho bits para cada uno de los tres colores primarios con ello obtenemos  $(2^8)$  256 tonalidades cromáticas para cada color en cada posición de píxel, lo que hace un total de 16,777,216 colores diferentes, esta cantidad se obtiene elevando 256 a la tercera potencia. A esto le llamamos profundidad, que es otra característica de las tarjetas gráficas.



Pero en la actualidad existen algunas tarjetas gráficas llamadas GPU (Graphic Processing Unit) especializadas en 3D. Que trabajan con el esquema de procesamiento paralelo esto es que la misma instrucción se aplica a todos los datos (píxeles o vértices).

Asiendo una comparación tenemos:

| CPU Intel Pentium 4 a 2.4 GHz             | GPU nVidia GeForceFX                       |
|---|--|
| 55 millones de transistores por microchip | 125 millones de transistores por microchip |
|   | SIMD (Single Instruction Multiple Data)    |
|   | Esquema de procesamiento paralelo          |

tienen bits extra para determinadas características como:

- Valor alfa (transparencia)
- Z-buffer ó Depth buffer: Una aplicación gráfica suele mostrar los objetos en el orden en que fueron creados, sin tomar en cuenta la profundidad, por está razón existe un área separada de memoria del frame buffer, llamada Z-buffer que es usada para hacer que los modelos gráficos tengan una apariencia más realista borrando superficies y líneas que deberían quedar ocultas desde cierta vista. En las gráficas computacionales es el eje z, el que da la profundidad, de ahí el nombre.
- Doble buffer: Es un frame buffer adicional, del mismo tamaño que el principal para tener animaciones continuas mediante un efecto de "double-buffering". La idea es que el primer dibujo se despliega mientras la siguiente imagen se carga al segundo buffer, cuando esta imagen se esté desplegando, simultáneamente se estará cargando la siguiente en el primer buffer y así sucesivamente.
- Stencil buffer: Evita que se dibuje en cierta parte de la escena;

- **Accumulation buffer:** Es usado para acumular una serie de imágenes hasta obtener una imagen final compuesta, éste es muy útil para el efecto conocido como “Motion Blur” que es ir dejando un rastro del movimiento.

Actualmente las tarjetas gráficas se pueden programar con lenguajes especializados de alto nivel los cuales son:

- **Cg**      C for Graphics de nVidia
- **GLSL**    Open GL Shading Language
- **HLSL**    High Level Shading Language de Microsoft

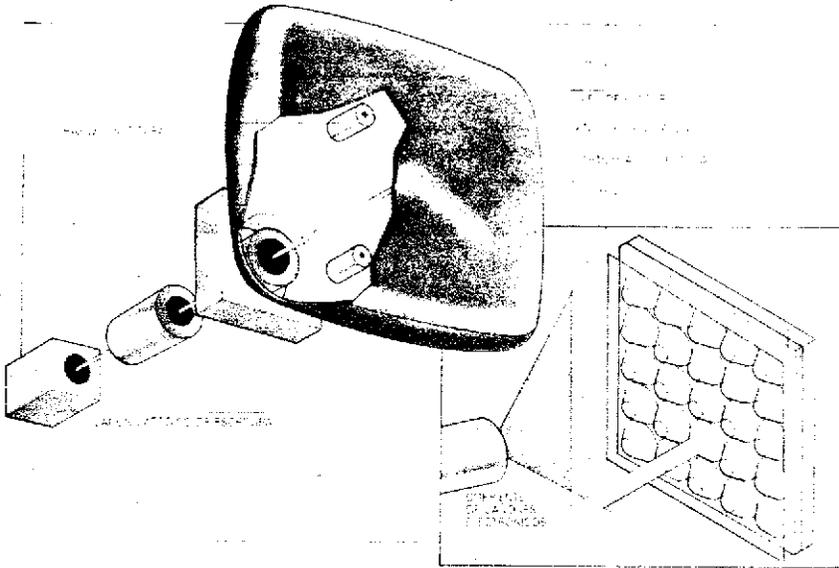
Los programas se llaman:

- **Fragment shaders:** Cuando sólo se trabaja el color del píxel.
- **Vertex shaders:** Cuando se trabaja con la posición y el color.

## **2.2 Tubo de rayos catódicos (CRT)**

Los sistemas interactivos emplean algún tipo de monitor de video como dispositivo principal de salida. La operación de muchos monitores de video se basa en el diseño estándar del Tubo de Rayos Catódicos (CRT), sin embargo existen otras tecnologías, las cuales se analizarán posteriormente.

El CRT es una especie de tubo de vidrio con un extremo plano grande y un cuello largo. Todo el aire de su interior se extrae y se obtiene un vacío.



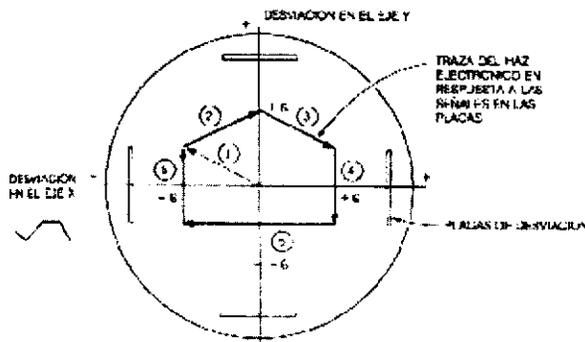
Vista detallada del tubo de rayos catódicos

En el extremo del cuello del CRT hay un disparador de electrones, atraviesa los sistemas de enfoque y deflexión que dirigen el haz hacia puntos especificados en la pantalla cubierta de fósforo. El fósforo emite después una pequeña mancha de luz en cada punto contactado por el haz de electrones. Como la luz emitida por el fósforo se extingue rápidamente, se necesita algún método para conservar la imagen en la pantalla. Una manera de conservar el fósforo brillando consiste en trazar la imagen varias veces dirigiendo rápidamente el haz de electrones hacia atrás sobre los mismos puntos (Aunque este revestimiento especial nunca se desgasta, demasiados electrones incidiendo sobre el mismo punto, durante largo periodo de tiempo, pueden quemar los fósforos)

Una forma de controlar su posición es aplicando un campo electrónico alrededor del cuello del tubo en el lugar en donde el haz inicia su recorrido. Al igual que un campo magnético atrae la aguja de una brújula, un campo eléctrico desviará el haz electrónico

cuando se desplaza hacia la pantalla. El objetivo buscado es desviar el haz de una manera previsible que se pueda controlar mediante señales exteriores.

Hay dos maneras de realizar la desviación (deflexión). Una es utilizando unas placas metálicas instaladas en el interior del cuello del tubo y aplicándoles una tensión eléctrica. La otra forma implica el empleo de bobinas de hilo enrolladas alrededor del cuello y aplicándoles corriente eléctrica. La utilización de bobinas es el método utilizado para los aparatos de televisión y los monitores de computadoras, mientras que las placas se emplean con más frecuencia para la desviación en osciloscopios. Existen dos juegos de placas o de bobinas en el tubo, un juego vertical y otro horizontal. En términos de placas, si aplicamos una tensión positiva a la placa horizontal derecha, el haz se atraerá (desviará) a la derecha. Al invertir la tensión (positiva aplicada a la placa izquierda) se atraerá o desviará el haz a la izquierda. Un efecto similar se produce con las placas verticales y el haz se desviará hacia arriba y hacia abajo.



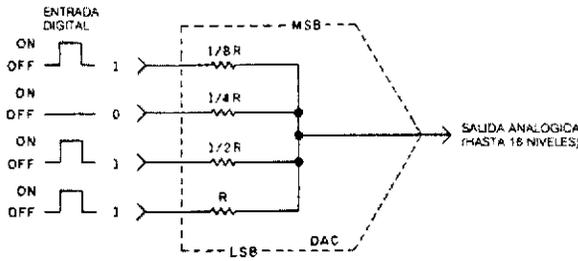
Desviación en el TRC

## 2.3 Rastreo al azar

El advenimiento de las computadoras digitales marcó la evolución de los gráficos sustituyendo los circuitos analógicos de la presentación visual por números digitales. Los números digitales son especiales porque solo tienen uno de dos estados posibles, activo (ON) o desactivado (OFF). Puesto que no abarcan la suave gama de valores que cubren las señales analógicas, no están sometidas a los problemas de desviación y de fiabilidad. Para crear un número con los valores digitales, deben combinarse varias señales ON-OFF. Esta combinación se realiza para representar números con el empleo del sistema de numeración binario.

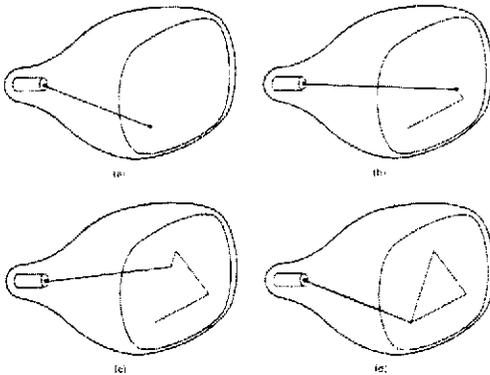
| Conmutadores |     |     |     |   | Binario |   | Decimal |
|--------------|-----|-----|-----|---|---------|---|---------|
| OFF          | OFF | OFF | OFF | = | 0 0 0 0 | = | 0       |
| OFF          | OFF | OFF | ON  | = | 0 0 0 1 | = | 1       |
| OFF          | OFF | ON  | OFF | = | 0 0 1 0 | = | 2       |
| OFF          | OFF | ON  | ON  | = | 0 0 1 1 | = | 3       |
|              |     |     |     |   |         |   |         |
|              |     |     |     |   |         |   |         |
| ON           | ON  | OFF | ON  | = | 1 1 0 1 | = | 13      |
| ON           | ON  | ON  | OFF | = | 1 1 1 0 | = | 14      |
| ON           | ON  | ON  | ON  | = | 1 1 1 1 | = | 15      |

La computadora trabaja directamente con números en lugar de señales y utiliza las matemáticas de una manera más práctica. Mas sin embargo debido a que el tubo de rayos catódicos requiere de tensiones analógicas se instaló entre la salida digital de la computadora y la entrada analógica del tubo de rayos catódicos un dispositivo adicional denominado convertidor digital/analógico (DAC). Como se puede observar en la figura.



Cómo actúa un conversor digital/análogo

Este procedimiento se denomina gráficos de trazo (despliegues vectoriales) ó rastreo al azar. Que es cuando el haz de electrones es dirigido solamente a las partes de la pantalla donde se trazará la figura.

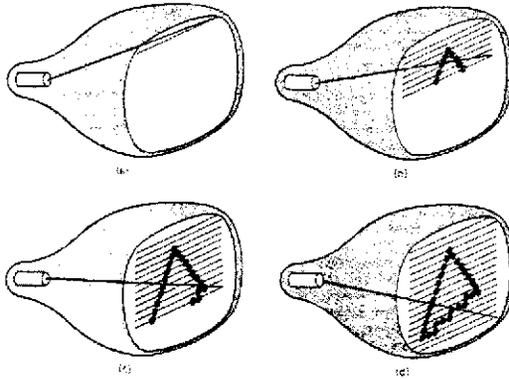


Sistema de rastreo al azar.

## 2.4 Rastreo con rastreador

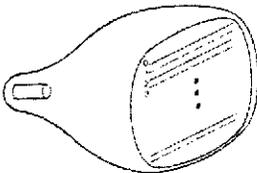
Otro procedimiento utilizado para la representación de los gráficos por computadora son los gráficos trama ó rastreo con rastreador (raster scan). Los monitores de video emiten el haz de electrones a todas las partes de la pantalla, subiendo y bajando la intensidad del haz para que coincida con la definición de la imagen. La figura se crea en la pantalla como

un conjunto de puntos. Este tipo de rastreo lo hace adecuado para desplegar áreas con sombra y color. Los aparatos de televisión y las impresoras de puntos son ejemplos de otros sistemas que hacen uso de este método.



Sistema de rastreo con rastreador.

A menudo, el ciclo de renovación en un monitor de rastreo con rastreador se lleva a cabo llevando el haz a través de cada tercer línea en una vuelta de arriba hacia abajo, después regresando (repasso vertical) para recorrer las líneas restantes de la pantalla en la siguiente vuelta descendente por la pantalla.



Primero despliega las líneas pares y posteriormente las impares.

Este entrelazado de las líneas de rastreo ayuda a reducir el destello a menores intensidades de renovación. Esencialmente se observa todo el despliegue en la pantalla en la mitad del tiempo que tardaría en recorrer todas las líneas a la vez de arriba hacia abajo.

En la presentación visual normalizada americana (véase ANEXO 1), el haz traza 525 líneas horizontales. Esto se lleva a cabo a intensidades de 30 a 60 cuadros por segundo<sup>1</sup>. A razón de 30 cuadros por segundo, el haz de electrones recorre todas las líneas de la pantalla de arriba hacia abajo 30 veces cada segundo. Una tasa de renovación menor hace que la figura se desvanezca. En un sistema de entrelazado de 30 cuadros por segundo, cada mitad del grupo de líneas de la pantalla se exhibe en 1/60 segundo. Esto acerca la tasa total de renovación a 60 cuadros por segundo. Esa misma tasa se logra con un sistema no entrelazado de 60 cuadros por segundo, mediante procesadores más veloces.

## 2.5 Monitor CRT de color

Un monitor CRT despliega figuras de color utilizando una combinación de sustancias fosfóricas que emiten luz de diferentes colores. Combinando la luz emitida de las diferentes sustancias fosforescentes puede generarse una gama de colores: Las dos técnicas básicas para producción de despliegues a color con un CRT son el método de penetración de haz y el método de la máscara de sombra.

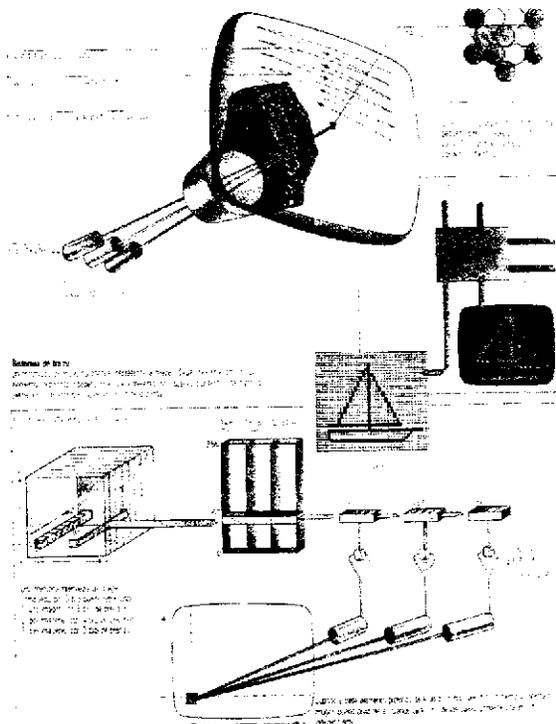
El método de penetración de haz para desplegar figuras a color se ha utilizado con monitores de rastreo al azar. Dos capas de sustancia fosforescente, por lo general rojo y verde, se colocan en la pantalla y el color exhibido depende de cuánto penetre el haz de electrones en las capas fosforescentes. Un haz de electrones muy rápido penetra a través de la capa roja y excita la capa verde interior. A velocidades intermedias del haz, se emiten combinaciones de luz roja y verde para mostrar dos colores adicionales, naranja y amarillo.

---

<sup>1</sup> En Estados Unidos toda la energía eléctrica se suministra como corriente alterna de 60 ciclos por segundo. En Europa, la frecuencia es de 50 Hz.

La velocidad de los electrones y, por tanto, el color de la pantalla en cualquier punto se controla por la tensión de aceleración del haz. La penetración del haz ha sido una forma poco costosa de producir color en monitores de rastreo al azar, pero sólo puede haber cuatro colores y la calidad de las imágenes no es tan buena como con otros métodos.

Los métodos de máscara con sombra, se usan comúnmente en sistemas de rastreo con rastreador, ya que producen una gama de colores mucho más vasta que el método de penetración del haz. Un CRT de máscara con sombra cubre la pantalla con modelos triangulares pequeños, cada uno de los cuales contiene tres puntos fosforescentes diferentes con muy poco espacio entre sí. Un punto fosforescente de cada triángulo emite una luz azul. Este tipo de CRT tiene tres disparadores de electrones, uno para cada punto de color y una retícula de máscara con sombra apenas detrás de la pantalla cubierta con sustancia luminiscente.



Los tres haces de electrones son desviados y enfocados como grupo sobre la máscara con sombra, la cual contiene una serie de orificios alineados con los modelos de puntos fosforescentes de los triángulos se disponen de manera que cada haz de electrones pueda activar solamente su punto de color correspondiente cuando atraviese la máscara de sombra.

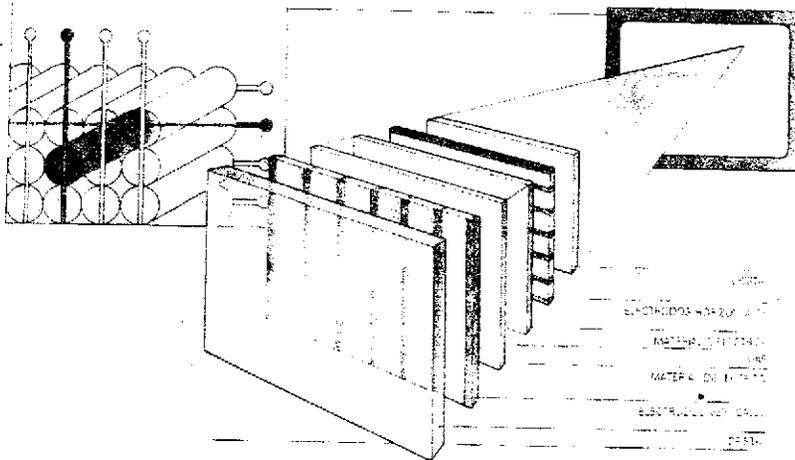
Las variaciones de color en un CRT con máscara de sombra se obtienen combinando varios niveles de intensidad de los tres haces de electrones. Al apagar los disparadores rojo y verde se obtiene sólo el color que proviene de la sustancia fosforescente azul. Otras combinaciones de intensidades de los haces producen una pequeña mancha de luz por cada triángulo, cuyo color depende de la cantidad de excitación de las sustancias fosfóricas roja, verde y azul del triángulo. Un área blanca se obtiene al activar los tres puntos con la misma intensidad. El amarillo se produce solamente con los puntos verde y rojo, el magenta con los puntos azul y rojo y el azul-verde aparece cuando se activan igualmente el azul y el verde.

## 2.6 Otras tecnologías

### **PDP (Plasma Display Panels).**

Esta pantalla de gas plasma fue originalmente desarrollada para su uso militar con un diseño compacto y de uso rudo con bajo consumo de energía. Con los años, se ha arribado a tecnologías que lograron elevar el nivel de contraste a 400:1 y realizar procesos de fabricación más simples que los LCD, con costos semejantes a los TRC.

Al igual que las pantallas de cristal líquido, los PDP utilizan una grilla de electrodos para acceder a los elementos de la imagen. Su principio de funcionamiento se basa en un gas a baja presión ubicado en una pequeña celda que se convierte en plasma con el paso de una tensión a través de él. Una vez cargado este gas inerte libera luz ultravioleta que golpea y excita fósforos RGB. Cuando estos fósforos regresan a su estado natural, emiten luz visible.



Así es, estas pantallas son emisores, es decir, utilizan fósforo, lo que da como resultado excelentes ángulos de visión y rendimiento de color, además de ofrecer alta confiabilidad y facilitar la visión a la luz del sol.

Sin embargo, la vida del monitor, alrededor de 10,000 horas, es una de sus debilidades. Un valor bastante bajo si lo comparamos con las 60,000 horas de los LCD.

Otro de los inconvenientes que impiden su penetración en el mercado de las PC, es el tamaño del píxel (mayores a los 0,3mm). A corto plazo tal vez logren establecerse como tecnologías de TV o presentadores de pantalla grande, entre 25 y 70 pulgadas.

## **LCD**

Actualmente la tecnología de LCD (Liquid Cristal Displays) ha estado ganando terreno en el diseño de monitores. Una de sus grandes ventajas es la baja generación de calor.

Los principales tipos de pantallas planas de cristal líquido (LCD) son:

- LCD-DSTN: Dual Scan Twisted Nematic (conocido como matriz pasiva).
- LCD-TFT : Thin Film Transistor (conocido como matriz activa).
- LCD-HPD : Hybrid Passive Display

## **Pantalla LCD – DSTN**

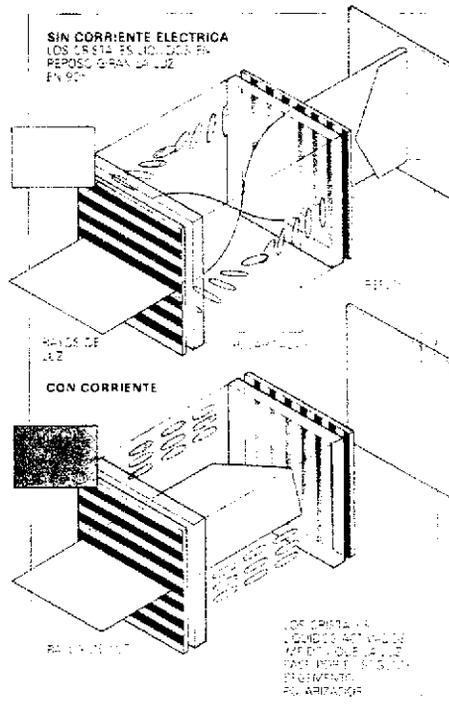
Son llamadas “matriz pasiva” y están formadas por varias capas de diversos materiales.

Una de ellas es de vidrio recubierto con un óxido de metal responsable de permitir el paso de la corriente necesaria para activar los elementos de la pantalla. Mediante unas ranuras dispuestas en forma paralela, se alinean las moléculas de cristal líquido. Esta se conoce con el nombre de capa de alineamiento. Finalmente, otra capa de vidrio se sella con las anteriores formando vacío.

Además, se le agrega una luz en la parte trasera en forma de tubo fluorescentes, que al pasar a través de las capas del panel, permite generar una imagen en la pantalla. La alineación de los cristales se provoca mediante una tensión, de tal manera que la luz no pueda pasar, lo que produce un pixel oscuro.

La desventaja de este tipo de pantallas es el tiempo de respuesta, que oscila en unos 300 milisegundos. Además, se produce un efecto de sombra en los pixeles apagados causado por los pixeles encendidos.

Algunos fabricantes solucionaron casi por completo este inconveniente, dividiendo a la mitad la pantalla y refrescando cada parte en forma independiente.



### **Pantalla LCD-TFT**

Se las denomina comúnmente "matriz activa". Con esta tecnología se han eliminado los problemas de fantasmas y de respuesta lenta.

Esto se consiguió con la inserción de una matriz extra de transistores que conecta un transistor por cada color de cada píxel. Estos monitores pueden fabricarse mucho más delgados que los DSTN y el tiempo de respuesta se redujo a unos 25 milisegundos. También se han conseguido mejores resultados de radios de contraste.

### **Pantalla LCD-HPD**

Surgen como un nivel intermedio entre las pantallas DSTN y TFT. Una de las diferencias fundamentales es la utilización de un cristal líquido de menor viscosidad, con lo cual el material puede cambiar entre estados más rápidamente, generando una mejora significativa en la calidad de la imagen, y a un costo no tan elevado.

### **Paneles de Polisilicona**

En estos se ha reemplazado la silicona amorfa depositada en un substrato de vidrio de los TFT, por una pantalla de polisilicona que inicialmente era utilizada sólo en dispositivos de pantallas pequeñas como cámaras digitales.

---

## 3. Fundamentos de los gráficos por computadora

---

### 3.1 Primitivas

Los procedimientos que despliegan primitivas producen estructuras geométricas, dichos procedimientos toman la coordenada de entrada llaman a un algoritmo hardware o software (véase Anexo 2) y construyen dicha figura geométrica. Las componentes geométricas más simples son los puntos y líneas. Otro tipo de primitivas son las áreas poligonales, figuras curvas y cadenas de caracteres

#### Puntos y líneas

La graficación de puntos se instrumenta o implanta en un paquete de gráficas mediante la conversión de la información sobre las coordenadas de un programa de aplicaciones en instrucciones adecuadas para el dispositivo de salida en uso. Con un monitor CRT, por ejemplo el haz de electrones se enciende para iluminar un punto fosforescente en la localidad especificada de la pantalla. Esto se logra con un despliegue rastreador en blanco y negro fijando el valor del bit en la posición coordenada que se especifica dentro de buffer de cuadros en 1. Por lo tanto, mientras el haz de electrones recorre cada línea de rastreo horizontal, éste emite un estallido de electrones (traza un punto siempre que se encuentre un valor de 1 en el buffer de cuadros o de estructura. Para monitores de rastreo al azar, la instrucción de graficación del punto se almacena en el

archivo de despliegues y las coordenadas se convierte en deflexiones de tensión que mueven el haz de electrones hacia esa posición durante cada ciclo de renovación.

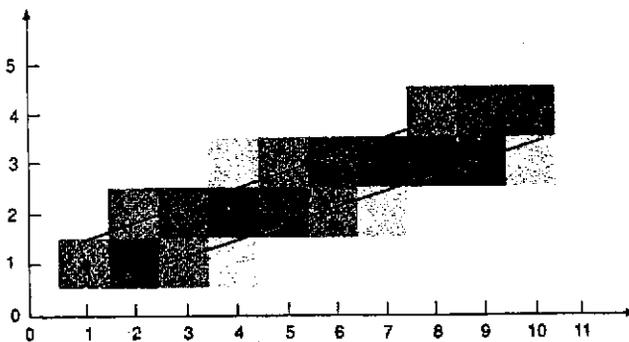
Las instrucciones de trazo de líneas de un programa de aplicación definen líneas componentes de una imagen especificando las coordenadas de puntos extremos de cada línea. El dispositivo de salida recibe órdenes de llenar la trayectoria de la línea recta entre cada par de puntos extremos. Para dispositivos analógicos, como el rastreo al azar con un generador de vectores analógico, se traza de un extremo a otro una línea recta en forma alisada. Las tensiones de deflexión horizontales y verticales que varían linealmente son generadas y proporcionales a los cambios requeridos en las direcciones  $x$  y  $y$  con objeto de producir la línea alisada.

Los dispositivos digitales, como un despliegue de rastreo con rastreador, producen una línea graficando píxeles entre los dos extremos. Las posiciones de los píxeles se calculan a partir de la ecuación de la recta y los bits adecuados se colocan en el buffer de cuadros. Leyendo el buffer de cuadros, el controlador del despliegue activa después posiciones correspondientes en la pantalla. Como los píxeles se grafican en posiciones enteras, la línea trazada sólo puede aproximar posiciones de líneas reales entre los puntos extremos especificados. Por ejemplo, si se calcula que la posición  $(10.33, 20.72)$  está en la línea, se traza la posición del píxel  $(10, 21)$ . Este redondeo de valores coordenados a enteros ocasiona que se desplieguen líneas con apariencia de escalera, que pueden ser muy notorias en sistemas de resolución inferior. Estas pueden mejorarse usando sistemas de alta resolución y aplicando técnicas para alisar líneas generadas por puntos.

## Antialiasing

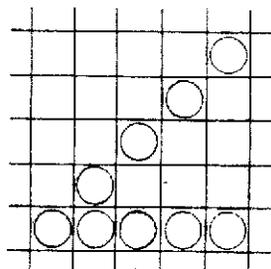
Las técnicas de tratamiento con antialiasing suprime el aspecto de escalera ajustando las intensidades de los píxeles a lo largo de la trayectoria de la recta. Los sistemas rastreadores que pueden desplegar más de dos niveles de intensidad, pueden usar este método para ajustar píxeles de manera que cada área de la retícula tenga la intensidad adecuada.

En una línea representada con anchura finita en una retícula de píxeles. Las áreas de los píxeles se suponen cuadradas, y la anchura de la línea se hace igual a la anchura de un píxel. En vez de trazar la línea con un solo píxel en cada posición de  $x$ , todos los píxeles que están debajo del área de la línea se despliegan con una intensidad proporcional al área de cobertura. En el ejemplo que se muestra, los píxeles situados en las posiciones (3,2) y (5,2) están cubiertos en cerca de la mitad por la línea. Así, cada uno de estos píxeles se coloca en un nivel de intensidad de aproximadamente 50% del máximo. En forma análoga, el píxel en la localidad (4,1) se fija en una intensidad de cerca del 10% del máximo. Aunque este método de antialiasing puede mejorar el aspecto de las líneas, los cálculos requieren de mucho tiempo.



Anchura de la línea se hace igual a la anchura de un píxel.

El ajuste de intensidades de los píxeles a lo largo de una recta también compensa el efecto de otro rastreador. Ambas líneas se trazan con el mismo número de píxeles, no obstante que la línea diagonal es más larga que la horizontal en un factor de raíz de dos, el efecto visual de esto es que la línea diagonal parece menos brillante que la horizontal, ya que la línea diagonal se despliega con una intensidad menor por longitud unitaria. Un algoritmo de trazo de líneas podría adaptarse para compensar este efecto mediante el ajuste de la intensidad de cada línea según su pendiente. Las líneas horizontales y verticales se desplegarán con la mínima intensidad, mientras que las líneas de 45 grados tendrán la mayor intensidad. Sin embargo, si se aplican técnicas de antialiasing a un despliegue, las intensidades se compensan automáticamente. Cuando la anchura finita de las líneas se toma en cuenta, las intensidades de los píxeles se ajustan de manera que las líneas desplieguen una intensidad total proporcional a su longitud.

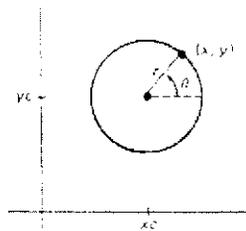


Otra técnica de antialiasing es el punto de vista del ajuste de fase de píxeles, creado por Megatek Corporation. Las intensidades de las aristas de las líneas se ajustan por la "microposición" del haz de electrones. Los sistemas que incorporan esta técnica están diseñados de manera que las posiciones individuales de los píxeles puedan cambiarse en

una fracción del diámetro de un píxel. Admitiendo cambios de  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$  y  $\frac{3}{4}$  del diámetro de un píxel, una línea. Estos sistemas también permiten modificar el tamaño de píxeles individuales.

### Circunferencias

Como la circunferencia es una componente común de muchos tipos de imágenes y gráficas, los procedimientos para generar circunferencias y elipses se incluyen en paquetes de gráficas. Podemos expresar la ecuación de una circunferencia en varias formas, mediante parámetros de coordenadas cartesianas y polares.



El uso de la ecuación requiere una cantidad considerable de tiempo de cómputo. El enfoque del teorema de Pitágoras implica multiplicaciones y extracción de raíces cuadradas, y el espaciamiento entre las posiciones de los píxeles trazados no es uniforme.

$$(x - xc)^2 + (y - yc)^2 = r^2$$

Una manera de eliminar el espaciamiento desigual consiste en calcular puntos situados en la frontera circular mediante el uso de coordenadas polares.

$$x = xc + r \cos \theta$$

$$y = yc + r \sin \theta$$

Mas sin embargo estas ecuaciones paramétricas contienen cálculos trigonométricos y multiplicaciones.

Podemos depurar la eficiencia de la generación de circunferencias aplicando un método que reduce los cálculos lo más posible a aritmética entera. (algoritmo de Bresenham)

#### Algoritmo de Bresenham

Este algoritmo consiste en determinar las coordenadas enteras más próximas a la trayectoria real, utilizando solamente aritmética entera.

Las posiciones enteras a lo largo de una trayectoria circular pueden obtenerse determinando cuál de los dos píxeles está más próximo a la circunferencia en cada etapa.

#### Otras curvas

Los procedimientos para desplegar varias curvas utilizan métodos similares a aquellos que generan circunferencias y elipses. Las curvas que se encuentran comúnmente incluyen funciones seno, exponenciales, polinomiales, distribuciones de probabilidad y funciones de spline.

#### Generación de caracteres

Los modelos de retícula rectangular se utilizan comúnmente para definir y trazar caracteres. Los modelos de caracteres estándar de letras, números y otros símbolos son predefinidos y se almacenan en memoria. En algunos sistemas, pueden acomodarse modelos de caracteres definidos por el usuario adicionales, permitiendo fuentes especializadas. Los software de gráficos ofrecen opciones de varios tipos de manipulación de caracteres. Los modelos de caracteres pueden rotarse o escalarse para variar su tamaño.

## 3.2 Transformaciones

### Transformaciones básicas

Los objetos desplegados se definen por conjuntos de puntos coordenados. Las transformaciones geométricas son procedimientos para calcular nuevas posiciones de coordenadas de estos puntos, como lo requiere un cambio específico en tamaño y orientación del objeto.

Los métodos para trasladar, escalar y hacer girar objetos en tres dimensiones se amplían de métodos bidimensionales incluyendo consideraciones para la coordenada  $z$ .

Las ecuaciones de transformación geométrica pueden expresarse en términos de matrices de transformación.

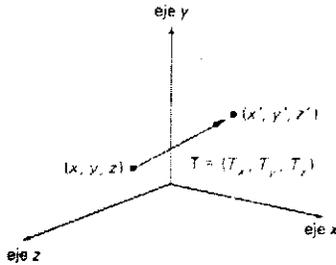
#### *Traslación*

En una representación coordenada homogénea tridimensional, un punto es trasladado de la posición  $(x,y,z)$  a la posición  $(x',y',z')$  con la operación matricial.

$$[x' y' z' 1] = [x y z 1] \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ T_x & T_y & T_z & 1 \end{bmatrix}$$

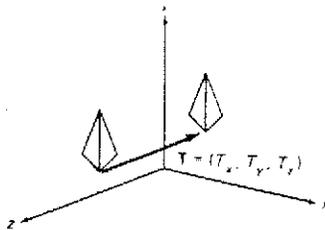
Los parámetros  $T_x$ ,  $T_y$ ,  $T_z$ , que especifican distancias de traslación para las coordenadas, reciben cualquier valor real. La representación matricial de la ecuación es equivalente a las tres ecuaciones.

$$x' = x + T_x, \quad y' = y + T_y, \quad z = z + T_z$$



Traslación de un punto..

La traslación de un objeto representada como un conjunto de superficies poligonales se efectúa trasladando los valores coordenados para cada vértice de cada superficie.



Traslación de un objeto.

Los objetos trazados con curvas se trasladan cambiando las coordenadas definidoras del objeto. Para cambiar la posición de una circunferencia o elipse, se trasladan las coordenadas centrales y se vuelve a trazar la figura en la nueva localidad.

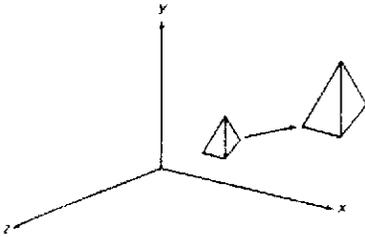
### Escalación

Una transformación para alterar el tamaño de un objeto se denomina escalación. La operación matricial para realizar la escalación en tres dimensiones respecto al origen es

$$[x' y' z' T] = [x y z T] \begin{bmatrix} S_x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & S_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & S_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

donde los parámetros de escalación  $S_x$ ,  $S_y$  y  $S_z$  se les asigna cualquier valor positivo. Esta operación matricial escala un punto en  $(x, y, z)$  a la posición  $(x', y', z')$  con las ecuaciones de escalación.

$$x' = x \cdot S_x, \quad y' = y \cdot S_y, \quad z' = z \cdot S_z$$



La duplicación del tamaño de un objeto con la transformación también desplaza el objeto más allá del origen.

### Rotación

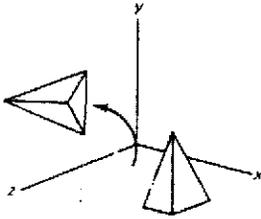
Para especificar una transformación de rotación de un objeto se debe designar un eje de rotación angular. En aplicaciones bidimensionales, el eje de rotación siempre es perpendicular al plano  $xy$ . En tres dimensiones, un eje de rotación puede tener cualquier orientación espacial. Los ejes de rotación más fáciles de manejar son aquellos que son paralelos a los ejes coordenados. Asimismo, podemos valernos de las rotaciones en torno a los tres ejes coordenados con el fin de producir una rotación en torno a cualquier eje de rotación especificado en forma arbitraria.

Las ecuaciones de rotación del eje  $z$  bidimensional se desarrollan fácilmente a tres dimensiones:

$$\begin{aligned}x' &= x \cos \theta - y \sin \theta \\y' &= x \sin \theta + y \cos \theta \\z' &= z\end{aligned}$$

El parámetro especifica el ángulo de rotación. En forma coordenada homogénea, las ecuaciones de rotación del eje z tridimensional se expresan como

$$[x' \ y' \ z' \ 1] = [x \ y \ z \ 1] \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

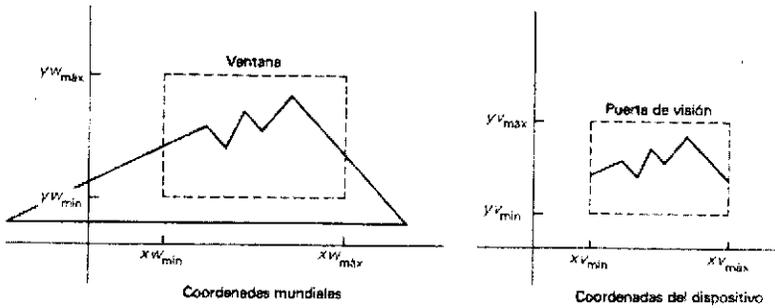


Rotación de un objeto en torno al eje z.

Las ecuaciones de transformación para rotaciones en torno a los otros dos ejes coordenados pueden obtenerse con una permutación cíclica de los parámetros coordenados de las ecuaciones. Sustituimos  $x$  por  $y$ ,  $y$  por  $z$  y  $z$  por  $x$

### Ventanas

Un área rectangular que se especifica en coordenadas mundiales se denomina ventana. El área rectangular en el dispositivo de despliegue en el cual se coloca la ventana se llama puerto de visión. A este efecto se le denomina transformación de normalización.



Ventana y puerto de visión.

Los comandos para colocar las áreas de ventanas y puertos de visión de un programa de aplicación pueden definirse como:

```
Set_window (xw_min, xw_max, yw_min, yw_max)
```

```
Set_viewport (xv_min, xv_max, yv_min, yv_max)
```

Los parámetros de cada función se utilizan para definir los límites coordenados de las áreas rectangulares. Los límites de la ventana se especifican en coordenadas mundiales. Las coordenadas de dispositivo normalizadas se usan con mayor frecuencia para la especificación del puerto de visión, aunque las coordenadas del dispositivo pueden emplearse si hay solamente un dispositivo de salida en el sistema. Cuando se usan coordenadas de dispositivo normalizadas, el programador considera el dispositivo de salida como aquel que tiene valores coordenados dentro del intervalo de 0 a 1. Los valores contenidos en este intervalo dan una especificación de puerto de visión. Las especificaciones que siguen colocan una porción de una definición de coordenadas mundiales en la esquina superior derecha de un área del despliegue

## **Recorte**

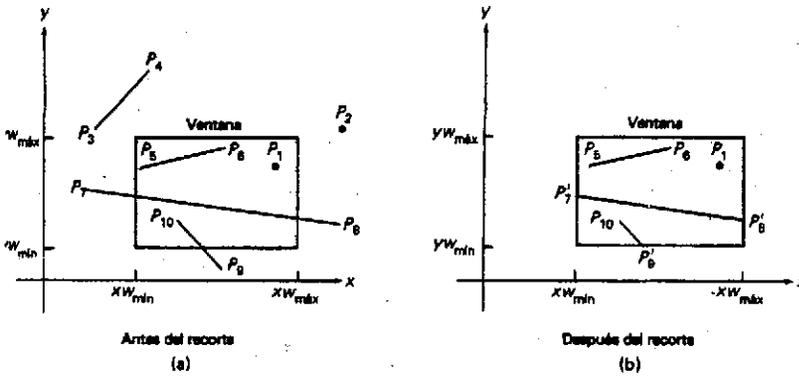
El trazo del área de una ventana en un puerto de visión produce el despliegue solamente de las partes de la imagen que están dentro de la ventana. Todo lo que está fuera de la ventana se desprecia. Los procedimientos para eliminar todas las partes de una imagen definida situada fuera de fronteras especificadas se conocen como algoritmo de recorte o simplemente recorte.

La transformación de colocación de ventanas a menudo se realiza por el recorte de la ventana, trazando después el interior de la ventana en el puerto de visión. Alternativamente, algunos paquetes trazan la definición en coordenadas mundiales en coordenadas de dispositivos mundiales. Después de terminar el recorte, los puntos contenidos en el interior de la ventana se colocan en la puerta de visión.

El recorte de puntos contra una especificación de ventana simplemente significa que se prueban valores coordinados para determinar si están o no dentro de las fronteras.

### *Recorte de línea*

Se hace la prueba de recorte de una línea determinando si los puntos extremos están dentro o fuera de la ventana. Una línea con ambos extremos dentro de las fronteras de la ventana, como la línea que va de P5 a P6, no se elimina. Una línea con un extremo fuera (P9) y uno dentro (P10) se recorta en el punto de intersección de la frontera (P'9).



### Recorte de área

Los polígonos huecos que se utilizan en aplicaciones de trazo de líneas pueden recortarse procesando cada componente a través de los algoritmos de recorte de líneas que se han analizado. Un polígono procesado en esta forma se reduce a serie de líneas recortadas.

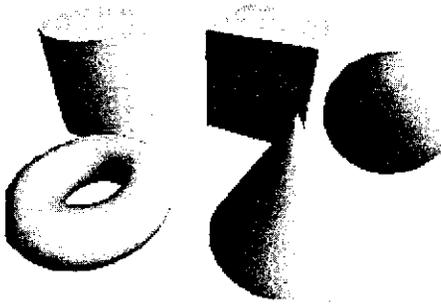
Cuando la frontera de un polígono define un área por llenar, se necesita una versión modificada del algoritmo de recorte de líneas. En este caso, deben producirse una o más áreas cerradas para definir las fronteras del llenado del área.

Una técnica para recortar un polígono, creada por Sutherland y Hodgman, efectúa el recorte comparando un polígono con cada frontera de ventana en turno. El resultado o salida del algoritmo es un conjunto de vértices que definen el área recortada que se llenará con un modelo de color o de sombreado.

Las áreas de polígonos se definen especificando una secuencia ordenada de vértices. Para recortar un polígono, se compara cada uno de los vértices en turno contra una frontera de la ventana. Los vértices contenidos dentro de esta arista de la ventana .

### 3.3 Representaciones tridimensionales

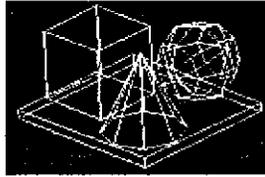
Los objetos sólidos pueden representarse para despliegue de gráficas en varias formas. En algunos casos, puede darse una descripción precisa de un objeto en términos de superficies bien definidas. Un cubo se construye con seis caras planas; un cilindro es una combinación de una superficie curva y dos superficies planas; y una esfera se forma con una sola superficie curva.



Cuando deben representarse objetos más complejos, se utilizan métodos de aproximación para definir los objetos. En aplicaciones de diseño, el aspecto exacto de un objeto a menudo no se conoce con anticipación y el diseñador desea poder experimentar con características de las superficies.

Una manera en que el usuario representa un objeto arbitrario en un paquete de gráficas consiste en determinar su forma aproximada con un conjunto de caras poligonales planas. Las superficies de sólidos podrían describirse también mediante ecuaciones de curvas paramétricas o bien representaciones fractales. En algunas aplicaciones, las definiciones de sólidos se dan como métodos de construcción que construyen los sólidos a partir de formas o figuras más simples.

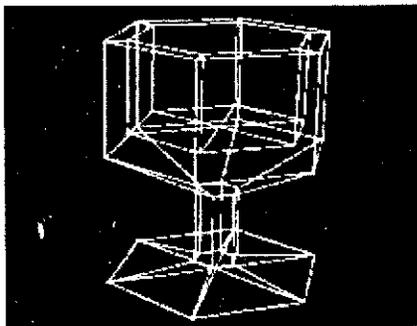
Una técnica para construir un sólido consiste en desplazar un modelo bidimensional a través de alguna región del espacio, creando un volumen. Otra técnica de construcción hace uso de métodos de geometría sólida o del espacio para combinar un conjunto básico de objetos tridimensionales, como bloques, pirámides y cilindros.



También los sólidos pueden representarse mediante el uso de codificación de árbol octal, la cual define las propiedades de cada volumen elemental del espacio tridimensional que contiene a los sólidos.

### **Superficies de polígonos**

Cualquier objeto tridimensional puede representarse como un conjunto de superficies poligonales planas. Para algunos objetos, como un poliedro, esto define precisamente las características de la superficie. En otros casos, una representación de un polígono ofrece una descripción aproximada del objeto.



Esta representación de la malla de polígonos puede desplegarse rápidamente para dar una indicación general de la estructura del objeto y la aproximación puede mejorarse dividiendo las superficies del objeto en caras poligonales.

### **Superficies curvas**

Tradicionalmente, el dibujo de objetos con partes curvas se había apoyado en las que podríamos denominar *curvas analíticas*, ampliamente estudiadas en la literatura y para las que existían procedimientos exactos de dibujo.

Tal es el caso de las cónicas, que fueron incorporadas incluso a sistemas de modelado tridimensional computacionales, dando lugar al término *lofting cónico*.

También se hicieron intentos utilizando funciones armónicas, que eran fácilmente manipuladas mediante osciloscopios y ordenadores analógicos.

Sin embargo, todos estos métodos carecían de la flexibilidad requerida por las nuevas técnicas industriales que comenzaron a aparecer en los años 60.

Mientras que ya en 1946 I. Schoenberg había definido matemáticamente las propiedades de las *curvas spline*, aunque aplicadas a otro tipo de problemas los diseñadores se resistían a adoptar sistemas de modelado basado en curvas no analíticas, compuestas por *trozos unidos*.

Fue gracias al trabajo de unos pocos pioneros, todos ellos provenientes de la industria automotriz, por lo que se elaboraron los modernos métodos de modelado y se adoptó la nueva filosofía, apoyada ya por el empleo de relativamente potentes computadoras, de utilizar curvas polinomiales compuestas, y aun racionales, descartando otros sistemas de representación, como las que consideraban funciones armónicas.

El caso más notable fue el de los ingenieros P. De Casteljan en Citroën y P. Bézier en Renault, quienes desarrollaron en sus respectivas compañías y de forma simultánea, lo que ha pasado a la posteridad con el nombre de *curvas de Bézier*, debido a que este último publicó sus investigaciones en 1966, lo que no hizo De Casteljan, no fue hasta 1974 cuando P. Bézier fue autorizado a publicar los detalles del sistema de modelado de Renault (conocido como UNISURF) y hasta 1986 se explicaron sus fundamentos matemáticos.

Paralelamente al trabajo de estos dos ingenieros, D. Ferguson había implementado para la estadounidense *Boeing* la técnica de lofting basada en splines.

A mediados de los años 70 algunos autores ya habían puesto de manifiesto la estrecha relación entre curvas de Bézier y splines, observando que las primeras eran casos particulares de las conocidas como B-Splines. Esto significó una gran unificación de la teoría. Sin embargo, las particularidades propias de las curvas de Bézier, que llegaron a ser un estándar en modelado, hacen que aún hoy se estudien en un contexto independiente y generalmente, como una introducción a la teoría de splines.

También existen las curvas B-Splines racionales (también conocidos como NURBS), que permiten la incorporación de las cónicas y de las cuádricas a entornos de modelado basados en splines.

#### *Despliegues por medio de funciones o puntos.*

Los despliegues tridimensionales de las superficies curvas pueden generarse a partir de un conjunto de entrada de funciones matemáticas que define las superficies o bien a partir de un conjunto de puntos de datos especificados por el usuario. Cuando se especifican funciones de curvas, un software puede emplear las ecuaciones definidas para localizar y graficar posiciones de píxeles a lo largo de las trayectorias de la curva.

A partir de un conjunto de datos de entrada, un software determina las descripciones funcionales de la curva que mejor se ajusta a los puntos de datos según las restricciones de la aplicación.

Podemos representar una línea curva tridimensional en forma *analítica* con la pareja de funciones

$$y = f(x), \quad z = g(x)$$

con la coordenada  $x$  seleccionada como variable independiente. Los valores de las variables dependientes  $y$  y  $z$  se determinan a medida que  $x$  toma valores de un extremo de la línea a otro.

Esta representación tiene algunas desventajas. Si se desea una gráfica alisada, se debe cambiar la variable independiente siempre que la primera derivada (pendiente) de  $f(x)$  o bien  $g(x)$  se vuelva mayor que 1. Esto significa que se deben verificar continuamente los valores de las derivadas, que pueden volverse infinitas en algunos puntos. Así mismo, las ecuaciones ofrecen un formato desproporcionado para representar funciones con valores múltiples. Una representación más apropiada de curvas para aplicaciones gráficas es en términos de ecuaciones paramétricas.

#### *Ecuaciones paramétricas*

Mediante la introducción de un cuarto parámetro  $u$ , en la descripción coordenada de una curva, se puede expresar cada una de las tres coordenadas cartesianas en forma paramétrica. Cualquier punto de la curva puede representarse entonces por medio de la función vectorial

$$P(u) = (x(u), y(u), z(u))$$

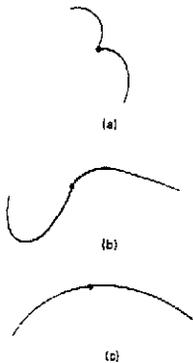
Por lo general, las ecuaciones paramétricas se constituyen de manera que el parámetro  $u$  se defina en el intervalo de 0 a 1. Por ejemplo, una circunferencia en el plano  $xy$  con centro en el origen coordenado podría definirse en forma paramétrica como

$$x(u) = r.\cos(2\pi u), \quad y(u) = r.\sen(2\pi u), \quad z(u) = 0$$

También son posibles otras formas paramétricas para describir circunferencias y arcos circulares.

En el caso de una curva arbitraria, puede ser difícil idear un conjunto de ecuaciones paramétricas que define completamente la forma de la curva. Pero cualquier curva puede aproximarse utilizando diferentes conjuntos de funciones paramétricas sobre partes diferentes de la curva. Por lo general estas aproximaciones se forman con funciones polinomiales. Dicha construcción por partes de una curva debe implantarse cuidadosamente para asegurar que haya una transición sencilla de una sección de la curva a la siguiente. La uniformidad de una curva puede describirse a partir de la *continuidad* de la curva entre las secciones.

La continuidad de orden cero se refiere simplemente a que las curvas se interceptan. Continuidad de primer orden significa que las líneas tangentes (primeras derivadas) de dos secciones adyacentes de la curva son las mismas en el punto de adyacencia. Continuidad de segundo orden quiere decir que las curvaturas (segundas derivadas) de las dos secciones de la curva son las mismas en la intersección. La siguiente figura muestra ejemplos de tres órdenes de continuidad.



Especificación por partes de una curva mediante la conexión de dos segmentos de curva con órdenes de continuidad variantes:  
 (a) solo continuidad de orden cero; (b) continuidad de primer orden y (c) continuidad de segundo orden.

Las ecuaciones paramétricas de las superficies se formulan con dos parámetros,  $u$  y  $v$ . Una posición coordenada de una superficie se representa entonces por medio de la función vectorial paramétrica

$$P(u, v) = (x(u, v), y(u, v), z(u, v))$$

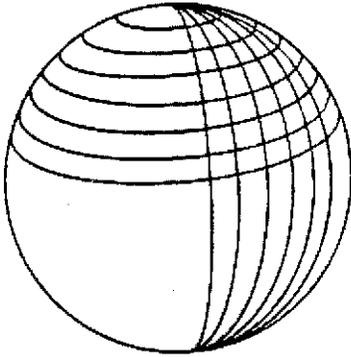
Las ecuaciones de las coordenadas  $x$ ,  $y$  y  $z$  a menudo se acomodan de modo que los parámetro  $u$  y  $v$  estén definidos dentro del intervalo de 0 a 1. Por ejemplo una superficie esférica puede describirse con las ecuaciones

$$x(u, v) = r \operatorname{sen}(\pi u) \cos(2\pi v)$$

$$y(u, v) = r \operatorname{sen}(\pi u) \operatorname{sen}(2\pi v)$$

$$z(u, v) = r \cos(\pi u)$$

donde  $r$  es el radio de la esfera. El parámetro  $u$  describe líneas de latitud constante sobre la superficie, mientras que el parámetro  $v$  describe líneas de longitud constante. Al mantener uno de estos parámetros fijo mientras se varía el otro sobre cualquier valor dentro del intervalo de 0 a 1, se podría trazar líneas de latitud y longitud de cualquier sección esférica.



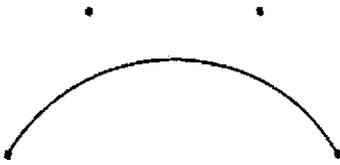
Sección de una superficie esférica descrita por líneas de  $u$  constante y líneas de  $v$  constante.

En aplicaciones de diseño, una curva o superficie a menudo se define especificando interactivamente un conjunto de puntos de control, los cuales indican la forma de la curva. Estos puntos de control son usados por el software para formar ecuaciones paramétricas polinomiales para desplegar la curva definida. Cuando la curva desplegada pasa a través de los puntos de control, se dice que interpola los puntos de control.



Conjunto de seis puntos de control interpolados por una curva.

Por otro lado, se dice que los puntos se aproximan si la curva desplegada pasa cerca de ellos.



Conjunto de cuatro puntos de control aproximados por una curva.

Existen muchas técnicas para constituir ecuaciones paramétricas polinomiales de curvas y superficies, dadas las coordenadas de los puntos de control. Entre los métodos básicos para desplegar curvas especificadas con puntos de control se incluyen las curvas de Bézier y "spline."

#### *Control local y global*

Si una curva pasa por los puntos de control, pero la modificación de uno de estos puntos afecta a toda la curva. En este caso se dice que la base posee un comportamiento *global* y los puntos de control tienen un significado geométrico y controlan la forma de la curva.

Aunque este tipo de bases tiene un indudable valor en modelado, más interesante aun es el caso de las bases para las cuales la modificación de un punto de control se traduce en una variación *local* de la curva, queriendo esto significar que sólo un tramo relativamente pequeño de curva sufre modificación, en tanto que el resto permanece invariable.

*Curvas de Bézier*

Este método para construir curvas fue creado por el ingeniero francés Bézier para utilizarse en el diseño de carrocerías de los automóviles Renault. Para cualquier conjunto de entrada de puntos de control, una curva de aproximación se forma anexando una secuencia de funciones polinomiales formada a partir de las coordenadas de los puntos de control.

Supóngase que se tienen  $n + 1$  puntos de control y se designan como los vectores  $p_k = (x_k, y_k, z_k)$  para  $k$  que varía de 0 a  $n$ . A partir de estos puntos coordenados, se calcula una función vectorial de Bézier de aproximación  $P(u)$ , la cual representa las tres ecuaciones paramétricas de la curva que se ajusta a los puntos de control de entrada  $p_k$ . La función coordenada de Bézier se calcula como:

$$P(u) = \sum_{k=0}^n p_k B_{k,n}(u)$$

Cada función  $B_{k,n}(u)$  es una función polinomial que se define como

$$B_{k,n}(u) = C(n,k)u^k(1-u)^{n-k}$$

Y la función  $C(n,k)$  representa a los coeficientes binomiales

$$C(n,k) = \frac{n!}{k!(n-k)!}$$

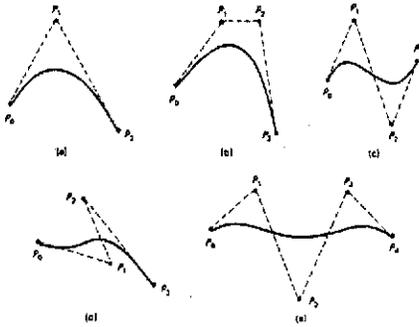
La ecuación puede escribirse en forma explícita como un conjunto de ecuaciones paramétricas para las coordenadas individuales de la curva:

$$x(u) = \sum_{k=0}^n x_k B_{k,n}(u)$$

$$y(u) = \sum_{k=0}^n y_k B_{k,n}(u)$$

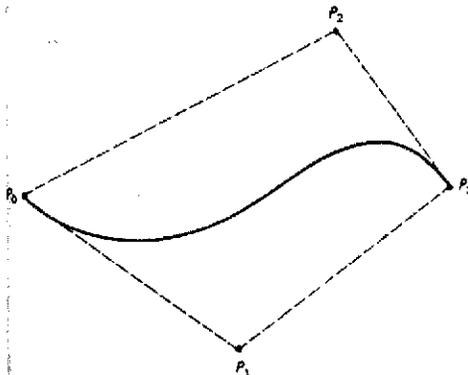
$$z(u) = \sum_{k=0}^n z_k B_{k,n}(u)$$

Los polinomios  $B_{k,n}(u)$  se denominan función de combinación puesto que combinan los puntos de control para formar una función compuesta que describe la curva. Esta función compuesta es polinomio de grado uno menor que el número de puntos de control que se utiliza. Tres puntos generan una parábola, cuatro puntos una curva cúbica y así sucesivamente.



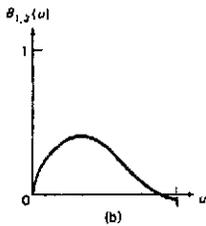
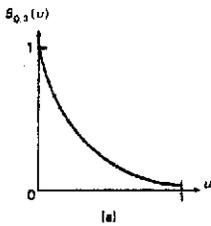
Ejemplos de curvas Bézier generadas a partir de tres, cuatro y cinco puntos de control en el plano xy. Las líneas punteadas muestran la conexión con líneas rectas de los puntos de control.

Una propiedad importante de cualquier curva de Bézier es que ésta se ubica dentro de la cavidad convexa (frontera del polígono) de los puntos de control. Esto garantiza que la curva siga fácilmente los puntos de control sin oscilaciones erráticas.

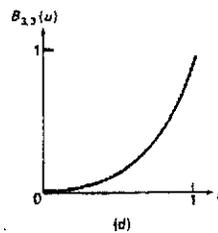
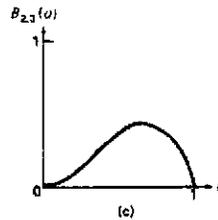


Concavidad convexa (líneas punteadas) de los puntos de control de una curva de Bézier.

En general, podría especificarse cualquier número de puntos de control para una curva de Bézier, pero requiere el cálculo de funciones polinomiales de mayor grado.



Las cuatro funciones de Bézier utilizadas en la construcción de una curva con cuatro puntos de control.

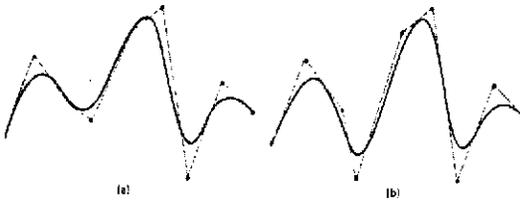


Cuando van a generarse curvas más complicadas, éstas pueden formarse dividiendo varias secciones de Bézier de grado menor. La división de secciones de menor tamaño también da al usuario un mejor control sobre variaciones locales que pueden desearse en una curva. Ya que las curvas de Bézier atraviesan puntos extremos, es fácil ajustar secciones de curvas (con continuidad de orden cero). Así mismo, las curvas de Bézier tienen la propiedad importante de que la tangente a la curva en un punto extremo está a lo largo de la línea que une ese extremo al punto de control adyacente. Por tanto, para obtener la continuidad de primer orden entre secciones de una curva, el usuario puede elegir puntos de control de manera que las posiciones  $p_{n-1}$  y  $p_n$  de una sección estén a lo largo de la misma recta como posiciones  $p_0$ ,  $p_1$  de la siguiente sección. Las curvas de Bézier, en términos generales, no poseen continuidad de segundo orden.

### *Curvas spline*

En la terminología del diseño, spline es una banda flexible que se usa para producir una curva alisada a través de un conjunto de puntos de control. El término curvas spline o bien funciones spline, se refiere a las curvas resultantes que se trazan en esta forma. Tales curvas pueden describirse matemáticamente como aproximaciones fragmentadas de funciones polinomiales cúbicas con los tres órdenes de continuidad (continuidad de orden cero, de primer orden y de segundo orden), aunque muchos otros tipos de funciones de aproximación se conocen como curvas spline.

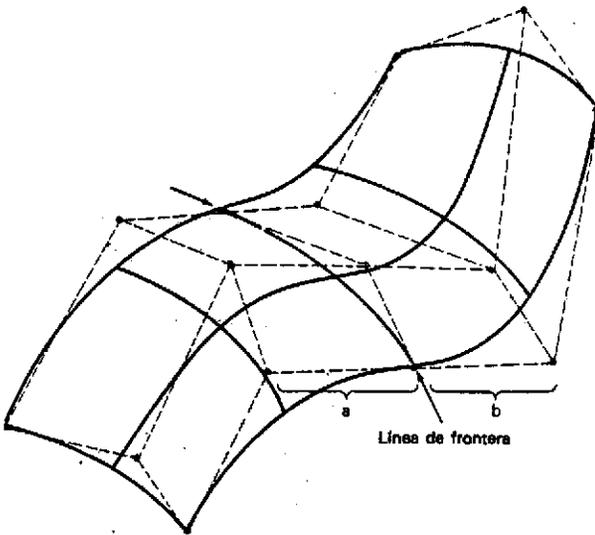
Las B-spline son una clase de curva spline que es particularmente útil en aplicaciones gráficas, ya que permiten que se hagan cambios localizados con facilidad. Si un usuario cambia la posición del primer punto de control, la forma de la curva próxima a ese punto cambia sin afectar considerablemente otras partes de la curva.



Modificación local de una curva B-spline. El cambio de uno de los puntos de control en (a) produce la curva (b), la cual se modifica solamente en la vecindad del punto de control alterado.

### *Superficies de Bézier*

Las superficies de Bézier tienen las mismas propiedades que las curvas de Bézier y ofrecen un método adecuado para aplicaciones de diseño interactivas.



Superficies de Bézier  
construidas con dos  
secciones de Bézier,  
unidas en la línea de  
frontera.

### *Superficies spline*

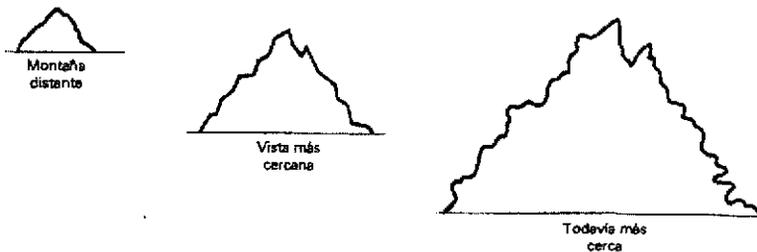
Las superficies B-spline exhiben las mismas propiedades que las componentes para las curvas B-spline.

### **Métodos de geometría fractal**

Las técnicas analizadas generan curvas alisadas y superficies con estas características, más sin embargo muchos objetos, como las montañas y las nubes, tienen características irregulares o fragmentadas. Tales objetos pueden modelarse mediante el uso de métodos de geometría fractal creados por Mandelbrot. Básicamente, los objetos fractales se describen como entidades geométricas que no pueden representarse con métodos de geometría de Euclides. Esto significa que una curva fractal no es bidimensional. Las figuras fractales tienen una dimensión fraccionaria.

Las curvas alisadas son objetos unidimensionales cuya longitud puede definirse con exactitud entre dos puntos. Una curva fractal, contiene una variedad infinita de detalle en cada punto situado a lo largo de la curva, de manera que no se puede decir exactamente cuál es su longitud. De hecho, a medida que se incursione en detalles mayores, la longitud de la curva fractal crece cada vez más. Por ejemplo, el perfil de una montaña muestra más variación a medida que nos acercamos más a ella. Conforme nos aproximamos a la montaña, el detalle de las salientes individuales y peñascos se hace evidente. Si nos acercamos todavía más, se observan los perfiles de las rocas, después piedras y después grano de arena. En cada etapa, el perfil revela más deformaciones y la longitud total de la curva tiene a ser infinita a medida que nos acercamos cada vez más. Tipos similares de curvas describen líneas costeras y los perfiles de las nubes.

Una curva fractal se genera aplicando repetidamente una función de transformación especificada a puntos dentro de una región del espacio. La cantidad de detalle incluida en el despliegue final de la curva depende del número de iteraciones realizadas y de la resolución del sistema de despliegue.



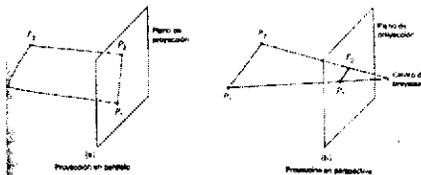
El aspecto de una montaña se hace más evidente a medida que nos aproximamos a ella.

### 3.4 Vista tridimensional

En tres dimensiones, tenemos algunas alternativas para generar las vistas. Podríamos visualizar una escena desde el frente, desde arriba o bien desde atrás. También podríamos generar una vista de lo que observaríamos si estuviéramos parados en medio de un grupo de objetos.

#### Proyecciones

Existen dos métodos básicos para proyectar objetos tridimensionales sobre una superficie de visión bidimensional. Todos los puntos del objeto pueden proyectarse sobre la superficie a lo largo de líneas paralelas o bien los puntos pueden proyectarse a lo largo de líneas que convergen hacia una posición denominada centro de proyección. Los dos métodos, llamados proyección en paralelo y proyección en perspectiva, respectivamente.



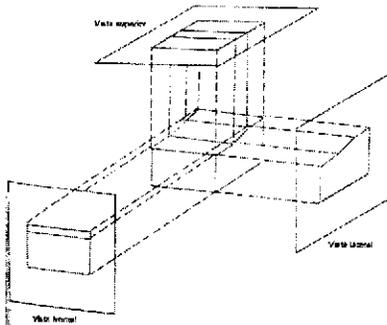
Dos métodos para proyectar una línea sobre una superficie de visión.

#### Proyecciones en paralelo

Una proyección, en paralelo preserva dimensiones relativas de los objetos y ésta es la técnica que se utiliza en el dibujo mecánico para producir trazos a escala de objetos en tres dimensiones. Este método sirve para obtener vistas exactas de los varios lados de un objeto, pero una proyección en paralelo no ofrece una representación realista de un objeto tridimensional.

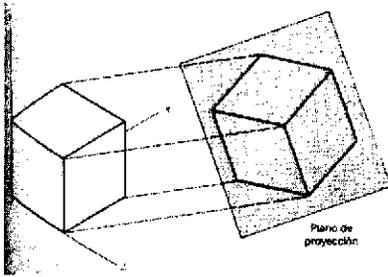
Las vistas formadas con proyecciones en paralelo pueden caracterizarse de acuerdo con el ángulo que la dirección de proyección forma con el plano de proyección. Cuando la dirección de proyección es perpendicular al plano de proyección, se tiene una proyección ortogonal. Una proyección que no es perpendicular al plano se denomina proyección oblicua.

Las proyecciones ortogonales se utilizan con mayor frecuencia para producir las vistas de frente, lado y parte superior de un objeto, estas se denominan "elevaciones" y las vistas de la parte superior se conocen como "plantas". Los trazos de ingeniería comúnmente emplean estas proyecciones ortogonales, ya que las longitudes y los ángulos se representan en forma más exacta y pueden medirse a partir de los trazos.



Tres proyecciones ortogonales de un objeto.

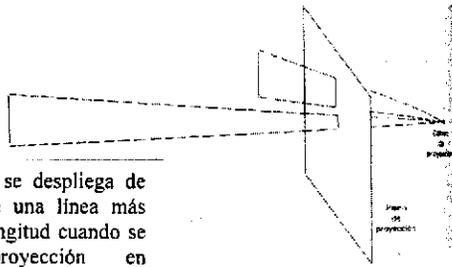
También podemos formar proyecciones ortogonales que muestran más de una cara de un objeto. Tales vistas se denominan proyecciones ortogonales axonométricas. La proyección axonométrica que se usa más comúnmente es la proyección isométrica. Una proyección isométrica se obtiene alineando el plano de proyección de modo que se corte con cada eje coordenado en el cual se defina el objeto (denominados ejes principales) a la misma distancia del origen. Existen ocho posiciones, una en cada octante, para obtener una vista isométrica. Los tres ejes principales se reducen equitativamente en una proyección isométrica de manera que se conserven las proporciones relativas:



Proyección isométrica de un objeto sobre una superficie de visión.

### *Proyecciones en perspectiva*

Para obtener una proyección en perspectiva de un objeto tridimensional, se proyectan puntos a lo largo de líneas de proyección que se interceptan en el centro de proyección. Puede seleccionarse cualquier posición para el centro de proyección, pero la elección de una posición a lo largo de eje z simplifica los cálculos en las ecuaciones de transformación.



Una línea distante se despliega de menor tamaño que una línea más cercana de igual longitud cuando se utiliza una proyección en perspectiva.

Cuando un objeto tridimensional se proyecta sobre un plano mediante ecuaciones de transformación de perspectiva, cualquier conjunto de líneas paralelas del objeto que no sean paralelas al plano se proyectan en líneas convergentes. El punto en el cual un conjunto de

líneas paralelas proyectadas parece converger se denomina punto fuga. Cada conjunto de líneas paralelas proyectadas tendrá un punto de fuga aparte.

### **3.5 Eliminación de superficies y líneas ocultas**

Una consideración importante en la generación de escenas realistas es la identificación y supresión de las partes de la imagen definida que no son visibles desde una posición de observación seleccionada. Existen muchos métodos que podemos utilizar para resolver este problema y se han creado numerosos algoritmos.

Algunos métodos requieren más memoria, en algunos interviene más tiempo de procesamiento y algunos sólo se aplican a tipos especiales de objetos. El método elegido para una aplicación determinada depende de factores tales como la complejidad de la escena, los tipos de objetos que se desplegarán, el equipo de disposición y si se van a generar despliegues animados o estáticos.

#### **Clasificación de algoritmos**

Los algoritmos de líneas y superficies ocultas a menudo se clasifican respecto a definiciones de objetos en forma directa o bien con sus imágenes proyectadas. Estos dos métodos se denominan métodos de objeto-espacio y métodos de imagen-espacio, respectivamente. El primer método compara objetos y partes de objetos unos con otros para determinar qué superficies y líneas, como un todo, deben rotularse como invisibles. En un algoritmo de imagen-espacio, la visibilidad se decide punto por punto en cada posición de

pixel sobre el plano de proyección. Muchos algoritmos de superficie oculta aplican métodos de objeto-espacio.

Aunque existen diferencias importantes en el método básico abordado por los diversos algoritmos de superficie y línea oculta, muchos de ellos emplean métodos de ordenamiento y coherencia para mejorar el rendimiento. El ordenamiento se utiliza para facilitar las comparaciones de profundidad mediante el ordenamiento de las líneas, superficies y objetos individuales de una escena de acuerdo con su distancia desde el plano de visión. Los métodos de coherencia se usan para aprovechar las regularidades de una escena. Puede esperarse que una línea de rastreo individual contenga intervalos de intensidades de píxel constantes y los modelos de líneas de rastreo a menudo cambian poco de una línea a la siguiente. Los marcos o cuadros de animación contienen variaciones solamente en la vecindad de objetos en movimiento. Y a menudo pueden establecerse relaciones constantes entre objetos y superficies de una escena.

Algunos métodos existentes son:

- Supresión de la cara anterior
- Buffer con profundidad
- Línea de rastreo
- Ordenamiento con profundidad
- Subdivisión de áreas
- Árbol octal

### **3.6 Modelos de sombreado y color**

Los despliegues realistas de objetos se obtienen generando proyecciones en perspectiva con superficies ocultas eliminadas y después aplicando modelos de sombreado y color a las superficies visibles. Un modelo de sombreado se utiliza para calcular la intensidad de luz que debe observarse cuando se visualiza una superficie. Estos cálculos de intensidad se basan en las propiedades ópticas de las superficies, las posiciones relativas de las superficies y su orientación con respecto a las fuentes de luz. Primero consideramos la forma en que pueden modelarse cálculos de intensidad a partir de las leyes de la óptica y después exploramos algunas de las técnicas para aplicar intensidades calculadas a superficies. Por último, se analizan la estructura y aplicaciones de los modelos de color que son de utilidad en los paquetes de gráficas.

#### **Modelado de intensidades de luz**

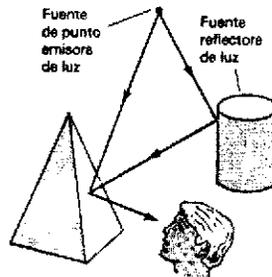
La intensidad de luz que se observa en cada superficie de un objeto depende del tipo de fuentes de luz situadas en la vecindad y de las características de la superficie del objeto. Algunos objetos tienen superficies brillosas y algunos tienen superficies opacas o mate. Además, algunos objetos se construyen con materiales opacos, mientras que otros son más o menos transparentes. Un modelo de sombreado para producir intensidades realistas sobre las superficies de un objeto debe tomar en consideración diversas propiedades.

#### *Fuentes de luz*

Cuando se observa un objeto, se percibe la intensidad de luz reflejada de sus superficies. La luz que se refleja de las superficies proviene de las diversas fuentes de luz

que rodean al objeto. Si el objeto es transparente, también se percibe luz de cualquier fuente que pueda estar situada detrás del mismo.

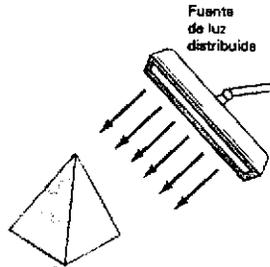
Las fuentes de luz que iluminan un objeto son de dos tipos básicos. Las fuentes emisoras de luz y las fuentes reflectoras de luz.



Entre las fuentes emisoras de luz se incluyen los focos y el Sol. Las fuentes reflectoras de luz son superficies iluminadas de otros objetos, como las paredes de un cuarto, que están próximas al objeto que se está observando. Una superficie que no está expuesta directamente a una fuente emisora de luz seguirá siendo visible si se iluminan los objetos circunvecinos. Las múltiples reflexiones de luz que provienen de estos objetos cercanos se combinan para producir una iluminación uniforme denominada luz ambiente o bien luz de fondo.

Cuando las dimensiones de una fuente de luz son pequeñas en comparación con el tamaño de un objeto, podemos modelarlo como una fuente de punto. Esta aproximación se utiliza en muchas fuentes, entre ellas el Sol, que están lo suficiente alejadas del objeto. En otros casos, se tiene una fuente de luz distribuida. Esto ocurre cuando se tiene una fuente

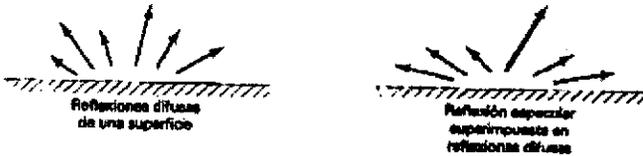
circunvecina grande, como la lámpara de neón cuya área no puede considerarse como infinitamente pequeña en comparación con el tamaño del objeto iluminado.



Los modelos de sombreado que se basan en las leyes de la intensidad de las fuentes de luz ambiente y de punto ofrecen un efectivo sombreado de la superficie de objetos con fuentes de luz distantes. Sólo necesitan hacerse modificaciones ligeras a este modelo para dar cabida a muchas fuentes distribuidas que pueden incluirse en una escena.

Puede establecerse un modelo de sombreado para calcular la intensidad de luz reflejada de una superficie considerando contribuciones de las fuentes de luz ambiente y de las fuentes de punto en la vecindad de la superficie. Ambas fuentes producen reflexiones de luz que se esparcen en todas direcciones. La luz disipada se denomina reflexión difusa y se produce de la aspereza o granulosidad de la superficie. Una superficie mate produce principalmente reflexiones difusas, de manera que la superficie parezca igualmente brillante desde todas las direcciones de observación.

Además de la reflexión difusa, las fuentes de punto crean toque de luz o manchas brillantes, denominada reflexión especular. Este efecto de toque de luz es más pronunciado en las superficies brillosas que en las superficies opacas.



Para objetos transparentes, podemos ampliar el modelo de sombreado con reflexión para que incluya efectos de transmisión de luz. Como en la reflexión, ocurren transmisiones de luz difusa y especular.

#### *Luz refractada*

Cuando se va a modelar un objeto transparente, las ecuaciones de intensidad deben modificarse para incluir contribuciones de fuentes de luz en la parte anterior del objeto. En muchos casos, estas fuentes son superficies que reflejan la luz de otros objetos. La luz reflejada de estas superficies pasa a través del objeto transparente y modifica la intensidad del objeto. La luz que atraviesa una superficie se denomina luz transmitida o luz refractada.

#### *Patrones de textura y superficie*

El modelo de sombreado que se ha analizado para calcular intensidades de luz ofrece un sombreado parejo de todas y cada una de las superficies de una escena. Sin

embargo, muchos objetos no tienen superficies lisas. La textura de la superficie se necesita para modelar con exactitud objetos como paredes de ladrillo, caminos de grava y alfombras de pelo áspero. Además, algunas superficies contienen patrones que deben incluirse en el modelo de sombreado. La superficie de un florero podría contener un diseño pintado; un vaso para agua podría tener el escudo de la familia grabado en la superficie; una cancha de tenis contiene marcaciones de los pasillos, áreas de servicios y línea de base; y una autopista de cuatro carriles tiene líneas divisorias y otras marcaciones, como derrames de aceite y rastras de ruedas.



Objeto con textura

Los valores de intensidad suministrados por un modelo sombreado puede ajustarse para acomodar la textura de la superficie alterando la normal a la superficie de manera que sea función de la posición sobre la superficie. Si permitimos que la normal a la superficie varíe al azar, podemos obtener una superficie de textura irregular como la de una ciruela pasa. Puede utilizarse una función de repetición para modelar una superficie más regular, como una alfombra esculpida que contiene un modelo de textura repetido. Una superficie regular también puede modelarse dividiendo la superficie en una colección de pequeñas superficies orientadas al azar. Además, podríamos permitir que el coeficiente de reflexión varíe con la posición de modo que se obtengan mayores variaciones en intensidad.

También se utilizan métodos de planimetría de texturas para modelar objetos. Los patrones pueden aplicarse a superficies de objetos tridimensionales como métodos análogos a aquellos que sirven para aplicar patrones a objetos bidimensionales. Un patrón sombreado

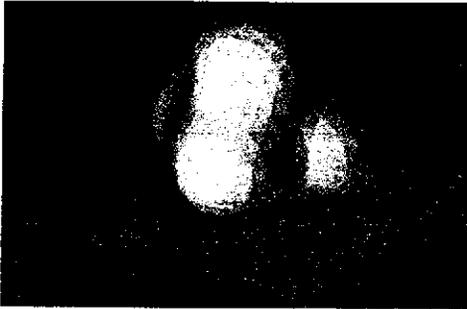
se define en un arreglo y el arreglo se mapea sobre un objeto en una posición designada. El patrón del arreglo puede considerarse como una superficie plana, y la posición y orientación del patrón puede especificarse en relación con el objeto para que contenga el patrón de textura. Esto se logra con comandos en un software de gráficas para fijar el punto de referencia del patrón y dos vectores que definan la orientación del arreglo del plano, como las direcciones de los ejes  $x$  y  $y$  del arreglo. La diferencia entre objetos bidimensionales y tridimensionales es que ahora el patrón debe hacerse girar en torno al objeto tridimensional. Los planos del patrón pueden almacenarse y vincularse a las superficies indicadas del objeto de manera que puedan ser procesados por un método de superficie oculta junto con las superficies del objeto. Los valores de intensidad almacenados en arreglos de patrones se utilizan para modificar o sustituir valores de intensidad calculados en el modelo de sombreado.

### **Sombras**

Pueden usarse métodos de superficie oculta para localizar áreas en donde las fuentes de luz producen sombras. Mediante la aplicación de un método de superficie oculta con una fuente de luz en la posición de visión, podemos determinar cuáles secciones de la superficie no pueden "observarse" desde la fuente de luz. Estas son las áreas de sombra. Una vez que se han determinado las áreas de sombra de todas las fuentes de luz, las sombras podrían considerarse como patrones de superficies y almacenarse los arreglos de patrones.

Los patrones de sombra generados por un método de superficie oculta son válidos en cualquier posición de visión seleccionada, en tanto que las posiciones de la fuente de luz no se alteren. Las superficies que son visibles desde la posición de visión se sombreaman según el modelo de intensidad, con patrones de superficies y sombras anexados. Las

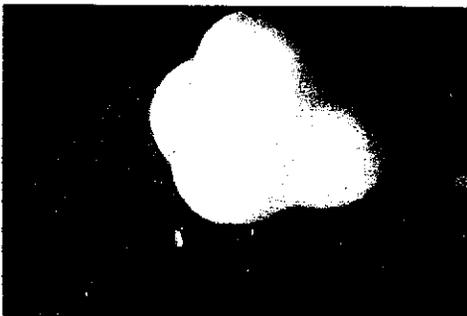
superficies visibles que no son iluminadas por una fuente de punto se les aplica únicamente intensidad de luz ambiental. Las superficies visibles que son iluminadas por una fuente de puntos se sombrea combinando el modelo de intensidad y el arreglo de patrones. Las áreas de sombra proyectada se sombrea únicamente con la intensidad de luz ambiental.



Objeto sombreado

#### *Sombreado de Gouraud*

Este esquema de interpolación de intensidad, creado por Gouraud, elimina discontinuidades de intensidad entre planos adyacentes de la representación de una superficie variando en forma lineal la intensidad sobre cada plano de manera que los valores de la intensidad concuerden en las fronteras del plano. En este método, los valores de la intensidad a lo largo de cada línea de rastreo que atraviesan una superficie se interpolan a partir de las intensidades en los puntos de intersección con la superficie.

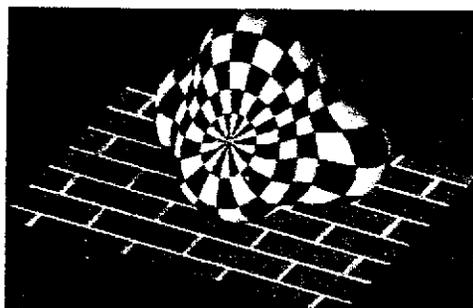


Sombreado Gouraud

## Sombreado Phong

Puede hacerse mejoras a los modelos de sombreado de Gourand determinando la normal aproximada a la superficie en cada punto a lo largo de una línea de rastreo y calculando después la intensidad mediante el uso del vector normal aproximado en ese punto. Este método, creado por Phong Bui Tuong, también se conoce como esquema de interpolación de vector normal. Despliega toques de luz más reales sobre las superficies.

El sombreado de Phong primero interpola los vectores normales en los puntos límite de una línea de rastreo.



Sombreado Phong

## Modelos de color

Las explicaciones de color, hasta ahora se han concentrado en los mecanismos para generar despliegues de color con combinaciones de rojo, verde y azul. Este modelo es útil para entender la forma en que el color se representa en un monitor de video, pero otros modelos de color pueden usarse de igual manera en aplicaciones gráficas. Algunos modelos se usan para describir salida de color en impresoras y graficadoras y otros modelos ofrecen una interfaz del parámetro del color más intuitiva para el usuario.

Un modelo de color es un método para explicar las propiedades o el comportamiento del color dentro de algún contexto determinado. Todavía no se ha creado

ningún modelo de color que explique todos los aspectos del color, de modo que se utilizan diferentes modelos para ayudar a describir las diferentes características percibidas del color.

### *Propiedades de la luz*

Lo que se percibe como "luz", o diferentes colores, es una banda de frecuencia estrecha dentro del espectro electromagnético. Algunas otras bandas de frecuencia contenidas en este espectro se denominan ondas de radio, microondas, ondas infrarrojas y rayos X.

Cada valor de frecuencia contenido en la banda visible corresponde a un color distinto. En el extremo de baja frecuencia hay un color rojo ( $4.3 \times 10^{14}$  hertz) y la frecuencia más alta que se puede percibir es un color violeta ( $7.5 \times 10^{14}$  hertz). Entre estos límites de frecuencia, el ojo humano puede distinguir cerca de 400 000 colores diferentes. Estos colores van de los rojos a través del anaranjado y el amarillo en el extremo de baja frecuencia a los verdes, azules y violeta en el extremo de alta frecuencia.

Ya que la luz es una onda electromagnética, podemos describir los diversos colores en términos de la frecuencia o bien de la longitud de onda. Las dos cantidades son inversamente proporcionales entre sí, con la constante de proporcionalidad como la velocidad de la luz.

### *Conceptos intuitivos del color*

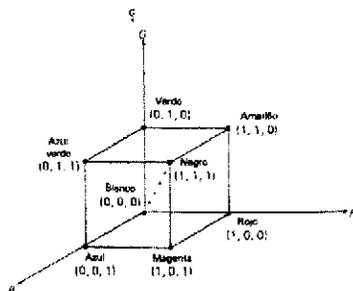
Un artista crea una pintura de color combinando pigmentos de color con pigmentos blanco y negro para formar las diversas sombras, tintes y tonos de la escena. Comenzando con el pigmento de un "color puro", se agrega un pigmento negro para producir diferentes sombras de ese color. Cuanto más pigmento negro agregue el artista, más oscura será la

sombra que se produce. Análogamente, se obtienen tintes del color agregando un pigmento blanco al color original, haciéndolo más claro a medida que se agrega más blanco. Los tonos del color se producen agregando pigmentos blanco y negro.

Para muchos, estos conceptos del color son más intuitivos que si se describe un color como un conjunto de tres números que dan las proporciones relativas de los colores primarios. Por lo general es mucho más fácil pensar en hacer un color más claro agregando blanco y hacer un color más oscuro agregando negro. Por lo tanto, los paquetes de gráficas ofrecen paletas de color a un usuario a menudo emplean dos o más modelos de color. Un modelo ofrece una interfaz de color intuitiva para el usuario y los otros describen las componentes del color para los dispositivos de salida.

#### *Modelos de color RGB (Red, Green, Blue)*

Nuestros ojos perciben el color a través de la simulación de tres pigmentos visuales en los conos de la retina. Estos pigmentos visuales tienen una sensibilidad pico en longitudes de onda de cerca de 630 nanómetros nm (rojo), 530 nm (verde) y 450 nm (azul). Comparando las intensidades en una fuente de luz, se percibe el color de la luz. Esta teoría de la visión de tres estímulos es la base para desplegar salida de color en un monitor de video mediante el uso de los tres colores primarios rojo, verde y azul, conocido como modelo de color RGB.



Podemos representar este modelo con el cubo unitario definido en los ejes R, G, y B. El origen representa el negro y el vértice con coordenadas (1,1,1) es el blanco. Los vértices del cubo sobre los ejes representan los colores primarios y los vértices restantes representan el color complementario de cada uno de los colores primarios.

Este esquema de color es un modelo aditivo: las intensidades de los colores primarios se suman para producir otros colores. Cada punto de color contenido en los límites del cubo puede representarse como la tríada (1,0,1) y el blanco en (1,1,1) es la suma de los vértices rojo, verde y azul. Las sombras de gris se representan a lo largo de la diagonal principal del cubo del origen (negro) al vértice blanco. Cada punto situado en la diagonal tiene una contribución igual de cada color primario, de manera que una sombra gris en medio del negro y el blanco se representa como (0.5, 0.5, 0.5). Las graduaciones de color a lo largo de los planos frontal y superior del cubo RGB.

Cuando sólo se dispone de algunas alternativas de color en un sistema RGB, las opciones pueden ampliarse utilizando métodos de medio tono. Este método con colores es similar al que sirve para crear modelos de gris, pero ahora podemos establecer los puntos de color RGB individuales dentro de cada píxel de igual manera. Por ejemplo, supóngase que se tiene un sistema de dos niveles, de modo que la intensidad de cada punto de color dentro de un píxel esté encendida o apagada. Sin medio tono tenemos ocho combinaciones de color. Pero si ampliamos cada posición de una escena a una retícula de píxeles de 2 por 2, habrá cinco niveles posibles para los puntos de color rojo dentro de la retícula de 2 por 2, cinco niveles posibles para los puntos verdes y cinco para los puntos azules. Esto nos da un total de 125 diferentes combinaciones de color. Esta técnica de color se conoce comúnmente como excitación, aunque el término también se aplica a los métodos de medio

tono que se analizaron antes para extender los niveles de intensidad de una escena con resolución igual a la del dispositivo de salida.

*Modelo de color CMY (Cyan, Magenta, Yellow)*

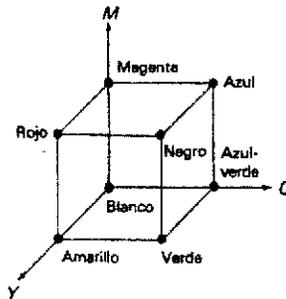
Un modelo de color definido con los colores primario azul-verde, magenta y amarillo (CMY) es útil para describir la salida de color de los dispositivos. A diferencia de los monitores de video, que producen un modelo de color combinando luz de los fósforos de la pantalla, las graficadoras producen una imagen de color cubriendo un papel con pigmentos de color. Se observan los colores por luz reflejada, lo cual es un proceso sustractivo.

Como se ha notado, el azul-verde puede formarse agregando luz verde y azul. Por tanto, cuando se refleja luz blanca de tinta de color azul-verde, la luz reflejada no debe tener componente roja. Esto es, la luz roja es absorbida, o sustraída, por la tinta. Análogamente, la tinta magenta resta la componente verde de la luz incidente y el amarillo sustrae la componente azul.

El modelo CMY, el punto (1,1,1) representa el negro, ya que todas las componentes de la luz incidentes se sustraen. El origen representa la luz blanca. Cantidades iguales de cada uno de los colores primarios producen grises, a lo largo de la diagonal principal del cubo. Una combinación de azul-verde y magenta produce luz azul, ya que las componentes roja y verde de la luz incidente son absorbidas. Otras combinaciones de color se obtienen por medio de un proceso sustractivo análogo.

El proceso de impresión que a menudo se utiliza con el modelo CMY genera un punto de color con un conjunto de cuatro puntos de tinta, un poco parecido a un monitor RGB que utiliza un conjunto de tres puntos de fósforo. Se usa un punto para cada uno de

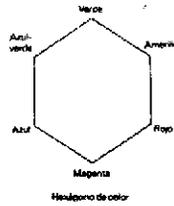
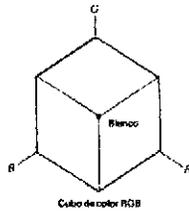
los colores primarios (azul-verde, magenta y amarillo) y un punto es negro. Se incluye un punto negro ya que la combinación de azul-verde, magenta y amarillo comúnmente produce gris oscuro en vez de negro. Algunas graficadotas producen diferentes combinaciones de color esparciendo la tinta de los tres colores primarios uno sobre otro y permitiendo que se mezclen antes de secarse.



#### *Modelos de color HSV (Hue, Saturation, Value)*

Este modelo emplea descripciones de color que tienen un aspecto más intuitivo para un usuario. En vez de escoger colores de acuerdo con sus componentes RGB, los usuarios pueden especificar un matiz (o color) y la cantidad de blanco y negro que se agregará al color para obtener diferentes sombras, tintes y tonos. Los tres parámetros de color de este método se denomina (matiz, saturación y valor).

La representación tridimensional del modelo HSV se deduce del cubo RGB. Si imaginamos observar al cubo a lo largo de la diagonal del vértice blanco al origen (negro), observamos un perfil del cubo que tiene la forma hexagonal. En el cono hexagonal, la saturación se mide a lo largo de un eje horizontal y el valor está situado en un eje vertical que pasa por el centro del cono hexagonal.



### 3.7 Técnicas avanzadas de animación

Algunas de las técnicas que permiten obtener gran realismo en las animaciones son:

Metamorfosis (Morphing)

Jerarquías

Cinemática inversa

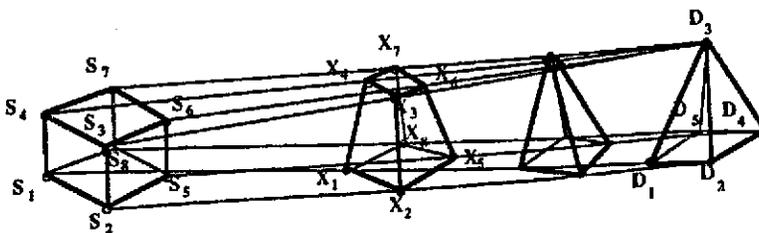
Dinámica

Comportamiento

Etc.

#### Metamorfosis (Morphing)

En esta técnica los objetos están definidos por los valores de sus vértices y la animación se especifica definiendo los objetos clave y la correspondencia entre vértices, los objetos intermedios se calculan interpolando los valores de los vértices.



## Jerarquía

Con la animación por computadora es necesario trabajar partiendo de la jerarquía del modelo. Lo importante de esta manera de enfocar la animación es tener una idea clara de la acción que se quiere expresar antes de empezar, es decir establecer una jerarquía entre cada uno de los objetos que intervienen en la escena. Para explicar la jerarquía consideraremos un modelo humano. Consideremos nuestros cinco dedos. Cada uno de los dedos está conectado a la mano. La mano está conectada al antebrazo y este al brazo finalmente el brazo está conectado al torso, si observamos a un modelo de humano, nos damos cuenta que se tiene una jerarquía. Si consideramos la animación de un brazo y suponemos que las partes de este están desconectadas no sabríamos la posición de cada una de ellas. Por lo que es necesario establecer una jerarquía para que el movimiento sea apropiado. En cinemática inversa la jerarquía es establecida para la animación.

Otro ejemplo de jerarquía más cercana a la Inteligencia Artificial es descomponer la especificación de tareas en acciones elementales, por ejemplo:

Una figura humana debe reaccionar ante la orden "responde el teléfono"

Calcula la posición del teléfono

Busca un camino hacia el teléfono

Avanza

Tomar el teléfono

Decir "hola"

### Cinemática Inversa

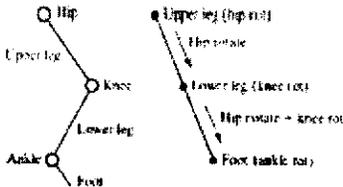
La cinemática inversa es utilizada para simular los movimientos de personajes, robots y animales vertebrados.

El objetivo de la cinemática inversa consiste en encontrar el gesto que deben adoptar las diferentes articulaciones para que el final del sistema articulado llegue a una posición concreta.

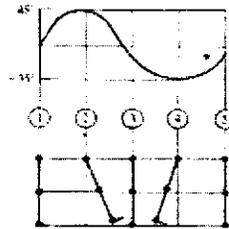
La forma natural de mover una figura articulada es desplazando el elemento final de la estructura de manera que éste arrastre al resto de los elementos en el desplazamiento.

El problema que intenta resolver la cinemática inversa es, dada una posición final del elemento extremo de una figura articulada calcular las posiciones del resto de los elementos.

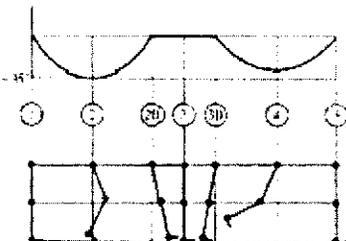
Figura articulada



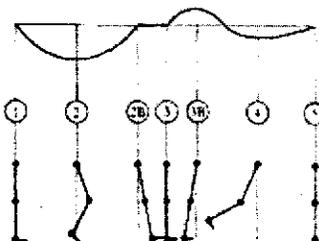
Angulo de la cadera



Angulo de la rodilla



Angulo del tobillo



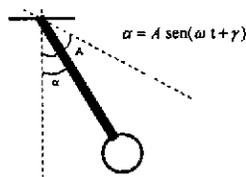
Las complicaciones que se presentan es que no todas las articulaciones se mueven de la misma forma, por lo que no hay una solución única, por lo tanto es necesario incluir restricciones.



### Dinámica

La dinámica estudia el movimiento considerando las fuerzas que lo generan, tanto las propias como las externas, el movimiento que se observa en los cuerpos esta basado en las leyes de Newton y la dinámica de fluidos. La simulación de las leyes físicas aseguran realismo en la animación.

### Ejemplo del péndulo



Dado los valores iniciales, el sistema evoluciona ya que los valores de los parámetros son generados por el software, para esto es necesario la aplicación de ecuaciones diferenciales.

En animación se puede simular

- Ropa
- Líquidos
- Gases.
- Etc.

### **Comportamiento**

El comportamiento esta en función de la naturaleza del objeto, estos comportamientos suelen apoyarse en módulos de inteligencia artificial y tienen propiedades específicas.

Su manera de desplazarse

Su comportamiento ante otros actores.

Algunos ejemplos de estos son:

Bandada de pájaros

Pecera con peces.

---

## 4. Herramientas de animación

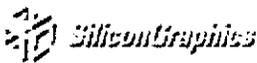
---

### 4.1 Hardware de animación

La animación por computadora se puede realizar en diversas plataformas. Desafortunadamente la mayoría de la animación por computadora que se ve en la televisión y en el cine se realiza en computadoras extremadamente sofisticadas. A continuación se presentan las diversas plataformas en las cuales se realiza animación por computadora.

Esta información esta actualizada hasta el año 2005.

#### Computadoras de animación de alta tecnología



La plataforma SGI (Silicon Graphics, Inc.®) es utilizada para producciones profesionales de cine y televisión, además de utilizarse en el gobierno, defensa, ciencias manufactura y energía. Estas computadoras son extremadamente rápidas y producen excelentes resultados.

La gran mayoría de compañías importantes de producción cinematográfica utilizan esta plataforma; así como el software desarrollado para dichas plataformas.

Estos sistemas tienen una combinación innovadora de visualización, poder de cálculo, y manipulación de datos.



### **Sun Microsystems, Inc.**

Desde su creación en 1982, una particular visión "The Network es the Computer" (La red es la computadora), ha impulsado a Sun Microsystems, Inc. A ocupar su posición actual como proveedor líder de hardware, software y servicios de alta calidad que fortalecen la industria, para aumentar el poder de Internet y permitir que las empresas de todo el mundo potencien sus negocios.

### **Computadoras Personales (P.C.)**



Las computadoras personales son muy versátiles. A través de los años han tomado un gran auge debido a su flexibilidad, potencia y bajo costo. La computadora personal a demostrado ser muy útil para las compañías pequeñas y otros negocios como plataformas para realizar animación. Ya que proporciona una buena calidad por su precio. Por lo que muchas compañías productoras están retomando esta plataforma.

### **Apple**



La computadora Apple fue diseñada para trabajar en ambientes gráficos. Las Mac's recientemente tomaron un gran auge a raíz de la aparición de nuevos y más



Nuevo G5 Dual 1.6GHz

potentes modelos. Muchas personas consideran a la Mac lenta e ineficaz, pero ésa no es necesariamente la verdad. Ahora con el advenimiento de la Power Mac, esta computadora es una herramienta que reúne diversas características que permite tener un amplio mercado en las compañías en expansión.

En la actualidad existe una gran cantidad de compañías que están produciendo software de animación para esta plataforma.

Últimamente muchos estudios de producción utilizan Macs debido a sus capacidades gráficas para los proyectos relativamente pequeños.

| <b>Plataformas para animación 3D</b>          |                          |   |   |
|---|--------------------------|---|---|
| Plataforma                                    | Modelo                   | Procesador                                      | Sistema Operativo                                       |
| Silicon Graphics<br>Sistemas de visualización | Silicon Graphics Prism   | MIPS basado en Silicon Graphics System          | Linux<br>IRIX 64 bits                                   |
|   | Silicon Graphics Onyx4   | Itanium 2                                       |   |
|   | SGI Onyx 3000            |   |   |
|   | SGI Onyx 350             |   |   |
| Sun microsystem                               | Sun Ultra 20 workstation | AMD Opteron 64 bits<br>Velocidad 1.8 a 2.6 GHz. | Solaris,<br>Linux,<br>Windows Hat<br>Enterprise<br>SUSE |
| Computadoras Personales                       | Sony VAIO<br>Dell        | Pentium 4<br>Velocidad 3.8 GHz                  | Windows Profesional                                     |

|       |              |   |                                |
|-------|--------------|---|--------------------------------|
|       | H.P.         | Ram 4 GB  |                                |
| Apple | Power Mac G5 | Doble procesador 64 bits a velocidad de 2 y 1.8 GHz.<br>Memoria ultra rápida DDR de 128 bits a 400 MHz. | Mac OS X. Panther versión 10.3 |

## 4.2 Software de animación

En la actualidad existe una extensa industria en el área de animación, debido a que ésta permite cautivar al espectador con animaciones sorprendentes tanto en cine como en televisión. Es por eso que hay una gran demanda de la animación por computadora en diferentes áreas, como consecuencia de esta demanda, en la actualidad hay un número creciente de compañías de animación. Sería imposible enumerar todas, por lo que presentaremos las compañías las cuales han sido consideradas para los premios de la Academia en el año 2005.



**Maya 7** es uno de los mejores software de animación desarrollado por la compañía **Alias**, en el año 2005 fue ganador en los premios de la Academia. Maya es conocido por su gran capacidad de modelado aún con los objetos más complicados. También, este software es muy flexible, ya que permite la implementación de software desarrollado por programadores con necesidades específicas.

## NewTek



NewTek es una compañía fundada en 1985 situada en Topeka, Kansas. Ha desarrollado los productos tales como la Video Toster, y la concesión de software **LightWave 3D [8]** es un software de gráficos para computadora de alta tecnología que originalmente se desarrollo para la plataforma de Amiga, LightWave esta disponible actualmente para computadora personal, este software se ha utilizado en diversas producciones televisivas. Hay muchas opiniones respecto a que este producto es uno de los mejores productos 3D para PC.

*Avid*



**Softimage XSI v.5.0** fue creado por **Avid Computer Graphics solutions**, Tiene una multiplicidad de características que reducen al mínimo el tiempo de la creación de la animación. Uno de los tres mejores paquetes de software de animación. SoftImage se utiliza en muchos de los mejores estudios de la producción en el mundo.

| Compañía | Software | Requerimientos de sistemas operativos   | Requerimientos de hardware                                      |
|----------|----------|---|---|
| Alias    | Maya 7   | Windows XP Profesional ó Windows 2000 Profesional<br><br>Apple Mac OS X 10.3 ó más<br><br>Red Hat Linux | Intel Pentium III ó más.<br>AMD Athlon<br><br>Power Mac G4 y G5 |

|          |             |   |  |
|----------|-------------|---|--|
|          |             | 9.0 y Red Hat Enterprise Linux 3.0 WS<br>IRIX<br>SUSE Linux 9.1 |  |
| NewTek   | Lightwave 8 | Windows XP<br><br>Apple Mac OS X 10.3 ó más                     | Pentium III ó más<br>AMD Athlon<br><br>Power Mac G4 y G5 |
| Sofimage | Softimage 5 | Windows XP Profesional<br><br>Linux                             | Workstation<br>AMD K7 ó más<br>Intel Pentium III ó más   |

### 4.3 Asociaciones y Universidades

#### Asociación



**SIGGRAPH**

SIGGRAPH es el grupo de interés especial de ACM en gráficos por computadora. Llevan a cabo una conferencia técnica anual en diversas ciudades cada año. Estas conferencias traen nuevas tecnologías. Además de esto, SIGGRAPH también patrocina una multiplicidad de demostraciones de talleres y conferencias.

## Universidades

La siguiente es una lista de las de universidades de Estados Unidos y México que ofrecen estudios en el área de gráficos por computadora.

### Estados Unidos

Brown University

California Institute of Tecnology

Carnegie Mellon University

Cornell University

Masachusetts Institute of Technology

Princeton University

Stanford University

University of California at Berkeley

University of Illinois

University of Waterloo

University of Washington

University of Winsconsin

### México

Tec de Monterrey

IIMAS

---

## 5. Análisis de una aplicación en el área cinematográfica “Pixar”

---



El objetivo del presente capítulo es conjuntar todo lo visto hasta el momento en una aplicación real y que mejor que con la compañía de animación pionera en su ramo.

En la actualidad este campo de la animación por computadora esta abriendo nuevos horizontes para que muchas compañías comiencen a realizar trabajos de muy buena calidad como lo han sido :

Blue Sky      La Era del Hielo



DreamWorks    Shrek



Al observar la trayectoria de Pixar nos podemos dar cuenta del trabajo continuo de la compañía en desarrollo de técnicas de animación basadas en fundamentos matemáticos y su posterior implementación en software, esto fue consecuencia de las necesidades específicas a las cuales se enfrentaba para lograr animaciones de alta calidad.

### Historia de "Pixar"

"Pixar Animation Studios" combina creatividad y técnicas artísticas para crear historias originales en medios de animación por computadora. Pixar en sociedad con Disney, ha creado brillantes películas animadas, ganando diversos premios, dichas películas son:

Toy Story (1995)



Bichos (1998)



Toy Story 2 (1999)



Monsters Inc. (2001)



Buscando a Nemo (2003)



Los increíbles (2004)



Pixar se dedica a la realización del largometraje mientras que Disney sólo se encarga de mercadotecnia y distribución. Esta sociedad se terminará con la última película denominada "Cars" la cual será presentada en Julio del 2006.

El director y vicepresidente creativo de Pixar es John Lasseter el cual salió de las filas de la compañía de Lucas films división gráficos.

## 5.1 Proceso de animación "Pixar"

En el proceso de animación intervienen profesionistas de diversas áreas, la etapa en la cual los Licenciados en Matemáticas Aplicadas y Computación aplicamos nuestros conocimientos es a partir de la etapa de modelado.



### La idea es mostrada

Como vimos en el capítulo uno es necesario un trabajo previo antes de iniciar un proyecto de animación y este consiste en definir la historia. En el caso de Pixar un empleado presenta la historia por medio de bocetos a los miembros del equipo de desarrollo, entre todos la analizan y ven las posibilidades de éxito de dicha historia.



### Guión preliminar

Una vez que es aceptada la historia se realiza el guión (storyboard) que es un bosquejo rápido de los elementos principales de la película desde el principio hasta el final.



### Creación de dibujos

Los dibujantes realizan un bosquejo a lápiz de la historia incluyendo los diálogos. Cada dibujante recibe un scrip con las características emocionales de cada personaje y se realiza algo así como una tira cómica. En ella se indican todos los cuadros significativos de la película; es decir, los más importantes que especifican un cambio significativo en los personajes o en el ambiente y son presentadas al director para su aprobación.



### Grabado de voces

Primero se realiza una prueba preliminar de voces por personal de Pixar. Cuando la historia y diálogos son terminados actores profesionales graban las voces de los personajes, leyendo del scrip e improvisando. Los actores graban varias veces dando a una misma línea diferentes tonos y emociones. Se elige la más apropiada y será incluida en la animación. Algunas veces la grabación preliminar es suficientemente buena, por lo cual no es reemplazada por artistas profesionales, esto sucedió en con la voz de Whezzy que fue realizada por el supervisor de la historia Joe Ranft's. El grabado de voces se realiza siempre antes de la etapa de cuadros clave puesto que es más fácil hacer que los personajes se adapten al sonido que la operación inversa.



### Video

Es creado un video por medio de la animación asistida por computadora, utilizando el método de cuadros clave (keyframe) que consiste en tomar los dibujos claves que indican la trayectoria que siguen las figuras en cada comienzo y final de la secuencia de movimiento y realizar los cuadros de transición, los cuales muestran una secuencia de la historia y esto permite verificar los tiempos y secuencias, los editores utilizan esta información para concretar los elementos de cada secuencia.



### Creación de la ambientación

El departamento de arte crea e ilustra los personajes y su entorno definiendo vestuario, accesorios, superficies, colores y luces, esto se realiza en técnica pastel.



### Modelado de personajes

El departamento de modelado mediante un software propietario de Pixar, (Capítulo 5.2) crea los personajes en tres dimensiones mediante técnicas de modelado de superficies. (Capítulo 3). La cual consiste en definir los personajes mediante la técnica de alambrado (wireframe) por medio de polígonos (Capítulo 3.3) posteriormente se suavizan las curvas mediante splines y se definen los colores. El personaje de Woody tiene 100 puntos de control solamente en su cara para permitir su movimiento.



### Modelado de la ambientación

La ambientación es creada en tres dimensiones incluyendo la utilería sillas, juguetes, muebles, etc., esto se logra mediante técnicas de proyección, determinación de superficies ocultas, modelos de iluminación, sombreado y mapeado de texturas (Capítulo 3).



### Escenas

Se trasladan los personajes de la historia a un escenario tridimensional, el equipo de desarrollo define los movimientos de los personajes y utiliza las cámaras virtuales para crear momentos que reflejen la emoción y los puntos sobresalientes de cada escena. El equipo de desarrollo frecuentemente produce múltiples versiones de la misma escena para poder proveer al departamento editorial una colección de escenas para adecuarlas y que estas tengan el mayor efecto deseado.



### Animación

Esto se logra mediante técnica de cuadros claves (keyframe) que consiste en definir los cuadros más importantes y por medio de interpolación generar los cuadros intermedios (in-betweening). por medio del calculo de transformaciones (Capítulo 3.2) manipulan los movimientos y las expresiones faciales. Una vez que las escenas han sido editadas la versión final esta lista para ser animada.



### Las luces

Utilizando reflexión (especular ó difusa), sombreado (Gouraud ó Phong) y adicionando texturas se ambientalizan las escenas, permitiendo dar más realismo. (Capitulo 3.6)



### Los datos son rendereados

Renderear es trasladar toda la información a archivos los cuales le dan iluminación, textura, color, etc.

"Pixar renderfarm" esta basada en 250 servidores Sun con 2000 procesadores, este enorme sistema de computadora interpreta los datos y les incorpora movimientos. Cada segundo presenta 24 cuadros en la pantalla por lo tanto para lograr dos horas de animación serán necesarios 172,800 cuadros, dependiendo del grado de complejidad de la escena un cuadro tarda de 6 a 90 horas en ser rendereado.



### Toques finales

Por último se agrega la música y otros efectos de especiales y se prepara por medio de posproducción para ser presentada en las salas cinematográficas.

## 5.2 Tecnología

### Software

"Pixar" es el responsable de muchas aplicaciones importantes en el área de las gráficas por computadora, para la industria cinematográfica ha colaborado desde 1986.

El equipo técnico y creativo colaboró desde 1986 a desarrollar software.

- **Marionette™**, software de animación para el modelado, animación y luces.
- **Ringmaster™**, software de producción, para post-producción.
- **RenderMan11®**, software de render, de alta calidad con imagen foto realista.

Pixar es propietario de esta tecnología y continúa realizando investigaciones para implementar productividad y calidad a las películas realizadas con animación por computadora. La tecnología de Pixar facilita la manipulación edición y animación de imágenes.

### Investigaciones

Physically Based Modeling

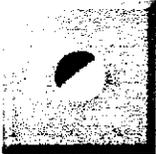
David Baraff y Andrew Witkin

### 5.3 Desarrollos



1984

- John Lasseter realiza animaciones para Disney bajo la firma de George Lucas.
- Presenta en Siggraph su primer corto metraje "André y Wally B."



P·I·X·A·R

1986

- La división de gráficos por computadora de Lucas films, es vendida a Steve Jobs en 10 millones de dólares, se establece como una empresa independiente "Pixar".
- "Pixar" presenta en Siggraph el cortometraje "Luxo Jr."



1987

- "Pixar" presenta en Siggraph el corto metraje "Red's Dream".
- "Luxo Jr." Es nominada para el premio de la Academia como el mejor cortometraje.
- "Luxo Jr." Recibe el premio Golden Gate en el Festival internacional de San Francisco.



### 1988

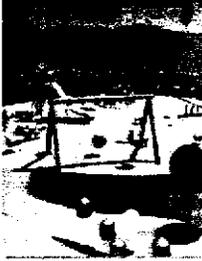
- "Pixar" presenta en Siggraph el cortometraje "Tin Toy"
- "Red's Dream" recibe el premio Golden Gate como el mejor de la categoría de Imagen Generada por Computada en el Festival Internacional de San Francisco.
- El cortometraje también gana el Golden Nicas en el Festival Prix Art en Austria.



### 1989

- "Pixar" presenta en Siggraph el cortometraje "Knickknak" y es presentado el software "RenderMan".
- "Pixar" realiza el primer comercial "Wake up" para Tropicana
- "Tin Toy" gana el premio de la Academia por el mejor cortometraje animado, gana el primer lugar en categoría de animación asistida por computadora y el tercer lugar en la Celebración Internacional de Animación en lo Ángeles.

1990



- "Pixar" crea cinco nuevos comerciales "California Lottery", "Dancing Cards", "Trident's", "Quite a Package", "Lifesavers Holes" y "Babies".
- "Knickknack" gana premio Golden Space Needle por el mejor cortometraje en el Festival Internacional de Seattle. Primer premio en el Festival de Animación de Barcelona.

1991



- "Pixar" se asocia con Walt Disney Studios el cual solo se encarga de la mercadotecnia y distribución.
- "Pixar" realiza quince comerciales.
- "Luxor Jr." en Sesame Street gana en la categoría de cortometraje en la Competencia de Animación por Computadora en Londres y el primer lugar la categoría teatral en el sexta Competencia Internacional de Animación por Computadora, Imágenes del Futuro en Montreal.



### 1992

- "Pixar" realiza nueve comerciales.
- El equipo de desarrollo de "Pixar" recibe el premio Scientific and Engineer de la Academia por el Computer Assisted Production System (CAPS).



### 1993

- "Pixar" realiza nueve comerciales y el logotipo de IBM.
- "Pixar" recibe el premio Golden Medal Clio por el comercial de Listerine.
- El equipo de desarrollo de "Pixar" recibe el premio Scientific and Engineering de la Academia por RenderMan.



### 1994

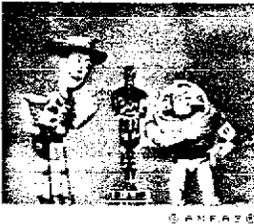
- "Pixar" realiza once comerciales y el logotipo de Paramount.
- "Pixar" recibe el premio Gold Medal Clio por el comercial de Lifesavers "conga".
- El equipo de desarrollo de "Pixar" recibe el premio Scientific and Engineering de la Academia por RenderMan.

# TOY STORY

1995

- "Pixar" realiza doce comerciales.
- Es presentado el largometraje Toy Story realizado totalmente con animación por computadora, recaudando en las salas cinematográficas 358 millones de dólares alrededor del mundo. Esta película fue distribuida por Disney.
- David DiFrancesco recibe el premio Scientific and Engineering por Digital Scanning.

1996



- "Pixar realiza nueve comerciales
- Buzz y Woody aparecen en el 68va. Entrega de los premios de la Academia.
- Se comercializa Toy Story en video.
- John Lasseter tiene una participación en la entrega de los Oscars por la película animada en computadora Toy Story.
- Edwin Catmull, Thomas Porter y Tom Duff reciben el premio Scientific and Engineering por composición digital de imagen.

- Toy Story recibe siete premios de la ASIFA-Hollywood por dirección, producción, historia, diseño, música y animación.
- Toy Story recibe dos nominaciones a Golden Globe como mejor película y mejor canción.



1997

- "Pixar" y Disney realizan negociaciones para producir cinco películas.
- "Pixar" expande sus oficinas a un segundo edificio en Point Richmond con 375 empleados.
- "Pixar" presenta el cortometraje Geri's Game. Incorporando avances en texturas de la piel y ropa.

1998

- El largometraje Bichos es presentado en las salas cinematográficas recaudando 362 millones de dólares en todo el mundo.
- El cortometraje Geri's Game es nominado por los premios de la Academia y por ASIFA-Hollywood como mejor cortometraje animado.
- Eben Ostby, William Reeves y Tom Duff reciben el premio Scientific and Engineering por el sistema de



animación Marionette 3-D y Thomas Porter recibe el premio Scientific and Engineering por pintura digital.



1999

- Bichos es comercializado en video
- Toy Story 2 es presentado en las salas cinematográficas recaudando 483 millones de dólares en todo el mundo.
- Bichos recibe el Grammy por mejor composición instrumental e historia.
- David DiFrancesco recibe premio Técnico de la Academia por "PixarVision".
- Bichos recibe la nominación de la Academia por mejor música.
- Recibe el premio Asifa-Hollywood por dirección, guión y diseño de producción.

2000

- "Pixar" cambia de residencia a la zona industrial en Emeryville, C.A.
- Toy Story 2 es comercializado en video.



- El cortometraje *The Birds* es presentado en el Festival de Annecy.
- *Toy Story 2* recibe el premio Golden Globe. *Toy Story 2* recibe el premio Grammy como mejor álbum musical, recibe el premio ASIFA Hollywood.

#### 2001

- "Pixar" cuenta con 600 empleados.
- *Monsters, Inc.* Se estrena en las salas cinematográficas de todo el mundo.
- *Monsters Inc.* Recauda en la primera semana presentada en las salas cinematográficas 62.1 millones de dólares.
- Edwn Catmull, Loren Carpenter y Rob recibe el premio de la Academia al mérito por el programa *RenderMan*.
- John Lasseter recibe un grado honorario AFI.

#### 2002

- *Monsters, Inc.* Es comercializada en video y DVD.
- Randy Newman es nominado por la mejor canción para el Oscar.
- *The Birds* recibe el premio de la Academia como el mejor cortometraje.



**MONSTERS, INC.**

- Monsters Inc. Recibe tres nominaciones por los premios de la Academia por animación, edición y mejor score.

### 2003



- Buscando a Nemo es presentada en las salas cinematográficas en Estados Unidos el 30 de mayo 2003.
- Toy Story es nombrada la No.1 de las animaciones por Online Film Critics Society (OFCS).
- Mike's New Car es nominada por la Academia para un Oscar.
- Buscando a Nemo recauda 70.2 millones de dólares en la primer semana.
- Tuvo un costo de producción de 94 millones de dólares.

### 2004

- Los Increíbles es presentada en las salas cinematográficas en Estados Unidos en noviembre del 2004.



## 5.4 Bolsa de trabajo "Pixar" 2005



"Pixar" ofrece salarios competitivos y provee excelentes prestaciones, con un ambiente de trabajo creativo, agradable y profesional.

Puestos solicitados en el área de sistemas computacionales (2005).

- Herramientas
  - Agosto 10 Documentador Técnico
  - Agosto 10 Ingeniero de Seguridad
  - Agosto 10 Gerente de automatización
  - Agosto 10 Director de Proyectos
  - Agosto 1 Ingeniero de Software
  - Agosto 1 Ingeniero de Software (Investigación)
  - Junio 28 Director de Documentación
  - Junio 28 Desarrollador de Interface
- Sistemas
  - Agosto 10 Ingeniero de Software
  - Agosto 5 Gerente de Desarrollo de Aplicaciones
  - Junio 22 Desarrollador de Aplicaciones

## 5.5 Entrevista con David Tart

Por: Christian F. Leal Reyes | 21 de marzo de 2003 actualizada al 2005.



Luego de recibirse como Licenciado en Artes Interdisciplinarias en la Universidad Estatal de San Francisco, se especializó en técnicas de animación, comenzando con la atractiva pero tediosa fórmula del stop-motion (la de los monitos de plastilina que se mueven cuadro a cuadro) para posteriormente sumergirse en los gráficos generados por computadora (1993), que le llevaron a

tocar las puertas de Pixar cuando esta compañía aún era desconocida.

Luego de sufrir graves problemas de salud por el exceso de trabajo en Pixar, David se encerró con su familia en una hermosa parcela campestre en Meadow Valley, California (pueden ver las fotos en [www.tartamation.com](http://www.tartamation.com)), y se quedó a vivir permanentemente en el lugar seducido por la inspiración del ambiente. Desde allí – donde continúa trabajando a tiempo parcial para Pixar y otras compañías, además de dar clases de animación tradicional a niños en escuelas primarias - comparte amablemente con nosotros su experiencia en el mundo de la animación tridimensional.

*David desea aclararnos que todas sus respuestas o comentarios respecto a Pixar Studios corresponden exclusivamente a sus opiniones y reflexiones personales, por lo que de ninguna manera pueden tomarse como versiones oficiales de la política o prácticas de la compañía.*

**Trabajar en Pixar es el sueño de muchos animadores 3D. ¿Cuán difícil es entrar?, ¿qué es lo que se requiere?.**

Obtener un trabajo en Pixar ([www.pixar.com](http://www.pixar.com)) puede ser muy difícil ahora. Hace cinco años atrás era más fácil, mientras que hace diez años atrás...¡lo difícil era encontrar animadores que quisieran trabajar allí!

Es aún más difícil ahora porque el negocio de la animación en los Estados Unidos no está pasando por un buen momento. Combinado con una economía bastante lenta tienes el virtual colapso que afecta al departamento de animación de los Estudios Disney, que sufrió el recorte de cientos de empleos en los últimos años. Estos despidos lanzaron a muchos excelentes animadores al mercado de trabajos, todos muy bien calificados, experimentados...y sedientos de empleo. Es lo que ellos llaman "un mercado comprador" en la industria de la animación. Sencillamente hay más animadores que trabajos disponibles. Afortunadamente para nosotros las cosas evolucionan, y esta crisis no durará para siempre.

Por estos tiempos (o en realidad, en cualquiera) un potencial animador requiere tener una demo ESPECTACULAR de su trabajo para ganarse un puesto en Pixar. Esta debería exhibir sus habilidades como animador de personajes, demostrando sus conocimientos de actuación, comedia, sentido del tiempo y puesta en escena, así como todos los principios de movimiento disponibles para la animación. ¡Y hagan que esa demo sea corta!. Un film corto y algunos ejemplos de tu trabajo profesional es todo lo que necesitas. Mmm... quizá con algunas pruebas de animación divertidas editadas juntas de alguna forma interesante y cohesionada. ¡Sí, eso es!

**En las últimas películas de Pixar ha trabajado mucha gente. ¿Cómo logran que el producto final no pierda su consistencia, incluso cuando tantas personas trabajan una misma área?**

La consistencia es uno de los grandes beneficios de la animación CG (Computer Generated) 3D. Dado que los modelos y las texturas jamás varían, un Director puede concentrarse en mantener las animaciones tal como él o ella desean. Y desde luego los escenarios, iluminación y edición pueden ser todas controladas férreamente a través de tecnologías digitales.

De cualquier manera, más que cualquier virtud atribuible a las tecnologías de animación CG 3D está el rol del Director. Es el Director quien es el responsable de que un film sea consistente, y este factor no ha cambiado desde los primeros días del cine.

**Respecto a lo mismo, ¿crees que aún pueden producirse filmes de calidad hechos por una persona en forma independiente o ya es imprescindible involucrar grandes recursos económicos, humanos y de equipamiento tecnológico?.**

Creo que CORTOS de animación CG 3D pueden ser hechos por personas individualmente, pero no, para un largometraje de calidad se requiere absolutamente de mucha gente y de mucho dinero.

La Era del Hielo (Ice Age), de Blue Sky Studios, fue hecha con aproximadamente \$80 millones de dólares, lo que a pesar de constituir un presupuesto considerablemente menor que los films de Pixar, se tradujo en un producto de muy buena calidad, tanto en su aspecto como en su historia. Existen otros "largometrajes" de animación 3D que se intentaron con equipos pequeños – digamos, 30 ó 40 personas – pero su calidad es realmente mala o, peor aún, jamás se terminaron.

Personalmente tuve la oportunidad de trabajar en un largometraje de una compañía alemana que contaba con aproximadamente 30 personas. La idea era realizar el proyecto completamente con técnicas de captura de movimientos (motion capture o mocap) para

posteriormente animar manualmente (key frame animation) las manos y rostros. Usaríamos Maya, exclusivamente. Tenían un presupuesto cercano a los \$20 millones de dólares... y luego de seis meses de trabajo se había usado la mitad del dinero y tenían sólo UN MINUTO de animación completa que mostrar. Desde luego la compañía cerró y el proyecto terminó en la basura. Ellos realmente CREYERON que podían lograr su propósito, porque el SOFTWARE así lo prometía... pero no era cierto. Sólo porque ves algo en SIGGRAPH ([www.siggraph.org/s2003](http://www.siggraph.org/s2003)) o tienes un "gran sistema" no significa que puedas hacer una película.

Creo que hubo un film producido en España, llamado "El bosque animado" ([www.elbosqueanimado.com](http://www.elbosqueanimado.com)), que fue producido a muy bajos costos (¿\$3 millones?) por 30 personas y que resultó ser bastante bueno, aunque como aún no lo he visto no puedo asegurar su calidad. Hablé con un muchacho español que me contó que las condiciones de trabajo eran demenciales, con gente trabajando por muy poco dinero durante jornadas de trabajo extremadamente largas.

Los largometrajes son simplemente muy difíciles de producir, sin importar el medio utilizado. Conocí a un hombre que estuvo ocho años trabajando en un film fotográfico de época, llamado "Of power and water". Invertió todo su dinero en el proyecto y entonces, un año antes de terminarlo, se lanzó una película muy similar llamada "Koyonasquatsi" (no estoy totalmente seguro de que así se deletree) que lo dejó totalmente devastado. Apenas tuvo ánimo para terminar su film y recomendaba que NADIE intentara hacer un largometraje por sí solo.

Eso sí que es para deprimir a cualquiera... ¿Cuáles son, en tu opinión, los principales errores que comete un animador inexperto al dar sus primeros pasos en la profesión?. ¿Qué consejo les darías?.

En animación CG, uno de los más grandes errores usualmente se comete ANTES de que el animador encuentre un empleo: él o ella envía una cinta de demo junto a su currículum que comprende escenarios majestuosos, personajes esplendorosamente modelados, texturas fantásticas y sombreados, movimientos de cámara, transformaciones morphing, dinámicas de partículas... y muy poca animación "tradicional". De esa forma, la compañía donde el postulante esperaba obtener un trabajo como animador lo llama para ofrecerle un puesto como modelador, escritor de texturas, encargado de los renders (render wrangler)... pero no como animador. He visto a muchos potenciales animadores tomar cargos como TDs (Technical Directors) y nunca llegar a animar nada. Tu demo debe tener bellos y divertidos personajes animados en él, si es que quieres conseguir un puesto como animador.

El otro error que se comete con frecuencia se le llama "no ser capaz de seguir instrucciones". Esto significa que un animador consigue un empleo y entonces piensa "Bien, ahora que lo he logrado significa que soy un gran animador y voy a demostrárselo a todo el mundo". Entonces se sienta solo en su computadora intentando impresionar al director y los supervisores pero NO LOS ESCUCHA. Está tan confiado en que sus ideas de animación van a impresionarlos a todos, y realmente, realmente quiere hacerlo de esta otra forma... mientras tanto, el director y los supervisores toman nota: "este chico no sigue instrucciones". ¡Eviten este error a toda costa!. Yo mismo cometí este error y probablemente fastidié a mucha gente a la que desearía no haber fastidiado.

Afortunadamente pude darme cuenta a tiempo y cambiar mi percepción de las cosas. Así que recuerden: su trabajo, a menos que sean el director, es precisamente satisfacer la visión creativa del director. Tú eres un artista comercial, que intercambia su talento/habilidad/tiempo por dinero. Como sea que lo llames, haz lo que haces por el director, incluso si estás en desacuerdo con él – trata de darle mayor valor, de mejorarlo, incluso si te parece una idea pobre.

**Siendo esta una disciplina donde la creatividad tiene un papel fundamental, ¿qué importancia le asignas a los estudios formales frente al talento natural de una persona?.**

Talento es una palabra escurridiza y misteriosa... sí, existe algo llamado talento para la animación, pero una persona con la formación correcta puede crear bellas animaciones también. La educación es invaluable, incluso para aquellos con "talento natural", e incluso más para personas como yo... no me considero especialmente "talentoso", pero a través del estudio esmerado y del hábito de trabajo he logrado reunir suficiente información acerca de este arte para crear algunas muy buenas animaciones. De hecho, creo que prácticamente todos pueden aprender a animar bastante bien. Los principios de la animación son claros y, si son seguidos, siempre producirán resultados entretenidos.

Recuerden: Milt Kahl, quien animó a Bugs Bunny durante más de veinte años y era considerado uno de los mejores, vendió autos usados hasta los 37 años de edad. ¿Talentoso?...

**Dicen que la práctica hace al maestro, sin embargo la dedicación al trabajo puede acarrear graves costos familiares y afectivos. ¿Cómo se balancea un ritmo de trabajo intenso con la vida social?.**

Definitivamente hay tiempo tanto para dominar tu oficio como para dominar tu vida. Yo he logrado balancear mi meta de lograr animaciones de alta calidad con una vida de alta calidad gracias a que me tomo mi tiempo de trabajo muy en serio. Con esto me refiero a que, básicamente, no pierdo tiempo hablando por teléfono, surfeando por la Internet, jugando en red o sencillamente sacando la vuelta. Mucha gente lo hace, y dado que esto no es algo particularmente reprochado en algunos puestos de trabajo (especialmente en Pixar), esa gente sencillamente debe quedarse hasta muy tarde para terminar sus tomas a tiempo. Desde luego, quedarse hasta tan tarde elimina una vida social saludable y gradualmente promueve el "retardo" social. A algunos animadores parece no importarles esto porque son tan felices con sus trabajos que realmente no les interesa el no poder hallar un novio o novia y no tener nada que hacer cuando llega el fin de semana, a pesar de que ya tienen casi 30 años de edad.

Uno de mis secretos para lograr este balance es comenzar a trabajar MUY temprano por la mañana, cuando la mayoría de la gente no está dando vueltas. Me concentro en extremo durante este tiempo y puedo adelantar montones y montones de trabajo puesto que hay muy pocas distracciones tan temprano.

También me aseguro de ejercitarme cuatro veces a la semana, puesto que sentarse frente al computador destruye tu cuerpo y puede causar serios problemas de salud (espalda, cuello y lesiones en la muñeca que pueden acabar con tu carrera como animador CG 3D). ¡Hubo un momento en que yo mismo estaba tan lesionado que tuve que hacer un receso de un año completo!. Me tomé ese tiempo asegurándome de alejarme de cualquier computadora... y afortunadamente los problemas parecen ya haber sanado.

**¡Que bueno que hayas podido recuperarte!. Ahora, girando a un tema totalmente distinto, ¿cuál crees que es la magia de los dibujos animados clásicos que, aún después de 50 años y de verlos cientos de veces, continúan haciéndonos reír?.**

Muchos de los dibujos animados clásicos están tan hermosamente animados... las historias son tan clásicas... las situaciones están hechas con un dinamismo sorprendente. Sencillamente es arte bien logrado.

Una cosa importante de recordar sobre estos cartoons clásicos es la siguiente: el recurso de la animación en láminas de acetato fue totalmente desarrollado y comprendido durante el periodo en que estas animaciones fueron creadas. Lo que esto significa es que los animadores y guionistas no tenían que preocuparse de las limitaciones técnicas, limitaciones con las que la animación CG 3D está plagada. Creo que cuando este nuevo medio con el que trabajamos haya alcanzado su cenit, comenzaremos a crear algunos clásicos sorprendentes y duraderos, tal como los viejos animadores hicieron.

Respecto a las limitaciones técnicas, yo recomendaría estar siempre "algunos años detrás" de la tecnología. No traten siempre de incorporar las últimas, grandiosas y despampanantes técnicas usando los más avanzados y costosos equipos y programas: manténganse con lo que actualmente funciona y es lo más estable y comprobado. De esta forma puedes concentrarte en el valor de entretención que tiene tu film y no en los aspectos "tecno-machos" de cómo fue hecho. Es decir, ¿quieres compartir una historia y hacer reír al público o quieres impresionar a un puñado de tecnomaníacos?.

**Y si los animadores de ese entonces ni siquiera eran capaces de visualizar las herramientas y recursos de los que disponemos hoy, ¿cómo imaginas tú la animación dentro de otros 50 años más?, ¿qué esperarías para entonces?.**

Creo que ya había respondido a esto en la pregunta anterior, pero lo que esperaría es que el medio de la animación computarizada se establezca y alcance un estatus totalmente desarrollado, de forma que todos podamos centrarnos en hacer películas graciosas, entretenidas, trágicas y bellas.

Piensen en los 200 años que aproximadamente le tomó al violín para definir su forma final. Muchas versiones distintas del violín fueron creadas, probadas, tocadas y desechadas. Eventualmente, tras un LARGO periodo de tiempo, su forma alcanzó un punto en que ya no podía seguir mejorando. Alcanzó su cenit. Sólo entonces la música de violín que conocemos y amamos pudo ser escrita a partir de este instrumento estable. Nadie habla hoy sobre la necesidad de una "nueva versión" de violín. La gente sólo lo usa para crear música maravillosa.

No creo que a nosotros nos tome 200 años para desarrollar completamente las gráficas tridimensionales por computadora, pero sí creo que aún nos falta mucho camino por recorrer.

**Jeje... no es por remover heridas pero, ¿porqué crees tú que Shrek le ganó el Oscar a Monster Inc. como mejor película animada?.**

Shrek estaba muy bien animada y era muy GRACIOSA... y graciosa en una forma muy oportuna. Logró burlarse mucho de Disney y creo que Disney es una compañía a la que los estadounidenses adoran odiar... es taataaaaaaan buena, taataaaaaaan pura, que prepara ella misma el terreno para las bromas. Shrek también tenía un humor orientado a una audiencia más madura, y dado que son los adultos los que votan por los premios de la academia, bueno, ahí lo tienes.

Monster Inc. es una película hermosa, y creo que al final será más recordada y vista que Shrek, pero estoy muy contento de que hayan otras compañías haciendo films animados en 3D con éxito: ¡eso sólo significa más empleos y mejores tiempos para todos nosotros!. Pero no me preguntaste sobre ese extraño asunto de Bichos y Hormiguitaz (Bug's Life y Antz)... eso sí que es un fastidio, porque tendré que pasar mi vida entera escuchando a la gente decirme "Oh, ¿tú trabajas en Pixar?, ¡me fascinó HORMIGUITAZ!". ¡Guac!. Y mis amigos en PDI tienen el mismo problema, sólo que al revés. Oh, bueno...¡gracias Jeffrey!

**Tu casa y el entorno donde vives actualmente son muy hermosos pero, ¿qué lleva a un animador de la era de la información a renunciar a una empresa como Pixar y marcharse al campo?.**

Me mudé al campo principalmente para lidiar con los problemas físicos que me provocó el exceso de trabajo frente al computador, y el exceso de trabajo en general. Amo la animación, pero tras siete años y tres largometrajes con Pixar me encontré a mi mismo angustiado pensando en la siguiente toma, tratando de figurarme cómo poder terminarla rápidamente sin tener que trabajar demasiado en ella. Esa actitud no produce buenas animaciones y, en combinación con mis problemas físicos, me obligaron a tomar un receso de la industria.

¡Y estoy feliz de declarar que esa decisión ha sido estupenda!. Ahora trabajo entre seis a nueve meses por año, y lo hago no sólo para Pixar sino también para otras compañías. También tengo la oportunidad de enseñar animación, que es algo que adoro.

**Permíteme enviarte. En fin, ¿cuál es tu software preferido para trabajar?.**

Tendría que decir Maya, a pesar de que creo que puede ser mejorado. En realidad prefiero el software propietario de Pixar, pero dado que no está disponible comercialmente no podría recomendarlo aquí.

Básicamente, todos los programas de animación en 3D ofrecen lo mismo para un animador: hay alguna especie de línea de tiempo para la animación cuadro a cuadro, algún tipo de editor de curvas spline y una interfaz con la cual guardar y ver tu animación. Algunos tienen mejores interfaces que otros, pero todos pueden ser usados para producir algunas animaciones bastante buenas.

**Finalmente, cuéntanos un pequeño secreto...¿trabajar en Pixar es realmente tan entretenido como se ve en el DVD de Monster Inc.?**

La respuesta corta es: sí y no.

Algunas veces puede ser muy divertido... algunas cosas realmente fuera de serie suceden algunas veces, como el infame incidente de "Pinocho" (!?). Pero aquella imagen del animador afortunado que se ha vuelto un símbolo de lo que es el trabajo de animación en Pixar o Disney es **desinformación**.

La animación es un trabajo muy duro, especialmente a estos niveles de calidad en los films. Hay mucha presión (principalmente de ti mismo y de tus compañeros animadores) por lograr un resultado increíble. Debido a que el producto es tan masivamente

distribuido, cada toma debe estar tan cercana a la perfección como sea posible. ¡Me estoy refiriendo a que millones y millones de personas van a ver tu trabajo!. Uno quiere que su animación se vea de lo mejor.

En promedio, un animador de Pixar debe completar cerca de 80 cuadros de animación por semana. ¿No parece ser mucho, verdad?, y aún así nos toma entre 50 a 60 horas lograrlo, tan extraño como suena. Mi amigo Steve Buckley me dijo esto cuando obtuve mi primer trabajo de animación: "Tart, recuerda una cosa: ¡la animación duele!". Hay algunos días en que tiene razón y otros en los que no.

Así que, algunas veces es genial y otras es diabólicamente duro, pero todo logra funcionar si tu vida está bien balanceada con amigos, amores y la vida, en sí misma.

### **Análisis de la entrevista**

La entrevista con David Tart nos permite identificar las posibles dificultades que se nos pueden presentar al trabajar en esta área.

- La dificultad de producir un largometraje debido a sus altos costos, pero conforme pase el tiempo y se mejoren las técnicas la tendencia será a mayor accesibilidad. sin embargo podemos iniciar trabajando de manera independiente mediante la realización de proyectos a diversas compañías.

- Comprender que si estamos bajo la dirección de alguien debemos ser capaces de seguir instrucciones aún cuando no estemos de acuerdo.
- La educación es invaluable, la capacitación constante nos permite ser más competitivos.
- Hay tiempo para dominar tu profesión como para dominar tu vida, es necesario equilibrar nuestra vida tanto en lo social (familia, salud) como en el trabajo.
- La animación 3D aún tiene muchas limitaciones técnicas, por lo que podemos colaborar a su consolidación, por medio de aportaciones tecnológicas.

---

# Anexo 1

---

## Norma NTSC

En 1953, se consiguió el primer método de transmisión de color compatible con el sistema monocromático, se denomina norma de color National Television System Comitè (NTSC) y se aplica a todos los sistemas de televisión oficiales en Estados Unidos y otros países.

El principio fundamental básico de la norma es la función de dos transmisiones de imágenes independientes, que son una señal de banda ancha que transporta información de la luminancia y una señal de ancho de banda mas estrecho que contiene información de la crominancia. (La luminancia es el brillo o intensidad de los tres colores: rojo azul y verde. La crominancia representa el matiz o color real que se obtiene a partir de los tres cañones electrónicos.)

Una limitación inherente al funcionamiento de una televisión es el ancho de banda. (4 MHz) esto perjudica la calidad de la imagen. Además, toda la codificación y decodificación que tiene lugar añade ruido a la señal de color, produciendo una degradación de la misma. En un monitor RGB, el ancho de banda puede ser hasta 35 MHz.

### Normas de software

El objetivo principal del software de gráficas estandarizado es la portabilidad. Cuando los paquetes se diseñan con funciones de gráficas estándar, el software puede moverse fácilmente hacia diferentes tipos de sistemas de hardware y usarse en diferentes instrumentaciones y aplicaciones. Sin normas, los programas diseñados para un sistema de hardware a menudo no pueden transferirse a otro sin rescribir el software.

Las organizaciones internacionales de normas de muchos países como la American National Standards Institute (ANSI), y la International Standards Organization (ISO) han cooperado en un esfuerzo considerable para el logro de esta meta, mediante la participación del Graphics Standards Planning Committee de SIGGRAPH, el Grupo de Interés Especial sobre Gráficas de Computadora de la Association for Computing Machinery (ACM).

En la actualidad contamos con Open GL que significa Graphic Library la cual es un conjunto de librerías que son utilizadas a través de lenguajes de programación para conseguir una interfaz software entre las aplicaciones y el hardware gráfico.

La idea de programar con OpenGL es introducir una sucesión de líneas de comandos entre instrucciones dadas en un lenguaje de programación para que puedan ser implementados en muy diferentes plataformas de hardware, esto queda expresado en el prefijo "Open" de la librería.

---

# Conclusión

---

Podemos concluir que es necesario entender la animación desde sus inicios ya que los principios básicos de la animación se siguen aplicando hasta nuestros días, y esto nos permite interactuar con profesionistas de otras áreas para en un futuro implementar soluciones a sus necesidades.

Comprender el funcionamiento de los dispositivos de salida porque finalmente es en ese dispositivo en donde se presentan las animaciones.

La carrera de MAC nos da los elementos matemáticos necesarios para entender los fundamentos de la animación, estos son:

| Materia de la carrera de MAC | Tema de la materia                              | Aplicación en el área de animación             |
|------------------------------|---|--|
| Geometría analítica          | Línea, Ecuaciones de circunferencias,           | Primitivas                                     |
| Álgebra lineal               | Matrices, transformaciones de matrices<br>Bases | Translación, escalación y rotación de objetos. |
| Métodos numéricos            | Métodos de interpolación                        | Superficies curvas                             |
| Cálculo                      | Derivadas, sólidos de revolución                | Objetos tridimensionales                       |
| Ecuaciones Diferenciales     | Ecuaciones diferenciales                        | Técnicas avanzadas de animación                |
| Optimización                 | Métodos de optimización                         | Restricciones espacio-tiempo                   |
| Computación                  | Implementación de algoritmos                    | Todas las áreas                                |
| Idioma inglés                | Todas las áreas                                 | Todas las áreas                                |

Es importante que estemos enterados del hardware y software existente, ya que de esta forma sabremos que opciones tenemos para iniciar la formación en esta área, familiarizándonos sus requerimientos y características. Respecto a las asociaciones el estar en contacto con ellas nos permite estar al día en las investigaciones más recientes y convenciones anuales.

Se presenta la Compañía Pixar debido a que es una de las primeras compañías en incursionar en la animación 3D con muy pocos recursos y en el transcurrir de los años a desarrollado su propio software y a llegado a ser líder en su rama, con esto se pretende motivar al estudiante de MAC a iniciar su incursión en esta área, siguiendo el ejemplo de "Pixar", realizando inicialmente pequeños proyectos de animación para poco a poco consolidarse en esta área, ya que vemos que la tendencia es hacia la animación en 3D, y sabemos que la animación en tres dimensiones aún no ha llegado a su cenit, aun hay mucho que mejorar y mucha investigación que realizar.

Será importante continuar con estudios de especialización ya sea en México ó en el extranjero para poder lograr un nivel competitivo en el mercado laboral.

Es importante mencionar que la mayor parte de la bibliografía, investigaciones y software en el campo de la animación esta en inglés, esto se debe a una carencia de nuestra lengua en dominios técnicos y científicos que se agudizan dramáticamente en el caso de los gráficos por computadora. Sin embargo se espera que el presente trabajo sea un aliciente para que más profesionales realicen bibliografía en estos temas.

---

# Bibliografía

---

## Libros

- David Fox y Mitchell Waite, 1986  
"Gráficos Animados por Computadora"  
Byte Books / Mc Graw Hill
- Donald Hearn y M. Pauline Baker, 1988  
"Graficas por Computadora"  
Prentice-Hall
- Foley, Van Dam, Feiner, Hughes, 1992  
"Computer Graphics principles and practice"  
Addison-Wesley
- John Lewell, 1986  
"Aplicaciones gráficas del ordenador"  
Hermann blume, Madrid
- Daniel Burgos, 1997  
"3D Studio Max practico"  
Osborne/McGraw-Hill
- Marnenat., D. Thalmann, 1987  
"Image Síntesis theory and Practice"  
Osborne/McGraw-Hill
- Foley j., Van Dam, 1984  
"Fundamentals of Interactive Computer Graphics"  
Addison -Wesley
- Newman W. , R Sproull, 1979  
"Principles of interactive computer graphics"  
Mc Graw-Hill
- Roger D., J Adams, 1976  
"Mathematical elements for computer graphics"  
Mc Graw Hill
- Mantyla Martti, 1988  
"An introducción to solid modeling"

Computer Science Press

Angeles Medieta Alatorre, 1985

"Tesis Profesionales"

Porrúa

Juan M. Cordero Valle, José Cortés Parejo, 2003

"Curvas y Superficies para Modelado Geométrico"

Alfaomega Ra-ma

## **Notas de Cursos**

Wayne E. Carlson, Richard E. Parent,

"Generación de tres dimensional data for computer image synthesis"

17th International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques

SIGGRAPH 1990

## **Revistas**

"3D design"

Febrero 1996

"Nivo revista de arte 3D"

Marzo 2003

"Computer Graphic World"

Febrero, 1993

## **Conferencias**

"El Hardware y software para la animación en tercera dimension"

Asociación Mexicana de multimedia y nuevas tecnologías , 1994

## **Cursos**

Aniversario de la computación en México, 1990

"Curso de Introducción a la graficación por computadora"

Facultad de ciencias, UNAM

"Producción y post-producción en video", 1994

Video Informatica

Curso de animación, 1992  
The Principles of Animation  
Diseño Grafico, Enep Acatlán

## Internet

### Dirección

<http://www.siggraph.org/>

<http://www.dis.ulpgc.es/basesdis/pdas>

<http://giga.cps.unizar.es/giga.html>

<http://www.pixar.com>

<http://www.acm.org>

[www.animationmagazine.net](http://www.animationmagazine.net)

[www.awn.com](http://www.awn.com)

### Descripción

Conferencia Anual Siggraph,  
Asignatura diseño grafico por computador,

Ingeniería en Informatica UNAM

Materia de Informatica Grafica

Universidad de Zaragoza, España

Compañía de Animación

Revista de investigación en graficos por  
computadora

Revista de animación

Animation Wold Network