



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

Tesis doctoral

Estudio y evolución estética de la animación tridimensional dentro del género de acción  
en la industria del cine y el videojuego

Departamento de Dibujo

Programa de Doctorado en Arte: Producción e Investigación

Presentada por:

Milton Elías Sancán Lapo

Dirigida por:

Dr. Miguel Vidal Ortega

Valencia, 2023





# ÍNDICE

RESUMEN .....	13
ABSTRACT .....	14
RESUM.....	15
INTRODUCCIÓN .....	16
JUSTIFICACIÓN.....	24
HIPÓTESIS.....	25
OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	26
METODOLOGÍA .....	27
ANTECEDENTES.....	33
1    CAPÍTULO I: Del arte primitivo a las primeras tecnologías para imagen y modelado 3D .....	40
1.1    La cultura aurignaciana y el bisonte de Chauvet-Pont d'Arc .....	40
1.2    Personajes articulados en culturas antiguas de Medio oriente, Asia y Europa.....	42
1.3    Exploración en óptica: Ibn al-Haytham, Da Vinci, Roget, Newton y Plateau.....	44
1.4    Artefactos basados en la teoría de la persistencia retiniana.....	50
1.5    Primeros equipos fílmicos para cine y animación .....	52
1.6    Equipo fílmico, filmes y <i>stop-motion</i> : 1900-1920 .....	53
1.7    Dinsdale y el píxel .....	65
1.8    Gráficos con simulación de profundidad: 1930-1962.....	68
1.9    Primeros equipos para simular 3D lineal: 1963-1968 .....	74
1.10    Primeros equipos para simular objetos 3D en pantalla: 1970 .....	82
1.11    Volumen e iluminación 3D, los cuatro hitos: 1970-1975.....	85
1.12    Gouraud, Sutherland, Catmull, Parke, Phong y Newell .....	87
1.13    Gráficos 3D para productos audiovisuales: 1974-1985.....	93
1.14    El modelado 3D.....	98
1.15    El polígono en el modelado 3D.....	99
1.16    Análisis estético de las imágenes 3D en este capítulo.....	106
1.16.1    Imágenes 3D generadas desde filmes, arte y electrónica para simular volúmenes 3D (1930-1962).....	106
1.16.2    Geometrías lineales 3D desde electrónica (1963-1968).....	107
1.16.3    Imágenes 3D mediante los primeros algoritmos para luz y modelado desde computadores (1972 a 1975).....	107
1.16.4    Imágenes 3D desde equipos electrónicos para animación (Inicios de 1970) .....	109
1.16.5    Imágenes resultado del uso artístico de los algoritmos para 3D (1973 a 1980) .....	109
1.16.6 <i>Gráficos 3D para audiovisuales comerciales (1972-1985)</i> .....	110
2    CAPÍTULO II: Maduración de las tecnologías 3D: introducción al <i>render</i> para videojuegos y películas .....	114
2.1 <i>Hardware</i> y <i>software</i> para reproducir imágenes 3D de videojuegos y películas .....	114

2.2	Nuevas tecnologías para modelado 3D en personajes de videojuegos y películas .....	116
2.1	Modelado automatizado en objetos 3D para videojuegos y películas .....	121
2.2	Introducción al <i>render</i> para imágenes digitales.....	125
2.3	<i>Render</i> para videojuegos: 1965-2020.....	127
2.3.1	Consolas de videojuegos (1990-1999) y <i>game engines</i> .....	131
2.3.2	Motores de videojuegos: id Tech versiones 1, 2 y 3 .....	137
2.3.3	<i>Render</i> en <i>game engines</i> y primeras consolas de videojuegos: 2000-2013.....	141
2.3.4	Alcances de los <i>game engines</i> actuales .....	148
2.3.5	Simulación de texturas en videojuegos mediante materiales digitales .....	153
2.3.6	Breve evolución del <i>render</i> en consolas portátiles: 1979-2017.....	158
2.4	Análisis estético de las imágenes 3D en este capítulo según tecnologías de <i>render</i> .....	159
2.4.1	<i>Render</i> 3D para videojuegos .....	159
2.4.2	Imágenes basadas en <i>render</i> 3D para videojuegos (1998-2020).....	161
3	CAPÍTULO III: Evolución del <i>render</i> en películas y en la articulación ( <i>rigging</i> ) en personajes digitales 3D.....	166
3.1	El <i>render</i> .....	166
3.2	Primeros algoritmos para generación de objetos 3D en pantalla.....	167
3.3	Primeros estudios para generar luz y sombreado en objetos 3D.....	170
3.4	Primeros estudios para generar modelados 3D mediante polígonos .....	171
3.5	Primeras exploraciones del 3D en producciones audiovisuales .....	174
3.6	Confluencia y sofisticación en 3D: REYES, Renderman, Pixar .....	180
3.7	La cima conquistada en imagen digital 3D: <i>Luxo Jr.</i> , <i>Red's Dream</i> y <i>Tin Toy</i> .....	182
3.8	Nuevos hitos de la investigación académica en <i>render</i> 3D: 1980-1990. ....	184
3.9	Primeras aplicaciones de efectos con objetos 3D en cine y series .....	186
3.10	Inicio de la confluencia técnico-artística 3D en filmes.....	187
3.11	Motores de <i>render</i> como complemento a la producción 3D .....	190
3.12	<i>Render</i> en cine 3D .....	192
3.13	Futuras posibilidades del <i>render</i> .....	206
3.14	Locomoción y gestualidad en 3D: el <i>rigging</i> .....	208
3.15	Análisis estético de las imágenes basados en las primeras tecnologías de <i>render</i> para 3D.....	228
3.15.1	Imagen con <i>ray-tracing</i> (trazado de rayos).....	228
3.15.2	Imagen 3D con subdivisión de polígonos.....	228
3.15.3	Imagen 3D para audiovisuales comerciales (1980-1999).....	229
4	CAPÍTULO IV: Dos proyectos de creación y animación de ambientes y personajes 3D .....	232
4.1	Los proyectos.....	232
4.2	La cultura e historia como tema narrativo audiovisual .....	238
4.3	Proyecto: modelado y animación de un personaje 3D para videojuego .....	240
4.3.1	Preproducción .....	241
4.3.2	Producción: creación del personaje huaorani .....	243
4.3.3	Modelado y base de <i>rigging</i> .....	244

4.3.4	Producción: fusión de modelado, <i>rigging</i> , texturas y color.....	246
4.3.5	Producción: articulación del personaje huaorani 3D.....	247
4.3.6	Producción de personajes complementarios.....	248
4.3.7	Algoritmos predefinidos: <i>blueprints</i> , grafos de eventos y nodos.....	250
4.3.8	<i>Blueprints</i> , grafos de eventos y nodos.....	251
4.3.9	Interacción con el <i>rigging</i> desde <i>blueprints</i> en Unreal.....	253
4.3.10	Simular físicas en polígonos 3D.....	254
4.3.11	Ambiente selvático 3D.....	255
4.3.12	Prueba.....	260
4.3.13	<i>Hardware</i> y <i>software</i> .....	261
4.3.14	Análisis estético del prototipo 3D interactivo: personaje huaorani y ambiente de selva.....	263
4.3.15	Conclusiones de este proyecto.....	264
4.4	Estudio de caso: creación y animación 3D de personaje robótico Eva.....	266
4.4.1	Preproducción: imágenes de referencia del Eva.....	267
4.4.2	Producción: modelado del Eva.....	268
4.4.3	Producción, proceso de texturizado del Eva.....	269
4.4.4	Producción, <i>rigging</i> y animación.....	270
4.4.5	Producción de ambiente 3D para el personaje Eva.....	271
4.4.6	Integración y <i>render</i> .....	272
4.4.7	Postproducción de ambiente y robot EVA.....	273
4.4.8	Uso de <i>render</i> por capas, máscaras y canal alfa.....	274
4.4.9	Análisis estético del video animado con el personaje Eva.....	277
4.4.10	Conclusiones del segundo proyecto.....	278
5	CONCLUSIONES GENERALES.....	280
6	RECOMENDACIONES.....	284
7	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	285
8	PELÍCULAS Y CORTOS ANIMADOS.....	308
9	RELACIÓN DE IMÁGENES.....	311

#### ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Propiedades y efectos de PCG Forest Blueprint, 2024. Fuente: unrealengine.com, 2023f.....	257
Tabla 2.	Jornadas para producción de personaje y ambiente 3D, 2024. Elaboración propia.....	261
Tabla 3.	Características del hardware y costo, 2024. Elaboración propia.....	262
Tabla 4.	Jornadas para producción de personaje robot Eva, 2024. Elaboración propia.....	277









## **Agradecimientos**

En este momento de reflexión y gratitud me encuentro compelido a expresar mi más sincero agradecimiento a cada una de las personas que han desempeñado un papel fundamental en mi viaje académico y profesional. Al alcanzar el título de Doctor en Artes no puedo dejar de reconocer la inmensa contribución de aquellos que han sido faros luminosos en mi travesía.

Agradezco a mis padres, Soledad Lapo y Milton Sancán. Desde los primeros pasos recibí su apoyo inquebrantable hacia mi éxito. Vuestra paciencia, aliento y sacrificio han sido los pilares sobre los cuales he construido mi carrera. Vuestra fe en mí me ha impulsado a superar desafíos y a perseguir mis sueños con determinación. Cada logro es, en gran medida, un reflejo de su amor y guía constante. Agradezco profundamente todo lo que han hecho por mí y celebro este logro con ustedes en el corazón.

A mi tía Rosario Cuenca, quiero agradecerle por cuidarme, por siempre estar presente en cada momento de mi vida y por brindarme su amor.

A mi respetado tutor de tesis, Miguel Vidal, quiero expresar mi gratitud por su sabiduría, orientación y paciencia a lo largo de este proceso académico. Su guía ha sido fundamental para mi desarrollo intelectual y profesional. Las lecciones aprendidas no solo se limitan al ámbito académico, sino que también han influido en mi forma de abordar los desafíos con perspicacia y creatividad. Estoy agradecido por el tiempo y la dedicación que ha invertido en mi crecimiento como académico.

A mi esposa, Valeska Soriano, quiero agradecerle su apoyo incondicional en todas las facetas de mi vida, motivándome con sus logros personales y profesionales a ser mejor cada día. Su comprensión, paciencia y amor han sido mi mayor soporte, por lo tanto, todos mis logros son tan míos como suyos.



## RESUMEN

Este documento revisa desde una amplia bibliografía técnica e histórica la evolución de la simulación tridimensional sobre superficies planas; luego, el uso de la imagen animada y del aprovechamiento de la electrónica y las computadoras para crear imagen digital 3D, tanto para investigación y entretenimiento. En el capítulo I se detallan los primeros intentos artesanos y artísticos usados para representar el movimiento y el volumen tridimensional, explorado inicialmente desde culturas antiguas. Luego, se explica por qué el observar y describir el comportamiento de la luz provocó en científicos europeos del siglo XV al XVIII el deseo de combinar óptica y mecánica para simular figuras animadas y luego el desplazamiento de objetos inertes. El capítulo III muestra el contexto técnico, donde se profundiza en tecnologías para *render*, articulación de geometrías digitales, modelado, color y texturizado, junto con los primeros hitos en computación, *hardware* y *software*, en algoritmos que permitieron desde la electrónica y el píxel reproducir líneas, imágenes texturas y luz digital. El último capítulo muestra paso a paso el flujo de trabajo, las técnicas y los recursos de producción usados en dos proyectos 3D, realizados por el autor de este documento: el primero es la completa producción (en modelado, texturizado, color e interacción) de un personaje con forma humana realista en 3D interactivo y su simulación realista de un ambiente selvático, basado en la cultura amazónica huaorani. El segundo proyecto expone la completa producción de un personaje robot del animé japonés en 3D, junto con su ambientación. Se concluye que el deseo de transformar la materia inerte, más la suma de disciplinas técnico-artísticas diversas, confluyó en tres grandes fundamentos de la animación y del 3D digital: el deseo de simular volumen y movimiento, la acción de alterar el plano, y la actividad divulgadora de la ciencia y sus resultados.

Palabras Clave:

imagen, evolución 3D, *render*, *software* 3D, producción 3D

## ABSTRACT

This document reviews, from a broad technical and historical bibliography, the evolution of three-dimensional simulation on flat surfaces; and subsequently, the use of animated imagery and the exploitation of electronics and computers to create three-dimensional digital imagery, both for research and entertainment purposes. Chapter I details the earliest artisanal and artistic attempts used to represent movement and three-dimensional volume, initially explored by ancient cultures. It then explains why the observation and description of light behavior led European scientists from the fifteenth to the eighteenth centuries to desire to combine optics and mechanics to simulate animated figures and later the movement of inert objects. Chapter II presents the technical context, delving into technologies for rendering, articulation of digital geometries, modeling, color, and texturing, along with the earliest milestones in computing, hardware, and software, in algorithms that allowed lines, images, textures, and digital light to be reproduced from electronics and pixels. The final chapter outlines step by step the workflow, techniques, and production resources used in two 3D projects carried out by the author of this document: the first is the complete production (in modeling, texturing, coloring, and interaction) of a realistically shaped human character in interactive 3D and its realistic simulation of a jungle environment, based on the Huaorani culture of the Amazon. The second project showcases the complete production of a robot character from Japanese anime in 3D, along with its setting. It is concluded that the desire to transform inert matter, combined with the amalgamation of various technical-artistic disciplines, converged into three main foundations of animation and digital 3D: the desire to simulate volume and movement, the action of altering the plane, and the science communication activity and its results.

Keywords:

imagen, 3D evolution, *render*, 3D software, 3D production

## RESUM

Aquest document revisa, des d'una àmplia bibliografia tècnica i històrica, l'evolució de la simulació tridimensional sobre superfícies planes; i després, l'ús de la imatge animada i l'aprofitament de l'electrònica i els ordinadors per crear imatge digital 3D, tant per a la recerca com per a l'entreteniment. Al capítol I es detallen els primers intents artesanals i artístics utilitzats per representar el moviment i el volum tridimensional, explorat inicialment des de cultures antigues. Després, s'explica per què l'observar i descriure el comportament de la llum va provocar en científics europeus del segle XV al XVIII el desig de combinar òptica i mecànica per simular figures animades i després el desplaçament d'objectes inerts. El capítol III mostra el context tècnic, on s'aprofundeix en tecnologies per renderitzar, articulació de geometries digitals, modelat, color i texturat, juntament amb els primers fites en computació, maquinari i programari, en algorismes que van permetre des de l'electrònica i el píxel reproduir línies, imatges, textures i llum digital. El darrer capítol mostra pas a pas el flux de treball, les tècniques i els recursos de producció utilitzats en dos projectes 3D realitzats per l'autor d'aquest document: el primer és la completa producció (en modelat, texturat, color i interacció) d'un personatge amb forma humana realista en 3D interactiu i la seva simulació realista d'un ambient selvàtic, basat en la cultura amazònica huaorani. El segon projecte exposa la completa producció d'un personatge robot de l'animació japonesa en 3D, juntament amb la seva ambientació. Es conclou que el desig de transformar la matèria inerta, més la suma de disciplines tècnicoartístiques diverses, va confluïr en tres grans fonaments de l'animació i del 3D digital: el desig de simular volum i moviment, l'acció d'alterar el plànol, i l'activitat divulgadora de la ciència i els seus resultats.

Paraules Clau:

imatge, evolució 3D, render, programari 3D, producció 3D

## INTRODUCCIÓN

Casi todos los seres vivos requieren del movimiento para sobrevivir, pero gracias a una extensa evolución artesanal y técnica solo los humanos hemos usado el movimiento como herramienta de expresión artística para representar personajes, exponer relatos y generar emociones.

A causa de esa evolución, ¿Cómo fue que pasamos de dibujar en oscuras cavernas a construir mediante geometrías digitales el trote de un feroz y ágil dinosaurio tridimensional?

Esta investigación explica la transformación de criterios, técnicas y resultados que científicos y artistas nos legaron para lograr simular formas tridimensionales. Así mismo, en los siguientes capítulos se demostrará que la curiosidad en los fenómenos de la naturaleza, junto con el intercambio académico, la investigación científica, la exploración libre de tecnología y el apoyo logístico (desde instituciones diversas) ocasionaron la extraordinaria transición de lo artesanal a lo sofisticado y automatizado de la animación y la imagen tridimensional actual.

Lo tridimensional es la presencia de cualidades de profundidad, alto y ancho, perceptibles por contraste de luz y sombra (percepción visual) o por volumen y forma (percepción táctil). El volumen es la capacidad de un objeto tridimensional para ocupar un espacio físico.

La imagen o el efecto 3D (siglas creadas por la industria del cine) refiere a las características tridimensionales que están simuladas mediante manipulación material, pictórica o electrónica, mostradas en un soporte perceptible, como una pantalla.

Animar es la acción de generar desplazamientos en espacio y tiempo para comunicar ideas manipulando la ubicación de un objeto o conjunto de ellos.

Como se verá en los siguientes capítulos, antes del siglo XV lo tridimensional fue considerado primero como una artesanía funcional de utilidad práctica; y luego, como una necesidad artística, de representación de lo físico y real.

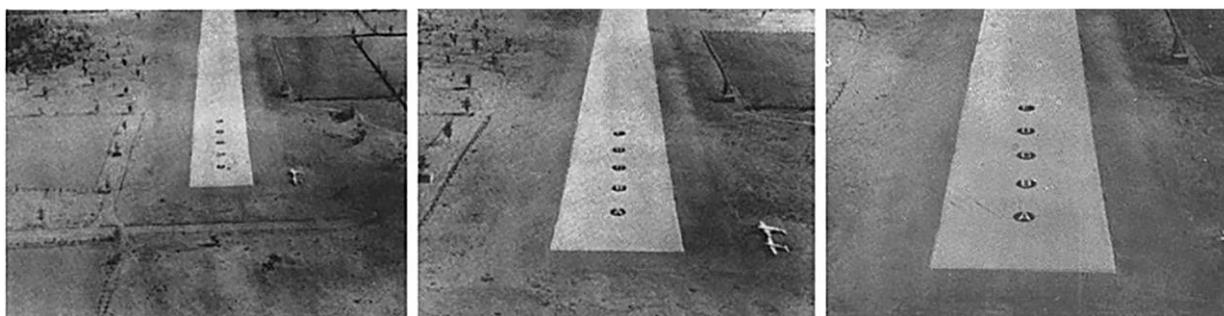
Fue en la década de 1940 cuando el estudio de la imagen tridimensional fue mucho más ampliado desde la ciencia y la técnica, primero desde una entidad gubernamental, y luego desde la academia. Allí intervinieron la óptica (el estudio de los órganos de la visión y de la medición de los estímulos lumínicos), la percepción visual (el estudio de la visión como una acción de interpretación y significado ante el entorno observado), la visión estereoscópica (la capacidad de algunos seres vivos de componer, en una sola imagen, lo captado desde cada ojo), los códigos de programación (instrucciones dadas mediante signos escritos a un computador) y los *softwares* (gran conjunto de instrucciones de código que un computador ejecuta cuando es activado).

A lo largo de este documento también se evidenciará la influencia de la industria del entretenimiento y sus exigencias narrativas, principales motivadoras del avance de las tecnologías 3D. Por ahora, sirve resumir cómo inició la colaboración (inicialmente dispersa) desde el gobierno estadounidense, la academia y los emergentes productores de cine para establecer al 3D como un inagotable recurso de narración.

En 1947, unos años después de finalizar la II Guerra Mundial (1939-1945), la Fuerza Aérea estadounidense promovió un extenso reporte cuyo objetivo era usar filmes, con convincentes representaciones de una superficie tridimensional, para entrenar y seleccionar a pilotos militares. Eso derivó en el reporte *Motion Picture Testing and Research: Report, No. 7* (Gibson, 1947), dirigido por un psicólogo y docente universitario estadounidense, con rango de teniente coronel, llamado James J. Gibson (1904-1979).

Las hipótesis que sirvieron de marco para ese reporte se resumen en los siguientes puntos: primero, las tareas visuales (como reconocer distancias) son propias de los pilotos durante los vuelos, por lo que es clave evaluar su eficacia. Segundo, ya que los pilotos militares aplican esfuerzo mental para discriminar objetos en el aire, se requiere de un método en psicología como base de análisis; tercero, el movimiento continuo y la sensación de dirección, ejecutado dentro de un área física (Gibson lo llamó *locomotion in space*) es un factor que *podría ser reproducido mediante filmes* para medir aptitudes de vuelo (Gibson, 1947, pp. 4, 5).

En otras palabras, la novedad de este reporte fue el proponer imágenes para representar (y simular) entornos de vuelo y así estudiar cómo los humanos aplican tareas específicas en esa simulación; es decir, al usar "imágenes como sustitutos de realidades visuales" (Gibson, 1947, p. 169). Las tareas que se proponían evaluar en los sujetos de estudio se categorizaron en las siguientes habilidades: detectar movimiento visual, juzgar distancias y cambios de velocidad desde el entorno simulado (Gibson, 1947, p. 7).



*Figura 1. Secuencia de tres fotogramas filmada antes de un aterrizaje. Fuente: Gibson (1947, p. 7)*

El detallado reporte en cuestión finalizó con un conjunto de plantillas de evaluación, además de algunos filmes de entornos (fig. 1) para el Programa de psicología de la Fuerza Aérea estadounidense de 1947. Luego de eso, Gibson retornó a la docencia y años después volcó su experiencia militar en su libro, *The perception of the visual world* (1950). Allí, Gibson se preguntó cómo los sentidos humanos captan e interpretan los volúmenes y las distancias del entorno, sus detalles finos o sus texturas con el objetivo de captar

conocimiento. Se basó en que la percepción es un proceso común y cotidiano que se da por hecho, pero que sería posible sistematizar para crear ciencia (Gibson, 1950, pp. 2, 4). Años después, los conceptos de Gibson calentarán la mente de ingenieros estadounidenses que desarrollarán los primeros códigos de programación para geometrías 3D observables en pantalla, a inicios de 1960.

La documentación generada por las ideas de Gibson y otros muchos teóricos pudo haber influenciado a nuevos estudios en óptica y percepción. Eso pudo coincidir con un nuevo efecto óptico popularizado en cines estadounidenses a partir de la década de 1950: la estereoscopia.

La visión estereoscópica ya era muy popular desde 1830 en Europa, gracias a la invención de visores en forma de artesanales anteojos, fabricados con cristal y madera. Eran usados para observar dos imágenes que contenían un ligero desfase óptico, similar a lo que ocurre con la distancia natural entre los ojos humanos, donde cada ojo percibe una ligera alteración de la posición en los objetos.

Su primer creador, el físico inglés Charles Wheatstone (1802-1875), fue uno de los primeros en intuir los mecanismos ópticos en cuanto a percibir profundidad desde dos imágenes superpuestas (Linton, 2023, p. 2). Nuevamente, en 1950, la estereoscopia se retomó como un artilugio novedoso con fundamento en la fotografía.

Otro inventor, el inglés William Friese-Green, retomó ese concepto, pero con mínimos resultados comerciales (Lewis, 2020). Luego, en 1922, dos directores estadounidenses, Nat G. Deverich y Harry y K. Fairall, crearon una película insonora basados en los conceptos técnicos de Wheatstone y Friese-Green. El filme *The Power of Love* (1922) obligó a los espectadores a usar unas ligeras gafas provistas con lentes de dos colores (rojo y verde) para poder observar, nuevamente, un desconocido pero novedoso desfase óptico entre las imágenes del filme. Ese intento pasó desapercibido comercialmente, por lo que la técnica y los equipos usados no fueron populares. Posterior a la II Guerra Mundial (1939- 1945) el efecto estereoscópico, abandonado en la década de los años 1920, tomaría un nuevo impulso en la década de 1950.

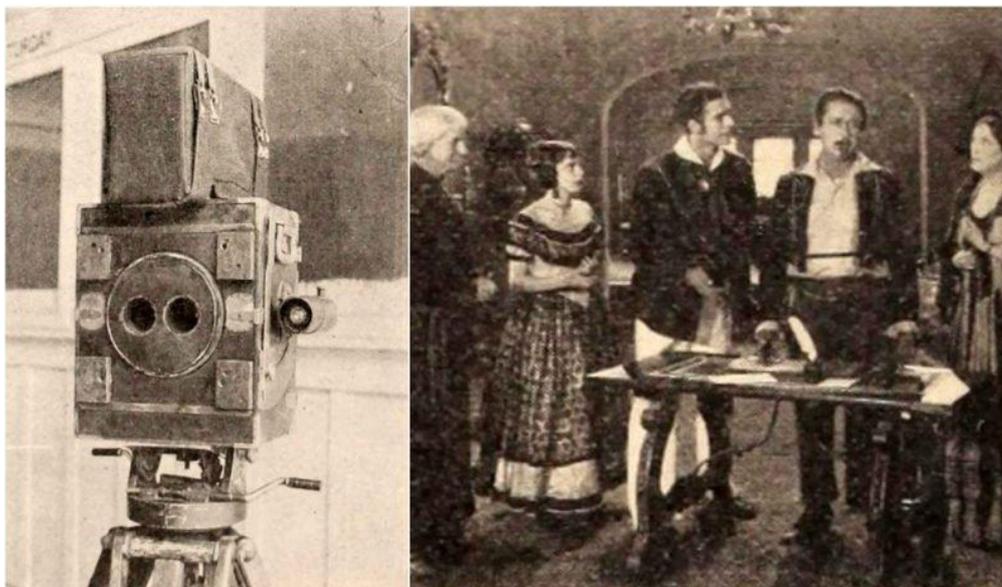


Figura 2. Izquierda, la cámara usada por los directores para el filme *Power of love* (1922). Derecha, un fotograma de la película. Fuente: Lewis, 2020.

Durante los años en que el profesor Gibson afinaba sus teorías acerca de la percepción tridimensional, en 1947, una empresa estadounidense llamada David White Co. produjo y comercializó una pequeña cámara filmica con triple lente, al que publicitaron como la cámara estéreo realista 3D (Seton Rochwite's Stereo-Realist 3-D camera). Sus usuarios comentaban que ese aparato generaba imágenes tan "reales, [que] se podían tocar" (Zone, 2012, p.9).

Un grupo de entusiastas coincidió con esa fascinación. Dos experimentados camarógrafos de cine, Friend Baker y Lothrop Worth, junto con un oftalmólogo, Julian Gunzburg y su hermano, Milton Gunzburg acordaron buscar financiamiento para construir un pesado armatoste al que añadieron tres lentes de 35mm. Lo llamaron la Cámara de Visión Natural (The Natural Vision) y lo presentaron ante la prensa local en 1952 (Biroc, 2020).

Luego de eso, desearon producir un filme con efecto estereoscópico. Iniciaron un proyecto al que nombraron *Bwana Devil* (Zone, 2012, p. 12). Durante esa producción los problemas mecánicos comunes eran que la pesada cámara Natural Visión debía ser acoplada a un elevador hidráulico. Y luego de múltiples pruebas aún era complicado ajustar sus lentes para evitar distorsión en las tomas (Zone, 2012, p. 12, 13).

Es posible que el inicial uso de las siglas 3D (derivadas de *three-D* o *3 dimension*) haya sido explotado por toda la industria del cine norteamericano y su rama publicitaria, con el objetivo de hincar la curiosidad del público al proponer que el 3D era más real y natural en comparación con una película sin ningún tipo de filtro añadido.

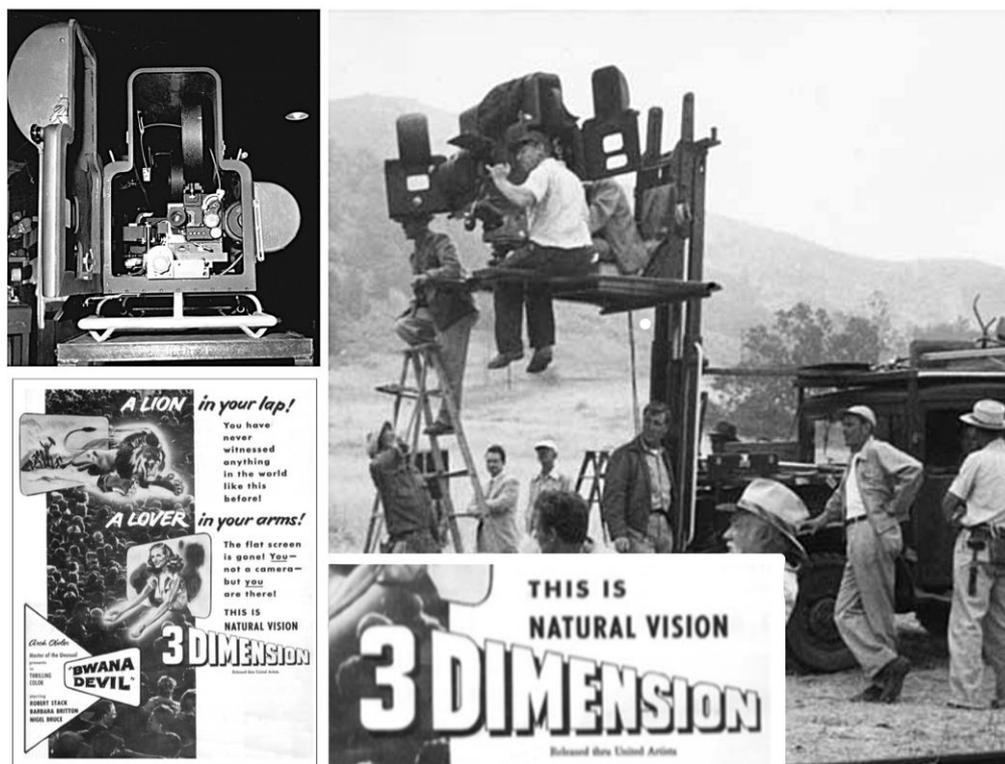


Figura 3. Arriba, izquierda. La cámara Natural Vision, construida por los hermanos Gunzburg, Baker y Worth. Abajo, póster de promoción para la película *Bwana Devil*. Imagen grande, derecha, registro de un día de filmación. Fuente: Zone, 2012, p. 6, 10, 13).

El filme *Bwana Devil*, dirigido por el director Arch Oboler, se estrenó en EE. UU. en 1952 con el público volcado a las salas de cine gracias a la retórica publicitaria. En el póster se prometía la experiencia de tener "un león en tu regazo" y "un amante en tus brazos", afirmando que "la pantalla plana se ha ido" (Zone, 2012, p. 6). Sin embargo, en algunos casos aplicar innovación tiene sus costos.

Debido al efecto de entintar las escenas con dos colores (azul y rojo, para que puedan ser captados por los lentes y generar el efecto de profundidad), muchas de las tomas no se mostraban nítidas. Lo desprolijo de la película no evitó comercializar su potencial. Luego de *Bwana Devil*, los hermanos Gunzburg junto a Baker y Worth formalizaron su proyecto como Natural Vision Corporation., construyeron más unidades y unieron intereses con la empresa Polaroid para crear gafas que resalten con más eficacia el efecto estereoscópico de las imágenes. Mientras que Arch Oboler se mantuvo obsesionado por ese tema, produjo dos películas más: *The Bubble*, de 1966, y *Domo Arigato*, de 1974.

En esa línea, entre 1974 y 1977 el psicólogo estadounidense Richard R. Rosinski<sup>1</sup> retomó estudios para entender el funcionamiento de la percepción ante imágenes con tridimensionalidad, especialmente en su libro *The development of visual perception* (1977). Pocos años después, a inicios de la década de 1980, nuevos

<sup>1</sup> Docente e investigador del departamento de Psicología de la University of Pittsburgh, EE. UU.

ensayos teóricos agregaron más comprensión en percepción óptica. Por ejemplo, al explicar cómo cada ojo percibe una perspectiva ligeramente diferente a causa de la separación natural entre ambos (llamada disparidad binocular<sup>2</sup>, la base óptica de la visión estereoscópica) (Schiffman, 2001, p. 224).

Llegado 1980, el efecto estereoscópico en películas emocionó a nuevos directores. Películas como *Friday the 13th parte III* (Paramount Pictures, 1980), *¡Comin' At Ya!*, (1981), *Rottweiler 3-D*, de 1982 y *Chain Gang*, de 1984, obtuvieron algo de popularidad gracias a lo innovador de la técnica (y a la exposición publicitaria) más que por el argumento narrativo presentado (Zone, 2012, p. 114).

Finalmente, con la llegada de la computadora personal a inicios de la década de 1990 junto a la gran base documental y fílmica lograda, la industria audiovisual estadounidense aplicó poco a poco la simulación de animación 3D (tratado a profundidad en los siguientes capítulos). Fue así como el estudio del efecto de tridimensionalidad alcanzó el siglo XX, primero estudiado desde la academia y luego aprovechado por el entretenimiento audiovisual.

En lo estético, entendido como la afectación placentera percibida en los objetos hacia los sentidos, cada evolución (artística y tecnológica) del 3D ha ido incorporando soportes, trazos y calidad en el resultado final de la imagen. Como se evidenciará más adelante, mucho antes del moderno *software* para modelado 3D, los artistas escultores y pintores ya habían intentado representar objetos del mundo real con una sensación de volumen, profundidad y relieve, sobre un soporte plano, con el objetivo de provocar placer y asombro.

Por otro lado, en los siguientes párrafos se hará un resumen de los textos que ya han repasado el tema de la evolución técnica, estética, o artística del 3D.

Un primer ejemplo de eso es *3D: History, Theory and Aesthetics of the Transplane Image*<sup>3</sup>, escrito por Jens Schröter<sup>4</sup> en 2009 y traducido al inglés en 2014. Según Schröter, él intentó llenar la falta de análisis históricos de los medios ópticos o de sus capacidades técnicas (Schröter, 2014, p. 3). Tomó como inspiración (y lo cita constantemente) la obra del ensayista estadounidense Jonathan Crary<sup>5</sup> y su libro *Techniques of the Observer*,

---

<sup>2</sup> Para entender cómo se aplica la disparidad binocular en la visión, intente el lector el siguiente ejercicio: coloque su mano cerrada a un codo de distancia frente a los ojos. Luego, observe su mano con ambos ojos abiertos. Ahora, cierre un ojo manteniendo el otro abierto y alterne la misma acción con el otro ojo. Debido al espacio entre cada ojo, una pupila captará una perspectiva diferente de lo observado. Es la combinación de ambas imágenes lo que produce una mejor sensación de profundidad y distancias cuando visualizamos el entorno que nos rodea.

<sup>3</sup> Originalmente publicado en el año 2009 y en idioma alemán como *3D: Zur Geschichte, Theorie und Medienästhetik des technisch-transplanen Bildes*, por la editorial Brill-Fink.

<sup>4</sup> Alemán, nacido en 1970. PhD, docente e investigador en tecnología y cultura. Fue profesor de multimedia en la universidad de Siegen. Hoy en día es docente de estudios de medios en la Universidad de Bonn (ambas universidades en Alemania).

<sup>5</sup> Estadounidense, nacido en 1951. Crítico de arte y ensayista, docente en la Universidad de Columbia, EE. UU.

publicado en 1992. Crary repasó los aparatos ópticos presentes en la Europa del siglo XIX y detalló su influencia en la cultura y sociedad, combinando análisis desde la filosofía, historia del arte y el arte moderno. Crary propone una "historia del observador" (Schröter, 2014, p. 5). En resumen, el trabajo de reseña histórica de los medios ópticos de Schröter abarca desde 1851 hasta finales de 1960, ampliando el trabajo de Crary al analizar cómo las primeras técnicas fotográficas de inicios del siglo XIX influenciaron en el conocimiento (y el autoconocimiento del propio cuerpo) a partir del uso cotidiano para entretenimiento (Schröter, 2014, p. 27).

Otra obra que reseñó una parte de la evolución en el arte de la animación es *Moving Innovation. A History Of Computer Animation*, de Tom Sito<sup>6</sup>, publicada en 2013. Si bien el autor admite que la historia de la animación digital es un tema "difícil de abordar en su totalidad"<sup>7</sup>, aporta que es válido volcar esfuerzos documentales serios para describir, en lo posible, una cronología completa que explique la combinación de profesionales, intereses técnicos y artísticos detrás de la animación y su industria, sin ser necesariamente una "desconcertante tormenta de siglas" incomprensibles términos para el lector (Sito, 2013, p. 2).

El texto de Sito cuenta con extensos testimonios, anécdotas y referencias fotográficas de primera mano. Inicia con una breve reseña del auge del cine estadounidense como importante medio de entretenimiento, entre los años 1914 y 1920. Analiza cómo un conjunto de inmigrantes "judíos inmigrantes de Europa Central [Louis B. Mayer, Harry Warner, Charles Fox, entre otros]" terminó siendo la fuerza productora e industrial norteamericana (Sito, 2013, p. 5). Posterior a eso, expone los autores, las tecnologías y las empresas dedicadas a la animación, desde inicios de la década de 1950, hasta inicios del año 2000.

Los trabajos doctorales que exponen la amplia evolución cronológica en 3D o de animación son escasos, debido quizás a que se espera que el formato apunte a un ámbito muy específico de los gráficos 3D digitales. Por ejemplo, en *La evolución de la personalidad del personaje en el videojuego de última generación a través de la aplicación del acting en la animación* (Hidalgo, 2022) el autor estudia la transformación de las técnicas de interpretación (iniciando con la escuela rusa de Konstantín Stanislavski, 1863-1938) en personajes animados para videojuegos. Hidalgo expone que la estética de esos personajes cambió "a medida que se desarrollaban nuevos dispositivos con mayor tecnología (...)" (Hidalgo, 2022, p. 56). El autor evaluó la transición a partir de valores como el realismo, la interpretación, los personajes, la adaptación del relato, entre otros.

---

<sup>6</sup> Estadounidense. Profesor de artes cinemáticas en la Universidad del Sur de California. Trabajó como animador en los filmes *The Little Mermaid* (1989), *Beauty & The Beast* (1991), *Aladdin* (1992), *The Lion King* (1994), *Who Framed Roger Rabbit* (1988), *Pocahontas* (1995), y *Fantasia* (2000), todas ellas producciones de la empresa productora Disney. Autor del libro *Drawing the Line: the Untold Story of Animation Unions from Bosko to Bart Simpson* (2006), University Press of Kentucky.

<sup>7</sup> Trad.: "The lack of a comprehensive history of CG up till now may be because it's a difficult subject to approach in its entirety". (Sito, 2013, p. 2, párr. 6).

Otro ejemplo de temática similar es *El modelo de producción industrial de animación 3D estadounidense* (Viñolo, 2017). Allí el autor buscó extraer un modelo de producción haciendo un repaso por los hitos fílmicos del cine estadounidense. Viñolo acuerda que la animación sí puede presentar rasgos según el contexto histórico en el cual ha sido producida, tal cual ocurre con expresiones pictóricas o de literatura (Viñolo, 2017, p. 41).

Otras investigaciones muestran un extenso repaso cultural en animación regional. Por ejemplo, en *Animando a Colombia. Hacia una historia cultural de la animación colombiana (1950–2000)* (Cruz, 2022), el autor hace una reseña histórica que enmarca a la industria de animación colombiana, entre 1950 y 2000. Allí establece categorías y una lista cronológica de los trabajos, además de determinar cuán conectada está esa industria con las realidades sociales de Colombia.

Basados en los documentos anteriormente expuestos, la propuesta dada en este documento es pertinente por dos necesidades: comprender las fases de transformación de la imagen 3D de una técnica a otra, sin depender únicamente de referencias modernas; y entender las limitaciones o alcances que cada técnica presentó según su tiempo de producción, puesto que eso permitiría añadir nuevas aportaciones o retomar las más anteriores para revalorizarlas.

## JUSTIFICACIÓN

Este estudio se refiere al estudio de la evolución técnica en animación 3D aplicada a la narrativa audiovisual, ya sea para películas o videojuegos. La importancia de eso lo resumimos en los siguientes puntos.

**Aprovechar la evolución técnica:** Algunos fundamentos en animación 3D, como la teoría de la persistencia retiniana y los algoritmos para sombreado digital fueron estudiados desde cuatro grandes campos: óptica (que nos dio la fotografía), percepción visual (que nos dio el cine) aritmética y electrónica (ambas nos dieron los códigos de programación y las computadoras). Todo eso abriendo el siglo XIX. Si hoy en día esos cuatro ámbitos siguen siendo usados para investigaciones en imagen 3D, es necesario revisarlos al detalle para aprovechar el camino recorrido e incentivar a nuevos estudios.

**El apoyo institucional:** A mediados del siglo XX el gobierno de EE.UU. estuvo alerta por la aparición de nuevas guerras. Fue la comunidad científica de ese país quien propuso al gobierno financiar, a gran escala, tecnología e investigación. El argumento científico fue que ambos (ciencia y saber técnico) serían el futuro escudo y motor industrial para Norteamérica. Por lo que será clave entender cómo ese apoyo promovió la imagen 3D y cómo empujó el desarrollo técnico y artístico en EE.UU.

**Acceso a medios audiovisuales:** Todo audiovisual ya no está limitado por su acceso. Hoy cada persona con un teléfono móvil selecciona en internet imágenes, películas y noticias, a cualquier hora del día. La imagen es comunicación y expresión universal que debe ser aprovechada con innovación constante.

**Multicolaboración profesional:** En este siglo XXI lo interdisciplinario es una actividad ya asentada. Pero en los inicios de la imagen en movimiento (Europa y EE.UU., siglo XVIII) y durante el desarrollo de los primeros algoritmos para 3D (EE.UU., mediados del siglo XX) el trabajo en conjunto, competitivo, pero no mezquino, de inventores y científicos con ánimos artísticos nos legaron las técnicas para 3D actual. La historia relatada en este documento demostrará que ese intercambio deberá seguir vivo si lo que se aspira es innovación trascendente y práctica.

**Insertar cultura e historia en audiovisuales 3D:** La narrativa de ficción y la publicidad han sido beneficiarios directos de la imagen digital. Sin embargo, lo cultural e histórico también deberían ser fuentes de relato audiovisual. En relación a eso, en el capítulo IV se detalla paso a paso el desarrollo de un caso específico en animación 3D interactiva cuyo relato, personaje y ambientes fueron inspirados en la cultura amazónica huaorani<sup>8</sup>.

---

<sup>8</sup> Según el Diccionario histórico de la Lengua española [<https://www.rae.es/dhle/huaorani>], huaorani es un adjetivo relativo a esa etnia amazónica. La Confederación de Nacionalidades Indígenas del Ecuador [<https://conaie.org>] nombra a esa misma etnia como waorani o huaorani. En este documento usaremos el adjetivo huaorani definido por la RAE (y por bibliografía especializada) para identificar a esa comunidad.

## HIPÓTESIS

Esta investigación examina la extensa evolución de la imagen 3D animada. Esa indagación inicia a partir de sus primeros fundamentos prácticos y teóricos, y alcanza la revisión de las nuevas vías de producción digital fotorrealista en cine y videojuegos.

Las siguientes hipótesis se plantearon desde tres criterios: el primero, desde la experiencia profesional en producción 3D en Ecuador. Segundo, en el ejercicio docente y académico del autor de este documento. Y tercero, al considerar la brecha existente en cuanto a producción audiovisual 3D entre regiones, ocasionada en algunos casos por las restricciones económicas (especialmente en Latinoamérica) para proyectos 3D a escala comercial, se plantean cuatro hipótesis:

La evolución técnica de la imagen tridimensional estuvo potenciada por los primeros equipos fílmicos comerciales a finales del siglo XVIII e inicios del siglo XIX. Luego, ese nuevo ejercicio artístico y narrativo motivó a emergentes creadores a buscar nuevas formas de alterar las escenas mediante animación, con trucos de edición, como el *stop-motion*.

El píxel fue la primera tecnología de creación para 3D digital. Luego, el uso de equipos electrónicos se fundamentó en el píxel hasta lograr ser manipuladas mediante *software*, lo que conllevó a nuevas técnicas de modelado, pintura y animación digital realista.

La producción de animación con realismo 3D digital para paisajes, objetos, texturas y personajes (incluso aquellos anatómicamente precisos) empezó a ser viable con la oferta de *software* libre y con ordenadores de gama intermedia y alta, siempre que se apliquen estrategias para reducir variables de costo y tiempo de producción, como el uso de librerías de *software* y objetos 3D premodelados y gratuitos, además del uso de flujos de producción ordenados y eficaces.

Finalmente, la presencia de una industria digital regional (en cine o videojuegos) tampoco será condición única para que cualquier persona con los conocimientos artísticos adecuados aprenda a usar y crear imágenes y animación 3D.

## OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

### Generales

Desarrollar a partir de la revisión de la documentación histórica y técnica encontrada, una secuencia específica que demuestre el paso evolutivo de la imagen 3D, desde la teoría hasta convertirse en una expresión artística cultural.

Destacar y documentar autores, conceptos y ensayos derivados de la creación 3D desde sus inicios hasta los últimos avances alcanzados en modelado, texturizado, articulación y *render* para animación 3D en cine y videojuegos.

Analizar la imagen 3D desde lo estético en cuanto a estilo, forma y sus variables.

### Específicos

1. Destacar las posibilidades creativas alcanzadas por la animación 3D a partir de la investigación desarrollada en base a los procedimientos técnicos y requerimientos artísticos aplicados en el audiovisual contemporáneo.

2. Determinar desde un análisis estético la existencia de diferencias y patrones comunes en la imagen 3D, explicando aportes, ventajas y limitaciones.

3. Establecer vías de conocimiento en relación con los procesos creativos desarrollados evolutivamente con animación 3D, resaltando las ventajas y limitaciones que ofrecen estos procesos tecnológicos y la percepción estética para la creación artística en cine y videojuegos.

4. Desarrollar dos casos prácticos de producción en animación 3D, aplicando más de una técnica hallada en la evolución técnica y estética revisada. Explicar su importancia en ámbitos educativos.

5. Contribuir desde la práctica al desarrollo de un flujo de trabajo paso a paso en la producción 3D para cine y videojuegos, que no requiera excesivos costos o períodos de producción y que sea aprovechable para pequeñas empresas o instituciones educativas con recursos económicos limitados.

## METODOLOGÍA

Se validó cualitativamente la bibliografía necesaria para esta investigación desde tres ámbitos de conocimiento: la manipulación artística para simular tridimensionalidad sobre planos, los estudios teóricos en percepción óptica de la imagen y el uso de imágenes para animación.

### Planteamiento para la revisión de la evolución técnica del 3D

Fue necesario delimitar las áreas de estudio debido a su amplitud. Se excluyó de esta investigación a las aplicaciones en medicina, medicina forense, aeronáutica y arquitectura. La exploración de documentación estuvo centrada, en lo general, desde la manipulación material y digital para generar simulación 3D y animación para cine y videojuegos.

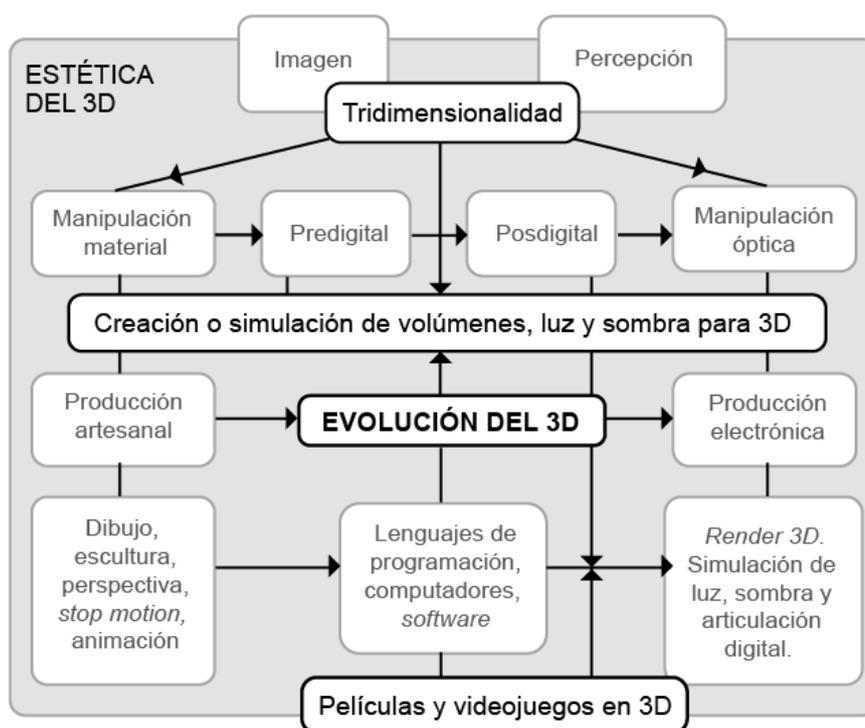


Figura 4. Ubicación de la investigación y ámbitos hallados según bibliografía revisada. Elaboración propia.

Esta investigación aprovechó, desde sus inicios, el criterio exploratorio-descriptivo al indagar en las relaciones profundas entre períodos, autores, técnicas (con sus alcances y limitaciones) y eventos claves, enmarcados en la simulación 3D mediante animación artesanal y digital. Eso permitió comprender "quién y qué estuvo involucrado (...) y dónde ocurrieron los eventos en relación con los fenómenos de interés." (Caelli, Ray, Mill, 2003. Citado por Hunter, McCallum, Howes, 2019, p. 2). Similar a una profunda indagación que responda a cómo, cuándo, dónde y porqué de un fenómeno estudiado (Ayton, 2023).

También fue considerado el método de investigación cualitativa a través de Internet (*Qualitative methods research through the internet applications and services*), (Nicolaou, 2021). Este método enfatiza que, durante el procedimiento de búsqueda y navegación mediante webs e hipervínculos, el investigador debe seguir manteniendo un enfoque crítico con las fuentes de consulta y los recursos documentales hallados, examinándolos al detalle aún luego de haber sido previamente revisados y recopilados, incluso desde más de un computador y navegador web para que nuevas búsquedas no muestren resultados sesgados a causa de la influencia de un solo algoritmo de búsqueda (Nicolaou, 2021, pp. 3-4).

### **Planteamiento de estudio de casos**

La evolución técnica y estética revisada en este documento sirvió también para captar referencias y reproducirlas en dos proyectos de animación 3D, a manera de estudio de caso práctico, aportando con evidencia empírica del trabajo técnico y artístico, paso a paso, desde dos diferentes y extensos flujos de trabajo y en conjunto con *software* pertinente para 3D y animación. En ambos ejercicios fueron generadas de inicio a fin la morfología de los personajes, el modelado de ambientación, superficies y texturas, la simulación de articulación y locomoción, efectos especiales varios, entre otras características.

El estudio de casos permitirá exponer y describir las complejidades únicas de un fenómeno, en este caso, directamente desde la elaboración 3D digital desde dos flujos de producción, de inicio a fin (Gerring, 2004, pág. 341; Yin, 2003, pág. 1; George y Bennett, 2004, pág. 5; citados por Schawndt, Gates, 2018, p. 602). El objetivo es relacionar el proceso actual en animación 3D y evidenciar al detalle sus nuevos alcances a partir de la práctica real, comparando ambos casos con las técnicas de elaboración de períodos anteriores.

En resumen, para el estudio de casos serán ensayados al detalle dos flujos de trabajo para producción 3D. El primero muestra un realista ambiente de bosque tropical que enmarca las acciones interactivas de una mujer cuyas características de vestimenta y rasgos representa a la cultura amazónica huaorani, ubicada en el área oriental de la República del Ecuador. El segundo proyecto comprende la elaboración de principio a fin de un robot basado en la cultura anime japonesa junto con un ambiente acorde al género de ciencia ficción. A partir de ambos ejercicios de producción serán detallados la preparación del concepto o la documentación referencial para crear el personaje y el ambiente, las técnicas de modelado 3D y pintura digital, la animación para generar locomoción, el agregado de efectos especiales y el *render* final.

### **Planteamiento para el análisis estético en animación 3D**

La imagen digital también puede ser analizada desde lo estético. No con valores subjetivos, sino desde sus cualidades de forma y estilo.

La imagen digital contiene elementos diversos: desde el código usado para ser generada, hasta las texturas captadas o insertadas en las imágenes que simulan el mundo real. Estos elementos pueden ser

alterados, intercambiables y reconstruidos hacia otras imágenes. Gracias a eso es posible que la alteración digital "facilite el engaño espacial y de perspectiva de la percepción" (Fracalanci, 2010, p. 13).

Gracias al *software* usado para crear imágenes es posible simular los procesos manuales humanos y físicos (Kongyijie, Hyunsuk, 2023, p. 351), como el trazo de un lápiz, la textura dada por un tipo de brocha, la luz sobre un tipo de material.

Esta investigación emplea el método de morfología estética para reflexionar en las características diferenciadoras de forma y estilo de los productos artísticos contenidos en 3D animado y también para responder a "por qué un método de producción continúa desarrollándose (...)" mientras "otros son abandonados"<sup>9</sup> (Wikayanto, et al., 2023, p. 399).

La morfología estética es un conjunto de variables de análisis ideadas por Thomas Munro (1943), (citado por Wikayanto, et al., 2023, p. 396) usadas para identificar, describir, comparar y analizar los valores de forma, contenido y estilo (o su combinación con otros estilos) mediante observación metódica.

La estética morfológica permite analizar las características de una imagen (estática o animada) desde dos grandes dimensiones: estilo y forma. Un estilo "combina, modifica, adapta, adopta o influye en una o más formas o estilos de referencia (...)" obviando el juicio estético subjetivo, casi siempre basado en gustos o identificaciones personales (Wikayanto, et al., 2023, p. 397), pero sí reflejando las motivaciones internas "del propio creador, grupo o período" (Wikayanto, et al., 2023, p. 399). Mientras que la forma es la estructura percibida cuyo propósito estético es único para cada imagen.

Desde el criterio de la forma se derivan dos subconceptos: elementos formales y de contenido. Desde los elementos formales se ramifican las variables de diseño de animación, del sonido y de las características del movimiento. Y desde el contenido, derivan análisis en aspectos como el relato y características narrativas del personaje.

Para Wikayanto y colaboradores (2023) este tipo de análisis resaltan las diferencias culturales, narrativas y estilísticas de las imágenes. Una razón para ese análisis es porque muchos de los rasgos estilísticos estarían sufriendo una homogeneización a causa de la globalización<sup>10</sup> (Wikayanto, et al., 2023, p. 397) y por el fuerte impacto de marketing y de taquilla desde gigantes y financiados estudios de producción fílmica animada, cuyos estilos suelen tomarse (por otros creadores) como única referencia global.

---

<sup>9</sup> El texto original expresa: "Thus, the history of film aesthetics includes not only the study of directing, filmmaking styles, and the use of background sound in films but also why one production method continues to develop/be used by film creators over time while others are abandoned." (Wikayanto, et al., 2023, p. 399).

<sup>10</sup> En el libro *Globalization and the Challenges of Public Administration* (Khan, 2018) se define globalización como una integración mundial, sin barreras, mediante tecnologías de comunicación, mercados, lenguaje, conocimiento o cultura, todo en común (p. 8).

Según el criterio de Munro, forma, contenido y estilo refieren a lo siguiente: la forma, a la organización espacial de los elementos más simples; el contenido, al mensaje o significado; y el estilo, a los rasgos resultantes de la combinación de forma y contenido, cuya expresión final será diferente para cada imagen (Wikayanto, et al., 2023, p. 397). Por lo que evaluar la estética con esta metodología evitará valorarlas desde dualidades subjetivas de bello-feo, estético-antiestético.

A continuación, se resumen los parámetros cualitativos del método de morfología estética usados para el análisis de las imágenes basadas en 3D animado, hallados en la evolución técnica contenida en este documento. Al final de cada capítulo se insertará una sección dedicada a ese análisis.

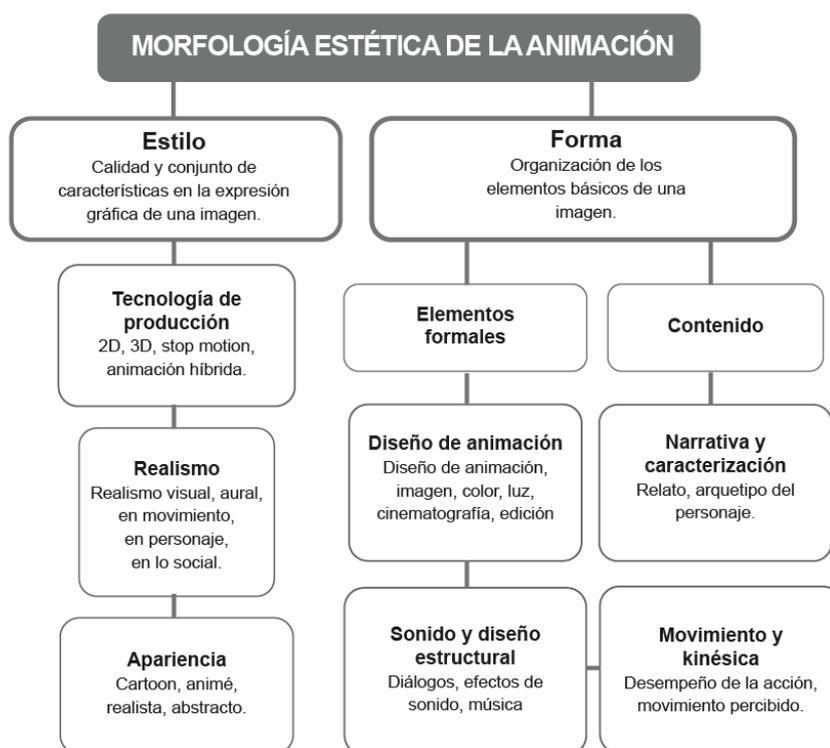


Figura 5. Basado en Wikayanto, et al., 2023, p. 412

En cuanto a la recolección de documentación para esta investigación fueron seleccionadas fuentes bibliográficas que detallan, desde el aval de una casa editorial especializada, eventos, autores, posibles fechas, junto con evidencia textual y de imágenes que expongan la aplicación de dibujo, escultura o perspectiva para simulación de efectos tridimensionales en un soporte plano y luego mediante computación y *software*.

Se obtuvieron fuentes documentales de segunda mano, especialmente descargados o comprados desde la Internet. Las fuentes de segunda mano refieren a trabajos investigativos o de recolección de información ya generada por otros investigadores o autores. Eso obligó a recopilar una mayor variedad de fuentes secundarias de calidad para obtener una mayor amplitud temática (Kothari, 2004, p. 111) y para evitar

sesgos, como el dar por hecho que solo artistas estadounidenses crearon animación para entretenimiento, o simulación 3D para relatos de ficción a inicios del siglo XX.

Los recursos de segunda mano revisados (casi todos en idioma inglés) fueron libros y revistas especializadas, biografías, documentos de repositorios académicos, sitios webs especializados (como los pertenecientes a museos o repositorios de revistas de hace más de 20 años, con temática tecnológica), video entrevistas y entrevistas registradas por medios escritos. Fue necesario revisar un conjunto de documentación editorial y académica con más de 20 años de haber sido publicada. En muchos otros casos se debió adquirir libros de editoriales especializadas en tecnología o historia de la tecnología, además de biografías de personajes relevantes en la historia del arte, de la imagen, o de ensayos en arte y tecnología. Algunos documentos académicos debieron ser obtenidos mediante suscripción debido a que la muestra gratis se mostraba incompleta. Fueron obviados documentos de libre descarga como libros de autopublicación (muchos carecían de rigor documental o de citas). En casos muy necesarios se aprovechó de entrevistas escritas o audiovisuales desde medios digitales diversos; por ejemplo, cuando un relevante profesional 3D de los últimos 20 años explicaba sus técnicas, o cuando un profesional programador de las décadas de 1970 era entrevistado.

Luego de obtener y revisar esa documentación fue posible la reconstrucción en forma de secuencia lógica de eventos. El correcto orden en el tiempo fue necesario para establecer cuándo un evento (artístico o técnico) tuvo incidencia importante hacia otro evento posterior. En algunos casos esa influencia tuvo una brecha de décadas o siglos. Por ejemplo, es posible que el fenómeno ahora teorizado como de persistencia retiniana haya sido intuitivo (y brevemente descrito) en Europa primero por el pintor italiano Leonardo Da Vinci, entre 1485 a 1515, y por físico inglés Isaac Newton, en 1704<sup>11</sup> (una distancia de casi 219 años).

Un desafío para obtener la documentación fue la brecha de distancia y tiempo. Por ejemplo, muchos repositorios digitales de universidades estadounidenses sí cuentan copias digitales de documentación académica de inicios de la década de 1960, época en la cual los primeros códigos de programación fueron usados para generar geometrías 3D en pantallas. Sin embargo, mucha de la documentación académica de esos años solo está disponible en los repositorios físicos de esas instituciones.

Para la documentación de *hardware* técnico usado en la producción de animación y 3D posterior a las décadas de 1980, fueron revisadas revistas digitales especializadas en computación o electrónica. También fueron útiles los repositorios digitales de revistas temáticas, como la *Whole Earth Catalog* (<https://wholeearth.info>), publicada entre 1968 y 1972 en EE. UU., y de la revista *ComputerWorld*, en la que ciertas ediciones de la década de 1980 están disponibles en el sitio web <https://books.google.es>.

Ciertas fuentes halladas apuntaban más a lo técnico que a lo histórico. Por ejemplo, en el libro *Stop motion, Craft skills for model animation*, por Susannah Shaw (2008), solo al inicio del capítulo primero da un muy

---

<sup>11</sup> Para más contexto, el lector puede revisar el capítulo I de este documento.

breve antecedente de los primeros directores de películas que usaron *stop motion* (Max Fleischer, en 1914; Ladislav Starewitch, en 1927; Willis O'Brien, en 1925, entre otros). Todos ellos ya reseñados a profundidad en los siguientes capítulos del presente documento. El resto de los trece capítulos ahonda en el equipo y herramientas necesarias, en la creación del relato, en la elaboración de los muñecos articulados, en el diseño y composición de la escena, en el sonido, en los mecanismos de articulación, entre otros muy necesarios tópicos para crear animación 3D moderna, artesanal y digitalmente.

Finalmente, para un estudio de casos se elaborarán dos ejemplos prácticos (personaje femenino interactivo y robot, expuestos al detalle en el capítulo IV) y relacionando ambos procesos con las tecnologías reseñadas en este documento. Allí también serán explicados los usos de *software* para producción 3D, como Maya (Autodesk), ZBrush (Maxon), Adobe Substance Painter, Adobe After Effects, Metahuman (Unreal Engine) y el motor de *render* Unreal.

## **ANTECEDENTES**

La superficie plana de una pintura, el soporte de un dibujo o la pantalla de una consola de videojuegos pueden mostrar una simulación tridimensional cuando las texturas, volúmenes, luces y sombras de sus imágenes dan la sensación visual de ocupar espacio, longitud y profundidad.

Muchas civilizaciones que nos antecieron sí buscaron ese efecto 3D en sus artesanías, pero no siempre con intención estética explícita. Es decir, es posible afirmar que en la antigüedad lo tridimensional inició cuando hábiles artesanos manipularon materia moldeable y pictórica para fines prácticos cotidianos; y luego, con el pasar de los siglos, esa misma manipulación tuvo más de una intención artística.

El ejemplo más antiguo de lo mencionado fue hallado en vestigios de la cultura del Valle del Indo (3000 a.C. al 1500 d.C.) ubicada en el extremo sur de la actual India. Sus habitantes lograron una regulada forma y función de sus artefactos al usar patrones escalables de diseño. En otras palabras, elaboraron muchos de sus objetos mediante estrictos formatos de producción. Por ejemplo, si una calle mostraba una unidad de ancho, otra tenía dos veces esa unidad. Lo mismo sucedía con los ladrillos usados para construir las casas (Rao, 2019, p. 2).

Esa cultura fue la primera en alterar el plano de una superficie para crear objetos según necesidades de organización social. Una forma de transformar un plano rígido es crear relieve. Eso es logrado al rebajar mediante cincelado (picar y remover mediante punzones de acero la piedra o la madera) ciertas zonas, para luego dejar otras intactas. Eso permite que la luz produzca sombras y variaciones de tono en los desniveles de lo que antes era un plano uniforme.

Los artesanos del valle del Indo usaron esa técnica en sellos datados en el 1900 a.C., elaborados en roca de esteatita, un tipo de roca gris de grano fino y fácil de tallar. Uno de esos relieves muestra la imagen de un búfalo con varios símbolos alrededor. Su reducida área (3 cm por 1 cm) y una forma ovalada en la cara posterior (adaptable a la mano humana) da cuenta que posiblemente fue usado para marcar objetos o papiros (MET Museum, 2023).

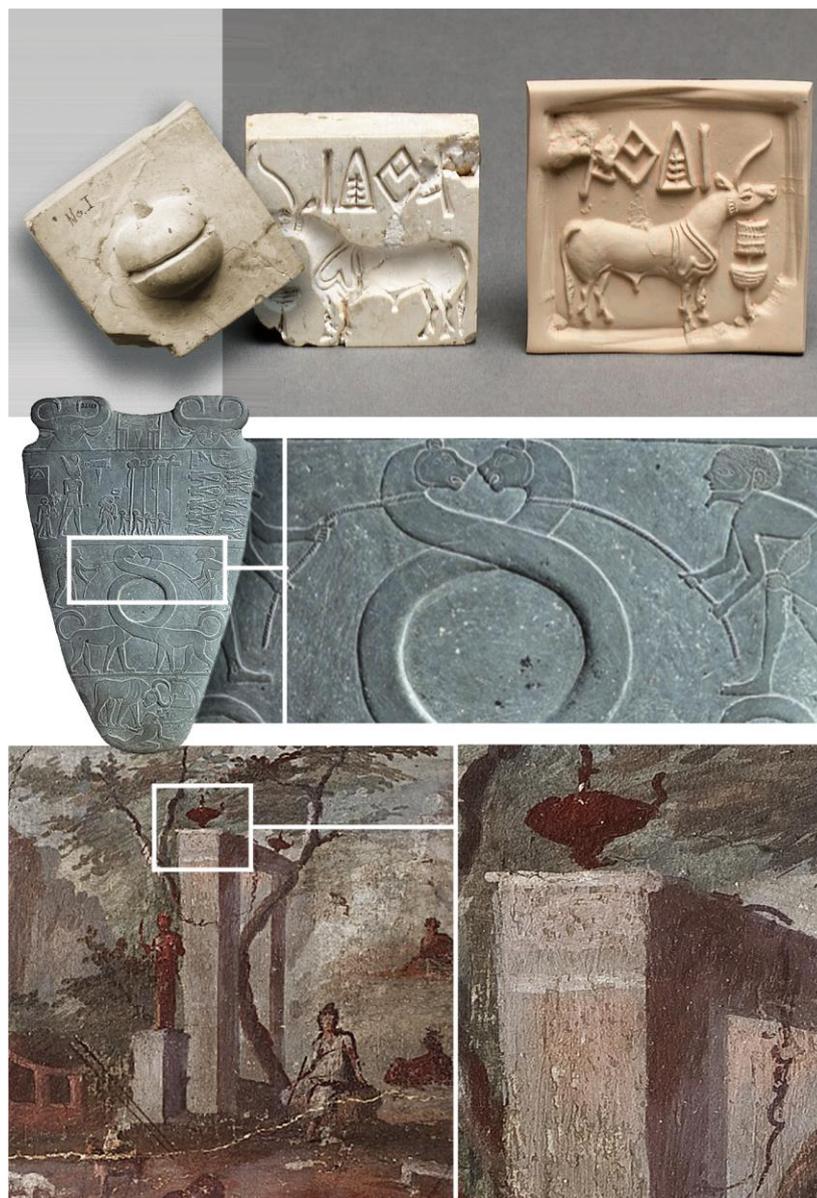


Figura 6. Sello del valle del Indo, esquila egipcia y fresco romano. Fuente: Rao, 2019; MET Museum, 2023; Brooks, 2017

Otras culturas usaron ampliamente el relieve como forma de celebrar lo divino o para registrar las acciones de sus gobernantes. Por ejemplo, los egipcios antiguos alteraron el plano de las lápidas de piedra (o estelas) para crear gigantes murales o vasijas decorativas. Un ejemplo de eso es la Paleta del (Rey) Narmer, con 63 cm de altura, elaborada con roca suave de sedimento (limolita), fechada en el 3100 a.C. (Brooks, 2017).

El relieve en planos rígidos no fue la única estrategia para crear sensación visual de volumen. Anónimos artistas romanos del siglo I usaban tonos oscuros en frescos<sup>12</sup> para resaltar las caras sombreadas de algunas imágenes y dar así una ilusión de profundidad. Un ejemplo es el fresco *Paris en el monte Ida* (fechado

---

<sup>12</sup> Técnica pictórica cuyo soporte es una mezcla de yeso húmedo, arena y goma, untados sobre una pared plana y que al secarse es susceptible de aplicarle color.

entre el siglo I al 37. d.C., de autor anónimo), hallado en Pompeya (Roma) y hoy alojado en el Museo Arqueológico Nacional de Nápoles (Brooks, 2017), (Google Arts & culture, 2023a).

Así mismo, en el siglo I d.C., en el auge de la escultura griega y romana (484-425 d.C.), fue común combinar pintura y accesorios moldeados para representar escenas con más de una señal convincente de relieve, volumen y profundidad sobre un plano. Uno de tantos ejemplos<sup>13</sup> es una obra de autor desconocido, fechada entre los años 62 a 79 d.C., hallada en Pompeya (Roma), con 2.85 m de ancho por 1.5 m de alto. Allí se muestran dos escenas cuyos marcos de yeso y otros detalles proyectan sombras reales, pero fusionadas con imágenes pintadas que simulaban volúmenes y perspectiva (Google Arts & culture, 2023b).



*Figura 7. Fresco con combinación de moldeados y pintura. Fuente: Google Arts & culture, 2023b*

Tiempo después, entre los siglos XIII y XV en Italia, élites de artistas devenidos en investigadores en óptica establecieron las primeras reglas de la perspectiva. Este efecto óptico es creado por un invisible cono formado por líneas diagonales (llamadas puntos de fuga) nacidas desde cualquier punto en todo horizonte visible. El efecto visual ocurre cuando los lados, los ángulos y las rectas de los objetos ubicados en ese cono parecieran encajar allí cuando es observado. El término perspectiva deriva del latín *prospicere* (mirar hacia delante, mirar lejos), (Gómez da Silva, 2009, p. 538).

---

<sup>13</sup> Anónimos pintores romanos, concedores de la técnica al fresco, también ensayaron detallada perspectiva. Ejemplo de eso son las pinturas de las paredes de la villa Fannius Synistor (fechada entre 50 al 40 a.C.), ubicada en la ciudad de Pompeya. Ejemplares de esas pinturas están expuestos en la galería 165 del Museo Metropolitano de Nueva York, EE. UU. <https://www.metmuseum.org/art/collection/search/247017>

Basados solo en la observación y en el ensayo mediante dibujo y pintura, los siguientes artistas europeos estudiaron mucho más a profundidad los efectos visuales de la perspectiva, gracias en parte al estudio del arte clásico griego. El más referenciado es el arquitecto Filippo Brunelleschi (1377-1446) quien la fundamentó en base a estudios geométricos. También la documentaron los artistas Masaccio (1401-1428), León Battista Alberti (1404-1472), Michelangelo Merisi da Caravaggio (1571-1610), Leonardo da Vinci (1452-1519), Peter Paul Rubens (1577-1640) y Jacopo Chimenti da Empoli (1551-1640) (Brooks, 2017). Todos estuvieron interesados en ensayar, publicar y usar métodos para pintar volúmenes y perspectiva en lienzos. Lo mencionado hasta aquí demuestra que, siglos antes de los píxeles en pantalla, la ilusión de relieve nació de alterar materiales; y luego, de un deseo inmediato de mostrar la realidad sobre un soporte uniforme.

Lo anterior es válido para dar contexto y explicar los posibles inicios en la representación artística del volumen natural de las formas y objetos. Como se verá, la historia de la imagen 3D es un conjunto de carriles temáticos, desde lo artesanal, técnico y artístico, que en algún momento coinciden. Los desafíos desde esta investigación son identificar y explicar cómo y cuáles fueron los resultados de esa intersección.

A simple vista, la evolución de la imagen y de la animación 3D debería revisarse desde la aparición del píxel como mediador visual de imágenes en pantalla, entre 1965 y 1978 (Lyon, 2006). Pero eso sería incompleto. Desde el primer registro de muñecos articulados en el antiguo Egipto (430 d.C.) hasta el siglo XXI hay casi dos mil años. Y desde los artefactos ópticos con figurines en secuencia de 1829 hasta hoy, septiembre de 2023, hay 194 años de historia tecnológica. La línea de tiempo de la animación 3D es extensísima, pero vale el esfuerzo de revisarla para comprender más allá de lo técnico.

Es desafiante recorrer cada hito histórico en cualquier ámbito de investigación, pues el rigor de la indagación académica lo exige. Sin embargo, son escasas las obras con documentación formal y rigurosamente citadas, publicadas exclusivamente entre los años 2019 a 2023 y que permitan entender el contexto histórico y técnico de la animación 3D mundial.

Un libro reciente en atención a la imagen animada 3D es *The Cinema in Flux: The Evolution of Motion Picture Technology from the Magic Lantern to the Digital Era* (Springer, 2021), de Lenny Lipton. Solo el último capítulo (de 83 secciones) llamado Digital Projection and 3-D Converge (Lipton, 2021, p. 725) reseña las primeras proyecciones 3D en cines. Y de la bibliografía para ese apartado, solo el libro *3D Filmmaking: Techniques and Best Practices for Stereoscopic Filmmakers*, de Celine Tricart, (2017) es de más reciente publicación.

Otra obra reciente es *Computer Graphics and Computer Animation: A Retrospective Overview* (Carlson, 2017), elaborada por la Universidad de Ohio, EE.UU. Este es un documento gratuito y en línea que referencia la historia de la imagen digital en EE.UU., desde el siglo XIX hasta inicios del siglo XX. El documento contiene enlaces a otros documentos, videos y sitios web según el tema abordado.

Una publicación muy citada en animación digital y 3D es *Animation Essentials*, de Andy Beane (Wiley, 2012). El primer capítulo explora la animación 3D desde las décadas de 1960 hasta el año 2000. En el capítulo 2 introduce los conceptos de preproducción, posproducción, modelado, texturizado, efectos visuales, iluminación y similares, que luego serán ampliados en extenso en los capítulos 3 al 7 del libro mencionado.

En lo regional también se ha reseñado a la imagen digital desde el siglo XX. En *História da animação brasileira* (Prieto, 2008, p. 3) se revisa a *Kaiser*, de Álvaro Marins, la primera animación 2D brasileña, mostrada en cines en enero de 1917.

Otros ejemplos no académicos, pero más accesibles, son los esfuerzos de divulgación en escuelas de arte en EE.UU. al mostrar en línea el legado del entretenimiento 3D norteamericano. Por ejemplo, el instituto de enseñanza *InFocus Film School* da un extenso contenido histórico (Lin, 2023), junto a nombres de autores y vínculos a videos. Pero muchas de sus referencias carecen de fuentes bibliográficas.

Por otro lado, y a manera de introducción a la estética, se tiene que fueron las tradiciones orales griegas del siglo VIII a.C. las que ya insinuaban la existencia de una cualidad (especialmente al contemplar al cuerpo humano) que afectaba en diversos niveles a las emociones de quién observaba. Por ejemplo, en una sección de la obra griega *La Ilíada* (alrededor del siglo VIII a.C.) es mencionado que el personaje Paris, recostado, "(...) destila belleza en su cuerpo y su vestido. No parece volver del combate, sino preparado para bailar o reposando tras una danza" (Canto tercero, párrafo 390<sup>14</sup>) (Museo Nacional del Prado, 2017, min. 2.55). En cambio, en la misma obra y en otro párrafo es descrita la apariencia de un guerrero como " (...) el hombre más feo llegado al pie de Troya. Era patizambo y cojo, tenía los hombros encorvados y contraídos sobre el pecho (...)" (Museo Nacional del Prado, 2017, min. 6:15), (Canto segundo, párrafo 211). Es decir, la belleza y la falta de ella estaban expresadas en los antiguos relatos griegos, pero justificadas desde la comparación de sus cualidades materiales (rasgos faciales proporcionados contra aquellos desproporcionados, por ejemplo).

Los griegos de la época de *La Ilíada* tenían otro adjetivo, *kalon*, para indicar que algo tiene agradable apariencia natural o admirable, pero no necesariamente hermosa (Pappas, 2020). Fue el griego Platón (427–387 a. C.) el primero en cuestionar a partir de su obra *La República*<sup>15</sup> (siglo IV a.C.) y en sus varios diálogos "la necesidad de estándares de belleza en las expresiones artísticas como un problema filosófico en Grecia después de su visita a Egipto." (Cannon-Brown, 2006, p. 5). En sus escritos Platón alertó que solo lo verdadero es noble y positivo al espíritu. Contrario a lo aparente, la mimesis, a una representación (en pintura o en poesía), imitando lo verdadero, pues eso es lo que corrompe el espíritu humano (*La República*, libro X), (Pappas, 2020).

---

<sup>14</sup> Los adjetivos pueden variar según la traducción y la casa editora.

<sup>15</sup> Otros diálogos atribuidos a Platón y que refieren a lo bello (como forma perceptible) están en "*Cratilo* 439c; *Eutidemo* 301a; *Leyes* 655c; *Fedón* 65d, 75d, 100b; *Fedro* 254b; *Parménides* 130b; *Filebo* 15a; *República* 476b, 493e, 507b" (Pappas, 2020).

En antiguos registros de otras culturas, como la oriental, fueron usados símiles que referían a un impacto sensible causado por la apariencia de un objeto. Entre los siglos XIV y XIX poetas y escritores japoneses usaron los términos *wabi* (belleza tenue), *sabi* (velo rústico), *yugen* (misterio), *iki* (estilo refinado), entre otros (Parkes, 2023) para explicar sentimientos idealizados, describir estados melancólicos, narrar cualidades de objetos o en escritos, incluso de afectos o desagradados ante un artefacto. Y en el antiguo Egipto, la expresión *Ma' ät* era usada para explicar el orden y la divinidad, las cosas buenas, el balance entre lo real y los dioses o los metales preciosos, mientras que el término egipcio *bwt* (una expresión sin vocales) era lo contrario a lo bueno (Cannon-Brown, 2006, p. 11-14).

En la Edad Media el término latino *bellus* también era usado para referir a "juicios de apariencia, especialmente en mujeres y niños" (Cannon-Brown, 2006). Fue el físico alemán Alexander Gottlieb Baumgarten (1714-1762) quien derivó del griego antiguo el término *aisthétikos* como "una ciencia especial" en el moderno estudio de la belleza, especialmente en poesía (Cannon-Brown, 2006, p. 1-5). Luego, filósofos europeos como los italianos Benedetto Croce (1856–1952) y Giambattista Vico (1668–1744); y en el siglo XX con el filósofo Hans-Georg Gadamer (1977-1986) y artistas como Wassily Kandinsky (1866-1944) (Cannon-Brown, 2006, p. 6) mantuvieron el legado de estudiar qué motiva la estética y cuáles son sus microelementos conceptuales.

Desde el siglo XIX el estudio de la estética cuestionó si los objetos son creados a partir de una voluntad o le influye su entorno. "Todo sistema de representación, ya sea mediante iconos, indicios o símbolos, es siempre el resultado de una serie de condiciones culturales muy complejas" donde cada tecnología altera la apariencia de los objetos (Fracalanci, 2010, p. 18-19).

Con el uso más universal de la tecnología para acceso a las imágenes digitales para información o entretenimiento, una de las cualidades estéticas usadas para su estudio es el juicio subjetivo (estimulado por sentimientos y emociones) de un usuario cuando, por ejemplo, selecciona o crea avatares (símil digital que representa, desde la imagen e interacción, a un usuario real dentro del entorno de un videojuego) o en la eficacia de uso del diseño de interfaces en pantallas electrónicas (Photiadis, Zaphiris, 2014, 137-139).

El desafío del estudio de la estética es su componente subjetivo e ideológico. Por ejemplo, un espectador con criterios conservadores podría validar como estéticamente incómoda a una película que proponga al matrimonio tradicional como un estorbo para la libertad individual (Blanco, 2023, p. 64).

Es por esa razón que, en evaluaciones estéticas dadas por los usuarios, se evita medir únicamente lo bello-no bello. Por ejemplo, Kapil, Manfred y Ligang (2016, p. 1) han preferido pedir a los sujetos que indiquen a partir de formas geométricas aquellas con mayor o menor percepción estética y evitar así una "puntuación absoluta", complicada de medir desde lo cuantitativo. Otra estrategia es limitar la cantidad de características a evaluar. Por ejemplo, al evaluar imágenes con solamente formas curvilíneas 3D, sin color o texturas (Kapil, Manfred y Ligang, 2016, p. 2).

Es así que toda imagen que simula cualquier material o comportamiento físico animado o lumínico seguirá manteniendo características perceptibles para evaluarlas desde lo estético.

Finalmente, como método de evaluación de cualidades estéticas en animación 3D, se tomará al trabajo de Wikayanto, et al., 2023, por ser una estructura ya propuesta para estética en imágenes digitales.

## CAPÍTULO I: Del arte primitivo a las primeras tecnologías para imagen y modelado 3D

### 1.1 La cultura aurignaciana y el bisonte de Chauvet-Pont d'Arc

Una posible prueba de humanos simulando movimiento mediante dibujos tiene una antigüedad de entre 17.000 a 11.000 años. Corresponden a los trazos a carbón en las paredes internas en las cuevas de Chauvet-Pont d'Arc, muy cerca del río Ardeche, en lo que ahora es Francia. Esta es una zona rodeada de cerros y arbustos en donde se estableció una antigua cultura europea de gran habilidad artesanal llamada aurignaciana o auriñaciense, un término tomado de la comuna de Aurignac, al sur de la actual Francia.

Los dibujos en mención, posiblemente creados en una caverna iluminada con antorchas y quizás captados cuando los animales estaban muertos (Coss, 2017, p. 28), representan cabezas y cuerpos de caballos, gacelas y bisontes. Muchos tienen una rústica calidad<sup>16</sup> de sombreados, pero también cierta precisión anatómica, representación de profundidad (dimensión de los cuerpos) y movimiento (alteración de su posición) (Unesco, 2014). Como se mostrará en este documento, el deseo de representar el movimiento será una constante en toda la historia de la humanidad, hasta la actualidad.



Figura 8. Dibujos rupestres del paleolítico europeo. Arriba: Copia tomada del dibujo rupestre de un bisonte en la cueva de Chauvet-Pont d'Arc, Francia. Centro, medallón de hueso ballado en la cueva de Langerie Basse. Fuente: Azéma, 2015.

---

<sup>16</sup> El texto original es: "(...) they demonstrate a range of techniques including the skillful use of shading, combinations of paint and engraving, anatomical precision, three-dimensionality and movement" (Unesco, 2014).

Es difícil precisar cuáles fueron las intenciones en esos trazos. Una teoría menciona que fueron usados para entrenar a los cazadores de la tribu al señalarles qué áreas del animal debían flechar. Razón por la cual muchos dibujos muestran a los animales en posición lateral. También se argumenta que los múltiples trazos en una sola figura dibujada representan la intervención de más de un dibujante (Coss, 2017, p. 28, 29). Aún así, impacta la habilidad humana para captar la energía cinética<sup>17</sup> del trote de un animal. Como se verá en los siguientes capítulos, secuenciar una acción será una de las bases técnicas que permiten percibir la simulación de movimiento en producciones animadas.

En el artículo *Animation and Graphic Narration in the Aurignacian* el doctor y profesor de prehistoria Marc Azéma, autor del libro *La préhistoire du cinéma, origines paleolithiques de la narration graphique et du cinematographe* (Errance, 2015), defiende que esos dibujos rupestres narran acción progresiva (Azéma, 2015).

Otras teorías proponen que solo son dibujos de animales inertes. Pero Azéma se fundamenta en que existen conjuntos de dibujos de un solo animal y que algunos de esos trazos respetan el movimiento natural en secuencia de cada extremidad (Azéma, p. 15).

Esa secuencia también ocurre en un disco de 14.000 años de antigüedad con un diámetro de 3.1 cm. Fue hallado en 1868 (Azéma, Rivère, 2012), (Roussot, 1984), a cien kilómetros al norte de la cueva del bisonte, en Chauvet-Pont d'Arc. El disco muestra tallados en ambas caras la imagen de un ciervo en dos posiciones de trote, cada posición a cada lado del disco. Al girarlo con rapidez desde un solo eje se fusionan en nuestra mente visual ambas caras, lo que permite un efecto de trote. Ese efecto podría explicarse por la teoría de la persistencia retiniana. Esta es una teoría que intenta explicar cómo la fijación lumínica de un estímulo (durante milésimas de segundo), se mantiene visible aún después de desaparecer.

No se hallaron documentados más casos similares a los dibujos de las cuevas de Chauvet-Pont d'Arc. Son necesarios más hallazgos para concluir que la presencia de múltiples trazos usados para dibujar bisontes y leones nació de la necesidad primitiva de plasmar el movimiento vital del entorno.

Otros ejemplos de arte rupestre en Francia muestran dibujos de animales (como en la cueva de Lascaux, con 20.000 años de antigüedad, y en la cueva de Marsoulas, con 17.000 años de antigüedad), pero esos dibujos no muestran los trazos en secuencia que sí están presentes en muchos dibujos de la cueva en Chauvet-Pont d'Arc.

De existir más evidencia sería posible demostrar que la necesidad humana para representar la acción de movimiento en objetos estáticos ha estado viva mucho antes que los estudios en óptica del siglo XVIII y que los dibujos animados a inicios del siglo XX.

---

<sup>17</sup> Fuerza que ocasiona movimiento

## 1.2 Personajes articulados en culturas antiguas de Medio oriente, Asia y Europa

Las figuras articuladas hechas a mano han estado presentes para ritualidad y entretenimiento, mucho antes del siglo I. Según Ana María Allendes<sup>18</sup>, en un artículo en línea para la *World Encyclopedia of Puppetry Arts*, el humano ya asentado en tribus representó movimiento al construir figuras antropomórficas (similares al humano) fraccionando sus partes para moverlas (Allendes, 2013).

Desde aquí se hará una distinción entre articular y animar. Aquello que es articulado tiene uniones para flexionar sus partes. Por ejemplo, el esqueleto humano está articulado para la locomoción. En cambio, lo animado puede ser desplazable sin estar articulado. Por ejemplo, al animar mediante dibujos una pelota rebotando. Antes de las tecnologías digitales, muchos artefactos articulados y no articulados también podían animarse.

Por ejemplo, el historiador griego Heródoto (484-425 a.C.) relató que presenció en Egipto unas figuras de madera de unos 30 cm de alto, articuladas mediante hilos<sup>19</sup> (Heródoto, ca. 430 d.C.), (Reeves, 2015). Un posible ejemplo de lo que observó Heródoto es una figurilla tallada en madera de boj (un árbol de corteza blanda), de 11 cm de alto, que representa a una mujer desnuda con un brazo articulable mediante polea interna. Pertenece a la dinastía XII, 1980 años a.C. (Reeves, 2015, p. 44). La figurilla, comprada en 1958 por el Museo Metropolitano de Nueva York, EE.UU., pudo servir para recrear danzas de la diosa Hathor hacia el dios Sol, exponiendo y ocultando su desnudez con objetivos divinos o de provocación erótica, razón por la cual se descarta que haya sido un juguete infantil.

---

<sup>18</sup> Chilena, nacida en 1942. Titiritera y directora de teatro.

<sup>19</sup> Heródoto, libro II, capítulo 48, Trad.: “(...) inventaron el uso de títeres de un codo largo movido por cuerdas que son llevados por los pueblos por mujeres (...)”.



*Figura 9. Mujer con brazo articulado. Figurilla de madera. Derecha, abajo: mecanismo interno articulado. The Metropolitan Museum of Art, Nueva York, EE.UU. Fuente: Reeves (2015)*

También en China, desde la dinastía Song<sup>20</sup> (año 960 hasta el 1250 d.C.) articulaban muñecos creados con papel y pieles de animales (Liu, 2015), mientras que en la América precolombina algunas culturas usaron madera y barro (Allendes, 2013). Con la llegada de los europeos a América, en el siglo XV, llegó el teatro de las marionetas, popular para diversión infantil y para comedia al añadir efectos de animación como varillas para mover la cabeza del muñeco (Fig. 10). Y en Europa, en los siglos XIII y XV eran comunes para representar historias bíblicas (Victoria & Albert Museum, 2016).

<sup>20</sup> Familia que gobernó el territorio ocupado actualmente por China, entre los años 960 y el 1279.

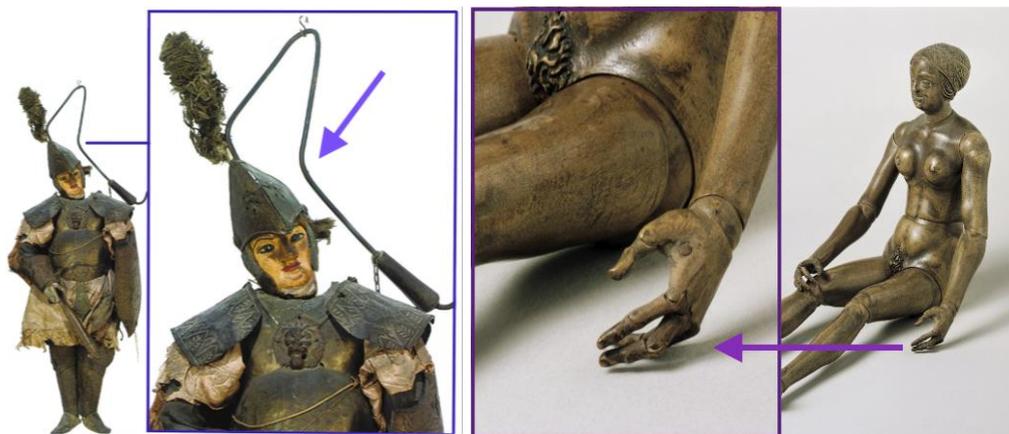


Figura 10. Muñecos articulables, siglos XIX y XVI. Derecha, siglo XIX. The Metropolitan Museum of Art, Nueva York, EE.UU. Izquierda, muñeco, fechado entre 1520 a 1530. Fuentes: Reeves (2015), Google Art Project (2023), Staatliche Museen zu Berlin, colección Skulpturensammlung.

Sin embargo, ¿fueron esos muñecos una tecnología o solo un pasatiempo artesano? La respuesta es sí y en ambos sentidos. El término *tecnología*, cuya raíz griega *téchnē* refiere a destreza y manufactura, será una constante en este documento.

Desde el hacha de piedra hasta los píxeles en pantalla, la naturaleza nos ha provisto de calor, madera, rocas, plantas, agua y luz para, una vez manipulados, construir artefactos que funcionen como amplificaciones de nuestra fuerza o creatividad.

Algunos animales y muchos insectos también alteran su ambiente o su propio organismo para obtener alimentos, camuflarse o defenderse. Sin embargo, los humanos somos la única especie que da forma a nuevas herramientas para lograr objetivos en comunidad (Headrick, 2009, p. 2), (Harari, 2023). Estos artefactos han sido hachas, canales de riego, vestimentas, drones y pantallas con píxeles luminosos, pero también cañones, bombas atómicas y puntiagudos misiles. Según quién la crea y quién la aprovecha, la tecnología será vista como bendición o castigo.

Por lo tanto, se propone como tecnología a todo objeto dentro de otro objeto, cuya creación, mejoramiento material y nuevos resultados de su aplicación sirven para utilidad humana.

### 1.3 Exploración en óptica: Ibn al-Haytham, Da Vinci, Roget, Newton y Plateau

Los estudios para explicar la luz y la imagen no iniciaron en Occidente. También en Medio Oriente y Asia hubo experimentación que influyó siglos después en Europa y América (Tbakhi, Amir, 2007).

Por ejemplo, un filósofo y consejero militar chino, de nombre Mozi (traducido como Maestro Mo), nacido en el 468 a.C., publicó en su libro *MoZi* varios estudios de la refracción de la luz (el reflejo de una imagen) en espejos cóncavos. De ese trabajo solo existen traducciones dispersas (Ling-An Wu, et al., 2015).

En Medio Oriente le siguió Abu Ali al Hasan ibn al-Haytham (latinizado como Ibn Al-Haytham), un matemático iraquí nacido en el 965 a.C. Él escribió en el año 1010 un largo tratado científico llamado el *Kitab AlManazer* (*El libro de la óptica*), valiéndose de métodos de comprobación e hipótesis en estudios de los órganos visuales humanos (Tbakhi, Amir, 2007).

Al-Haytham, nutrido de las ideas de los griegos Galeno (130 - 216 d.C.) y Ptolomeo (100 d.C - 178 d.C.), describió parte del funcionamiento de los nervios ópticos humanos y de la percepción visual. Al-Haytham propuso que observamos los objetos gracias a la luz reflejada en ellos y no a causa de la luz emanada por nuestros ojos, una creencia común.

El interés de Al-Haytham por la óptica y la luz se repetirá en científicos y artistas europeos, como en Leonardo Da Vinci (1452-1519), Isaac Newton (1643–1727), Peter Mark Roget (1779-1869), Joseph Ferdinand Plateau (1801-1883), William Henry Fox Talbot (1800–1877), Louis-Jacques-Mandé Daguerre (1787-1851), William George Horner (1786-1837), Charles-Emile Reynaud (1844-1918), Augusto (1862-1954) y Louis Lumière (1864-1948), (Dowidar, Salim 2015), (Savage, 2011). Todos ellos reseñados en los siguientes párrafos.

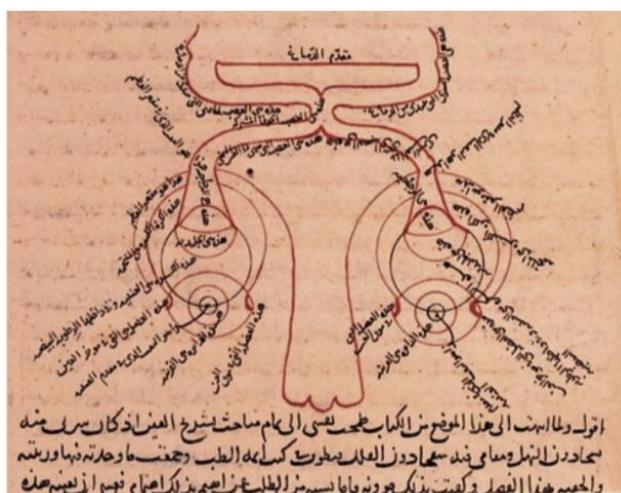


Figura 11. Diagrama del sistema visual humano, 1011 d.C. Tomado del Libro de la óptica, por Ibn al-Haytham, escrito entre 1011 y 1021 d.C.

Fuente: Daneshfard, et al., 2016, p. 229

¿Por qué creció y se esparció primero en Europa el estudio detallado de la óptica, base de la imagen en movimiento actual? Eso podría explicarse por lo siguiente: intelectuales, escritores y artistas europeos de entre los siglos XIV al XVII dieron más importancia al pensamiento cuestionador y a la observación crítica de la naturaleza por encima de lo establecido por la tradición social o religiosa.

Ese pensamiento crítico y renovador generó el Renacimiento, un movimiento social y cultural en artes y letras que revalorizó el estudio y la aplicación de las virtudes cívicas griegas y romanas, junto con sus ideas filosóficas, arquitectónicas y artísticas, de las que se tenían registro desde los siglos III y IV d.C.

Gracias a la divulgación desde imprentas alemanas e italianas se obtuvieron en toda Europa copias de las traducciones (al italiano, al alemán o al francés) de filósofos griegos como Platón (427 a.C.-347 a.C.), de poetas italianos como Petrarca (1304-1374), de oradores y filósofos romanos como Cicerón (106 a.C.-43 a.C.), Lucio Séneca (4 a. C.-65 d. C.) y Virgilio (70 a.C.-19 a.C.) y de arquitectos romanos como Marcus Vitrubio (80 a.C.- 15 a. C.). La fuerte influencia de sus ideas en pensadores y artistas europeos provocó un apogeo renacentista<sup>21</sup> entre 1490 a 1530, decayendo esa influencia a inicios de 1630 (Burke, 1998), (Garin, 1998, p. 8, 10).

Así mismo, la educación formal especializada fortaleció en Europa el intercambio de ideas mediante publicaciones académicas, cartas y libros, especialmente en Inglaterra y Francia. Por ejemplo, para el año 1400 la universidad de Boloña (Italia) ya tenía 300 años de actividad. En el año 1672 académicos ingleses distribuyen la primera publicación científica llamada *Transacciones filosóficas*. Antes de finalizar el siglo XVII Europa tenía 25 universidades y 47 academias (Hotson, 2017), (Gil, 2017). Es decir, academia, ciencia y pensamiento generaron intercambio y contraposición de saberes (Garin, 1998, p. 170). Luego de eso, ser científico significaba ser un especialista en comprobar fenómenos naturales y publicar sus hallazgos, pero desde 1833 recién sería un término formal gracias al teólogo y filósofo inglés William Whewell (1794-1866).

Sin embargo, no todo estudioso de esas épocas tuvo el apuro de dar a conocer sus experiencias con la naturaleza y sus efectos ópticos, aún sin descubrir. Por ejemplo, el pintor e inventor Leonardo da Vinci<sup>22</sup> (1452-1519) detectó durante una posible contemplación nocturna una sensación visual que le interesó describir (Ritcher, 2008, p. 132, párr. 3, línea 3), pero de la que nadie estuvo enterado, al menos mientras Da Vinci vivió. Traducido del italiano toscano del siglo XVI al inglés, se lee (trad.):

(...) cuando el relámpago se mueve entre las nubes oscuras todo su recorrido por la velocidad de su vuelo sinuoso se asemeja a una serpiente luminosa. En la misma medida, si mueves una antorcha

---

<sup>21</sup> Algunas de esas traducciones también llegaron a América posterior a la llegada de los españoles. Especialmente a México, donde el abogado y obispo español Vasco de Quiroga (1470-1565) intentó enseñar las ideas del pensador inglés Tomás Moro (1478-1535) a indígenas. Por otro lado, a Perú llegaron manuales de arte renacentista que influyeron en artistas que trabajaron en las fachadas de las primeras iglesias (Burke, 1998, sección Periferias).

<sup>22</sup> Nacido en Anchiano, Italia, el 15 de abril de 1452. Fallecido en Amboise, Francia, 2 de mayo de 1519. Sus ideas, técnicas, estudios y reflexiones de su cotidianidad están descritas en cerca de 7.000 páginas agrupadas en volúmenes (códices) repartidos en institutos, universidades y propietarios privados alrededor del mundo. Algunos de esos códices están disponibles gratis en internet. Da Vinci se describió así mismo como inventor, constructor, estrategia militar, escultor y pintor. La biografía escrita por el periodista estadounidense Walter Isaacson y publicada en 2018 (Editorial Debate, en español) es la obra más reciente de la vida y obra del artista italiano.

encendida, todo su curso parecerá un círculo de llamas. Esto se debe a que el órgano de percepción actúa más rápidamente que el juicio<sup>23</sup>.

Lo escrito en ese párrafo fue un atisbo empírico de lo siguiente: que el movimiento de estímulos lumínicos permite observar su trazado, en forma de halo, durante un corto tiempo, aún luego de desaparecer el estímulo (el lector puede comprobar eso dibujando una letra con la luz de su teléfono celular y en una habitación oscura). Como se verá luego, ese comportamiento de la luz sobre nuestros ojos será usado para teorizar y luego para construir toda la tecnología audiovisual de los siguientes siglos.

Se resalta que las ideas de Da Vinci estuvieron ocultas aún después de su muerte, en 1519. Luego de eso, casi todos sus manuscritos fueron recopilados sin orden, o extraviados. Las cerca de 7000 hojas restantes (British Library, 2019) fueron reagrupadas o vendidas a bibliotecas y gobernantes, entre 1622 a 1797. Desde la década de 1850 muchos museos y editoriales empezaron a traducirlas y publicarlas según temáticas diversas (Galluzzi, 1974, p. 5). Incluso, desde el año 1967 aún seguían hallándose manuscritos del artista italiano, esta vez agrupados en cuadernos escondidos en estanterías de la Biblioteca Nacional de Madrid. En otras palabras, hubo una demora de casi 300 años en conocer gran parte del pensamiento y hallazgos empíricos del pintor.

Así mismo, 185 años después de la muerte de Da Vinci, el matemático inglés Isaac Newton<sup>24</sup> narró en 1704 en un párrafo de su obra *Opticks; A Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections and Colours of Light* (Struztk, 1988, p. 306), (Newton, 1704, p. 104, línea 9) lo siguiente (trad.):

Y cuando un carbón de fuego, movido ágilmente en la circunferencia de un círculo, hace que toda la circunferencia parezca un círculo de fuego, ¿no es porque los movimientos provocados en el fondo del ojo por los rayos de luz son de naturaleza duradera? (...)

Nuevamente la naturaleza de la luz aguijoneando el intelecto. Newton detectó cómo un haz de luz es observable muy brevemente (de forma duradera, escribió) aún luego de desaparecer la luz.

---

<sup>23</sup> El párrafo mencionado está en el conjunto de facsímiles llamados Códice A, en el reverso del folio 26b (b de *back* -reverso-) de los manuscritos alojados en la Biblioteca del Instituto de Francia (Bibliothèque de l'Institut de France) (Ritcher, 2008, p. 375, numeral 79), escritos por Da Vinci posiblemente entre 1485 a 1515. El lector puede revisar la sección *Manuscripts de Léonard De Vinci* del sitio web <https://bibnum.institutdefrance.fr>. Para revisar el códice A, en la sección Manuscrit A, en <https://bibnum.institutdefrance.fr/records-relations/item/24175-manuscrit-a>

<sup>24</sup> Físico y matemático inglés, nacido en 1643 y fallecido en 1727, a los 84 años de edad. Estudió y comprobó los fenómenos lumínicos y sus componentes. Determinó las tres leyes del movimiento (inercia, cambios de fuerza y acción-reacción) lo que le permitió reformular la ley universal de la gravedad. En su texto *Principia Mathematica*, publicado en 1687, estableció la mayoría de sus ideas y conceptos científico-filosóficos.

Ciento veintiún años después de esa publicación, en 1825, el médico inglés Peter Mark Roget (1779-1869) (Roget, 1825, p. 131) publicó en la revista de la Real Sociedad Inglesa la reseña de un efecto diferente. Observó que, a cierta velocidad de giro, los verticales de madera que apuntan al centro de una rueda de carruaje perdían su rectitud; es decir, daban una sensación visual de distorsión. Así como fue intuido siglos antes por Da Vinci y luego por Newton, Roget demostró que nuestra sensación visual puede ser alterada por distorsiones ópticas externas.

Finalmente, en 1828, el matemático y físico belga Joseph Ferdinand Plateau (1801-1883) comprobó que, a partir de un movimiento giratorio constante, algunas formas inicialmente rectas mostrarán un efecto de distorsión (con similares conclusiones a las de Roget). Y especialmente, que algunos estímulos lumínicos serán fijados en nuestra percepción visual, durante brevísimos momentos, luego de haber desaparecido, llegando a iguales intuiciones que Da Vinci y Newton.

Plateau resaltó en el siglo XIX por su necesidad científica: a sus cuarenta y dos años insistía en mirar al sol durante largo rato para comprobar el efecto en sus retinas, dejándolo con ceguera parcial durante semanas (Wautier, Jonckheere, Segers, 2012, p. 262). Estuvo interesado en medir el tiempo que le tomaba a la luz quedar fijada brevemente en nuestra retina. En su tesis doctoral *Dissertation on Some Properties of the Impressions Produced by Light on the Eye*, de 1829, escribió que, bajo cierta iluminación, nuestra percepción visual podría interpretar que algunos objetos cambian de posición sin que realmente lo hagan<sup>25</sup>. A esa sensación la llamó persistencia y fue el primero en sumarle el término visión (Lipton, 2021, p. 51) pero no precisó con exactitud cómo ocurría ni durante cuánto tiempo.

Finalmente, el investigador químico y fotógrafo inglés William Henry Fox Talbot (1800–1877) reseñó lo analizado por Newton y Plateau en su publicación *Experiments in light*, en 1834. Basado en el experimento del carbón encendido de Newton, pero descartando lo hallado por Plateau por ser poco cuantificable.

Fox Talbot comprobó lo siguiente: aún cuando la intensidad de un estímulo lumínico disminuya (esté o no en movimiento), es posible seguir percibiendo visualmente ese estímulo por un breve tiempo (Talbot, 1834, p. 328). Como buen científico, Fox Talbot evitó concluir que lo mencionado ya podía definirse como una ley óptica, excepto que existan más estudios<sup>26</sup>. Hoy en día es conocido que la luz sobre una imagen será

---

<sup>25</sup> El texto original dice: "(...) the impressions they produce on the retina will blend together with confusion and one will believe that a single object is gradually changing form and position." Traducido se lee: "las impresiones que producen en la retina se mezclarán con confusión y se creará que un solo objeto cambia gradualmente de forma y posición." (Shubert, 2019. p. 167).

<sup>26</sup> Talbot escribió, (trad.): "No hace falta señalar que sería ilegítimo afirmar a priori la existencia de esta ley de la óptica, por simple y natural que parezca, a menos que estuviéramos perfectamente familiarizados con las circunstancias que acompañan a la acción de la luz sobre la retina." (Talbot, 1834, p. 329, párr. 2).

percibida por el ojo humano durante unos cien milisegundos (ms) incluso luego de desaparecer (Di Lollo, et al., 1988, p. 1). Un segundo tiene mil milisegundos (un pestañeo humano tiene cerca de trescientos ms).

Sin embargo, no han faltado críticas a la explicación de ese fenómeno óptico. Teóricos fílmicos como Joseph y Bárbara Anderson y otros muchos investigadores la han catalogado como "imprecisa, inadecuada y muerta" (1993, p. 3-12), (Veras, 2022); "incompleta en su explicación" (Di Lollo, et al., 1988, p. 1); y "oscura más que explicativa" (Lipton, 2021, p. 51). Los principales contraargumentos son que el sistema visual humano usa atajos mentales para evitar carga cognitiva y así interpretar el movimiento según experiencias pasadas, y que existen significados subjetivos a todo lo percibido.

Esta última fue una afirmación ya establecida por el psicólogo estadounidense James Gibson (1950, p. 197), cuyas investigaciones inspiraron a los primeros códigos de computadora para imágenes 3D, en 1963<sup>27</sup>. El criterio más aceptado hoy (y aún en debate) es que observar un estímulo visual y transformarlo en imágenes en movimiento son dos fenómenos totalmente diferentes, no explicables con una sola teoría (Di Lollo, et al., 1988, p. 367), (Schiffman, 2001, pp. 110, 205).

Por lo tanto, es posible afirmar que explorar las causas de cada fenómeno natural motivó a observadores acuciosos el cuestionarse y buscar respuestas. Las observaciones de Al-Haytham, Da Vinci, Roget, Newton, Plateau y Talbot (concebidas en un rango de casi 800 años) hechizaron para siempre a nuevos creadores con esta interesante propuesta: es posible apreciar movimiento cuando son alteradas la luz y la secuencia en objetos estáticos. Por supuesto, eso abrió todo un período de invención para las nuevas expresiones de la imagen.

En los siguientes párrafos se explicará cómo el efecto de la fijación de la luz en nuestras retinas reveló a los juguetes giratorios, a finales del siglo XIX. Estos permitían simular y apreciar a canarios abriendo jaulas, arlequines saltando y caballos trotando.

---

<sup>27</sup> Ver también capítulo I.

#### 1.4 Artefactos basados en la teoría de la persistencia retiniana

La ilusión dada por la teoría de la persistencia retiniana no llegó sola. En 1839 dos franceses, el pintor Louis-Jacques-Mandé Daguerre<sup>28</sup> (1787-1851) y el inventor Nicéphore Niépce<sup>29</sup> (1765-1833) hallaron la utilidad de usar pequeñas placas de cobre, cubiertas con yoduro de plata, para fijar imágenes sobre un soporte. El yoduro es un mineral amarillento. Una vez reducido a polvo se oscurece al exponerlo a la luz. Y fue esa reacción la usada para dibujar mediante luz (del griego *photos graphos*) imágenes en placas untadas con yoduro. Un año después, William Henry Fox Talbot desarrolló el calotipo, otra conversión química de una imagen copiada, pero esta vez, sobre papel.

Por otro lado, aparecen en Europa los primeros juguetes ópticos, desde 1832 hasta 1877. Estos eran medianas construcciones artesanas portables y giratorias, fabricadas de madera y con paneles que mostraban dibujos en secuencia. El taumatropo (maravilla al girar, en griego) fue el primero y más sencillo para uso individual.

Todo eso ocurría sin que los interesados estén al tanto del futuro potencial creativo y técnico de sus ensayos. Por lo que las investigaciones en óptica, pero también los primeros conceptos de la computadora mecánica, ya estaban yendo por carriles paralelos durante la primera mitad del siglo XVIII.

Cuando Daguerre y Niépce ensayaban fotografía con químicos sensibles a luz, el matemático inglés Charles Babbage (1791-1871) bocetaba, entre 1810 a 1843, dibujos de un sistema de engranajes que mostraría resultados matemáticos en paneles numéricos. A pesar del desdén de sus colegas, sus ideas fueron publicadas gracias a la colaboración de los matemáticos Luigi Federico Menabrea (1809-1896) y Augusta Ada King (1815-1852), condesa de Lovelace. Esta última, traductora de las ideas de Babbage al francés. Fue ella quién lo complementó con un sistema de palabras claves para ejecutar órdenes hacia una máquina. Hoy en día, un lenguaje de programación cumple esa función. Fue en 1937, casi 100 años después de la muerte de Babbage, que sus ideas fueron revalidadas por académicos europeos (Britannica, 2023).

---

<sup>28</sup> Pintor francés. Creó gigantes pinturas sobre paredes de escenarios cubiertos (dioramas) para entretenimiento parisino. El interior de esos escenarios eran pintados con extensos paisajes al detalle, dando al público la ilusión de estar en un ambiente diferente. Daguerre se asoció con el inventor Nicéphore Niépce para crear un soporte que fije imágenes en complemento con químicos sensibles a la luz. Años después de fallecer Niépce, en 1839, Daguerre presentó unas placas a las que llamó daguerrotipo, con una mejor técnica de fijación de la luz sobre un soporte y obviando a Niépce el mérito de la invención de la fotografía.

<sup>29</sup> Inventor y científico francés. Interesado en crear copias exactas de obras de arte usó soportes como los dibujos en placas de piedra (litografía) y luego con ungüentos sensibles a la luz del sol e impregnados sobre papel. En 1829 creó una sociedad con el pintor Louis Daguerre para crear mejores soportes que registrasen reproducciones de imágenes. Niépce falleció en 1833, dejando a Daguerre con gran parte de la logística lograda para reproducir imágenes con minerales sensibles a la luz. Hoy en día se reconoce el mérito de Niépce como uno de los inventores de la fotografía.

Es válido aclarar que en esos años las mujeres no siempre desearon apartarse de la ciencia. Muchas fueron excluidas al ser prejuizadas como muy emocionales, algo impropio para la objetividad científica masculina. Sin embargo, revistas francesas como *Entretiens sur la Pluralité des Mondes* (*Charlas en la variedad de mundos*) de 1686, traducida al idioma inglés en 1688, dieron a mujeres científicas el intercambio de ideas que encaró a la muralla de exclusión de género en esos siglos (Andréolle, Molinari, 2011, p. xiii, xiv).

Para dar con un posible inicio de los juguetes ópticos se añade un relato de Stephen Herbert, autor de *A History of Pre-Cinema* (Routledge, 2000) basado en las memorias de Charles Babbage<sup>30</sup>, de 1864. Herbert narra que, durante una tertulia de intelectuales ingleses ocurrida en 1820, un invitado preguntó cómo mostrar las dos caras de una moneda al mismo tiempo. Alguien giró una sobre la mesa, pero sin resultados. Tiempo después, otro mejoró el experimento construyendo un círculo más grande y rígido, con una imagen impresa en cada cara (similar al hallazgo en Laugerie Basse en 1868<sup>31</sup>). Es así como al girarlo desde su eje central eran visualizadas ambas imágenes, supuestamente simulando una secuencia (Herbert, 2013), (Babbage, 1864, p. 189). El relato termina con John Ayrton Paris (1785-1856), un médico inglés que frecuentaba esas reuniones. Ayrton Paris reelaboró ese efecto creando el taumatropo y luego vendiéndolo como un curioso juguete óptico al público.

En todo caso, el taumatropo dio camino a otros inventos, en 1829, como el fenaquistoscopio (del griego phenakistes o similar), elaborado por Joseph Ferdinand Plateau para demostrar la persistencia de la imagen en la retina humana. Ese aparato era un gran disco giratorio sobre su eje central, cuyos bordes mostraban imágenes paso a paso, como el trote de un caballo.

Luego llegó el zoótropo, creado por el matemático inglés William George Horner (1786-1837), basado en su publicación *On the Properties of the Daedaleum, a New Instrument of Optical Illusion*, de 1834 (Veras, 2022). El zoótropo (giro vital en griego) mejoraba el fenaquistoscopio de Plateau simplemente porque podía ser usado en grupos de personas y no individualmente. El zoótropo consistía en un cilindro giratorio hueco, en cuyas paredes interiores estaban impresas pequeñas escenas que, al girarlas y observarlas entre ranuras, simulaban animaciones, como la de un malabarista caminando sobre sus manos.

Otro artefacto fue el praxinoscopio (acción observada, en griego), comercializado en Europa en 1877. Su autor fue un profesor de ciencias parisino y entusiasta del teatro llamado Charles-Emile Reynaud (1844-

---

<sup>30</sup> Matemático e inventor inglés, nacido en 1791 y fallecido en 1871. Colaboró para la fundación de colectivos científicos como la Sociedad Analítica, la sociedad Astronómica Real y la Sociedad estadística, todas en Londres. Conceptualizó la calculadora mecánica y la máquina diferencial, entre 1812 y 1823. Fue profesor de matemáticas en la Universidad de Cambridge, Inglaterra. A mediados de 1830 conceptualizó la máquina analítica, organizándola con dígitos del 0 al 9, tarjetas perforadas y una unidad de memoria que almacene cifras. No alcanzó a construir ninguno de sus conceptos. Al morir dejó sentadas (en colaboración con Ada Lovelace) las ideas para las computadoras y los lenguajes de programación de hoy en día.

<sup>31</sup> Ver también capítulo I

1918). Él agregó imágenes más grandes y luces dentro de una caja al que llamó teatro visual. En general, la comercialización de juguetes ópticos por toda Europa dispersó la teoría de la persistencia retiniana y alertó a otros inventores de su potencial en entretenimiento y por supuesto, de lucro.



Figura 12. Arriba, izq.: Discos de taumatropo giratorio. Abajo, izq: fenaquistoscopia con disco de imágenes y soporte. Arriba, derecha: zoótrofo. Abajo, derecha: praxinoscopio, ilustración de Louis Poyet para *Philosophical Magazine*, 1882. Fuentes: *Phenakistoscope*, The Trustees of Princeton University, (Herbert, 2013).

En resumen, uno de los secretos de nuestra naturaleza visual ocasionó curiosidad y necesidad científica en observadores metódicos de Medio Oriente y Europa. Eso bastó para que el potencial de la imagen en movimiento sea considerado, primero, como un experimento a comprobar; y luego, como un objeto móvil para divertir y ganar dinero. Eso llevaría a los siguientes pioneros a crear técnicas que faciliten animar objetos a cada clic de otro nuevo artefacto: la cámara fotográfica.

## 1.5 Primeros equipos filmicos para cine y animación

A mediados del siglo XX el cine inició como una herramienta para el registro de la cotidianidad social. En parte gracias a los trabajos del inventor francés Louis Le Prince (1841-1890) con su corto *Roundhay Garden Scene*, de 1888. Este mostraba a ciudadanos recorriendo una calle en Yorkshire, Inglaterra. Sin embargo, no existen más trabajos atribuidos a Le Prince. Él desapareció en Francia y sin dejar rastro, dos años después.

Ya era necesario un soporte para captar la luz y un mecanismo que articule esa acción. El soporte llegó en 1889, cuando Henry M. Reichenbach (1882-1931), un químico inglés, junto a George Eastman (1854-1932), un inventor estadounidense, usaron vidrio cubierto con yoduro de plata, un mineral que al pulverizar

y untarlo con otras enzimas toma un color oscuro al exponerse a la luz. Este intento estuvo bien para las cámaras fotográficas populares entre los años 1826 y 1888, pero que no registraban movimiento en secuencia. Para eso era necesario un nuevo mecanismo que mantuviese en rotación largas tiras de películas sensibles a la luz.

Tiempo después, ese necesario mecanismo fue revelado. En 1892 el inventor estadounidense Thomas Edison (1847-1931) presentó el Kinetoscopio, un aparato en forma de gabinete de madera con la altura de una persona adulta promedio. Desde una pequeña ventanilla un solo espectador visualizaba breves escenas animadas que previamente habían sido captadas por una cámara. Un mecanismo interno iluminaba esa secuencia de imágenes, desde el interior del gabinete, gracias al giro constante de poleas.

Años después, en 1895, los hermanos Augusto (1862-1954) y Louis Lumière (1864-1948) (cuyo padre tenía un modesto estudio de fotografía cuando ambos hermanos eran niños) ya presumían de un cinematógrafo. Este aparato funcionó como cámara y proyector de imágenes. Consistía en una caja mediana de madera con manivela, lente y un soporte que giraba rollos de láminas sensibles a la luz. Girar la manivela con el lente al descubierto y con un rollo de película untada con yoduro de plata significaba captar los volúmenes, las luces y las sombras de un ambiente en movimiento, pero solo en blanco y negro. En marzo de 1895 los Lumière presentaron una corta proyección pública en las salas de la Sociedad Francesa de Fomento de la Industria Nacional, en París. Allí el público presenció una corta película que mostraba a trabajadores, hombres y mujeres, saliendo de una fábrica. Y apenas meses antes, el alemán German Max Skladanowsky (1863-1939) usó un similar aparato en Berlín (Nowell-Smith, G., ed., 1997, p. 7).

En 1896 el inventor estadounidense Woodville Latham (1837-1911) y el británico R.W. Paul (1869-1943) dieron con un mejor mecanismo. Fue la innovación de este sistema (y no el método de captura de la luz con emulsión de yoduro de plata) que generó más competencia comercial entre los aficionados a las cámaras para imágenes en movimiento en la Europa de inicios del siglo XX. Por ejemplo, la compañía francesa Gaumont propuso la cámara portable Chrono de Poche; la compañía inglesa Warwick mostró su cámara Biokam para no profesionales; la compañía francesa Pathé ofrecía su Pathé-Baby; y finalmente, la Eastman Kodak americana propuso el Kodascope, en 1923. Esta fue una cámara más ligera y mejorada, con un mercado de productores en auge en EE.UU. Su liderazgo fue conmocionado por el suicidio en 1932 de su fundador, George Eastman. Pero la empresa siguió liderando el mercado fotográfico hasta inicios del siglo XXI. En 2012 la empresa Kodak se acogió a la bancarrota, sobrepasada por sus competidores y las nuevas tecnologías.

## **1.6 Equipo filmico, filmes y *stop-motion*: 1900-1920**

En EE.UU., Francia e Inglaterra de finales del siglo XIX era popular usar cámaras para fotografiar escenas cotidianas por parte de ciudadanos adinerados. La primera cámara Kodak, de 1888, costaba \$25. Unos \$770 actuales (French, 2023).

Con las cámaras como objetos mecánicos de captura y proyección, algunos inquietos creativos buscaron la forma de romper con la quietud plana de una imagen fotografiada. Ese deseo de alterar lo plano se repite a lo largo de la historia técnica de la imagen. Motivó a los artesanos del valle del Indo del 3000 a.C. y a los artistas egipcios de la misma época para crear artísticos relieves y usarlos como utensilios manuales o en veneración ritual. Así mismo, los pintores romanos del siglo I d.C. y a los pintores renacentistas europeos del siglo XV simulaban volúmenes, luz y sombra en superficies planas para simular profundidad mediante el uso de la perspectiva.

Entre finales del siglo XIX e inicios del siglo XX nuevos y emocionados creadores audiovisuales dejaron de conformarse con fotografiar una acción fija. En vez de eso, ensayaron una nueva travesura artesana: alterar la secuencia de los fotogramas filmados y aprovechar las pausas para intercalar objetos entre escenas.

Según la bibliografía hallada, una técnica que permitía (en las proyecciones de la película captada) simular efectos visuales al agregar o reemplazar objetos durante las tomas fue ensayado por primera vez, desde 1895, por el francés Georges Méliès (1861-1938), un fabricante de zapatería de lujo devenido en caricaturista, mago ilusionista y posteriormente en director del teatro parisino Robert-Houdin. Méliès había fundado en 1896 un proyecto familiar en forma de discreta empresa filmica, usando a sus familiares como actores y operadores amateurs de cámara para que trabajen en los exteriores de los terrenos familiares (Malthête-Méliès, 2022, p. xix, 63). Su primer filme fue *Une partie de cartes* (o *Playing cards*), de 1896, de apenas un minuto de duración. Allí se mostraba a tres jugadores adultos, jugando cartas, riendo y charlando.

Inspirado por los ensayos filmicos de los hermanos Lumière<sup>32</sup>, ocurrido meses atrás, Méliès filmó también en 1896 la película *The Vanishing Lady*, la cual derivó en un novedoso efecto visual: filmar una escena con un actor gesticulando y luego, captar la misma escena sin el actor (Maselli, 2018, p. 55). Al unir y proyectar esas secuencias se simuló (en la proyección) la desaparición del personaje. Sin embargo, al efecto (por sí solo) elaborado por Méliès no se le atribuye como una primera práctica formal para simular que objetos (en sí mismo estáticos) sean mostrados con vida móvil propia.

Capturar la escena, quitar, reemplazar o desplazar objetos (y luego volver a captar esa escena ya alterada) cuenta más como un truco para manipular el flujo lineal de una toma (Harryhausen, Dalton, 2008, p. 38. Citado por Cabrera Balbuena, 2019, p. 117). Como ejercicio, pruebe el lector capturar con su móvil un video de la caminata de una persona. Luego, cada cinco segundos agregue sobre esa persona una gorra cualquiera y grabe el video quitando y agregando la gorra. Al unir esas secuencias el efecto de reemplazo se mostrará novedoso, jocoso y ficticio. Pero por sí mismo no englobará los fundamentos del *stop-motion*.

---

<sup>32</sup> En marzo de 1895 Augusto y Louis Lumière presentaron una corta proyección pública en las salas de la Sociedad Francesa de Fomento de la Industria Nacional, en París. Allí el público presenció una corta película que mostraba a trabajadores, hombres y mujeres, saliendo de una fábrica.

Un evento ocurrido en 1896 (Ezra, 2024, p. 1), atribuido a Méliès en tono de anécdota, sería el posible génesis del fundamento técnico que dio inicio a la evolución del *stop-motion* como posterior técnica de animación. Ese génesis técnico fue pausar (primero por casualidad o accidente) y luego por intención de trucaje, la filmación lineal de una escena.

Según ese relato, mientras el propio Méliès filmaba en el centro de París uno carruajes urbanos tirados a caballo, su desmejorado equipo de filmación se atascó, debiendo cortar la filmación y reanudarla un minuto después (Solomon, 2022, p. 61). Ahora, los elementos inicialmente filmados habían seguido su locomoción, pero al reanudar el equipo y captar la misma escena eran otros los elementos presentes, como nuevas personas y nuevos vehículos, dando la impresión de que el coche tirado a caballos (filmado primero) se convertía en un coche fúnebre (filmado luego de la interrupción de la cámara y al reiniciar la filmación).

Según varios criterios (Purves, 2008, p. 6), el real aporte de Méliès fue crear un variado conjunto de técnicas de filmación cuando estas apenas estaban siendo exploradas; y que luego otros creadores (desde 1900) retomaron para usarlos en *stop-motion* como técnica de animación. Otro autor propone que Méliès fue más un ilusionista circense y teatral, pero con un anhelo de engaño a los sentidos del espectador (van den Oever, 2012, p. 36, 41). Un ejemplo de ese interés es apreciable en *The Living Playing Cards* (1904), un corto de dos minutos y medio en el cual el propio Méliès usa la técnica del reemplazo de objetos (y personas) durante los cortes de las escenas para, una vez proyectadas en secuencia, hacer creer al espectador que basta un gesto de su mano para hacer aparecer, de la nada, elementos y personas.

Por lo citado, el fundamento técnico del *stop-motion* inició como una alteración de la secuencia de escenas. Es decir, el inicio del *stop-motion* fue "más primitivo [y] aplicado como recurso técnico (sin pretensión de ser animación)" (Cabrera Balbuena, 2019, p. 117-119).

Por otro lado, se podría afirmar que (trad.): "El cine es básicamente una forma de animación en sí mismo. Una imagen estática se reemplaza por otra y se crea la ilusión de movimiento"<sup>33</sup> (Purves, 2008, p. 7). El *stop-motion* tradicional obliga a elaborar (y a reajustar) frente a la cámara cada micro pose, gesto y desplazamiento paso a paso desde un objeto real, articulado o no. Es decir, el *stop-motion* cuenta no solo como técnica de alteración, sino también como una suma de tareas planificadas, antes y después de filmar (Cabrera Balbuena, 2019, p. 116). Por ejemplo, Méliès (y luego muchos otros creadores) debía observar fotograma a fotograma para decidir dónde hacer cortes y luego los empalmes necesarios para crear los efectos deseados.

Luego de eso, el resultado de usar *stop-motion* como técnica más ampliada fue popularizado. Entre los años 1906 y 1907 fueron producidas las películas *Humorous Phases of Funny Faces* y *L' Hotel hanté (The Haunted Hotel)*, de la empresa American Vitagraph, dirigida por un director inglés llamado Stuart Blackton (1875-1941).

---

<sup>33</sup> En la pág. 7, párrafo primero, se lee: " Cinema is basically a form of animation in itself. One static image is replaced by another and creating the illusion of movement" (Purves, 2008).

En sus películas, Blackton usó hilos finísimos (junto con capturas en secuencias) para mover toma a toma botellas y muñecos. Así simuló a cuchillos cortando el pan por sí mismos. Eso asombró a una audiencia acostumbrada a ver películas de personas con actividades cotidianas (Crafton, 1993, p. 16).

Al igual que George Méliès, Blackton ensayó capturar apariciones y desapariciones de objetos. Sin embargo, existen registros de animación mediante dibujos capturados en secuencias, como en el corto *Humorous Phases of Funny Faces*, de 1906 (Vitagraph Company Of America & Afi/Blackton, 1906). Según la bibliografía revisada, Blackton detectó esa posibilidad visual en 1898 al revisar una sucesión de imágenes capturadas accidentalmente por su cámara durante rodajes. Al observarlas ya proyectadas, creaban la sensación de fragmentación de movimiento (o movimientos en lapsos interrumpidos) en vehículos que transitaban, nubes expandiéndose o en el vapor ascendente de las calles (Crafton, 1993, p. 20).

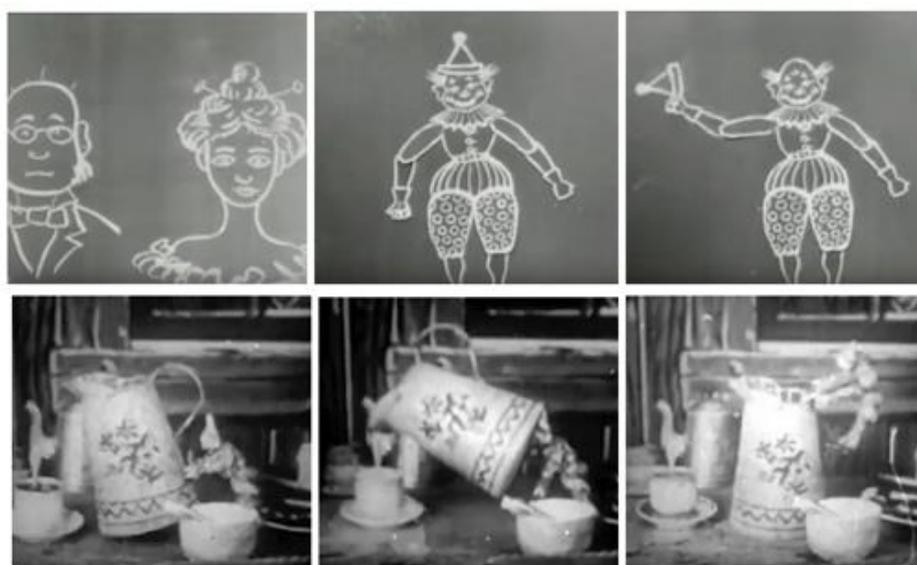


Figura 13. Arriba. *Humorous Phases of Funny Faces* (Vitagraph, 1906), stop-motion en dibujos sobre pizarra. Abajo. Detalles de escenas en *The Haunted Hotel* (Vitagraph, 1907) Fuente: Crafton, 1993, pp. 16, 25.

El *stop-motion* explorado por Méliès y Blackton fue también asimilado por el inventor estadounidense Thomas Edison y sus animaciones tipográficas en *How Jones Lost His Roll* (1905). Allí, unas letras dispersas terminaban formando nombres completos. En 1906

De igual forma, el español Segundo de Chomón (1871-1929), inspirado posiblemente por Méliès y Blackton capturó secuencias para simular maletas embrujadas en el filme *The Electric Hotel* (1908). Allí mostró "objetos moviéndose por sí solos para asear, afeitarse, peinar, limpiar botas e incluso escribir correspondencia" (Benet, 2012, p. 23). Chomón fue un pionero del cine español durante los primeros treinta años del siglo XX. Inició por cuenta propia coloreando fotogramas para otros productores. Ese fue el vínculo para asociarse y producir filmes en Italia y Francia. Se le reconoce como el iniciador del cine ibérico de entretenimiento, especialmente por una de sus primeras producciones, *Los guapos del parque* (1903) (Sánchez-Salas, 2022, p. 176),

un corto sin sonido de seis minutos, en el cual un cómico vagabundo suplanta a un millonario que busca esposa. Chomón realizó cerca de 500 producciones. Entre sus trabajos están *Los guapos* (1910), *El puñao de rosas* (1910), *La Tempránica* (1910), *El pobre Valbuena* (1910); y los documentales *Excursión a Montserrat* (1911), *Barcelona y su parque* (1911). Antes de fallecer colaboró con el director Benito Perojo en *El negro que tenía el alma blanca* (1928) (Saz, 2018).

El francés Emile Cohl (1857-1938) también usó *stop-motion* en inquietos dibujos con tiza sobre pizarra en el corto *Fantasmagorie* (1908). Y en las animaciones paso a paso de Winsor McCay (1869-1934)<sup>34</sup>, un dibujante estadounidense de prensa. Entre sus más coloridos trabajos está *Little Nemo*, de 1911 (Parent, 2002, p. 6).

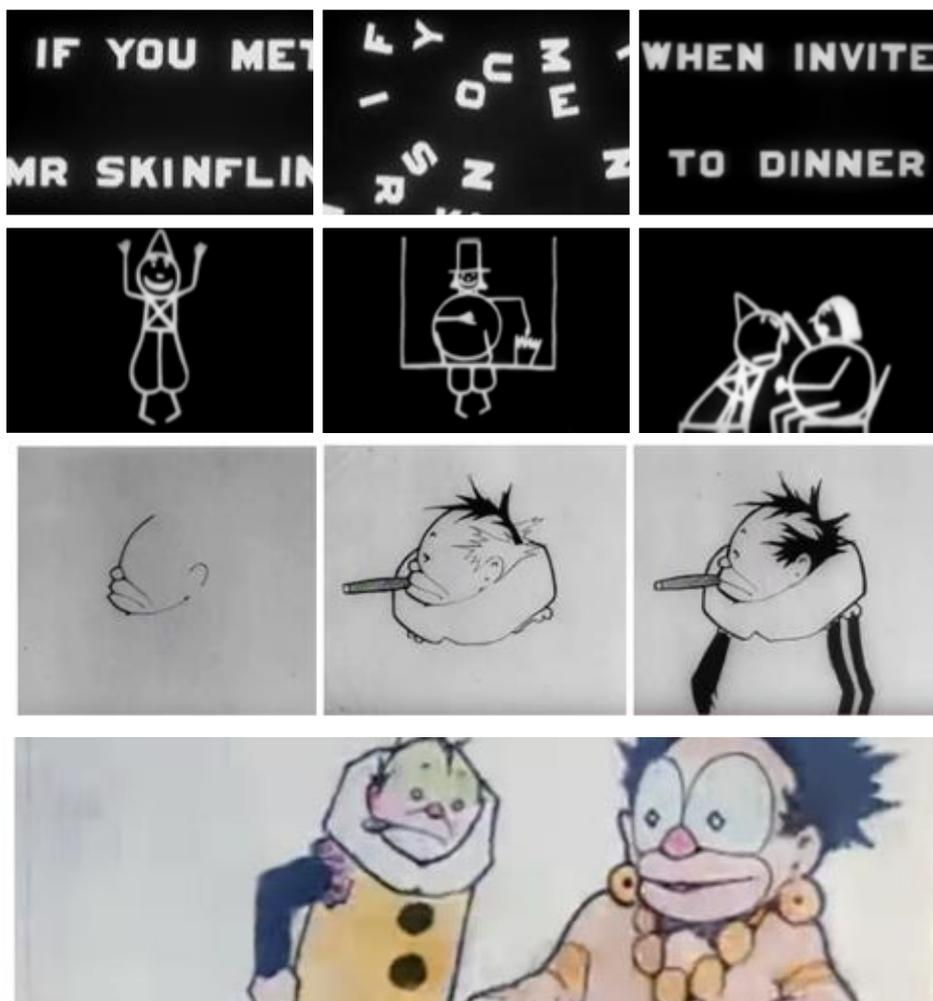


Figura 14. Stop motion en cine, 1905 y 1911. Arriba, primera franja: Animación tipográfica en *How Jones Lost His Roll*, por T. Edison en 1905. Segunda franja: *Fantasmagorie*, por Emile Cohl, de 1908. Tercera y cuarta franja; Proceso de dibujo animado y coloreado en el corto *The Little Nemo*, por Winsor McCay, en 1911. Fuente: Parent, 2002, p. 6

<sup>34</sup> Hoy en día existe el premio Winsor McCay, otorgado por la Academia de las Artes y las Ciencias Cinematográficas de EE.UU. como un reconocimiento a la contribución artística profesional en animación para cine y televisión.

En el siglo XX el *stop-motion* no fue exclusivo de artistas estadounidenses. El dibujante y entomólogo (investigador de insectos) de origen ruso Ladislav Starevich (1882-1965) también lo desarrolló. Starevich se interesó en registrar el comportamiento de insectos, pero estos morían con el calor de la iluminación de la escena (Villalón, 2018, p. 44). Su solución fue usar cuerpos de insectos reales y reemplazar sus patas naturales con alambres maleables para articularlos y fotografiarlos en secuencias (Culture.pl, 2018, min. 1:22).

Sus resultados se evidencian en *The DragonFly and the Ant*, en 1911 (Rosebush, 1990, p. 10); *La venganza del camarógrafo*, (1911) y *La Mascota* (1934). Esta última, de 26 minutos de duración y producida en París. Con su técnica de articulación Starevich mostró, por ejemplo, perros de peluche caminando y gesticulando.



Figura 15. *La Mascota* (1934), de Ladislav Starevich. Fuente: Cuenta de YouTube weirdlingwolf

Otro ejemplo es el trabajo filmico de Quirino Cristiani (1896-1984), realizado en 1917 en Argentina y al que se le atribuye la animación *El apóstol*, "el primer largometraje en la historia de la animación" (Laguna, R, 2022, p. 24). La bibliografía revisada contrasta con esa afirmación al exponer como una de las primeras animaciones (realizada con fotografía captura a captura a secuencias de dibujos) a *Humorous Phases of Funny Faces*, de 1906, del inglés Stuart Blackton y *Fantasmagorie* (1908), de Emile Cohl.

Quirino Cristiani nació en la provincia de Pavía, Italia, en 1896. Su familia llegó a Argentina en el año 1900. De adulto colaboró como dibujante de noticieros cuyas imágenes filmadas fueron mostradas al público en improvisados cines. Para ese entonces, un productor argentino de nombre Federico Valle mostró a Cristiani en 1908 una animación del francés Émile Cohl (no se ha registrado exactamente cuál). En 1916, Cristiani terminó los dibujos del corto *La intervención a la provincia de Buenos Aires*, posterior fundamento para *El Apóstol*, de 1917, una sátira al dos veces presidente argentino Hipólito Yrigoyen (1852-1933) (Laguna, R, 2022, p. 24-

26). Otros de sus trabajos en coproducción fueron *Peludópolis* (1931) (una crítica política); y *El mono relojero*, de 1938.

*El Apóstol* usa la sátira política (ridiculización de un alto cargo público, un jefe de Estado o un alto militar) como tono de expresión narrativa. Y como técnica de animación aprovecha la fotografía dibujo a dibujo mediante ilustraciones dibujadas con líneas blancas, recortadas en cartón negro y articuladas entre sí al coser las uniones móviles con hilo negro para así generar movimientos de las extremidades de personajes y animales que luego serían proyectadas en secuencia. Para realizar el filme Cristiani usó 58.000 dibujos para una hora y media de proyección (EHM. Cine y Animación, 2020, min. 3.33).

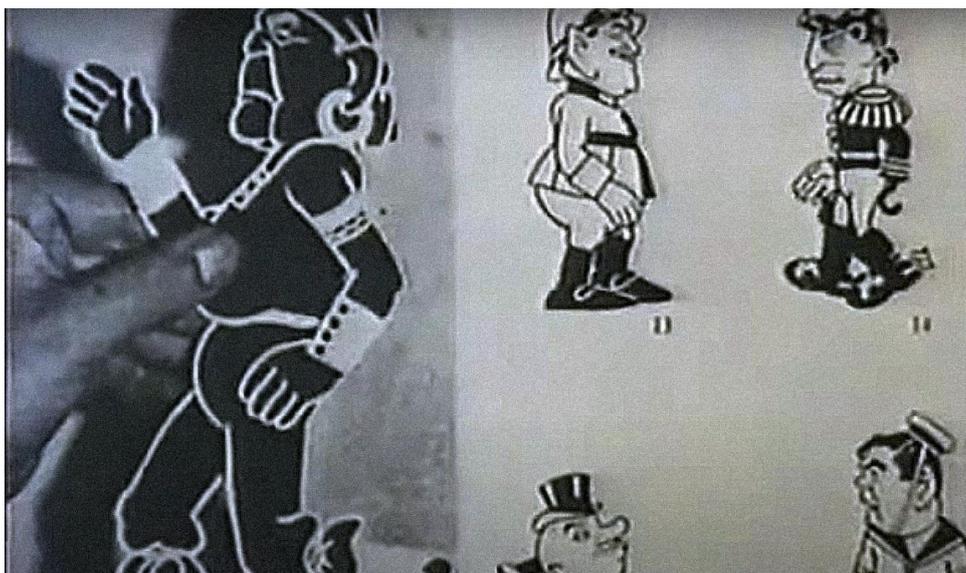


Figura 16. Figura articulada y personajes de *El Apóstol* (1917). Imagen tomada de EHM. Cine y Animación (2020).

Desde 1913 más creadores gestaban cuatro mejoras que sumarían a la animación de personajes: el *cel-animation*, el *storyboard*, la articulación para *stop-motion* y la simulación del efecto de profundidad entre planos mediante el efecto *parallax*.

El *cel-animation* inició como una técnica que aprovechó las películas transparentes o de celuloide para usarlas como soportes traslúcidos de dibujo (O'Flynn, 2015, p. 13). Su uso fue ideado en 1913 por los estadounidenses John R. Bray (1879-1978), ilustrador; y Earl Hurd (1880-1940), director y dibujante. El *cel-animation* facilitaba dibujar en cada lámina transparente un dibujo por cada celuloide. Estas luego eran fotografiadas y finalmente compuestas para ser proyectadas. El *cel-animation* lograba un total control del trabajo artístico al aislar paisajes, personajes y texturas, especialmente cuando más de un artista intervenía en la producción. El *cel-animation* agilizó el trabajo artístico, en contraste con el trabajo arduo de dibujar y animar todos los elementos desde un solo soporte o papel, muy popular en dibujantes como Emile Cohl y Stuart Blackton, entre 1900 y 1911.

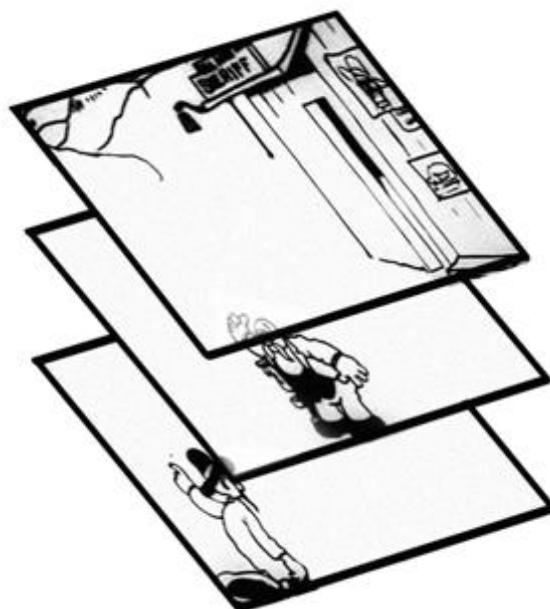


Figura 17. Animación mediante capas traslúcidas. Corto *A False Alarm*, 1920, de John R. Bray y Earl Hurd, de Bray Studios. Fuente: O'Flynn, 2015, p. 13. Fotograma tomado de video en YouTube, canal cartoonsonfilm.

La técnica del *cel-animation* fue usada en *El Gato Félix*, (*Feline Follies*, de 1919), de Otto Messmer (1892-1983) (Parent, 2002, p. 7); en *Betty Boop* (1926), del polaco Max Fleischer (1883-1972); en *Terrytoons* (1928), de Paul Terry (1887-1971); en *Tom y Jerry* (1933) de John Foster (1888-1959) y George Stallings (1867-1929); y en *Woody Woodpecker* (1940), de Walter Lantz (1899-1994).

Años después llegó la primera producción animada de los estudios Walt Disney, fundado por los estadounidenses Walt (1901-1966) y Roy Disney (1893-1971) en 1923. Con su corto *Steamboat Willie*, de 1928, se popularizó una nueva técnica para organizar y sincronizar las escenas (The Walt Disney Family Museum, 2013, p. 5). Esa técnica se conoce como *storyboard*: una visualización de todo el relato dibujado, escena a escena, en papel y desplegada en una pared o tablero previo a la producción. Hoy en día es útil en filmes y audiovisuales para detectar y ajustar la continuidad del relato, organizar encuadres y la composición en general.

Otros nombres importantes en *stop motion* (especialmente en la técnica de la articulación) fueron los estadounidenses Willis O'Brien (1886-1962) y Ray Harryhausen (1920-2013).

Los trabajos juveniles de Willis O'Brien en 1903 fueron primero de dibujante y luego de asistente de arqueólogo. Gustaba de usar arcilla para crear figuras a pequeña escala de humanos y animales, articulados con alambres internos y madera para darles estabilidad durante el uso del *stop motion*.

En 1917 O'Brien filmó un corto en blanco y negro de tres minutos llamado *The dinosaur and the missing link, a prehistoric tragedy*. Allí se muestran muñecos del tamaño de una mano adulta que representan a cavernícolas saltando y dinosaurios atacando. El filme usó planos medios (encuadre desde la cabeza hasta la cintura) y planos generales (un solo golpe de vista de toda la escena).

Su experiencia con marionetas le permitió ser contratado para articular a un gorila de un metro de alto en la película *King Kong* (1933), una historia inspirada en la novela de 1924 *Heu-Heu, or The Monster*, de H. Rider Haggard (1856-1925).

En 1950 O'Brien ganó un Óscar a Mejor efecto especial por el diseño de los entornos naturales en la película *Mighty Joe Young*. Pocos años después, O'Brien participó también en la creación de mundos prehistóricos en el documental *Animal World*, de 1955. O'Brien falleció en 1963 durante la animación de una escena para el filme *It's a Mad, Mad, Mad, Mad World*.

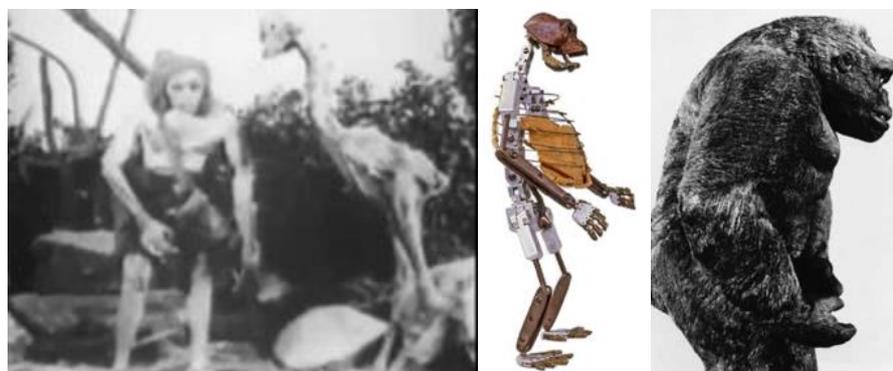


Figura 18. Personajes articulados de Willis O'Brien. Arriba, personaje para *The dinosaur and the missing link* (1917). Abajo, estructura diseñada por Willis O'Brien y Ray Harryhausen para *Mighty Joe Young*, de 1940, Colección de Jim Danfotr. Fuente: Hankin, 2008, p. 28

Por otro lado, Raymond Frederick Harryhausen estudió en su juventud anatomía artística y cinematografía en California, EE.UU. El talento de Harryhausen y de muchos otros productores de inicios de la década de 1950 estuvo enmarcado por dos hitos culturales estadounidenses: la popularidad de la televisión como fuente de entretenimiento familiar y el auge de las producciones audiovisuales (Brown, 2017, p. 30).

Uno de los primeros trabajos de Harryhausen fue de animador de marionetas en *Puppetoons*<sup>35</sup>, un programa de televisión transmitido en EE.UU. a inicios de 1950, creado por el animador húngaro George Pal (1908-1980) (Eldridge, 2020). La innovación de Pal y de Harryhausen con el *stop motion* fue una técnica llamada animación por reemplazo. Esta consistía en intercambiar partes de los personajes, como sus gestos faciales, para crear expresiones mientras elaboraba la animación. Hoy en día esa técnica también fue usada por el director estadounidense Tim Burton (1958) en el filme *The corpse bride* (2005).



Figura 19. Secuencia de *Shoe Shine Jasper*, *Puppetoons*, 1946. La técnica de animación por reemplazo se evidencia en los tres diferentes gestos de la boca en el personaje. Fuente: Canal de *Puppetoon Productions* en YouTube.

Las producciones estadounidenses de 1950 apuntaban a un público interesado en la ciencia ficción, con alto alcance en audiencias gracias a los cómics. Por lo que una anterior colaboración con el director Eugène Lourié (1903-1991) en el filme *The Beast from 20,000 Fathoms* (1953), le permitió a Harryhausen animar un pulpo gigante que ataca una ciudad, en el filme *It Came From Beneath The Sea*, de 1955 (Brown, 2017, p. 31) de los estudios Columbia.

Un año después, Harryhausen colaboró en los filmes *Earth vs. The Flying Saucers* y al año siguiente (1957) en *20 Million Miles to Earth*. Eso le dio mérito para trabajar en *The 7th Voyage of Sinbad*, de 1958, donde Harryhausen usó *stop-motion* junto con ambientes filmados en exteriores y con actores humanos reales (*live-action*) para que, mediante edición y efectos especiales de superposición de imágenes, los actores combatan a cíclopes y dragones animados mediante articulaciones (MGM Film Co., 1981). Y en 1963 participó como productor y animador de *stop motion* en *Jason And The Argonauts*, un filme mitológico, también animado con muñecos y combinado con actores humanos.

---

<sup>35</sup> Serie animada con *stop motion*, de más de 100 capítulos, dirigida por George Pal, Duke Goldstone, Arnold Leibovit. Entre los animadores que colaboraron con George Pal están Ray Harryhausen, Willis O'Brien y más de una docena de artistas. Hoy en día los capítulos se comercializan en formato DVD y en alta calidad la mayoría de los capítulos, distribuido por la empresa *Puppetoon™ productions* ([puppetoon.net](http://puppetoon.net), 2023).

Los cuatro filmes ya mencionados obtuvieron alta taquilla en comparación con otros en los que Harryhausen participó, pero que no lograron éxito comercial: *First Men in the Moon*, de 1964; *One Million Years B.C.*, de 1966; y *Valley of Gwangi*, de 1969 (Brown, 2017, p. 35).

Iniciando la década de 1970 el interés creativo de Harryhausen fue diverso. En 1972 publicó un libro, *Film Fantasy Scrapbook*, dedicado a su mentor Willis O'Brien. Años después colaboró en filmes con ligeras temáticas adultas de "desnudez leve y violencia" (Brown, 2017, p. 36): como en *The Golden Voyage of Sinbad*, de 1974; *Sinbad and the Eye of the Tiger*, de 1977; y *Clash of the Titans*, de 1981, donde participó por última vez como animador.

En 1992 Harryhausen recibió el premio Gordon E. Sawyer por aporte al cine. En 2004 publicó su autobiografía, *An Animated Life*. El documental *Special effects Titan*, del productor francés Gilles Penso, narra los principales hitos artísticos de Harryhausen, quien falleció en 2013, a los 92 años de edad.



Figura 20. Personajes creados por Ray Harryhausen. Personajes articulados y texturas realistas para el filme *The 7th Voyage of Sinbad*, de 1958.

Fuente: Hankin, 2008, p. 270

Willis O'Brien y de Ray Harryhausen mejoraron durante cincuenta años de trabajo los métodos de articulación para animación. Hoy en día, el *rigging* (un anglicismo que también expresa mover articulaciones para animación) también está totalmente consolidado en la animación digital<sup>36</sup>.

A la par del *cel-animation*, el *storyboard* y los primeros ejercicios de *rigging* para *stop-motion*, la animación de inicios del siglo XX exigía nuevas técnicas. Por ejemplo, para recrear distancia y profundidad en dibujos. El primer intento artesanal de ese efecto se halla en 1920, en las animaciones con figuras de papel de la alemana Lotte Reiniger (Holliday, Pallant, 2021, p. 67). Años después, el dibujante estadounidense Ub Iwerks (1901-1971) (quien trabajó para estudios Disney hasta 1930) construyó una cámara que captaba transparencias dibujadas para recrear profundidad. Y en 1937 el ingeniero Bill Garity (1899-1971) (desde los estudios

<sup>36</sup> Revisar también capítulo II de este documento

Disney<sup>37</sup>) promovió la construcción de una torre de cuatro metros de alto, con un lente superior interno que ascendía o descendía mediante poleas y entre los soportes dibujados (Parent, 2002, p. 12), (Holliday, Pallant, 2021, p. 67, 68). El corto animado *The Old Mill* y la película *Blancanieves y los 7 enanos* (ambos de Disney, de 1937) fueron los siguientes audiovisuales con ese efecto, conocido hoy en día como *parallax* (un concepto en astronomía que refiere a la distancia entre planetas).

Las cuatro técnicas ya mencionadas (*cel-animation*, *storyboard*, articulación para *stop motion* y *parallax*) ampliaron la capacidad artística de la animación, similar a como ocurriría en las siguientes décadas con la electrónica, las pantallas y los computadores.

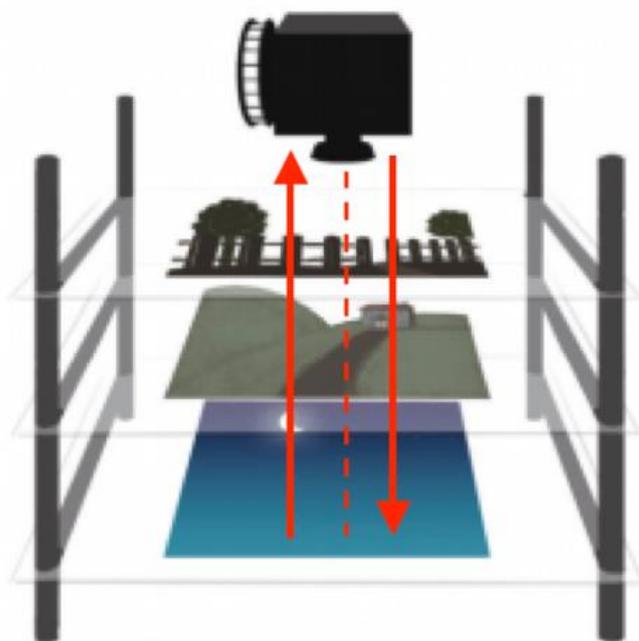


Figura 21. Funcionamiento de cámara multiplano Fuente: Parent. R. (2012, p. 8), Hellerman, J., 2020, *nofilmschool.com*

Gracias a los antecedentes anteriores, el *stop-motion* (fotografiar secuencias para simular animación) permite alternar ambientes y personajes, digitales o construidos manualmente. Un ejemplo de eso es la película *Kubo and the Two Strings* (2015), en donde personajes manualmente animados interactúan con paisajes y océanos modelados en 3D desde computadores.

---

<sup>37</sup> El documento *Multiplane educator guide*, en la web [https://www.waltdisney.org/sites/default/files/MultiplaneGuideCurriculumPacket\\_Final.pdf](https://www.waltdisney.org/sites/default/files/MultiplaneGuideCurriculumPacket_Final.pdf), da similares referencias. Sin embargo, no es un documento fechado ni con crédito de autor.



Figura 22. *Kubo & the two Strings* Izquierda: Dean Holmes, jefe de iluminación y cámaras para el filme *Kubo and the Two Strings* (2016), ajustando al personaje articulado Simio. Derecha: Simio, en una escena totalmente 3D digital. Fuente: *Kubo and the Two Strings, behind scenes* (BBC, 2016). Video de YouTube.

En resumen, los primeros años del siglo XX ofrecieron un nuevo teatro de objetos en movimiento, inspirados por los mecanismos de captura de luz, la proyección de imágenes y la articulación de objetos que inicialmente fueron estáticos. Mucho de eso, fundamentado desde los estudios de Ibn Al-Haytham hasta Plateau en óptica, con las experiencias de los Lumière y Méliès y con las exploraciones artísticas de Blackton, Cohl, McCay, O'Brien y Harryhausen, entre muchos otros.

Todo lo narrado hasta aquí define tres requerimientos para producción en 3D que serán constantes: el trabajo colaborativo para crear y probar nueva tecnología, la calidad de la narración y el uso innovador de técnicas ya disponibles.

En los siguientes párrafos se evidenciará cómo la electrónica aportó, desde las perillas y las ondas eléctricas, a imágenes animadas, pero aún lineales y sin deslumbrantes texturas.

## 1.7 Dinsdale y el píxel

Antes de 1930 en EE.UU. y Europa la capacidad electrónica para obtener imágenes nítidas a color, distinguibles desde una pantalla, era imposible. La solución a eso llegó primero conceptualmente. En esa década ya eran populares los televisores de tubos catódicos (pesadas pantallas que usaban electricidad y químicos sensibles a la luz para mostrar imágenes), además de producciones animadas como el corto *Mickey's Garden*, del estudio Walt Disney, de 1935. Pero la entretenida audiencia desconocía en esos años el potencial de la alteración que la imagen tendría, décadas después, gracias al píxel<sup>38</sup>. Reseñarlo es importante porque es el fundamento para todos los resultados venideros en cuanto a gráficos en pantalla y animación.

---

<sup>38</sup> Pequeña unidad de celda electrónica que expone la luz descompuesta en uno de millones de matices de rojo, verde o azul (*red, green, blue*, o RGB) y los muestra en pantalla para crear imágenes de diversa resolución. El píxel fue aplicado



Figura 23. Fotograma *Mickey's Garden*, 1935. Walt Disney Productions

La transmisión de forma inalámbrica de imágenes entre pantallas nació de la electrónica. Fue el ingeniero inglés John Logie Baird (1888-1946)<sup>39</sup>, quién ya había estudiado desde 1920 una primitiva célula eléctrica activada por voltaje al recibir luz natural (Pérez, 2008, p. 67, 68). En 1926 Baird ensayó enviar imágenes de su rostro desde una la célula conectada a una pequeña pantalla común de tv, a tres metros de distancia (National Library of Scotland, 2009). Sus ensayos se concretaron en 1928, en los estudios de la British Broadcasting Corporation (BBC) al enviar imágenes a un solo color entre Nueva York y Londres. En 1932 ese sistema sería un estándar en la televisión inglesa y le permitió a Baird un reconocimiento por la Royal Society de Edimburgo (Escocia) en 1937.

El logro de Baird interesó a revistas especializadas en EE.UU., como la *Wireless World*. Allí se publicó en 1928 el texto *Television Demonstration in America* escrito por el estadounidense Alfred Dinsdale (1896-1974)<sup>40</sup>,

---

como modelo técnico en pantallas de laboratorios estadounidenses en 1970; y entre el año 1990 y el 2000 empezó a comercializarse mediante pantallas junto a otro método técnico: el cristal líquido, LCD (liquid-crystal display) tanto para televisores, monitores y pantallas móviles.

<sup>39</sup> Ingeniero e inventor escocés, nacido en 1888 y fallecido en 1946. Experimentó con transmisiones de imágenes de rostros humanos y divulgó sus hallazgos en el Real Instituto londinense. En 1928 demostró el proceso completo de transmisión de imágenes.

<sup>40</sup> Alfred Dinsdale fue editor de la revista inglesa *Television*, fundada en 1928. Sus artículos comentaban del uso de la televisión en la sociedad de esos años. En 1932 publicó su recopilación de artículos *First principles of television*. Estuvo interesado en cómo transmitir y recibir señales electrónicas audiovisuales. Mantuvo contacto con el ingeniero escocés John Logie Baird, creador de una de las primeras células fotosensibles, base electrónica para la tv en las siguientes décadas (Aldridge, 2012, pp. 53, 54), (Gannon, 2009, p. 59).

un obsesionado por la transmisión de imágenes (Shiers, 1997, p. 101-119). Otros investigadores más formales en ese ámbito fueron Albert Rose<sup>41</sup> y Otto Schade<sup>42</sup>, de la Radio Corporation of America (RCA).

Dinsdale, Rose y Schade cuestionaron el estándar técnico de la tv de esos años. Es decir, no se conformaban con las imágenes difusas en una pantalla diminuta (Lyon 2006, p. 3). Su inconformidad propuso, solo en concepto, a un pequeño mosaico luminoso como unidad visual: “(...) selenium cells, a great number of small parts, thousands of little squares, and a succession of little areas of varying brilliance”<sup>43</sup> (Dinsdale, 1926. Citado por Lyon, 2006, p.1). Para Dinsdale, eso resolvería la cuestión final de la calidad de la imagen en televisión.

Pero las nuevas ideas pueden afectar los intereses comerciales de otras ya implementadas. En 1923 el ingeniero e inventor ruso Vladimir K. Zworykin (1888-1982)<sup>44</sup> ya había patentado las primeras pantallas de tubos catódicos. Esa técnica había sido estudiada por el físico y ganador del premio Nobel en 1909, Karl Ferdinand Braun (1850-1918). En los tubos catódicos una señal eléctrica ilumina una superficie recubierta de fósforo, un químico sensible a la luz, usando disparos de partículas eléctricas con carga negativa, llamados electrones. Para Zworykin el público no necesitaba más. Reprochó las teorías de Dinsdale, Rose y Schade tachándolas de ficticias<sup>45</sup> (Dinsdale, 1926, p. 2). Aún así, el concepto del píxel ya estaba siendo mentalizado en otros laboratorios industriales.

Aunque la física de la luz y la teoría de la persistencia retiniana ampliaron el uso comercial de la fotografía y del cine desde 1850, todavía faltarían décadas para empezar a ampliar (aún más) las posibilidades creativas de la electrónica.

---

<sup>41</sup> Físico estadounidense. En su artículo *A Unified Approach to the Performance of Photographic Film, Television Pickup Tubes, and the Human Eye*, de 1946, teorizó en técnicas de visualización de imágenes mediante fotoconductores, materiales susceptibles de recibir y transmitir energía como luz o radiación.

<sup>42</sup> Físico alemán emigrado a EE.UU. donde trabajó en la empresa RCA. En su artículo *Electro-Optical Characteristics of Television System*, de 1950, teorizó acerca de la imagen y posibles métodos de transmisión.

<sup>43</sup> Traducción: “Un mosaico de células de selenio, un gran número de partes pequeñas, miles de pequeños cuadrados y una sucesión de pequeñas áreas de brillo variable”.

<sup>44</sup> Ingeniero electrónico ruso que en 1923 ensayó el uso de tubos catódicos para mostrar imágenes en una pantalla. Esa fue una idea inicialmente rechazada por los jefes de Zworykin en la empresa estadounidense Westinghouse; pero retomada después con el desarrollo de pequeñas piezas que activen voltaje en presencia de luz (células fotoeléctricas). Sus patentes dieron como resultado el primer tv comercializado por la empresa RCA en 1939.

<sup>45</sup> "The picture element is a purely fictitious concept when applied to the mosaic." Vladimir K. Zworykin en 1937 (Dinsdale, 1926, p. 2).

## 1.8 Gráficos con simulación de profundidad: 1930-1962

Los primeros años del siglo XX iniciaron con un reducido grupo de artistas e investigadores que manipularon (o generaron) nuevas imágenes, cada uno desde sus propios intereses funcionales y estéticos, para comprobar los límites artísticos de esa alteración.

Un ejemplo fue Mary Ellen Bute (1906-1983)<sup>46</sup>. Recién graduada del Pennsylvania Academy of Fine Arts, en 1920, Bute usó equipos de laboratorio llamados osciloscopios, que en esos años eran aparatos electrónicos del tamaño de una nevera mediana actual, pero con grandes perillas, botones y una pantalla, cuyo propósito aún hoy es medir la fuerza de flujos eléctricos. Bute les agregó un uso creativo al animar volátiles figuras geométricas.

Ya en 1930 Bute se expresaba más allá de los pinceles y el lienzo. Su inquietud la llevó a la acústica (estudio de las ondas sonoras), a la óptica (estudio de los fenómenos de la luz y de la visión) y a la electrónica (estudio del comportamiento de los electrones para generar energía), influenciada también por las experimentaciones de Ted Nemeth (1911-1986)<sup>47</sup>, un fotógrafo estadounidense.

Entre los años 1952 y 1953 Bute creó películas de corta duración filmando frente a un osciloscopio. Combinó eso filmando volúmenes geométricos construidos a mano por ella, como cubos y triángulos. Luego, les superpuso texturas transparentes de colores y tipografías, dibujadas o en relieve. También mezcló secuencias como la acción de pelotas rebotando, huevos estrellándose, anillos, prismas y cubos rotando en su propio eje.

Todo eso resultó en profundidad y volumen puramente geométrico (en la actualidad pueden ser creados mediante imagen 3D). La primera película presentada por Ellen Bute en público fue *Rhythm in Light*, de 1935. Es posiblemente la primera muestra de videoarte abstracto<sup>48</sup> (o de acompañamiento pictórico, una definición propia de Ellen Bute). Le siguieron trabajos como *Synchromy No. 4: Escape*, de 1938, uno de sus

---

<sup>46</sup> Artista estadounidense nacida en 1906. Estudió artes plásticas y posteriormente iluminación teatral. Estuvo inspirada por el pintor surrealista Paul Klee y el arte abstracto del pintor Vasili Kandinski. Adaptó para sus experimentaciones en cine, obras literarias y musicales. Falleció en 1983.

<sup>47</sup> Fotógrafo profesional, músico y cineasta estadounidense. Fue uno de los representantes del movimiento artístico-experimental, entre 1919 y 1945. Esa corriente conocida también como avant-garde proponía crear nuevo cine, sin restricciones, con ensayos y formas de expresión basados en materiales, iluminación y musicalización; además de exponer temáticas fantásticas y futuristas (Horak, 1995, pp. 20, 322).

<sup>48</sup> Corriente artística inicios del siglo XX que promovía la representación del entorno físico-real mediante formas y colores hiper simplificados o distorsionados, sin ningún parecido o relación estructural con el objeto referente. Los pintores más representativos de esta corriente fueron Juan Gris (1887-1927), Kazimir Malevich (1879-1935), Joan Miró (1893-1983), Jackson Pollock (1912-1956), Victor Vasarely (1906-1997), entre otros.

primeros trabajos a color<sup>49</sup>, aplicando la técnica de reemplazo para recrear repeticiones e intercalado de objetos a color, como triángulos.

Años después, en 1953, Ellen Bute filmó *Abstronic* y *Mood Contrasts* (Dreher, 2012, p. 87, 88), añadiendo estelas de luz y música de violines. Otros artistas de esa década, como Herbert W. Franke (1927-2022)<sup>50</sup> y Nicolás Schöffer (1912-1992)<sup>51</sup> usaron las mismas técnicas de Bute, pero con resultados más estridentes, posiblemente influenciados por el arte psicodélico<sup>52</sup> estadounidense de inicios de 1960. El acercamiento de Bute a esos aparatos debió motivar a otros a rebuscar entre perillas y circuitos el potencial artístico de la electrónica.

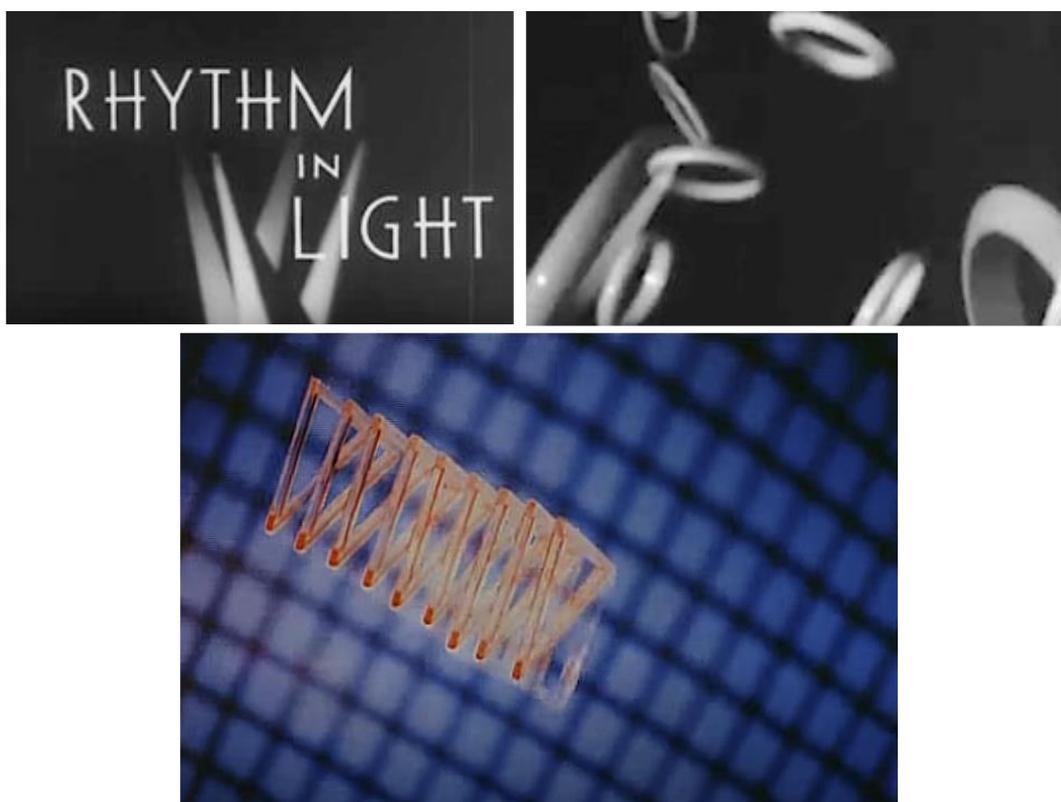


Figura 24. Secuencias del corto *Rhythm in Light*, de Ellen Bute (1935); y de *Synchromy No. 4: Escape*, de 1938. Fuentes: Naumann, s/f. Dreher, 2012, p. 87, 88; canal de YouTube *glangorous*, 2008.

<sup>49</sup> En 1936 la empresa estadounidense Kodak comercializó por primera vez la película Kodachrome, sensible a capturas a color para equipo fílmico amateur.

<sup>50</sup> Científico austríaco y escritor de ciencia ficción. Autor de *The Green Comet: Utopian-Technological Stories*, entre otros.

<sup>51</sup> Escultor húngaro, nacido en 1936. Elaboró piezas de aspecto geométrico con énfasis en lo tridimensional y en el movimiento (arte cinético) influenciado por el cubismo y el cine.

<sup>52</sup> Corriente artística muy popular en América del norte en 1960 derivada desde las obras del arte surrealista europeo de los años 1920, es decir, en donde se celebra las percepciones del subconsciente y de la imaginación alterada.

Si en la época de los primeros juguetes ópticos (mediados del siglo XIX en Europa) como el zoótropo o el fenaquistoscopio, fueron combinadas óptica y mecánica, en este nuevo período se mezclarán electrónica de taller (aún sin los computadores y *software*), además de arte.

Obviar la tradición visual de esos años (imágenes a un solo color mediante equipo filmico) encandiló a jóvenes devenidos en cineastas experimentales. Ejemplo de ello fue el matemático estadounidense Benjamin Francis Laposky (1914-2000). En 1950, luego de trabajar profesionalmente con equipos que generan voltajes mediante rotación de perillas, logró animaciones desde un osciloscopio, alterando los flujos eléctricos. Gracias a eso, Laposky recreó formas ligeramente tridimensionales, con trazos monocromos pausados (Carlson, 2017a, p. 34) que luego fotografiaba y coloreaba para usarlos en portadas de libros y revistas de ciencia.

Los trabajos de Laposky y Ellen Bute bien pudieran ser las primeras imágenes creadas con movimiento totalmente aleatorio, con mínimo o total control humano (Pegoraro, 2017, p. 4) pero aún sin la digitalización lograda por los próximos lenguajes de programación dedicados a generar imágenes similares.

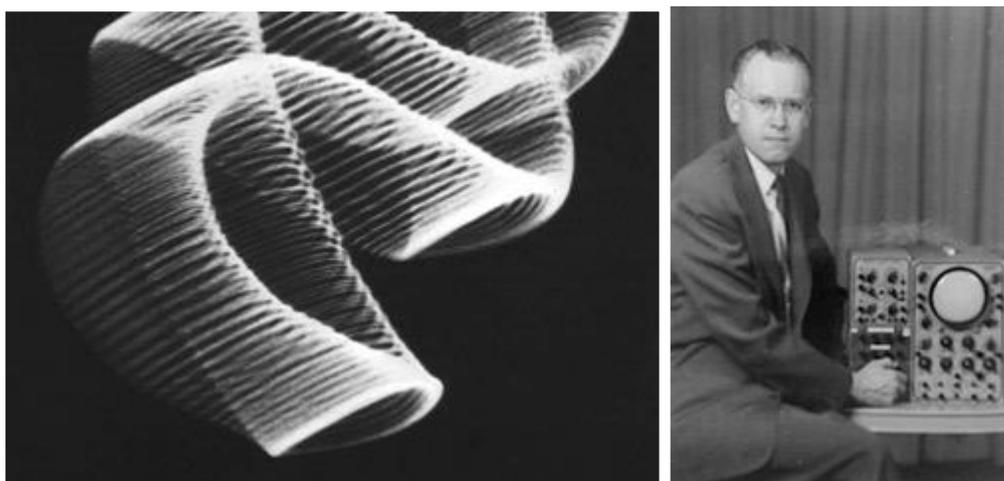


Figura 25. Animación en osciloscopio, de B. Laposky, de 1950. Detalle de la animación Oscillon 7. Ondas mostradas en la pantalla de un osciloscopio.

A la derecha, B. Laposky junto al aparato, en 1950. Fuente: Franke, H. (1971, p.96)

También, desde el año 1950 el color en animaciones lineales empezaba a exponerse, por ejemplo, con el artista y compositor John Whitney (1917-1995)<sup>53</sup>, junto al ilustrador Saúl Bass (1920-1996)<sup>54</sup>. Ambos usaron osciloscopios para crear dibujos abstractos, conocidos como espirografías, es decir, generados mediante la alteración de frecuencias eléctricas. Eso es evidente en las tipografías animadas creadas por Saul Bass en el filme *Vértigo* (1950), del director y guionista inglés Alfred Hitchcock (1899-1980) y en las siluetas lineales o punteadas, del mismo filme, diseñadas por John Whitney.

Diez años después de *Vértigo* la aeronáutica iniciaba sus ensayos con gráficos y pantallas. En 1964 el artista y diseñador gráfico William A. Fetter (1928-2002)<sup>55</sup> creó diagramas tridimensionales con formas humanas para estudios de ergonomía<sup>56</sup> en pilotos de aviones para la empresa Boeing<sup>57</sup>. Fue Fetter quien acuñó por primera vez el término *computer graphics* en sus publicaciones (Pegoraro, 2017, p. 4). Se aclara que Fetter generó esos gráficos un año después de que Lawrence Gilman Roberts presentase su tesis doctoral *Machine perception of three-dimensional solids* (Roberts, 1963), en la cual mostró los primeros algoritmos para generar figuras geométricas lineales tridimensionales y observables en pantalla.

En paralelo a los usos que Bute, Laposky, Whitney y Fetter dieron a los osciloscopios, empezando la década de 1960 otros investigadores y laboratorios de universidades ya estaban sembrando la semilla del entretenimiento digital interactivo.

Definimos interactividad al evento que permite "acciones desde interfaces en pantallas táctiles, controladores u órdenes de voz; lo que a su vez devuelven nuevas respuestas para ser evaluadas por un

---

<sup>53</sup> Compositor y diseñador estadounidense. Colaboró en la empresa militar Lockheed Aircraft Factory, en donde manipulaba equipo electrónico de rastreo de misiles. Posterior a eso exploró desde la computación las formas ondulares en movimiento. Una de sus primeras aplicaciones fue en el cine, mediante formas abstractas generadas en computador; y luego en su trabajo llamado *Catalog*, de 1960. Falleció en 1995.

<sup>54</sup> Ilustrador estadounidense. Creó secuencias de tipografías para *The Man with the Golden Arm* (1955). Sus animaciones tipográficas más conocidas son para las películas de Alfred Hitchcock, *Vértigo* (1958) y *Psycho* (1960). Falleció en 1996.

<sup>55</sup> Diseñador estadounidense. Su carrera profesional empezó como supervisor en la empresa aeronáutica Boeing, en donde trabajó con los primeros computadores generadores de gráficos lineales que usaron para crear simulaciones de cabinas para aeronaves. Falleció en 2002.

<sup>56</sup> Disciplina que estudia cómo los objetos pueden ser usados con eficacia y comodidad por humanos, y las reglas para ser diseñados y cumplir esos objetivos.

<sup>57</sup> Es una empresa multinacional estadounidense fabricante de aviones comerciales y militares. Aplica desde 1960 computadoras con sistemas de dibujo para reducir costos, medir datos de eficacia de los diseños y recrear entornos digitales e interactivos para pruebas.

usuario" (Sancán y Sancán, 2023, p. 8). Un primer e importante uso interactivo para entretenimiento ocurrió en 1962 gracias al programador estadounidense Steve Russell<sup>58</sup> (1957).

Durante su estadía en el Massachusetts Institute of Technology<sup>59</sup> (MIT), Russell creó como tarea de tiempo libre y durante un mes un *software* al que llamó *Spacewar!*. Este código sería reproducido desde un básico panel de botones, palanca de mando y una pantalla circular de un computador PDP (siglas de Programa Procesador de Datos, en español), un sistema muy usado en esos años en empresas que requerían cálculos para ciencia. La novedad de *Spacewar!* fue permitir a cualquier usuario manipular en pantalla unos puntos de luz en forma de un pequeño triángulo cuyo rol conceptual era la de ser una nave espacial. El objetivo del usuario era disparar contra círculos y así evitar la destrucción del luminoso triángulo (Beane, 2012, p. 11, 12).

Como se verá luego, el ejercicio lúdico de Russell activó años después toda una industria audiovisual de la que la imagen 3D tendría un puesto importante.

---

<sup>58</sup> Programador estadounidense graduado del MIT e investigador de la universidad de Stanford. Otros colaboradores que agregaron nuevas características al programa fueron J. Martin Graetz, Stewart Brand, Steve Russell, Bob Saunders y J. Martin.

<sup>59</sup> Massachusetts Institute of Technology. Centro de estudios superiores en EE. UU, fundado en 1861, con énfasis en tecnología y ciencias.

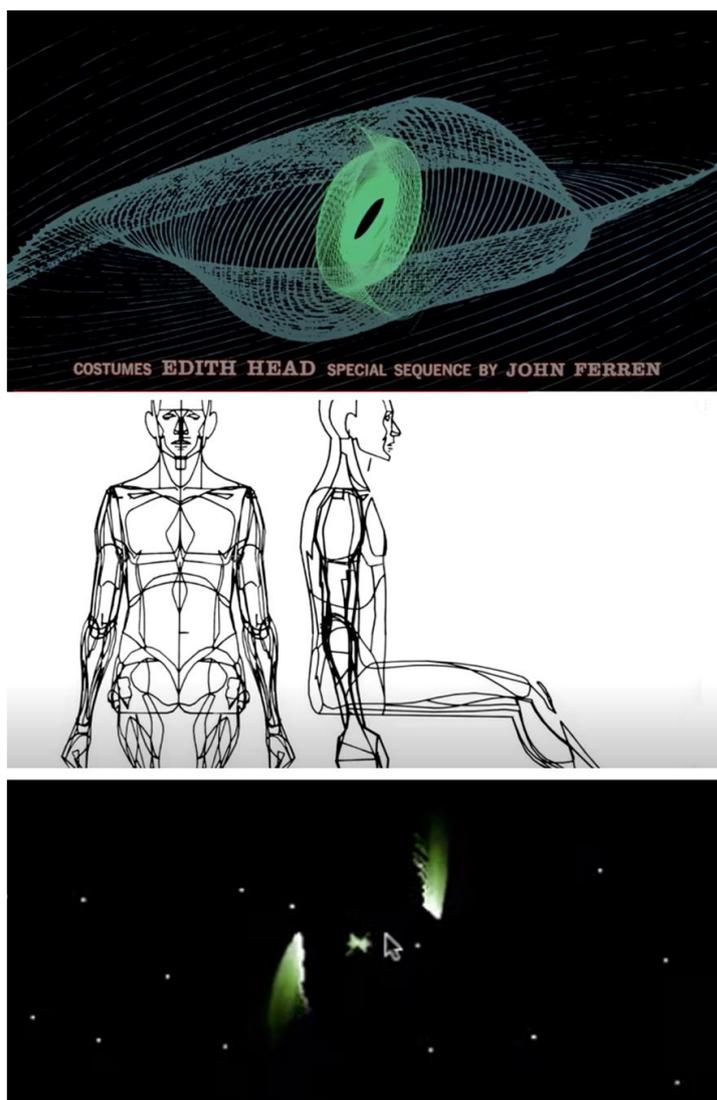


Figura 26. Gráficos en computadora, 1950 a 1962. Arriba: créditos para *Vértigo*, de 1950. Mitad: humanos para estudios de ergonomía, de W. Fetter, 1960; *Space Wars*, de 1962. Fuente: *V&A* (2019); (Beane, 2012, p. 11, 12); *Computer Artist* (2013).

En resumen, se evidencia que el combinar electrónica y arte logró nuevas expresiones: Bute y su abstracción cubista<sup>60</sup> y Laposky con sus ondas de luz. La clave de eso fue la fusión de criterios técnicos desde una orilla de conocimiento diferente, lo que permite mirar un mismo desafío desde varias perspectivas.

En la siguiente sección se detalla cómo las primeras y luego mejoradas instrucciones en código para máquinas resultaron ser un decisivo arranque en la fascinante tecnología 3D actual.

---

<sup>60</sup> Corriente pictórica y escultórica iniciada entre 1905 y 1914 en Europa, con el español Pablo Picasso y el francés George Braque. El cubismo representa artísticamente a la naturaleza mediante colores planos, objetos geométricos y fragmentados.

## 1.9 Primeros equipos para simular 3D lineal: 1963-1968

En los siguientes párrafos se explicará cómo la investigación académica en electrónica transformó líneas luminosas mostradas en una oscura pantalla a impactantes formas 3D simuladoras de ancho, altura y perspectiva.

El inicio de los gráficos 3D desde computadores empezó con los trabajos de Lawrence Gilman Roberts (1937-2018)<sup>61</sup> durante su doctorado<sup>62</sup> en el MIT<sup>63</sup>, entre 1961 y 1963. Sus algoritmos (instrucciones en código que un computador recibe para transformar datos) permitían observar en oscuras pantallas la ilusión de profundidad de lineales cubos y triángulos. Roberts usó el computador TX-2 y el sistema Sketchpad<sup>64</sup>. El primero era usado por la Armada Naval de los EE.UU. para cálculos de trayectoria de misiles. Mientras que el Sketchpad fue una innovación única para esos años.

El Sketchpad fue un aparato que permitía dibujar líneas mediante un lápiz electrónico al frotar su punta sobre una pequeña pantalla negra. Una vez construido, fue presentado como tesis de doctorado en ingeniería eléctrica por Ivan Sutherland (1938)<sup>65</sup>, en 1963, para uso científico y gratuito. Sutherland propuso que, además de ser aprovechado en dibujos para ingeniería, el Sketchpad "puede resultar interesante [para] intentar hacer dibujos animados." (Sutherland, 1963, p. 66. Citado por Sito, 2013, p. 1).

En su tesis *Machine perception of three-dimensional solids* (Roberts, 1963) el autor usó coordenadas de posición por cada línea dibujada. Eso permitía la unión con otras líneas para así formar cubos o triángulos. Incluso, creó métodos de alerta cuando las líneas no se unían adecuadamente.

---

<sup>61</sup> Ingeniero computacional estadounidense. Graduado en el MIT en 1963. Colaboró en las primeras redes experimentales de computación para seguridad militar en la agencia estadounidense de seguridad Darpa. Fue parte en 1966 del equipo de ingenieros que mejoró la teoría del paquete de datos digital, muy usada para intercambiar documentos e imágenes a través de internet. Falleció en 2018. En el capítulo III profundizamos más acerca del logro de Roberts para el 3D actual.

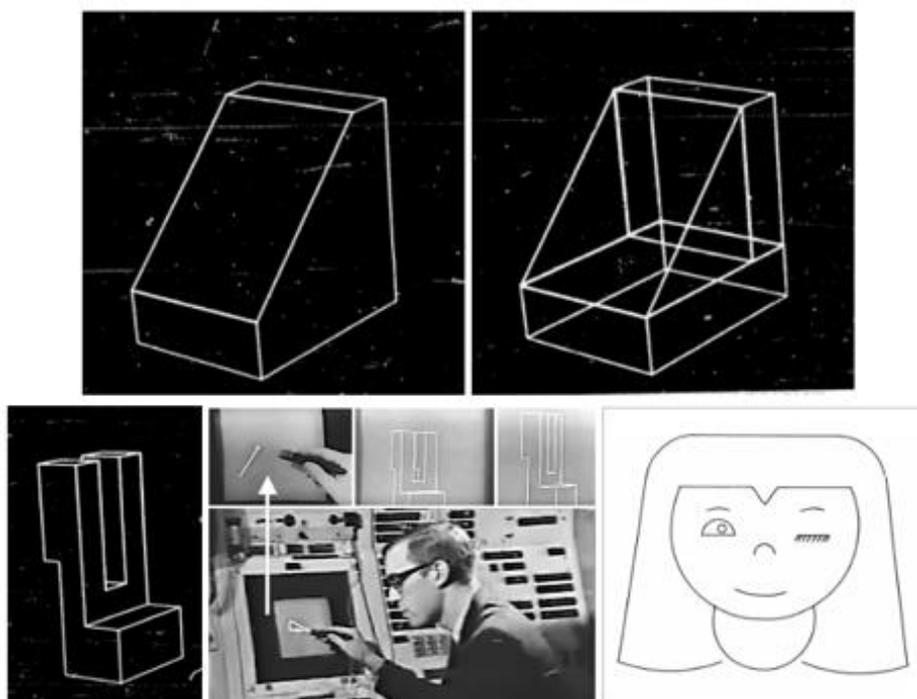
<sup>62</sup> También conocido por las siglas Ph.D. (Philosophiae doctor). Ese término es el título más empleado para un diploma especializado en investigación.

<sup>63</sup> Instituto de Tecnología de Massachusetts, EE.UU., creada en 1861. Sus carreras concentran ingeniería y ciencia aplicada.

<sup>64</sup> El sistema Sketchpad fue el primer programa informático que permitió la manipulación directa de objetos gráficos. También estableció la necesidad de más estudios y sistemas de interacción persona-ordenador. Fue predecesor de los programas de diseño en computadoras.

<sup>65</sup> Ingeniero eléctrico estadounidense. En 1963 obtuvo su doctorado en el MIT basado en el desarrollo del *Sketchpad*, el primer sistema para dibujo y gráficos en computadores. Obtuvo el Premio Turing en ciencias de la computación en 1988.

Roberts apuntó a dos cuestiones necesarias y complejas: dibujar líneas en una pantalla para crear una figura geométrica de tres dimensiones (llamado sólido), y crear los cálculos para ocultar ciertas líneas y planos que, según la perspectiva de cada objeto, no deberían apreciarse durante su rotación.



*Figura 27. Software para ocultamiento de líneas en polígonos 3D, 1963. Arriba, gráficos de G. Roberts en 1963. Abajo, Ivan Sutherland y el sistema Sketchpad, en el que G. Roberts ensayó sus algoritmos. Fuente: Roberts, 1963, p.70; Sutherland, 2003, p.*

109.

Roberts solucionó un problema clave en 3D: el de ocultar las líneas de las figuras geométricas según su posición. En un objeto real, como un cubo o un prisma, no todas las líneas y vértices<sup>66</sup> serán siempre visibles. Si se pinta un cubo con color negro, pero solo sus bordes y esquinas con líneas blancas, solo las líneas más cercanas a la vista del espectador se apreciarán, mientras que las demás líneas quedarán ocultas por los lados del cubo. Esto ocurrirá según la posición del objeto, o si este cubre a otro. Resolver eso a inicios de 1960 con programación y matemáticas, como vectores (valores numéricos de dirección) y matrices (conjunto ordenado de valores) fue el mayor aporte de Roberts.

Su logro evidencia lo multidisciplinar en la creación tecnológica. Él fundamentó su trabajo en las teorías de la percepción visual, es decir, aquellas que explican cómo el ser humano es sensible a la perspectiva, las formas y las texturas que observa. Roberts tomó esas ideas del psicólogo estadounidense James J. Gibson (1904-1979), especialmente por su publicación de 1950, *The perception of the Visual World*. Allí Gibson propuso

---

<sup>66</sup> En geometría y dibujo técnico un vértice es el punto donde confluyen dos o más planos o líneas de diverso tipo.

que las formas de los objetos nos dan incentivos perceptibles; es decir, comunican qué son y para qué sirven. Por ejemplo, una almohada de textura suave nos evoca comodidad; y una tetera de formas redondeadas se siente como amigable. Roberts escribió que el trabajo de Gibson “dominaba su mente [la de Roberts]” por ser “claro y completo” (Roberts, 1963, p. 12, párr. 1).

Por otro lado, se resalta que el contexto geopolítico iniciado casi veinte años antes de la tesis de Roberts fue una tarima de apoyo para la colaboración académica, tecnológica y militar en EE. UU., de la que Roberts y muchos otros investigadores fueron beneficiados. En otras palabras, los siguientes hechos explican, en parte, por qué norteamérica ha liderado tecnologías, como la imagen 3D.

La cuestión fue la siguiente. Desde 1950 y gracias al fuerte financiamiento estatal en EE. UU. muchas de sus universidades serían colmenas intelectuales para crear investigación en gráficos digitales; en parte, para sumar conocimiento, como lo producido por G. Roberts, pero también para seguir las directivas (y otras obligaciones político-estatales) en cuanto a seguridad militar en los años posteriores a la Segunda Guerra Mundial (1939 a 1945).

La geopolítica tiene una explicación para eso. Según el libro de Walter Isaacson (1952)<sup>67</sup> *Los Innovadores* (2014), durante la II Guerra Mundial (1939-1945) en EE. UU. ya se habían creado entidades estatales que vigilaban el correcto uso de los recursos científicos ante la guerra en Europa. El director de esas instituciones desde el año 1940 hasta 1947 fue el doctor en ingeniería eléctrica Vannevar Bush<sup>68</sup> (1890-1974).

Años después de la II Guerra Mundial, Bush obtuvo el apoyo de académicos y líderes en ciencia para motivar al presidente estadounidense, Franklin Roosevelt (1882-1945), a crear una institución madre, bajo dirección del ejército, pero con el apoyo de las universidades. Con ello se buscó valerse de ciencia y tecnología a gran escala en tiempos de paz, pero con miras a un posible nuevo enfrentamiento mundial.

Para concretar esa idea, Bush redactó un extenso informe llamado *Science. The Endless Frontier*<sup>69</sup> (1945) en el cual explicaba al gobierno por qué la ciencia sería el principal escudo de defensa de la economía

---

<sup>67</sup> Periodista estadounidense. Ex editor de la revista Time y ex presidente de la cadena de noticias CNN. Graduado de Historia y Literatura en la universidad de Harvard. Ha escrito las biografías *Benjamin Franklin: An American Life* (2003), *Einstein: His Life and Universe* (2016), *Steve Jobs: La Biografía* (2011) y *Leonardo da Vinci: La biografía* (2018), entre otros.

<sup>68</sup> Estadounidense, graduado en Matemáticas por la Universidad de Tuft en 1913 y doctor en ingeniería eléctrica en el MIT en 1916. Desde 1920 diseñó electrónica para computadoras. En 1932 creó un Analizador Diferencial Mecánico para cálculos. En toda la década de 1930 lideró grupos asesores en ciencia para los gobiernos de esos años, como el del presidente Franklin Roosevelt y luego el de Harry S. Truman; lo que le permitió concretar el Comité Nacional de Defensa e Investigación (NDRC, en inglés) y luego la Fundación Nacional para la Ciencia, con financiamiento e influencia política.

<sup>69</sup> La ciencia, frontera sin fin.

estadounidense. En 1950 el gobierno estadounidense de Harry S. Truman (1884-1972) creó la Fundación Nacional para la Ciencia (NSF en inglés). Bush ejerció allí como asesor del comité por varios años.

Un hecho ocurrido en octubre de 1957 añadió nueva incertidumbre geopolítica entre EE.UU. y Europa: el lanzamiento del satélite Sputnik I, desde la actual Rusia hacia la órbita terrestre. Al año siguiente de ese evento, el presidente estadounidense Dwight D. Eisenhower (1890-1969) creó la Agencia de Proyectos de Investigación Avanzada de Defensa (DARPA, en inglés) con tres objetivos: investigación espacial, defensa de misiles y detección de armas nucleares (Windham, Van Atta 2019, p. 3). A partir de allí, los contratos y las donaciones gubernamentales para universidades y centros de ciencia proliferaron y las investigaciones se ramificaron hacia la computación, los gráficos digitales, las redes informáticas y la telecomunicación, todo eso entre 1950 y 1980 (Isaacson, 2014, p. 152). Bush falleció en 1974, habiendo sido el principal impulsor del financiamiento estatal posguerra en ciencia y tecnología en EE. UU. Esa podría ser la principal causa por la que algunas universidades y laboratorios estadounidenses mantuvieron la ruta científica para la imagen digital 3D.

Por ejemplo, desde 1964 era popular en laboratorios estadounidenses el sistema Be Vision. Este era un paquete de códigos creados en los laboratorios Bell para los gigantes computadores IBM 7090. Be Vision era usado en diseño industrial avanzado por dos razones: su capacidad para dibujos curvilíneos, como cilindros, parábolas y esferas, y por la posibilidad de crear intersecciones o fusiones entre esos dibujos (Weiss, 1966).

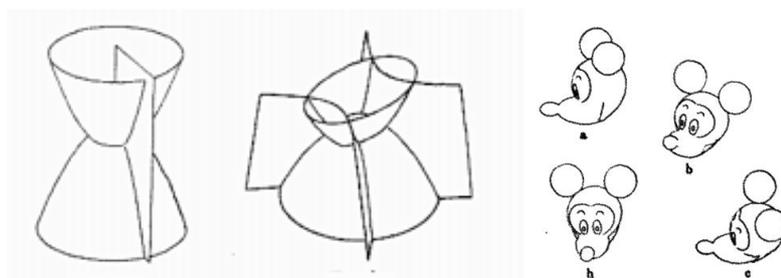


Figura 28. Gráficos dibujados mediante software Be Vision. Fuente: Weiss, R. (1966)

Con esos antecedentes, desde 1967 el College of Arts and Sciences y el Computer Graphics Research Group (CGRG)<sup>70</sup>, ambos de la Universidad Estatal de Ohio en EE. UU., fueron puntos calientes en gráficos 3D para la comunidad académica y científica. Un pionero de esas instituciones fue el ingeniero y artista

---

<sup>70</sup> Grupo de investigación formado en la Universidad Estatal de Ohio, en EE. UU., que desarrolló entre 1971 a 1990 algoritmos para representación de sólidos 3D y lenguajes de programación combinando profesionales y estudiantes de diversas facultades. Posteriormente cambió su nombre a The Advanced Computing Center for the Arts and Design (ACCAD), ampliando sus investigaciones a realidad virtual y educación. Actualmente sigue en funcionamiento. Sitio web: <https://accad.osu.edu/>

estadounidense Charles A. Csuri (1922-2022)<sup>71</sup>, que ya había experimentado en 1964 con gráficos en pantalla al haber colaborado con los laboratorios Bell<sup>72</sup>. El mérito de Csuri fue apoyar estudios académicos para gráficos computarizados desde la CGRG.

Csuri y colaboradores ensayaron en 1967 una animación que representaba a un colibrí redibujándose en pantalla hasta fragmentarse nuevamente en otras líneas. Todo eso en 14.000 imágenes compuestas en una sola secuencia y desde un computador IBM 7094 (similar al usado para ejecutar los códigos Be Vision) (Dreher, 2012, p.128).

También en 1967 Csuri creó la animación *Sine Curve Man* mediante la misma técnica usada en el colibrí. Csuri delineó paso a paso con un lápiz electrónico sobre una pantalla la transformación del dibujo: de una rana a un rostro. Luego, cada fotograma fue impreso en papel de gran formato. Al unirlos digitalmente generó una secuencia que podía ser proyectada en pantalla.

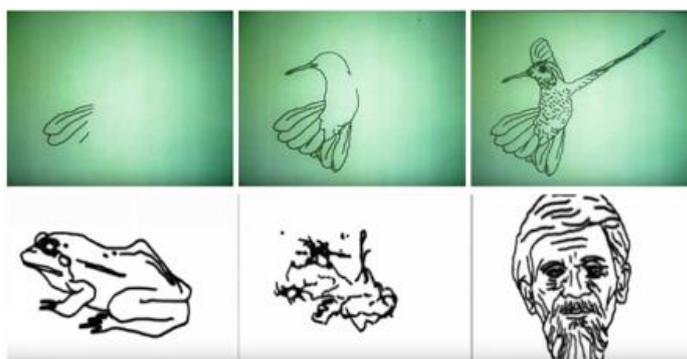


Figura 29. Animaciones de Charles A. Csuri, 1967. Arriba, Hummingbird, dibujo y animación creada mediante código en lenguaje Fortran en 1967. Abajo, secuencia de *Sine Curve Man*, del mismo año y autor. Fuente: Dreber, 2012, p.128.

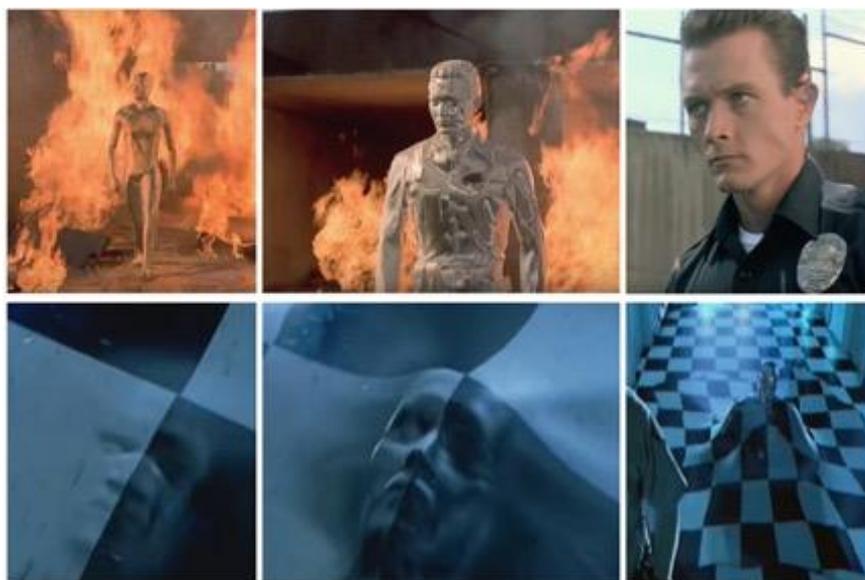
Csuri ensayó un inicial *morphing*, esto es, transformar la forma de un dibujo a otra forma diferente. El *morphing* digital preserva la superficie (también llamada topología), entre dos formas; una al inicio y otra al final de la transformación. Por ejemplo, hay preservación de topología cuando un cubo blanco, sin texturas, se transforma en otro cubo idéntico, pero con texturas y colores.

---

<sup>71</sup> Ingeniero estadounidense. Se unió en 1949 al Departamento de Arte en la Universidad Estatal de Ohio donde profundizó en el uso de lenguajes de programación para usos experimentales de gráficos en computadora. En 1971 fundó el Computer Graphics Research Group. Actualmente es profesor emérito y artista digital. Una de sus exposiciones retrospectivas es *Beyond Boundaries, 1963-present*.

<sup>72</sup> Los laboratorios de investigación y manufactura Bell fueron creados en Nueva York, EE.UU., en 1925, con dinero de la empresa de telecomunicaciones AT&T. En Bell se estudió el comportamiento de la electricidad, las bases técnicas del transistor (1947), del teléfono (1960) y de los satélites de comunicación y de las microondas (1978). En 1984 se redireccionó como empresa en Lucent Technologies.

Para un correcto *morphing* debe haber fluidez sin interrupciones, además de una unidad invariable (*monotonicity*) donde los volúmenes deben cambiar sin añadir o eliminar ninguna nueva porción (Cosmin, 2013, p. 19, 20). Un ejemplo de eso está en la película *Terminator 2* (1991). Allí, un estado sólido da paso a otro estado, acuoso y cromado, en el personaje T-1000. También puede existir *morphing* sin preservación de topología; por ejemplo, cuando un cubo tridimensional es fusionado con una esfera.



*Figura 30. Morphing con preservación y sin preservación de topología. Arriba, secuencias de Terminator 2 (1991). Abajo, transformación sin preservación de topología. En los dos casos existe fluidez (Smoothness) y unidad (Monotonicity). Fuente: Cosmin, 2013, pp. 19, 20, 150.*

En la década de 1970 la manipulación de gráficos (como los de Csuri) era realizada con dispositivos electrónicos de entrada de datos, como lápices conectados a los sistemas para un dibujo más preciso y no solo ingresando complicadas coordenadas desde un teclado. Otro dispositivo valioso fue el *mouse* de computadora, creado por el ingeniero eléctrico estadounidense Douglas Engelbart<sup>73</sup> (1925-2013) que finalmente derivó en el verdadero mando de ubicación en pantalla, desde 1968 hasta hoy en día.

También en 1968 otro ingeniero eléctrico de la Universidad de Nueva York llamado Michael A. Noll (1939)<sup>74</sup> presentó una corta animación con figuras lineales que apenas simulaban a humanos danzando. Lo

---

<sup>73</sup> Inventor estadounidense. Obtuvo un grado en ingeniería eléctrica por la Universidad Estatal de Oregon (EE.UU.) en 1948 y un doctorado en la misma rama en la Universidad de California, en 1955. En una conferencia de 1969 presentó mediante video un sistema que permitía compartir textos usando un computador, teclado y su mouse, recién creado por él.

<sup>74</sup> Ingeniero eléctrico y autor de doce libros de telecomunicaciones. Inició laboralmente en los laboratorios Bell como evaluador técnico de productos comerciales. En 1970 Noll estuvo en el equipo asesor en seguridad informática, ciencia

llamó *El ballet computarizado* y fue creado con una computadora IBM 7090 mientras trabajó en los Laboratorios Bell<sup>75</sup>. Ese equipo es el mismo con el que el *software* Be Vision permitía dibujar el rostro de Mickey Mouse y con el que Charles A. Csuri animó colibríes, ranas y rostros (Noll, 1994).

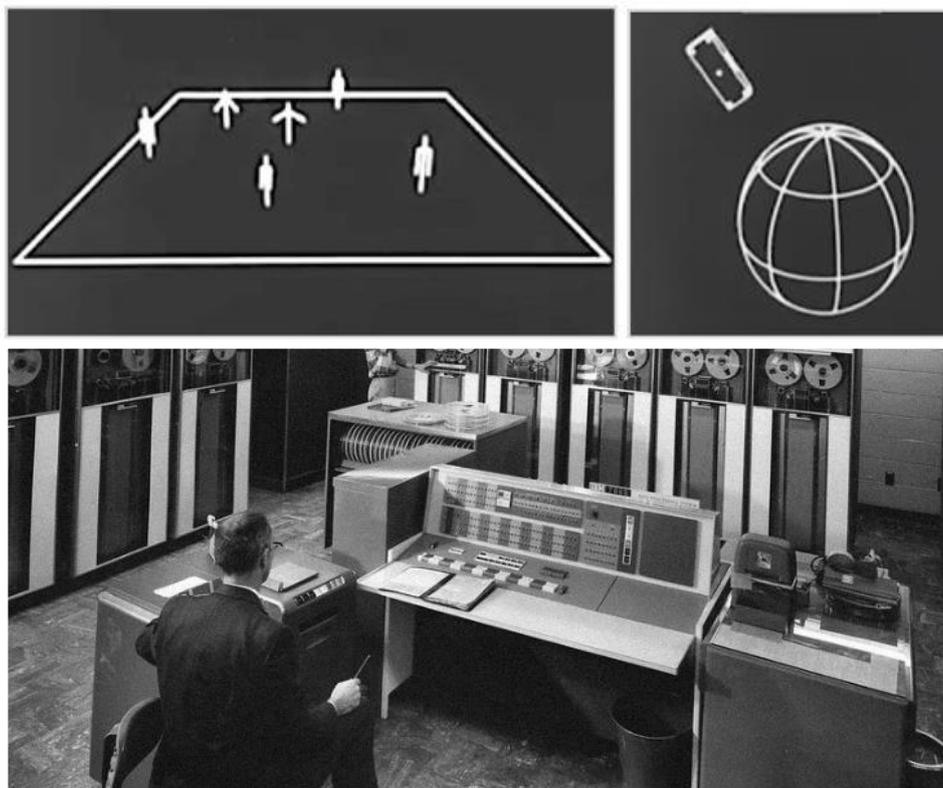


Figura 31. Gráficos computarizados y hardware: 1963 y 1968. *El Ballet* de M. Noll, de 1968 y *Satélite*, de E. Zajac. Abajo, uno de los modelos del computador IBM 7090. Fuentes: ACM Siggraph 1986: *A Retrospective*; Lawrence Livermore National Laboratory, cuenta en Flickr.

Otro aporte similar fue el de Edward E. Zajac (1926-2011)<sup>76</sup>, un ingeniero que también trabajó en los laboratorios Bell. Zajac programó en 1963 una sencilla composición lineal 3D llamada *Simulation of a two-giro gravity attitude control system*. Esta consistía en una esfera rotando en su propio eje junto a un rectángulo, programado y visualizado todo desde un computador PDP-1. Este gigante equipo contenía una pantalla de tubos catódicos (electrones activando minerales de fósforo para mostrar una imagen) común en contabilidad

---

y tecnología de la educación en el gobierno de Richard Nixon. A la fecha es profesor emérito en la facultad de Comunicación en la University of Southern California.

<sup>75</sup> Creados en Nueva York, EE.UU., en 1925. Allí se fundamentó tecnología como el transistor (1947), el teléfono (1960) y de los satélites de comunicación (1978).

<sup>76</sup> Ingeniero mecánico por la Universidad de Cornell, doctorado en Física por la Universidad de Stanford en 1954. En ese año ingresó a los laboratorios Bell para investigación en propagación de ondas, cinemática (ciencia del movimiento) y animación por computadora. También enseñó Economía de la Universidad de Arizona hasta el año 2002. Falleció en EE. UU en 2011.

y cálculos en empresas de esos años; además de un perforador de tarjetas y lector de cinta. Solo desde 1980 fueron poco a poco reemplazados con pantallas de pequeñísimos circuitos emisores de luz o LED<sup>77</sup>.



*Figura 32. Sección de monitor y lápiz óptico del PDP-1 (1961). Fuente: Lawrence Livermore National Laboratory, cuenta en Flickr.*

¿Qué impulsaba a matemáticos, científicos y expertos en electrónica el manejar costoso equipo para dibujar en pantalla rostros de trazo infantil, líneas moviéndose o aves lineales distorsionadas? Además de lo académico, eso podría explicarse por el deseo y la emoción humana de representar el mundo y estirar las posibilidades de las herramientas, así también por un intercambiable interés artístico. Quizás lo mismo ocurrió con los dibujantes prehistóricos de las cuevas de Chauvet-Pont d'Arc, con los artesanos del antiguo Egipto y con los muralistas en la Roma del siglo I, relatado en los párrafos del primer capítulo de este documento. Los humanos no han perdido ese natural deseo de captar y representar nuestro entorno.

Los trabajos de Roberts, Csurí, Noll y Zajac dan prueba de otro hecho: las computadoras servirían para expresar nuevas formas visuales, además de calcular números y estadísticas.

---

<sup>77</sup> Llamados televisores LED (Light-Emitting Diode)

### 1.10 Primeros equipos para simular objetos 3D en pantalla: 1970

Dadas la colaboración y el financiamiento desde la academia y laboratorios en EE.UU., entre 1950 y 1980, los ensayos con gráficos en pantalla aprovecharán equipos mejor adaptados.

Por ejemplo, a finales de 1970 estuvo vigente un equipo llamado Scanimate, desarrollado por Lee Harrison III (1929-1998)<sup>78</sup>, un ingeniero estadounidense con conocimientos de arte y diseño, fundador de la Computer Image Corporation, una derivación de su compañía Lee Harrison & Associates.

Scanimate controlaba ondas sinusoidales (matemática de los ángulos transformadas en señales eléctricas, similares al movimiento de una serpiente arrastrándose). Eso funcionó para crear figuras lineales como labios y ojos humanos: “A synthetic mouth, lips and eyeballs are created through parabolas and sine waves modulated with precise control from voltage sources”<sup>79</sup> (Vasulka, 1992, p. 94).

Un inconveniente fue el complicado uso de ese equipo. El Scanimate funcionaba mediante perillas, rodillos de cinta, deslizadores (*faders*) y conexiones en paneles de circuitos. Todo eso para dibujar, por medio de coordenadas y aritmética, tipografías, personajes o caricaturas animadas.

La dificultad del Scanimate tuvo otra causa: carecer de un interfaz sencillo, unificador y manejable en consola para todo tipo de usuario. La interfaz es todo el conjunto de botones y menús, mecánicos o digitales, que permiten al usuario acciones y resultados sobre una máquina.

Según la documentación revisada (Norman, 2019), (Vasulka, 1992), (Badlerm, Hollick, Granieri, 1993), Scanimate fue popular al unir geometrías y articularlas entre sí. En otras palabras, Scanimate propuso un primer sistema de *rigging* (Norman, 2019). Aún así, se hallaron muy pocas referencias bibliográficas e imágenes que evidencien el funcionamiento del *rigging* en el Scanimate, posiblemente por haber sido un sistema en desarrollo o por su reducida documentación.

El trabajo técnico de Harrison fue premiado en 1972 al ganar un Emmy<sup>80</sup> por desarrollo de ingeniería (Vasulka, 1992, p. 93). Sin embargo, Scanimate fue reemplazado poco a poco por interfaces nuevos y más cómodos para los usuarios que empezaron a usarse desde finales de 1970 en adelante.

---

<sup>78</sup> A diferencia de otros profesionales en ingeniería que usaron computadoras para crear gráficos, Lee Harrison III estudió artes en la School of Fine Arts at Washington University, luego trabajó en la armada estadounidense como ilustrador técnico, y finalmente obtuvo conocimientos en ingeniería y biocibernética en el Denver Research Institute de la Universidad de Denver. Fue en la fábrica Philco Corporation en Filadelfia, EE.UU., donde Harrison inició sus ensayos con animación en computadoras (Carlson, 2017a).

<sup>79</sup> "Una boca, labios y ojos sintéticos se crean a través de parábolas y ondas sinusoidales moduladas con un control preciso de fuentes de voltaje".

<sup>80</sup> Premios a la producción estadounidense televisiva y de cine para entretenimiento, fundados por el editor de revistas Syd Cassyd en 1946.



Figura 33. Sistema Scanimate. Fuente: Norman, 2019. Imagen tomada del video Scanimate Dvd 1, del sitio web [www.archive.org](http://www.archive.org). Minuto 50.

Se considera necesario mencionar un interesante logro en gráficos por computadora fuera de la concentración científico-académica estadounidense entre 1950 y 1980. Ese fue el trabajo de Nikolai Nikolaevich Konstantinov<sup>81</sup> (1932-2021), un matemático de la Universidad Estatal de Moscú que escribió un programa por iniciativa propia entre 1967 y 1968 (su proyecto no fue parte de ningún plan estatal).

Ese trabajo mostraba un gato dibujado mediante una minúscula trama de cuadros, similares a los actuales píxeles en pantalla (Wilson, 2013, p. 5) y que luego eran fotografiados para armar una corta secuencia del gato moviéndose, un proceso similar al de Charles Csuri en la animación del colibrí.

Konstantinov creó la animación en un gigante aparato de transistores llamado *Bystrodeistvniushaia Elektronnaia Schetnaia Mashina* o BESM-4, que traducido significa rápida computadora ejecutiva (Wilson, 2013, pp. 5, 6, 11), (Arlazarov, et al., 2022). El resultado fue el corto animado *Koshechka* (gatito, en ruso). La animación, corta y repetitiva, fue definida como un experimento visual por el propio Konstantinov.

Este sería un ejemplo de los primeros gráficos animados después de la II Guerra Mundial y fuera de EE.UU. La poca divulgación de más proyectos de este tipo pudo ser el resultado del celo tecnológico de la Guerra Fría, una dinámica científico-militar, sin acciones bélicas, entre potencias de Europa (especialmente Rusia) y América del norte, ocasionada por diferencias ideológicas en cuanto a qué tipo de régimen político (comunista o democrático) debería dominar a los países afectados luego de la II Guerra Mundial. Ese tire y hale geopolítico duró hasta la unificación de Alemania, con la caída del Muro de Berlín, en 1989.

---

<sup>81</sup> De padre ingeniero, desde muy joven se interesó por la biología y las matemáticas. Estudió en la Universidad Estatal de Moscú, alcanzó su doctorado en Matemáticas y Lógica y trabajó en los departamentos de matemáticas y física. En 2008 fue condecorado por el premio Moscú por su contribución a la educación en ciencia y tecnología.



Figura 34. *Kosbechka*, de N. Konstantinov, de 1968. Fuente: Wilson, 2013, p. 5, 6

Como punto final en esta sección añadimos los trabajos de Len Lye (1901-1980)<sup>82</sup> y Eric Siegel (1944), dos creadores que aportaron con experimentación visual, la inserción de texturas en objetos tridimensionales, característica no resuelta hasta 1970. Len Lye fue un cineasta, pintor y animador neozelandés. En 1930 filmó composiciones texturizadas mediante la técnica Gasparcolor<sup>83</sup>. Su trabajo es una combinación de videoarte, arte conceptual<sup>84</sup>, animación y técnicas de color, como en *Swinging the Lambeth Walk*, de 1939 (Len Lye Foundation, 2019).

Eric Siegel es un ingeniero, escultor y documentalista que en 1968 coloreó videos mediante un sintetizador electrónico. Este generaba colores directamente en la pantalla, con enérgicos contrastes como en *Einstine*, de 1968 (Dreher, 2012, p. 96).



Figura 35. Secuencia de *Swinging the Lambeth Walk* (1940), y *Einstine*, de 1968. Fuentes: British Council Film, Video Data Bank.

---

<sup>82</sup> Leonard Charles Huia Lye. Escultor y cineasta experimental neozelandés, fallecido en 1980.

<sup>83</sup> Una técnica química que consistía en aplicar tintas de colores para impregnar una película de celuloide ya revelada. Esas tintas podían ser manipuladas para crear efectos de texturas o rasgaduras, directamente a mano.

<sup>84</sup> El arte conceptual influyó en los métodos para crear más y nuevas formas visuales, y no únicamente por lo simplemente irregular de esas formas. El núcleo del arte conceptual son sus estrategias para expresión artística (Kaplan, 2016).

En resumen, entre 1950 y finales de 1970 la electrónica profesional activó los primeros gráficos en pantalla, el arte amplió sus aplicaciones y las instituciones aportaron con espacios y dinero. Eso fue aprovechado en esos años por científicos artistas como G. Roberts, Csuri, Noll, Zajac, Harrison; y fuera de EE.UU., por Nikolai N. Konstantinov.

Algunos resultados de esos trabajos fueron desconocidos por el gran público, como el sistema Sketchpad de Sutherland, innovador en centros de investigación, pero inalcanzable debido a su complejidad, si bien era un sistema gratuito de usar<sup>85</sup>.

En los siguientes párrafos se explicará la solución a la gran limitación en los gráficos en pantalla: el coloreado y texturizado.

### **1.11 Volumen e iluminación 3D, los cuatro hitos: 1970-1975**

Iniciando la década de 1970 las investigaciones académicas en imagen 3D buscaron con ahínco ir más allá de las superficies digitales grises y planas. En 1971 el desarrollo del minúsculo microprocesador<sup>86</sup>, comparado con los ruidosos transistores de tubo, facilitó cálculos con más rapidez. Aunque no redujo los altos costos ni el gran tamaño de los equipos, dio potencia y por ende mayor posibilidad 3D, antes limitadas a bloques simples y sin color.

A la par de lo mencionado, también desde 1970 universidades y laboratorios empresariales dedicados a la investigación y la ciencia empezaron a prestar más atención a la funcionalidad del píxel; es decir, el mínimo punto digital que formaría una imagen perceptible y detallada en pantalla.

Las pantallas usadas en laboratorios entre 1965 y 1975 solo mostraban imágenes en blanco y negro producidas por rayos de electrones y partículas de fósforo; esto es, en pantallas de tubos catódicos. El color blanco era el resultado de esa activación, mientras que el negro representaba a los electrones inactivos. Esos eran únicamente trazos de luz que formaban imágenes reconocibles, línea a línea. Sin embargo, la teoría de un píxel como mediador entre imagen y pantalla ya era aceptada en publicaciones de ciencia. La revista *Science*<sup>87</sup>,

---

<sup>85</sup> Sutherland: "Lo publiqué [el sketchpad] y era gratis usarlo". Entrevista a Ivan Sutherland por Antonio Villarreal para el periódico en línea El Confidencial, de Bilbao, España. 18 de junio del 2019.  
[https://www.elconfidencial.com/tecnologia/2019-06-18/ivan-sutherland-computacion-grafica-entrevista\\_2075029/](https://www.elconfidencial.com/tecnologia/2019-06-18/ivan-sutherland-computacion-grafica-entrevista_2075029/)

<sup>86</sup> Placa o circuito electrónico diminuto, que permite instrucciones de cálculo aritmético en computadores. El primer prototipo fue el Intel 4004 de 1971. Aunque aún no poseía un gran nivel de procesamiento, se diferenciaba de los tubos al vacío por su reducido tamaño y su silencioso proceso de cálculo.

<sup>87</sup> Medio impreso y en línea de la American Association for the Advancement of Science (AAAS), fundada en 1880. Sus artículos exponen temas investigativos de ciencia en general como medicina, robótica e ingenierías.

en 1969, ya asociaba al píxel como un elemento de imagen y resolución (Lyon, 2006, p. 4) tanto en impresiones en pequeños caracteres o para reproducir fotografías.

Sin embargo, el concepto de píxel apareció mucho antes, a finales de la década de 1920. Propuestas anteriores para darle un nombre eran demasiado técnicas: sistema de celdas negras y blancas, o cuantización espacial (Lyon, 2006, p.4) (Bachmann, 2016, p. 39).

El nombre definitivo de píxel (una contracción de Picture Element, o Picture Cel) se adoptó gracias a publicaciones especializadas desde 1965 a 1978, como los reportes del Institute of Electrical and Electronics Engineers, en EE. UU. y desde expertos de los laboratorios Bell, como Leon Harmon (1922-1982)<sup>88</sup>, Kenneth Knowlton (1931-2022)<sup>89</sup> y Bela Julesz (1928-2003)<sup>90</sup> (Bachmann, 2016, p. 39). Se sumaron Tom G. Stockham (1933-2004)<sup>91</sup> y Edwin Catmull (1945)<sup>92</sup> al reforzar el uso del píxel desde la imagen computarizada y la percepción visual.

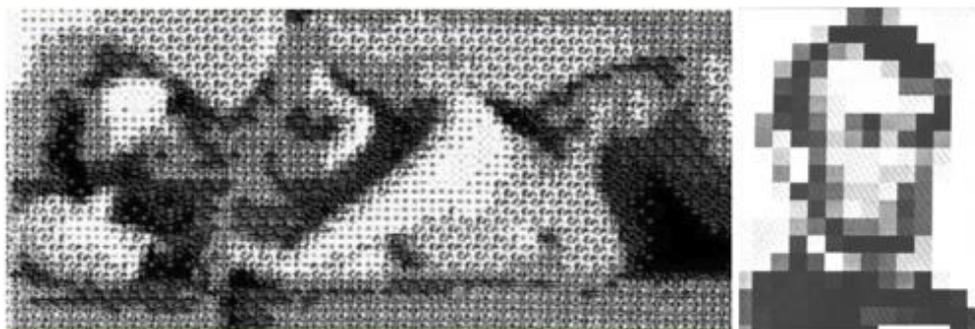


Figura 36. Percepción visual con píxeles, de 1966. Derecha, *Nude*, de Ken Knowlton y Leon Harmon de los laboratorios Bell, 1966. Izquierda, rostro de Abraham Lincoln. Fuentes: Bachmann, 2016, p. 39. Media Art Net (<http://www.medienkunstnetz.de>)

---

<sup>88</sup> Programador y científico estadounidense, fallecido en 1982. Trabajó en Bell Laboratories, donde investigó la percepción humana y gráficos.

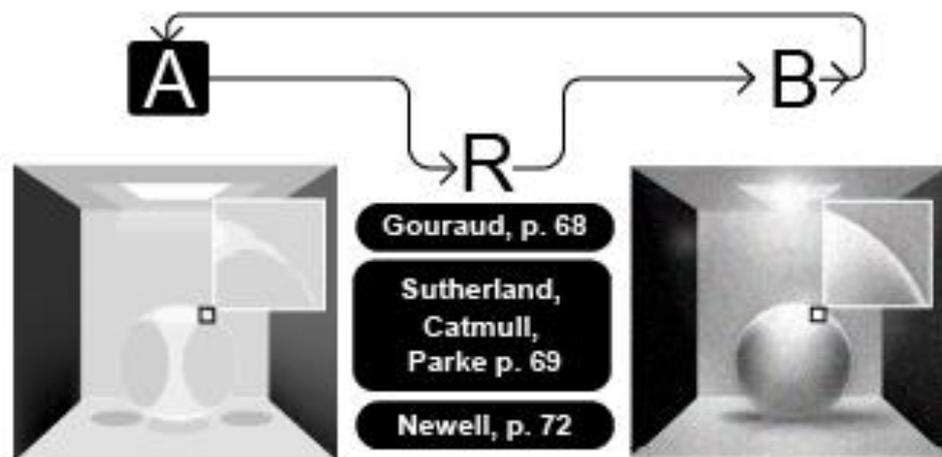
<sup>89</sup> Ingeniero estadounidense de los laboratorios Bell. Desarrolló el BEFLIX (Bell Flicks), un código de programación que calculaba píxeles en imágenes a un solo color.

<sup>90</sup> Fue un neurocientífico visual y psicólogo experimental estadounidense nacido en Hungría. Profundizó en percepción visual y auditiva. Creó estereogramas (dibujos a manera de ilusión óptica que simulan texturas en tres dimensiones sobre un plano).

<sup>91</sup> Ingeniero eléctrico por el MIT en 1959. Desarrolló las bases técnicas del audio digital. Fue miembro de la Academia Nacional de Ingeniería de EE.UU. en 1998, falleció en 2004.

<sup>92</sup> PhD. en Ciencias de la Computación por la Universidad de Utah en 1974. Cofundó los estudios de animación Pixar. Es cocreador de software de animación 3D como el sistema RenderMan. Ha obtenido cinco premios Oscar por la Academia Cinematográfica estadounidense por su contribución en imágenes 3D para películas. Ganó en 2020 el Premio Turing por su contribución en las tecnologías usadas para gráficos 3D.

En los siguientes párrafos se explicarán los inicios de los hitos técnicos que hoy en día son base para el 3D digital. Estos procesos fueron el modelado digital (imagen 37, A) y el *render* (R), cuyo resultado define la imagen 3D y su calidad (B).



*Figura 37. Hitos técnicos para el modelado 3D y render. Elaboración propia.*

### **1.12 Gouraud, Sutherland, Catmull, Parke, Phong y Newell**

Entre 1972 y 1975 la Universidad de Utah aprovechó la inversión del gobierno estadounidense para lograr competitividad tecnológica<sup>93</sup>. Desde esa década los más relevantes aportes en 3D llegaron desde científicos en computación, por supuesto, aprovechando el camino trazado por G. Roberts, Csuri, Noll, Zajac, Harrison y otros obsesionados por la imagen. De esta suma de cerebros y de una obligación por parte del gobierno estadounidense para la exploración de nuevas tecnologías se concretarán cuatro hitos del 3D creado desde computadores, entre 1971 y 1975.

Primer hito: En 1971 el candidato a doctorado en ingeniería por la Universidad de Utah, Henri Gouraud (1944)<sup>94</sup>, desarrolló algoritmos que simulaban sombras suavizadas en geometrías digitales (Gouraud, 1971). Hasta esos años era común usar sombreados discontinuos (tonos con evidentes saltos de color) aunque

---

<sup>93</sup> Esta relevancia no fue casual. El sitio web de la Universidad de Ohio *Computer Graphics and Computer Animation: A Retrospective Overview* (Carlson, 2017a) explica que la Universidad de Utah (y varias otras en EE. UU) recibieron dinero estatal desde el año 1968 y durante los siguientes tres años para el desarrollo de tecnología militar, especialmente en gráficos por computadora. La Agencia de Proyectos de Investigación Avanzada de Defensa (Darpa, en inglés) donó \$5 millones para ese objetivo.

<sup>94</sup> Matemático francés. Obtuvo un PhD. en la Universidad de Utah en 1971 con la presentación de su tesis que mostraba mediante algoritmos matemáticos cómo sombrear un plano 3D digital. A esos algoritmos se los conoce como sombreado de Gouraud.

útiles para una visualización rápida en pantalla. El *color interpolation shading* de Gouraud (así llamó él a su técnica) permitía a diferentes formas geométricas en pantalla mostrar una superficie plana susceptible de un sombreado básico, continuo y sin sobresaltos entre sus gradaciones (Padda, Gupta, Arora, Sharma, 2014, p. 883), (Carlson, 2017a, p. 513). Antes de este logro técnico ya se habían propuesto códigos de programación que generaban polígonos 3D lineales (Watkins, 1970)<sup>95</sup>, pero cuya precaria simulación de sombreado se mostraba escalonada, formado por evidentes bandas de tonos, una condición llamada efecto de banda.

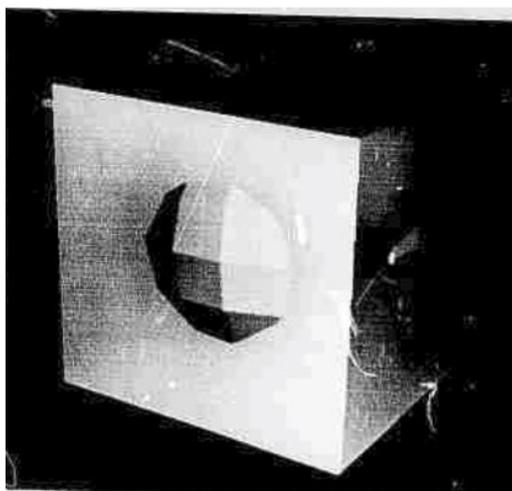


Figura 38. Efecto de banda (*band effect*) en algoritmos de sombreado 3D, previo a los trabajos de Gouraud. Fuente: Watkins, 1970, p.51

En el desarrollo de esos códigos y para comprobar los resultados en pantalla fue usado el lenguaje de programación Fortran<sup>96</sup> IV, junto con un computador PDP-10. Ambos eran recursos muy populares en universidades estadounidenses que requerían *hardware* para gráficos durante toda la década de 1970 (Watkins, 1970, p. 60).

Está registrado el uso de un vehículo como plantilla base para probar el *color interpolation shading* digital por primera vez. En 1971, Gouraud y su colega, el también ingeniero Iván Sutherland dibujaron a mano una gran red de líneas sobre la carrocería de un vehículo Volkswagen Beetle. Es decir, la superficie del Volkswagen quedó trazada por una malla de vértices que formaba cuadrados enumerados. Luego, Sutherland usó cada ubicación y transfirió esa malla en forma de coordenadas hacia un sistema, logrando una versión digital. Finalmente, desde un gigante computador se agregó a cada recuadro de la malla un color genérico (similar al blanco) mediante los algoritmos de Gouraud. Lo que se obtuvo fue un molde de polígonos en forma de vehículo, que podría ser manipulado en tiempo real desde lo tridimensional y ser mostrado en pantalla.

---

<sup>95</sup> Por su puesto, basado en los trabajos de Gilmar Roberts, de 1963.

<sup>96</sup> Fortran (Formula Translating System), es un lenguaje orientado al cálculo numérico, diseñado en 1957 por la empresa IBM, usado para ciencia e ingeniería.



*Figura 39. Digitalización 3D de un VW, en 1971. Fuente: Artículo Displays on Displays, The origin of the Teapot, de Frank Crow. Revista IEEE Computer Graphics&Arts, 1987, p. 8.*

Segundo hito: En 1972 dos estudiantes de Ivan Sutherland, Ed Catmull y Frederic Parke (1943)<sup>97</sup>, expusieron en el video *A computer animated hand* un primer proceso de modelado 3D. Tomaron la copia en arcilla de una mano de Catmull. El proceso<sup>98</sup> fue similar al realizado por Sutherland con el VW Beetle, es decir, dibujaron una malla de triángulos sobre la mano de arcilla. Luego, esos vértices fueron enumerados uno a uno y en un computador con un lápiz electrónico, hasta que finalmente crearon una malla digital para sombrearla con el algoritmo de Gouraud. El resultado fueron sencillas animaciones (como doblar los dedos) en el modelado 3D de la mano.

---

<sup>97</sup> Graduado de Física por la Universidad de Utah en 1965. Participó junto a Ed Catmull en un programa de investigación para generar gráficos en computadora. Actualmente es profesor y coordinador del departamento de Visualización en la Universidad de Texas, EE. UU.

<sup>98</sup> Un modelo similar aparecerá años después en la película *Futureworld*, del director cinematográfico Richard T. Heffron (1930-2007), de 1976

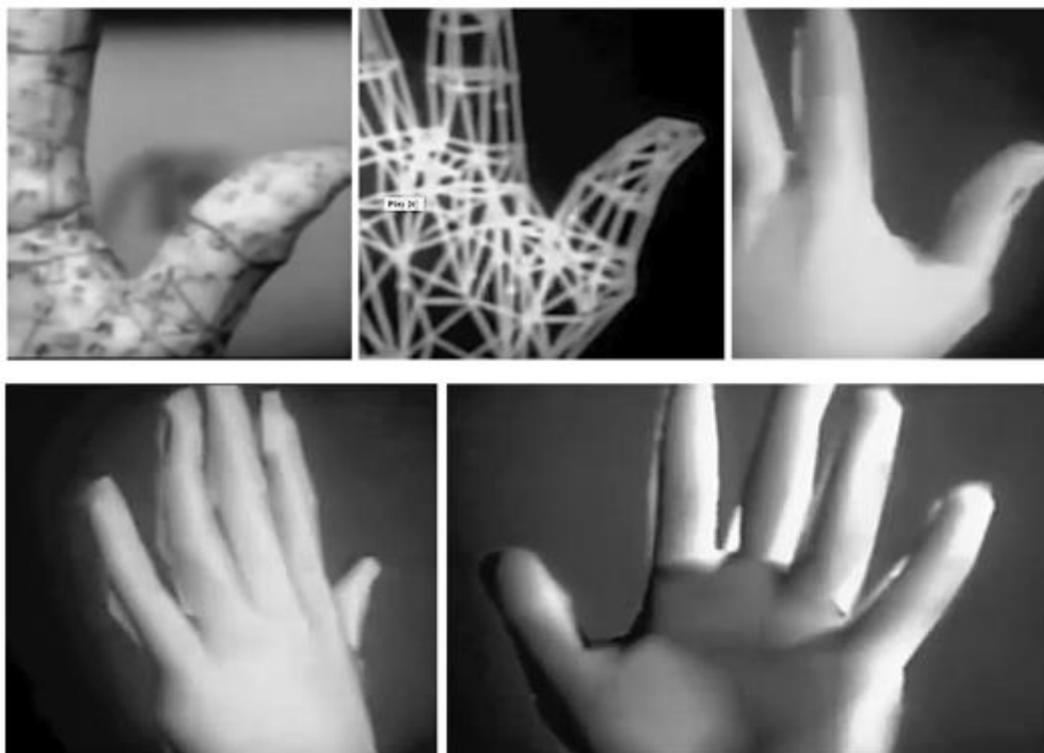


Figura 40. *A computer animated hand*, de Catmull y Parke, de 1972. Modelo en plástico con una malla de polígonos dibujada y su posterior digitalización en el sistema PDP. Fuente: Carlson, 2017a, p. 93. Imágenes tomadas del video en Youtube.

Tercer hito: Entre 1973 y 1975 el vietnamita Bui Tuong Phong (1942-1975)<sup>99</sup>, un joven estudiante egresado de ingeniería de la Universidad de Utah, presentó algoritmos de iluminación basándose en el comportamiento de la luz sobre diferentes materiales digitales (Phong, 1975), como la porcelana o el vidrio (Ratkovic, 2017, p. 1). También al representar un efecto de iluminación especular (similar a los puntos de brillo sobre superficies planas, similares al metal).

Un material es una superficie digital que representa a una textura del mundo real (Gregory, 2015, p. 468). A pesar del aporte de Phong (representar luz sobre diferentes superficies) sus algoritmos requerían un procesamiento tres veces mayor al sombreado de Gouraud (Padda, Gupta, Arora, Sharma, 2014, p. 886).

Años después, otros investigadores inspirados en las ideas de Gouraud, Catmull, Catmull, Parke y Phong pudieron resolver otros desafíos, como como el reflejo anisotrópico (*anisotropic reflection*) que es un haz de luz generado al observar la superficie de un disco de metal bajo una intensa luz.

---

<sup>99</sup> Vietnamita, nacido en 1942. Luego de terminar sus estudios académicos en Francia, en 1971 se unió a la Universidad de Utah como asistente de investigación junto a Iván Sutherland. Se recibió de PhD en 1973 con su disertación acerca de algoritmos de reflexión de luz y sombreado para sólidos 3D digitales. Falleció de leucemia a los 32 años, en 1975.

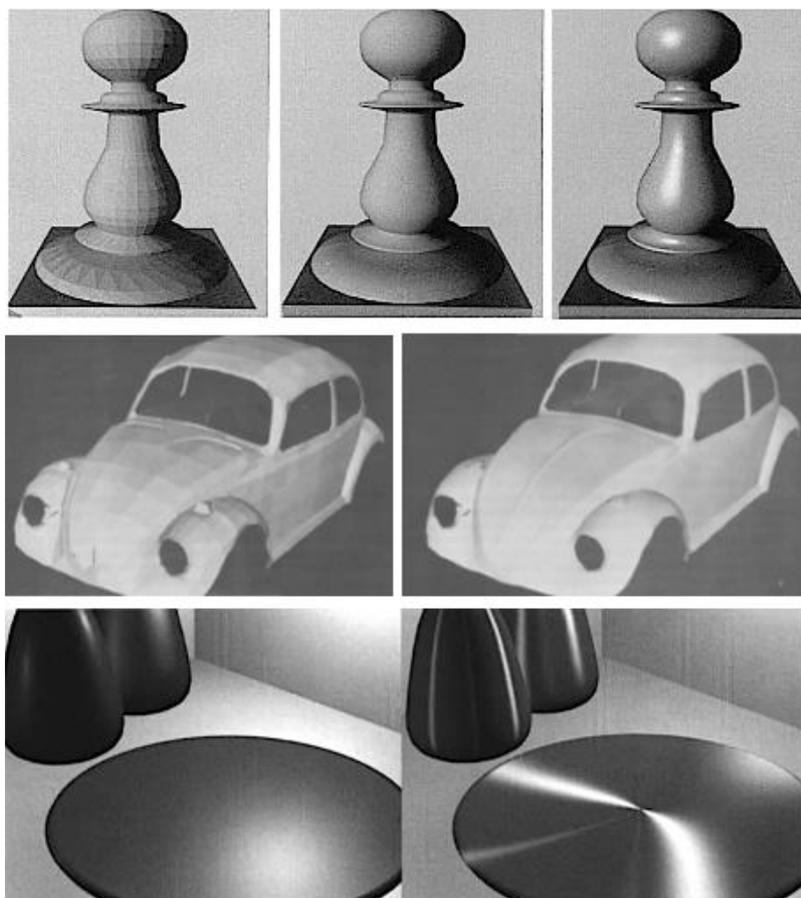


Figura 41. Arriba: sombreado facetado, sombreado de Gouraud y sombreado de Phong. Centro: polígonos por Ivan Sutherland. Abajo, sombreado isotrópico. Fuente: Padda, Gupta, Arora, Sharma, 2014, p. 886; Carlson, 2017a, p. 93; Birn, 2000, p. 199.

Cuarto hito: Entre 1974 y 1975 el redondeado cuerpo de una tetera de porcelana inspiró al postulante doctoral de la Universidad de Utah, Martin Newell (1957)<sup>100</sup>, a crear unas coordenadas matemáticas que permitieron esculpir desde un computador la geometría tridimensional de cualquier objeto (Blinn, Newell, 1976), (Carlson, 2017a, p. 91, 610) y no solo de formas rectilíneas o figuras geométricas con caras planas.

Newell intentó resolver eso con la técnica de las curvas Bézier, teorizadas en 1960 por el matemático francés Paul de Faget de Casteljaú<sup>101</sup> (1930-2022) y luego reformuladas en 1968 por Pierre Bézier (1910-

---

<sup>100</sup> Inglés. Graduado en Cambridge y luego colaborador del departamento de Ciencias de la computación en la Universidad de Utah a inicios de 1970. En su tesis de aspirante a PhD. llamada *The Utilization of Procedure Models in Digital Image Synthesis*, de 1975, Newell presentó códigos de programación mejorados que permitían modelar e iluminar digitalmente objetos 3D con superficies más curvas.

<sup>101</sup> Estudió matemáticas y física en la Escuela Normal Superior (Paris). Entre 1958 y 1992 trabajó en el departamento de publicidad para el fabricante de vehículos Citroën. En esa empresa desarrolló lo que él llamó curvas y superficies polares, que intentó patentar, pero una demora administrativa de 17 años provocó que el primero en patentarlos sea el también ingeniero francés Pierre Bézier. Casteljaú fue autor de los libros *Formas de polos* (1985), *Cuatriones* (1987),

1999)<sup>102</sup>, basados en la construcción de polígonos (y el control de sus curvas) a partir de puntos de control (Farin, Hoschek, Kim, 2002, p. 5). Hoy en día las curvas Bézier permiten desde todo *software* para 3D ampliar o reducir la curva de un plano. Con ese recurso, Newell dibujó su tetera en un sistema Tektronix (un osciloscopio muy usado en empresas) con resultados convincentes en suavidad de bordes y en superficies digitales no planas.

Newell también propuso mejoras a la Ley del coseno de Lambert (Newell, 1975, p. 14). Esa ley determina que una superficie sea más clara mientras más cerca esté de una fuente de luz. A partir de allí, cualquier objeto era susceptible de ser representado en 3D digital, ya sea una simple dona, un peón de ajedrez o una tetera. Esos cuatro hitos (y sus creadores) convertirían los planos geométricos de esos años en una nueva arcilla artística digital.

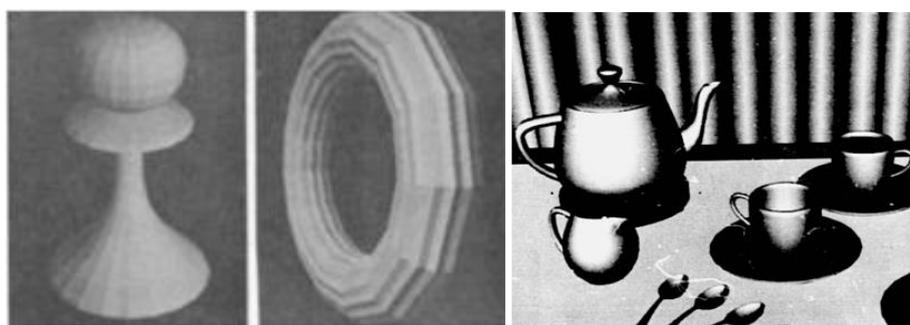


Figura 42. Muestras del sombreado para 3D, de Newell, 1975. Fuentes: Dumietz, J. (2016), *Association for Computing Machinery, Inc.*, 1976; Newell, 1975, p. 94

Los siguientes ensayos en 3D fueron gracias a la base técnica dada (entre 1971 y 1975) por los cuatro hitos ya mencionados; y por supuesto, energizados por los algoritmos de G. Roberts. Ejemplo de esto es el lenguaje de programación Grass (Graphic Symbiosis System) en la Universidad Estatal de Ohio, desarrollado por Tom A. DeFanti (1948)<sup>103</sup>, entre 1972 y 1974.

---

*Suavizado* (1990). Fue condecorado en 1987 con el premio Seymour Cray del Centro Nacional Francés de Investigaciones Científicas.

<sup>102</sup> Ingeniero mecánico francés nacido en 1910. Trabajó en 1933 para el fabricante automovilístico Renault. Allí desarrolló entre 1960 y 1968 algoritmos y matemáticas para dibujos curvilíneos, hasta su retiro a los 75 años de edad. Las curvas Bézier se usan actualmente en *software* de dibujo técnico y artístico digital. Falleció en 1999.

<sup>103</sup> PhD. en Ciencias de la Computación por la Universidad Estatal de Ohio, y colega de Charles Csuri. Para su disertación, creó el lenguaje Grass para gráficos en computadora. Actualmente es profesor en la California Institute for Telecommunications and Information Technology.

El modelado 3D digital de la mano de Catmull influyó a otros científicos, como Barry Wessler (1943-2018)<sup>104</sup>, (Wessler, 1973, sección 4.6) que incentivado por esa técnica creó una animación corta, de seis minutos, llamada *No just Reality*, en 1973, producido en la universidad de Utah (EE. UU) mediante un computador PDP-10 y lenguaje de programación Fortran. Otro entusiasta científico, el ingeniero y físico Fred Parke creó rostros poligonales llamados *Talking Face*, desarrollados también en la Universidad de Utah en 1974 (Parent, 2002, p. 22) y muy posiblemente con los mismos recursos de *hardware* y *software*.



Figura 43. Imágenes 3D, 1973-1974. *No just Reality*, de Barry Wessler, 1973, (Wessler, 1973). *Talking face*, rostros 3D de Fred Parke, de 1974.

Fuente: Parent, 2002, p. 22. Imágenes tomadas de <https://www.youtube.com/watch?v=SPMFbcASvQ>

Como resumen, en toda la década de 1970 la reducción de componentes electrónicos y la continuidad de investigaciones contribuyeron a mantener abierta la exploración del 3D digital, pero siempre bajo los techos de universidades estadounidenses, como la Universidad Estatal de Ohio y la de Utah. Los logros hasta ese momento dieron curvas más naturales a objetos 3D, incluso en formas orgánicas como una mano digital. En las siguientes páginas se verá cómo el 3D de los laboratorios con financiamiento estatal empezará a introducirse en los audiovisuales coloridos para grandes audiencias.

### 1.13 Gráficos 3D para productos audiovisuales: 1974-1985

Las animaciones realizadas por Charles Csuri, Ed Catmull, Fred Parke y otros investigadores empezaron a inspirar nuevas narrativas. Se entiende como narrativa a la técnica literaria y teatral que usa escenas y personajes para exponer conflictos, drama y logros de los personajes.

---

<sup>104</sup> Doctorado en Ciencias de la Computación por la Universidad de Utah a finales de 1960, participó en el equipo que desarrolló ARPANet, y que posteriormente se conformó en Internet.

Un ejemplo de aquello fue el expresivo corto animado *Hunger*, de 1974, dirigido por el húngaro Peter Foldes (1924-1977)<sup>105</sup> con el apoyo de la National Film Board de Canadá, una entidad estatal con financiamiento para producciones audiovisuales en esos años. No se halló en internet documentación que detalle el *hardware* usado para ese proyecto. Unas fuentes mencionan que Foldès realizó este corto en un equipo Computek<sup>106</sup>, que en esos años era un avanzado sistema de dibujo a lápiz electrónico. Otras indican que para esa producción Foldès y su equipo de producción usó un sistema SEL 840A (Wein, 1990, p. 132). Este era un computador formado por bloques de electrónica, cables, cintas y paneles conectados a una pantalla un poco más grande que el computador PDP-10, este último usado para generar las primeras geometrías tridimensionales en 1963.

En *Hunger* se aplicó la animación interpolada (interpolation the in-between frames) (Wein, Burtnyk, 1975, p.78), en la que el artista animador establece dos imágenes iniciales (por ejemplo, un dibujo de una manzana y otro de un banano). Luego, mediante configuraciones desde el *software* será mostrada en pantalla la interpolación: la imagen de la manzana será transformada, poco a poco, en una banana. Con esa técnica, Foldès comprobó que un sistema electrónico también permitía que "(...) objetos sin ninguna similitud inherente se transformen de uno a otro" (Century, 2022, p. 63).

El corto *Hunger* muestra unos caricaturizados personajes de líneas temblorosas, cuyos cuerpos y cabezas se fusionan en vehículos o relojes. Otro trabajo de Foldes fue *Metadata*<sup>107</sup>, de 1971, un corto inspirado por las animaciones de C. Csuri.

*Hunger* ganó el Premio del Jurado a Mejor Corto Animado en Cannes, en 1974 y fue la primera narración audiovisual animada en computadora (Parent, 2002, p. 23). A finales de la década de 1970 trabajos animados como los de Foldès ya podían concursar en una categoría recién creada: la de Mejor Efecto Visual, dada por la Academy of Motion Picture Arts and Sciences en EE.UU.

---

<sup>105</sup> Peter Foldes nació en Hungría en 1924. Estudió Arte en Londres. Durante sus años de pintor experimental ensayó un par de películas sin trascendencia hasta que combinó narrativas con dibujos en computadora, dando como resultado *Hunger*, de 1974. Falleció en París en 1977.

<sup>106</sup> National Film Board of Canada (s/f). Stop-Motion Animation Workshop. Lesson 7, p. 6.

<sup>107</sup> El corto *Metadata* debutó en febrero de 1971 como una animación realizada en una tableta gráfica Computek, con capacidad para dibujar 800 mil puntos mostrados en un monitor del propio sistema.



Figura 44. Sistema Computeck y animación Hunger, de P. Foldès, 1974.

Fuente: Lee, 1973; Dreber, 2012, p.130. Imagen del corto animado tomado de YouTube.

Los sistemas dedicados completamente al 3D fueron apareciendo casi al final de la década de 1970. Por ejemplo, el lenguaje de programación Fortran<sup>108</sup>, muy útil para cálculos aritméticos, también funcionó como lenguaje para calcular el trazado de líneas en pantallas. Otro ejemplo es el sistema Anima (posteriormente Anima II) creado en la Universidad de Ohio, en 1977. Era usado para colorear y animar polígonos 3D visualizados en un monitor de tubos catódicos y con palanca de mando (*joystick*).

Equipos como el Anima inspiraron las imágenes 3D de mediados de 1970 en EE.UU., pero seguían siendo proyectos académicos. Ejemplo de eso es el corto *On and Off at the Circus* y *Pong man*, atribuidos al Computer Graphics Research Group (CGRG) liderado por Charles Csuri en la Universidad Estatal de Ohio (Carlson, 2017a, p.105, 106).

En *On and off at the Circus* los modelados y la geometría están facetados; es decir, era evidente los límites cuadrículados de los polígonos. Esta ausencia de técnicas fue causada posiblemente por una falta de procesamiento en *hardware*. En cambio, en *Pong man* muestra formas menos facetadas en el cuerpo del personaje, posiblemente gracias a la técnica de Martin Newell, apta para equipos considerados avanzados en esos años, como el Anima II.

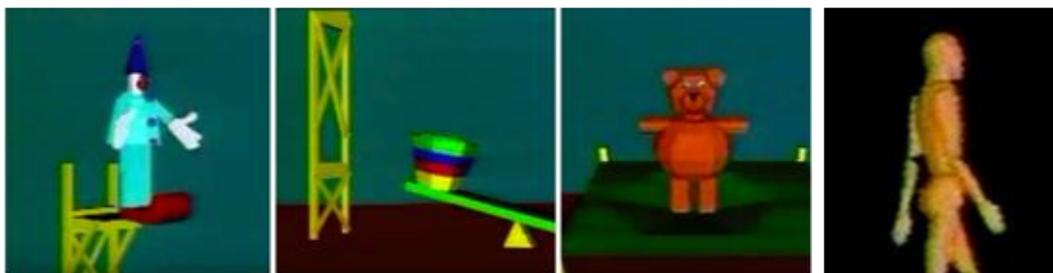


Figura 45. *On and off at the Circus* y *Pong Man*, de 1978. Dura tres minutos. *Pong Man*, de veinte segundos, fue creado por T. VanHook para demostrar el uso del sistema Anima II. Fuente: Carlson, 2017b, p. 106 (video 4.21).

<sup>108</sup> Fortran (Formula Translating System), es un lenguaje orientado al cálculo numérico, diseñado en sus inicios para las computadoras IBM y usado en aplicaciones científicas y de ingeniería.

Otro ejemplo de *software y hardware* para gráficos fue Grass (*Graphic Symbiosis System*), desarrollado en 1972 por el ingeniero en Ciencias de la Computación Tom A. DeFanti (1948) en la Universidad Estatal de Ohio, EE. UU. Era un sistema formado por un monitor mediano, dos paneles con seis grandes perillas cada uno y un pequeño teclado para insertar coordenadas (Sito, 2013, p. 61). Fue usado por el programador estadounidense Larry Cuba (1950) para crear una corta animación lineal 3D que presentaba la escena de los pilotos rebeldes antes de bombardear la Estrella de la Muerte en *Star Wars, A new hope*, de 1977 (Ohio Technology Consortium, 2019).

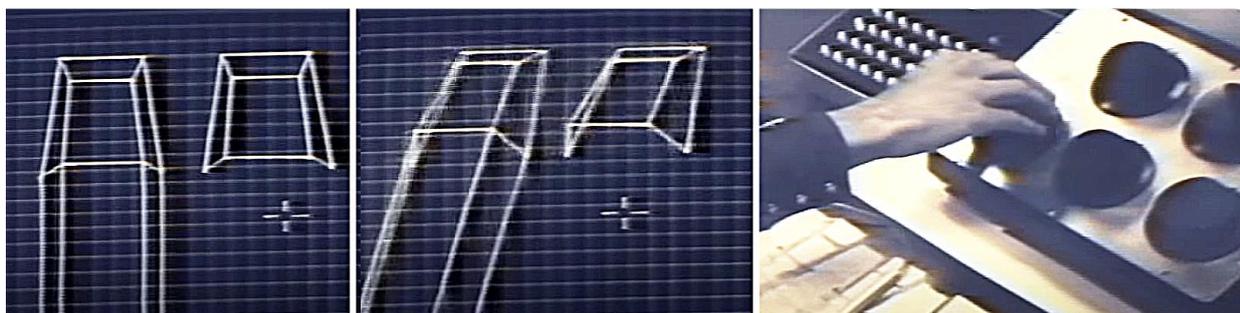


Figura 46. Extracto de la demostración del dibujo 3D usado en la película *Star Wars, A new hope*, de 1977, junto con la interface mecánica del sistema GRASS. Tomado del canal de YouTube *evltube* (2007), <https://www.youtube.com/watch?v=yMeSn00n3Ac>

En 1979 dos nuevos filmes usaron tecnología 3D en gráficos: la película *Aliens* (1979) la aplicó para representar el aterrizaje de una nave; y en *Black Hole* (1979) para los títulos iniciales (Beane, 2012, p. 14). Estas herramientas debieron llamar la atención de directores de películas de ciencia ficción. Aún faltarían años para modelar 3D convincente en entornos y personajes cinematográficos.

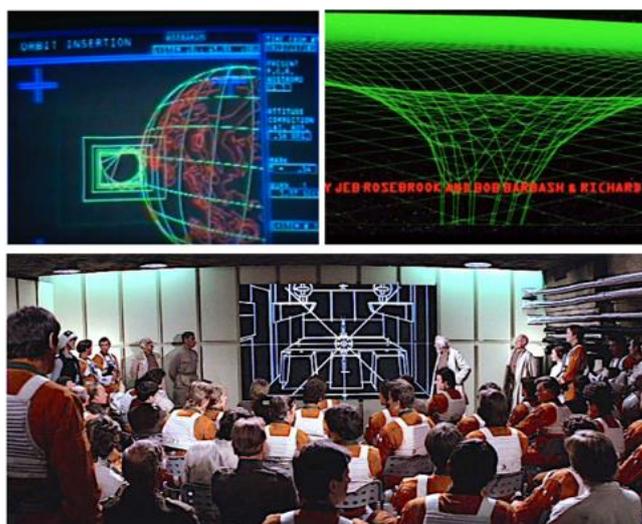


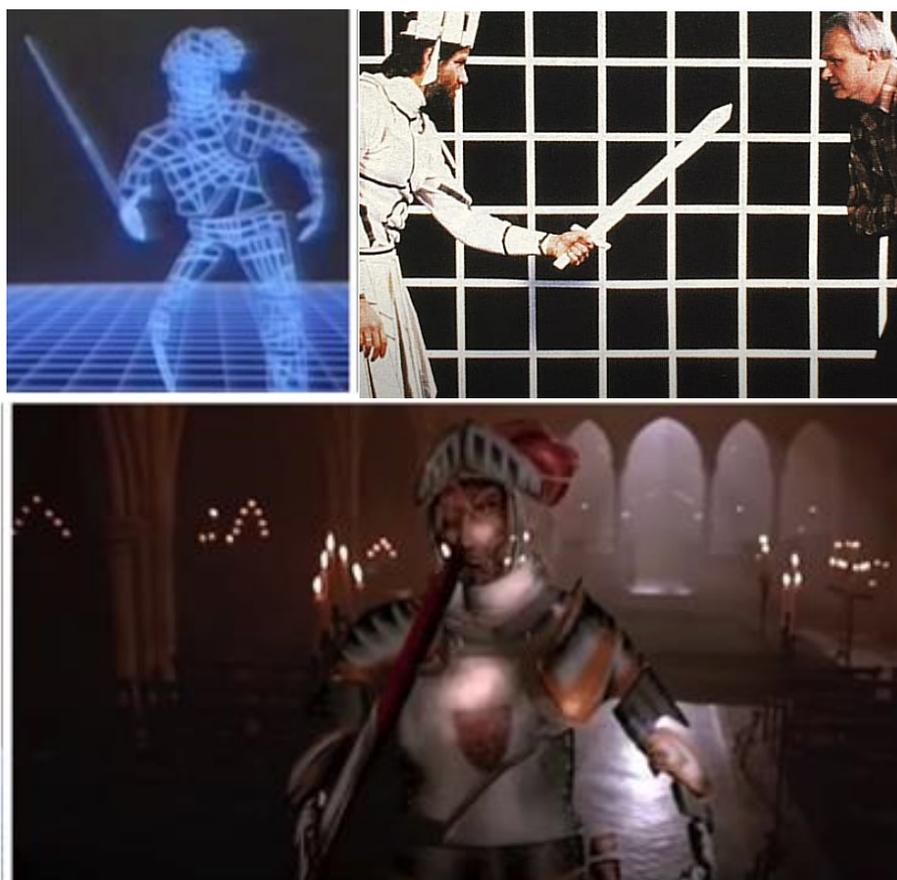
Figura 47. Primeros gráficos 3D lineales en filmes, 1977 y 1979. Arriba, *Aliens*, y *The Black Hole*, ambos de 1979. Abajo, en *Star Wars*, de 1977.

Fuente: Beane, 2012, p. 14. Ohio Technology Consortium, 2019.

Otro logro con nuevos alcances fue el filme *Young Sherlock Holmes* (1985) que combinó personajes humanos con 3D. Esto sucedió en la secuencia del caballero de la vidriera. En ella, el cuidador de una iglesia presencia la transformación de un vitral con forma de caballero con armadura, a un personaje en cuerpo entero con capacidad de caminar y atacar.

La producción del caballero armado (creado por la empresa de efectos especiales Industrial Light and Magic) inició siendo incierta. Primero se pensó en hacerla con *stop-motion* a partir de un modelo articulable a escala. A falta de presupuesto la producción acordó en realizar un modelo 3D plano, pero con la textura de un humano con armadura, es decir, similar a un muñeco recortado en papel, que en la película iba a ser mostrado como un ente formado por gruesas porciones de vidrio (Muren, 2021, min. 1:00).

Para la morfología y gesticulaciones del mismo personaje la producción se basó en un modelo humano, al que se le calcaron los movimientos desde una cámara (*piercefilm productions*, 2022, min. 2:00) para luego recrearla en el sistema REYES, un equipo de cómputo con la tecnología de simulación 3D, luces y *render*, desarrollado por la empresa Pixar mientras estuvo bajo el control financiero y creativo del director de cine George Lucas.



*Figura 48. Arriba. 3D del personaje animado en la película Young Sherlock Holmes, 1985. Izquierda, prueba con un actor junto a Dennis Muren, director de ILM. Abajo, secuencia de la acción. Fuentes: Carlson, 2017a, p. 424. Film 86, min 2:15. piercefilm productions, 2022, min. 2:00*

### 1.14 El modelado 3D

Como ya fue detallado en los párrafos anteriores, la imagen 3D digital llegó luego de décadas de concatenación de ideas basadas en óptica y algoritmos de dibujo. Pero fue la acción humana y artesanal su inicial inspiración.

El arte escultórico tradicional (de arcilla y caballete) difiere del arte digital por sus herramientas, por el espacio de trabajo y por el soporte final (una pantalla). El modelado 3D actual está inspirado en la artesanía de la escultura, no obstante, mediante pantalla (con botones, menús, herramientas). También desde controles para manipular volúmenes con acciones de empuje o extracción y así lograr superficies curvas.



Figura 49. Taller de escultura e imagen de una interfaz gráfica para 3D. Fuentes: Imagen del artista, obtenida del sitio web de Sergei Isupov e Imagen de la interfaz de ZBrush tomada de CGMeetUp, en línea.

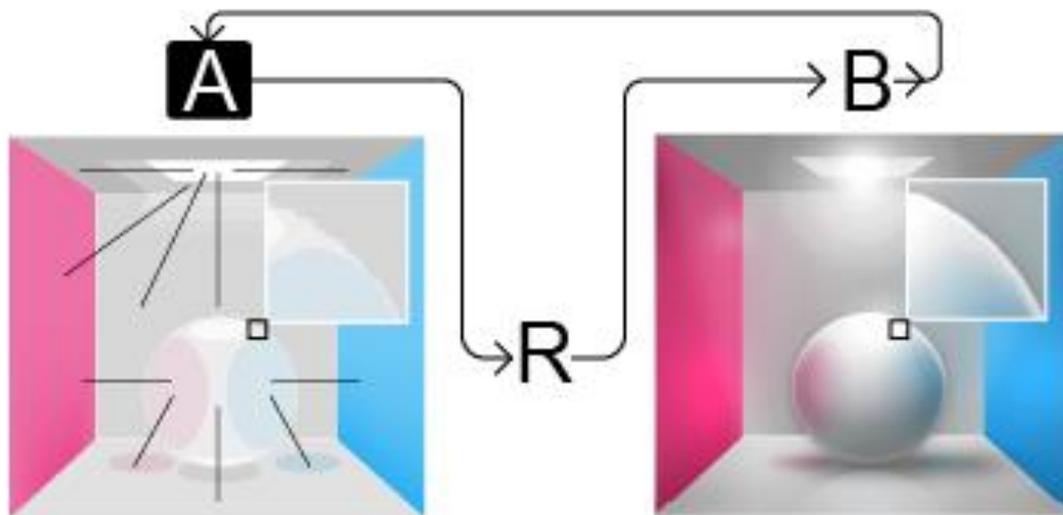
Así mismo, el modelado 3D conlleva texturizado, coloreado, iluminación y animación. Antes de visualizarlo finalizado el objeto modelado debe pasar por el *render*, que es una conversión desde el cálculo de luces, sombras y texturas de objetos creados digitalmente a un acabado final y limpio. El *render* como técnica 3D fue desarrollado en sus primeras fases por James Blinn<sup>109</sup>, Martin Newell y J. Turner Whitted<sup>110</sup>, entre 1974 y 1980.

---

<sup>109</sup> Estadounidense, graduado en la Universidad de Michigan, EE.UU., en 1968, y posteriormente con un Ph.D de Ciencias de la Computación por la Universidad de Utah, en 1977, donde profundizó en *render* de imágenes realistas con los algoritmos para *bump mapping* e iluminación para 3D. Colaboró en simulaciones 3D para misiones espaciales. Produjo animaciones 3D para la serie de tv Cosmos, del científico Carl Sagan. Actualmente está retirado de la profesión. Se puede revisar más detalles en su sitio web <http://www.jimblinn.com/>.

<sup>110</sup> Estadounidense. Con un grado en la Universidad de Duke y con un doctorado por la Universidad Estatal de Carolina del Norte (EE.UU.), ambos en ingeniería eléctrica. Es investigador y profesor en la materia de Ciencias de la Computación por la Universidad Estatal de Carolina del Norte y miembro de la Academia Nacional de Ingeniería estadounidense. Trabajó para las empresas fabricantes de hardware NVidia y Microsoft.

El *render* comprende tres estados: prerender (A), render (R) y posrender (B). El prerender es toda la escena 3D ya creada por el artista, con luz, volumen y texturas digitales. El *render* toma los datos de cada píxel según su ubicación. Agrega miles de gradaciones de color que finalmente representarán el impacto, directo o indirecto, de las fuentes de luz digital sobre los polígonos, dando a las imágenes más nitidez. El posrender es el estado final, con imágenes brillantes, mejor contrastadas y muchas veces más realistas. Se profundizará en este proceso en las siguientes secciones.



*Figura 50. Estado prerender y posrender. Fuentes: Elaboración propia*

### **1.15 El polígono en el modelado 3D**

Un polígono es toda figura plana de tres o más ángulos, limitada por líneas rectas. Un elemento importante del modelado digital es el conjunto de polígonos llamados primitivos. Estas son figuras geométricas básicas, como el triángulo, el cubo o el cilindro, los cuales permiten crear otros polígonos más complejos. Por ejemplo, mediante una fusión de dos cilindros de diverso diámetro (uno encima de otro) es posible crear una botella de vino. Otras figuras pueden escalar a formas más realistas con la suma de cientos o miles de esas formas (Badler, Phillips, Lynn, 1993, p. 24).

Los polígonos geométricos pueden encontrarse en la mayor parte de formas construidas por el ser humano: vasos, ruedas o lámparas. Casi todos los objetos orgánicos o inorgánicos también pueden simplificarse y construirse en 3D mediante mallas de cuadros o triángulos.

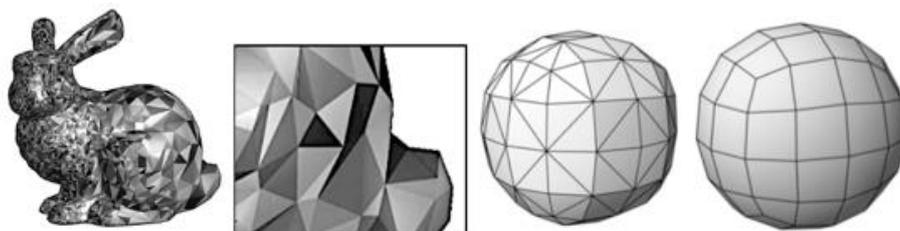


Figura 51. Ejemplo de poligonaje. Malla de triangulación en conejo y en esfera. Y poligonaje con cuadriláteros. Fuentes: Luebke, et al., 2003, p. 76. Chopine, 2011, p. 57.

Para aclarar definiciones en este documento no se usará como sinónimo de polígono a cualquier objeto 3D. Un polígono está delimitado por líneas unidas en vértices, pero no necesariamente tendrán volumen tridimensional. Los polígonos pueden ser simples planos y con mínimo tres vértices, como un triángulo de papel que reposa sobre una mesa. O pueden tener volumen, como la forma de una pirámide.

En cambio, se define como objeto 3D a una suma de polígonos ocupando un espacio en alto, ancho y profundidad. Desde un simple cubo hasta una representación más orgánica, como un rostro humano. Los algoritmos para 3D generados desde el año 1963 hasta la fecha han buscado dibujar, controlar, dividir, fusionar, animar y colorear polígonos. De allí la importancia de definirlos adecuadamente.

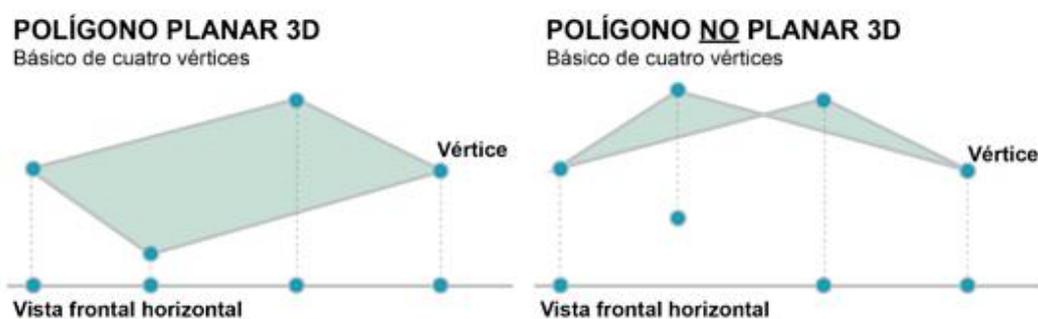


Figura 52. Polígonos básicos, planar y no planar. El polígono planar tiene los vértices alineados horizontalmente, como una hoja de papel en reposo. El polígono no planar carece de esa alineación. Fuente: Beane, 2012, p. 147.

En 3D existen tres tipos de polígonos: el más básico tiene forma triangular (solo tres vértices); le sigue el de cuatro vértices (llamado quad); y finalmente aquellos de infinitos vértices conocidos como N-gons (número infinito de polígonos y vértices) (Beane, 2012, p.137).

Una propiedad de los polígonos 3D es que sus vértices pueden ser suavizados añadiendo más puntos de control. Ese suavizado se nutrió técnicamente de los trabajos de Newell (con las curvas Bézier) y con los estudios de Catmull<sup>111</sup>.

<sup>111</sup> Para ampliar, ver capítulo I

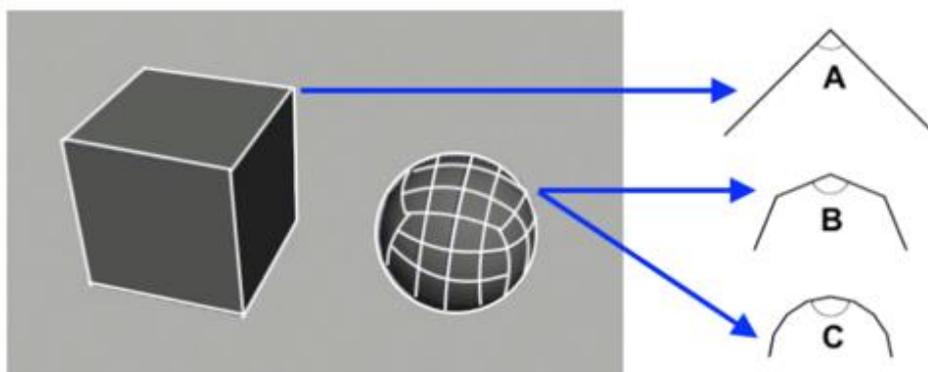


Figura 53. Suavizado de objetos 3D. La suma progresiva de vértices se concreta al añadir más ángulos. Fuente: Tomado de Beane, 2012, p. 140

Un método muy usado para crear modelos 3D es el de caja (*box modeling*). Allí se iniciará con una esfera o un cubo 3D para estrujarlo y dividirlo hasta que sea transformado en otro objeto determinado (Beane, 2012, p. 156).

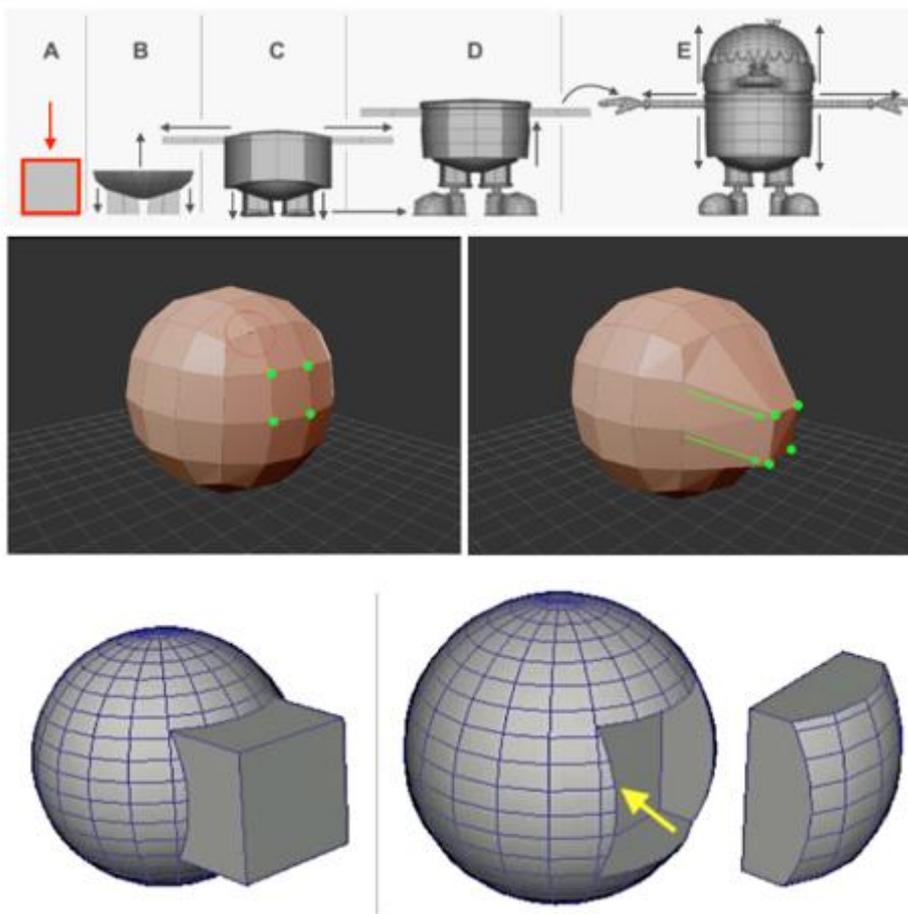


Figura 54. Ejemplos de *box modeling* y modelado booleano. Arriba, inicio y fin de un modelado usando un cubo digital. Imágenes centrales: cuatro vértices con desplazamiento. Abajo, modelado booleano. En algunos casos la geometría uniforme deja de coincidir en sus acoplamientos. Fuente: Adaptado de Beane, 2012, p. 156, 157. Imagen central de elaboración propia desde SculptGL, de uso gratuito en línea.

Así mismo, demasiados polígonos podrían afectar la geometría 3D. Una excesiva cantidad deberá ser simplificada para reducir la carga de procesamiento al momento del *render*, especialmente en videojuegos. En la actualidad esa transformación es automatizada por cualquier *software* que permita el *retopologiz*<sup>112</sup>, es decir, reducir la cantidad de polígonos a una mínima funcional.

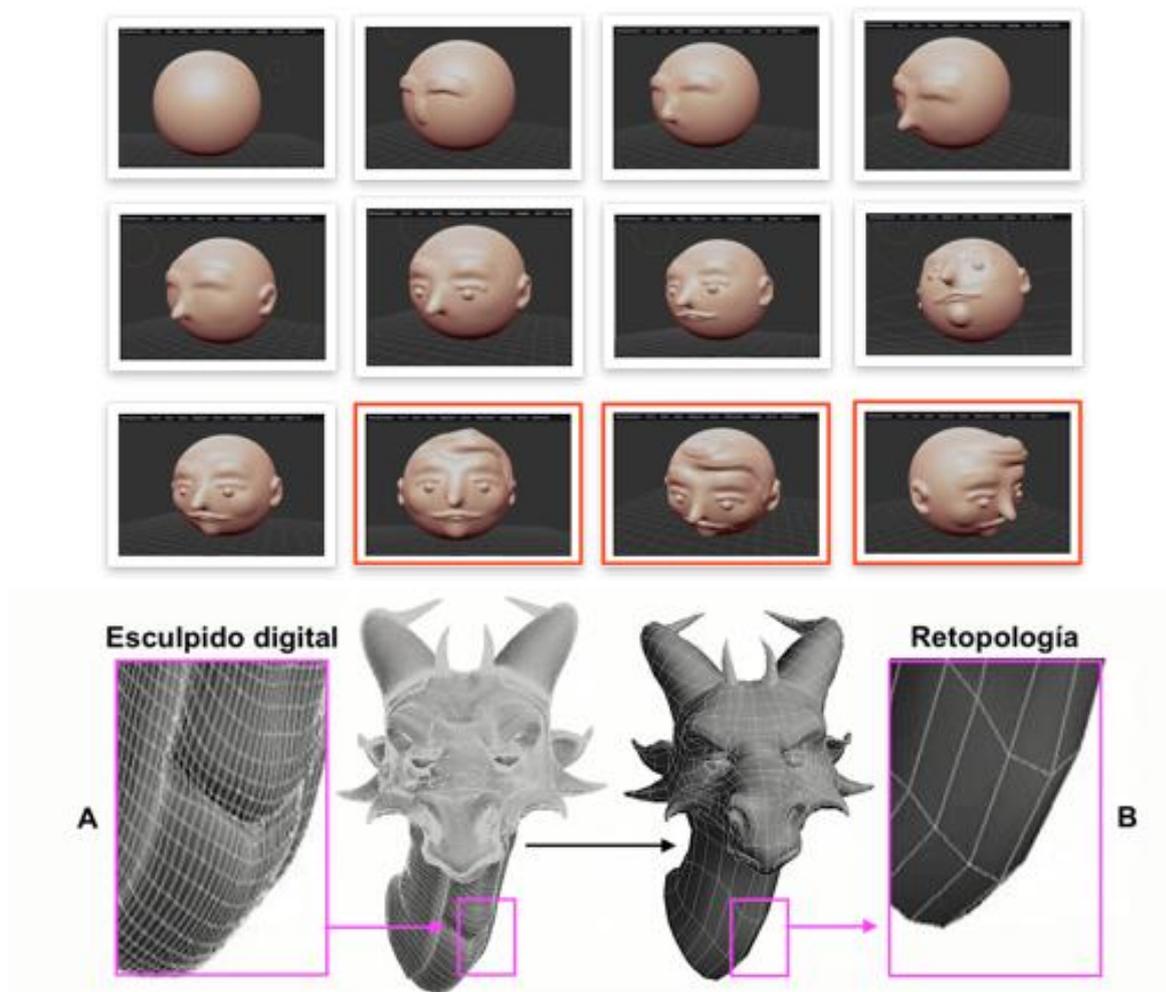


Figura 55. Esculpido digital 3D y retopología. Arriba, de izquierda a derecha. Una esfera 3D es progresivamente manipulada para crear un rostro mediante *SculptGL*, disponible gratis en línea. Abajo, ejemplo de modelado final en alta resolución (A) e imagen con retopología (B).

Fuente: Beane, 2012,158; elaboración propia.

A mayor cantidad de polígonos más vértices deben ser reposicionados. En modelados básicos como una pelota de playa, ubicar vértices no sería problema. Pero en objetos 3D complejos (como un rostro expresivo) es diferente. En 1970 la literatura técnica le llamó el problema de la transpolación: este es el traslado

<sup>112</sup> Proceso computarizado que reduce una cantidad excesiva de polígonos en la superficie de un objeto 3D, a una cantidad mínima y suficiente, susceptible de ser mejor manipulable con otras acciones como corrección de formas, animación y texturizado.

de un vértice 3D de una ubicación a otra. La solución para esto resultó en el método de las curvas *splines*, teorizadas matemáticamente en 1973 por Robert E. Barnhill<sup>113</sup>, concretadas en algoritmos funcionales presentados en la publicación *Recursively generated B-spline surfaces on arbitrary topological*, en 1978, escrito por Ed Catmull y Jim H. Clark<sup>114</sup>.

El término *splines* es un anglicismo que significa viga flexible. Las vigas de madera delgada eran usadas para trazar largas curvas durante actividades de carpintería (Chopine, 2011, 47). En tecnología 3D, las *splines* son una representación matemática que altera superficies curvas mediante puntos de control. Este es un punto desplazable dentro de un polígono y puede contener varios vértices.

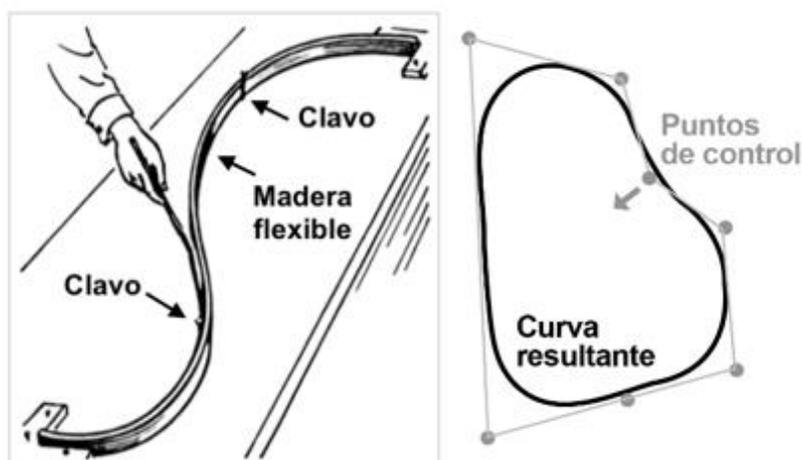


Figura 56. Concepto del spline. A la izquierda, *splines*. A la derecha, el concepto visual 3D de un trazo spline. Fuente: Chopine, 2011, p. 47.

Las curvas digitales *B-splines*<sup>115</sup> permiten simplificar el trabajo de mover punto a punto (o cientos de ellos) en una gran malla 3D. Una malla 3D es similar a una extensa sábana cuadrículada en reposo. Cuando el artista modela debe manipular o desplazar únicamente ciertos puntos de control para, por ejemplo, crear montañas de variados tamaños.

En objetos 3D con una malla mínima de vértices el modelado paso a paso no sería exhaustivo, pero en mallas más complejas sería demorado. Allí entran los *splines*. Desde allí es posible el modelado 3D recolocando un conjunto de vértices a partir de manipular un solo punto de control.

---

<sup>113</sup> Ex profesor de la Universidad de Utah. Ex vicepresidente de investigación en la Universidad de Arizona. Responsable también del departamento de investigación y transferencia de tecnología en la Universidad de Texas.

<sup>114</sup> Fundador de empresas fabricantes de tecnología como Silicon Graphics, Netscape y Shutterfly. Entre 1979 y 1984 fue profesor en ingeniería eléctrica en la Universidad de Stanford. Es miembro de la Academia Nacional de Ingeniería en EE. UU.

<sup>115</sup> El literal B refiere a una expresión matemática compuesta por varias cifras operables (basis functions) usada para calcular cada sección de la curva y sus puntos de control o nodos.

Las *splines* están categorizadas en dos tipos: los *B-Splines* y los *NURBS* (*Non-Uniform Rational Basis Splines*). Estas son variaciones basadas en las curvas teorizadas por Paul de Faget de Casteljaou<sup>116</sup> y Pierre Bézier en 1960 y retomadas por Martin Newell<sup>117</sup> en 1974 para modelar su redondeada tetera. Cada *spline* contiene su propia intensidad de distorsión aplicada a un vértice 3D mediante puntos de control. A más precisión de curvas, más puntos de control serán necesarios (Chopine, 2011, p. 46). El modelado con estas tecnologías logra mayor precisión y ahorra datos al crear superficies más eficientes (Avgerakis, 2004, p. 301).

Otro método más flexible es el modelado con líneas y superficies *NURBS* (siglas de Splines de Base Racional No Uniformes, en español), (Parent, 2002, p. 469). Con una malla más cuadrículada (es decir, más subdividida) es posible mayor control porque cada vértice es susceptible de una tensión determinada; es decir, será posible mover y ubicar esos vértices según necesidades del modelador. De allí la definición de *no uniforme* (Chopine, 2011, 48).

Un inconveniente es que, si las superficies con *NURBS* no están bien ubicadas, la malla podría romperse durante el arrastre y la distorsión de vértices, especialmente al animar el modelado<sup>118</sup> (Gahan, 2009, p. 232), (Chopine, 2011, p. 51-52). Un daño en la malla 3D sería igual a romper y estrujar una hoja de papel para luego intentar unir los trozos. Por este motivo, algunos *softwares* de modelado 3D facilitan una caja digital que permite un mejor desplazamiento de los puntos de control, pudiendo predecir su acabado y corregirlo. La empresa estadounidense Pixar usó *NURBS* cuando creó muchos de los personajes en su primera película, *Toy Story*, en 1995 (Chopine, 2011, 45, 55).

---

<sup>116</sup> Físico y matemático francés. Desarrolló algoritmos (a los que llamó *Unisurf*) creados para calcular el dibujo de formas curvas aplicadas al diseño industrial mientras trabajaba en la empresa fabricante de automóviles Citroën, en 1958. Aunque el trabajo de Bézier fue patentado por la empresa en 1963, no fue reconocido por la comunidad científica hasta 1974. De Faget, quien falleció en 1999, recibió en 2012 un premio póstumo por la Solid Modeling Association en honor a sus aportes en gráficos 3D.

<sup>117</sup> Para ampliar, ver capítulo I

<sup>118</sup> "Surface patches could lose their stitching during rigging and animation (...)" (Gahan, 2009, p. 232). Traducido: "Los parches [de los polígonos] de la superficie [3D] podrían perder sus costuras durante el montaje y la animación".

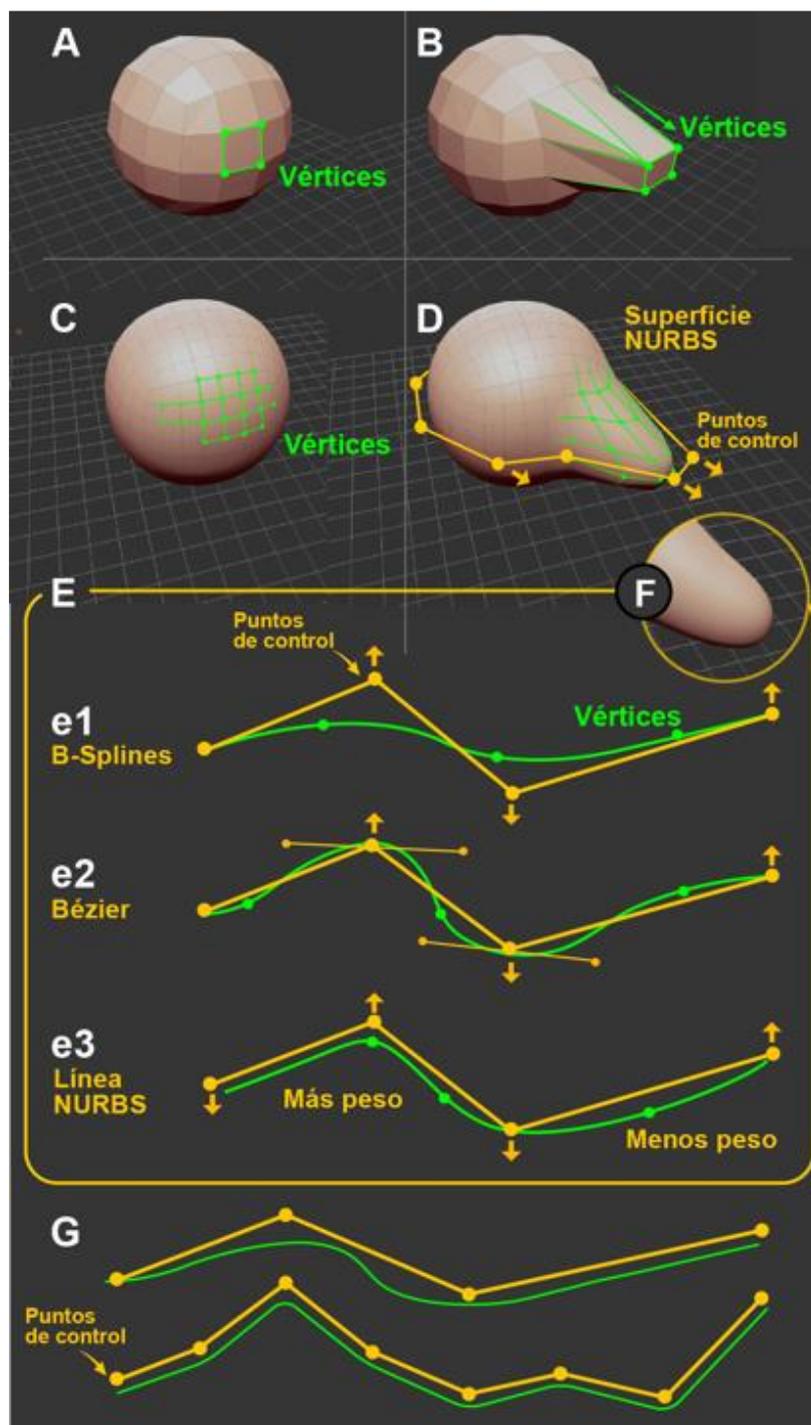


Figura 57. B-Splines, curvas Bézier y NURBS. La utilidad de los Splines es el aborro de esfuerzo al crear modelados más uniformes y detallados en objetos de alto poligonaje. Evitando un uso extenso únicamente de vértices. Fuente: Elaboración propia, basado en Chopine, 2011, 48.

## 1.16 Análisis estético de las imágenes 3D en este capítulo

Para este y los siguientes análisis será aprovechada la metodología propuesta por Wikayanto, et al. (2023) basado en los criterios de estudio estético del historiador de arte Thomas Munro<sup>119</sup> (1897-1974).

### 1.16.1 Imágenes 3D generadas desde filmes, arte y electrónica para simular volúmenes 3D (1930-1962)

En cuanto a forma y estilo, de los ejemplos hallados en la evolución técnica de este período se observa que las intenciones de crear 3D derivó desde dos disímiles tipos de producción: construir a mano los objetos filmados para controlar su manipulación y usar frecuencias eléctricas modificables para generar formas con ligeros volúmenes y profundidad.

Por ejemplo, los efectos tridimensionales logrados sobre figuras geométricas de gran tamaño le permitieron a la artista Mary Ellen Bute (1906-1983) filmar efectos 3D gracias a que podía manipular con libertad la posición, el encuadre y la textura material de cada figura. La función de esa manipulación tuvo criterios derivados del arte abstracto y experimental, aunque Bute no mostró otros elementos narrativos, como personajes animados. El arte abstracto<sup>120</sup> fue muy popular en artistas europeos desde 1910 (el pintor ruso Wassily Kandinsky (1866-1944) fue el más reconocido).

Por otro lado, la manipulación de frecuencias eléctricas mediante osciloscopios influyó en el aspecto abstracto de formas que simulaban volumen accidental, donde cada alteración en la intensidad significa una posición y luminosidad diferente de la onda mostrada en pantalla. Ese efecto pudo haber pasado como una rara exploración visual de no haber sido por la exposición a gran escala gracias al cine, como lo ocurrido con el trabajo artístico de John Whitney (1917-1995) y Saúl Bass (1920-1996).

En cuanto a encuadres, los trabajos de Ellen Bute muestran una cámara estática, con algunos acercamientos fijos. Posiblemente eso facilitó la captura de giros completos de objetos, efectos de superposición de imágenes, o simplemente se debió a una limitación en cuanto al espacio físico para encuadres desde una cámara móvil. Finalmente, se evidenció el uso del recurso sonoro (en forma de música orquestal),

---

<sup>119</sup> Historiador estadounidense en arte y estética. Estudió Economía y Filosofía en la Universidad de Columbia (EE.UU.), entre 1918 a 1924. Autor de los libros *Form and style in the arts: An introduction to aesthetic morphology* (1970), *Toward science in aesthetics: Selected essays* (1956), *Scientific Method in Aesthetics* (1928), *The Arts And Their Interrelations* (1949), entre otros ensayos.

<sup>120</sup> El arte abstracto como movimiento cultural fue debilitado a causa de la II Guerra Mundial. Luego de la Guerra, se renovó desde 1930, buscando una nueva expresión de distorsión del entorno al reemplazar las formas perceptibles con elementos básicos, estilizados y únicamente evocadores de lo observable (Godwin, 2024). El impresionismo (recrear el entorno mediante trazos aleatorios de color, mas no de forma) y el cubismo (representar el entorno desde formas geométricas, sin intención de una relación directa con la forma) también fortalecieron la corriente pictórica de lo abstracto (íbid.)

o desde sonidos aleatorios creados al captar el mundo real, especialmente en los trabajos de Bute, Whitney y Bass.

### **1.16.2 Geometrías lineales 3D desde electrónica (1963-1968)**

La forma y el estilo visual de este hito del 3D fue mostrar en pantallas geometrías lineales, sin colores ni texturas. Su gran aporte fue simular la densidad de los objetos al ocultar las caras de las geometrías según la superposición con otras figuras. Estas imágenes tuvieron una función puramente de ensayo científico. Es decir, fueron el resultado de lenguajes de programación y ecuaciones aritméticas para simular figuras geométricas en blanco y negro, junto con breves movimientos giratorios, observables en una pequeña pantalla.

Este hito nació de la tesis doctoral de 1963 del estadounidense Lawrence Gilman Roberts, (1937-2018) y aprovechó dos antecedentes técnicos previos (en *software* y luego en *hardware*): el primer antecedente fue la irrupción de los primeros lenguajes de programación (Fortran y COBOL), creados entre 1954 y 1959. El segundo surgió del desarrollo del primer lápiz óptico (Sketchpad), creado para ubicar coordenadas al tocar áreas en una pantalla compatible. El Sketchpad fue creado desde la academia por Iván Sutherland y presentado el mismo año que la tesis de Roberts. Ambos recursos (programación, equipo de cómputo y dispositivos de entrada), además de compleja aritmética permitieron a científicos interesados en la imagen crear las primeras geometrías digitales 3D<sup>121</sup>.

Los gráficos logrados por Roberts eran similares a nítidas pero lineales geometrías dibujadas con un fino lápiz de tono claro sobre una cartulina negra. Ya en el *hardware*, el efecto de rotación era agregado mediante coordenadas numéricas, pero la calidad gráfica aún estaba influenciada por las líneas generadas por los tubos catódicos en pantalla, puesto que el *pixel*, como unidad visual, aún no estaba desarrollado.

El estilo tridimensional (aún sin color ni texturas) de Gilman Roberts fue la principal referencia gráfica en laboratorios académicos o empresariales y en gráficos por computadora. Eso cambió a inicios de 1970, cuando fueron propuestos (también desde la academia) nuevos recursos para colorear y agregar efectos de iluminación a polígonos 3D.

### **1.16.3 Imágenes 3D mediante los primeros algoritmos para luz y modelado desde computadores (1972 a 1975)**

Entre 1972 y 1975 cuatro hitos académicos resolvieron los siguientes desafíos en cuanto a representar imágenes 3D en pantallas. Estos son: agregar color sobre polígonos, moldear 3D desde los vértices de los

---

<sup>121</sup> Un *hardware* especializado para cálculos aritméticos y gráficos lineales (solo para laboratorios académicos en esos años) fue el computador PDP-10, fabricado en 1960 por la empresa estadounidense Digital Equipment Co.

polígonos para poder manipularlos desde un computador y simular sobre ellos efectos de gradaciones de luz y sombra.

El primer hito es conocido técnicamente como el *color interpolation shading*, o más comúnmente como sombreado de Henry Gouraud (el creador de esos algoritmos en 1971). Su mayor logro fueron los sombreados de color más reiterados y finos, lo que permitió en esos años simular en 3D sencillas gradaciones a un solo color sobre un tipo de textura genérica y plana, como una esfera o un cilindro. Antes de esos algoritmos, las figuras 3D como rectángulos y cuadrados mostraban simples gradaciones a escala de grises (de claro a oscuro, por ejemplo) en forma escalonada o en bandas, sin una delicada fusión entre los tonos.

El segundo hito refiere a usar una forma orgánica para moldearla en 3D desde un computador. Es decir, no era un modelado creado desde cero mediante escultura digital, sino una captura a partir de los vértices dibujados sobre la copia rígida de una mano humana. Ed Catmull y Frederic Parke lograron en 1972 (gracias también a los algoritmos de Gouraud) una forma 3D irregular, no perfecta, pero con un acabado digital en sombras y luces, similar a una mano moldeada con un material plástico mate. Lo que subyacía bajo su superficie digital era un entramado ordenado de triángulos y rectángulos unidos entre sus vértices, cuyas inflexiones permitían doblar y extender los polígonos (en este caso, mover los dedos de la mano en 3D).

El tercer hito refiere a la simulación de luz y sombra en geometrías digitales. Los ensayos anteriores simularon el efecto de iluminación sobre una única superficie genérica (similar a un plano mate y de tono claro). Ahora, el aporte de Buy T. Phong, en 1975, fue responder a cómo es posible simular en pantalla el choque de la luz sobre diferentes materiales, sean opacos o brillantes. Ya en pantalla y según los ejemplos hallados desde la documentación elaborada por el propio Phong (Phong, 1975), el efecto de brillo y sombras es convincente debido a que con una sola observación es posible intuir el tipo de material representado; es decir, existe una casi exacta similitud con una iluminación real sobre, por ejemplo, un disco de metal o sobre una botella de vidrio 3D, aunque su acabado era muy parecido a observar en pantalla una ilustración realizada por un artista profesional.

El cuarto hito dio inicio con la solución de un moldeado 3D curvilíneo y preciso gracias a nuevos algoritmos publicados por Martin Newell y James Blinn en 1975. Su aporte fue mejorar otras ideas anteriores en dos ámbitos: simulación de polígonos ubicados cerca o lejos de fuentes de luz y la creación de polígonos curvos. El aporte de Newell y Blinn fue permitir el modelado de objetos 3D con formas suavizadas en sus vértices. Newell y Blinn dieron con el método para mostrar cualquier borde recto en forma redondeada, similar a un acabado de suave lijado en los bordes madera rígida. Con eso, un cuadrado 3D podía ser alterado en sus vértices hasta convertirlo en algo parecido a una masa maleable, curvilínea, cuya superficie ofrecía cambios de iluminación según la posición o giro en la escena.

#### **1.16.4 Imágenes 3D desde equipos electrónicos para animación (Inicios de 1970)**

Las imágenes generadas por el Animac y su nueva versión Scanimate (creados en la empresa Computer Image Corporation, fundada por Lee Harrison III en 1967) mostraron las primeras formas coloridas y de estilo *cartoon* en 2D. Esas imágenes primero eran elaboradas a partir de dibujos a mano y luego captadas mediante una cámara a color. Si el dibujo (por ejemplo, un personaje) estaba formado por partes, estas eran escaneadas por separado (solo se permitía hasta ocho porciones) para luego añadirle animación fotograma a fotograma o mediante solapamiento entre las formas (por ejemplo, cuando un personaje necesitaba cubrirse la cara con las manos) (Tajchman, 1977, p. 22).

Los trazos escaneados por ambos equipos estaban limitados a solo 800 líneas por pulgada a causa de la resolución en pantalla de tubos catódicos, lo que también afectaba la calidad del color mostrado, especialmente en las gradaciones de color. La principal limitante fue que los colores, las formas y las acciones de movimiento debían ser insertados en el sistema mediante códigos y coordenadas, lo que le provocaba dificultad (y tedio) en el operador cuando se trataba de crear y editar dibujos más complejos (Tajchman, 1977).

En cuanto a las animaciones, según la revisión de videos alojados en YouTube<sup>122</sup> que refieren tomas directas, los movimientos se observan fluidos solo cuando el desplazamiento debía hacerse vertical, diagonal o en rotaciones (por ejemplo, al animar tipografías). Finalmente, el Scanimate fue uno de los primeros equipos en incorporar herramientas digitales de sonido y su edición; pero nuevamente, la complejidad del interfaz (mediante perillas y valores numéricos) hizo que este sistema solo sea usado por grandes estudios de tv, con operadores entrenados, lo que pudo elevar su costo de producción hacia otros contextos.

#### **1.16.5 Imágenes resultado del uso artístico de los algoritmos para 3D (1973 a 1980)**

Lo aportado hasta esos años fue rápidamente adoptado por el medio académico y científico. Ejemplo de eso es la animación *No just Reality*, en 1973, de Barry Wessler.

En seis minutos de duración es mostrado uno de los primeros ejemplos de personajes creados y animados mediante geometrías 3D. Primero, fue recreada una forma humana a partir de un esqueleto lineal; es decir, una malla de líneas blancas con recuadros que simulaban cabeza, torso, brazos y piernas. Luego de eso, el artista modelador analizaba el tipo de articulación necesaria para simular poses y gestos en el personaje. Una vez definido, se generaba mediante fotogramas las poses y se las agregaba al esqueleto lineal. El movimiento sería reproducido por la unión de cada secuencia. Finalmente, a los polígonos lineales se les añadirá una superficie básica (semibrillante similar al plástico pulido, o mate).

---

<sup>122</sup> Ver en canal LinkedIn Learning: Scanimate, The Origins of Computer Motion Graphics (2016).  
[https://www.youtube.com/watch?v=i1aT\\_CqhyQs&list=PL\\_Mb87YCvWh1PSUoPa-Nl69F7pcJZln2K&index=2&t=51s](https://www.youtube.com/watch?v=i1aT_CqhyQs&list=PL_Mb87YCvWh1PSUoPa-Nl69F7pcJZln2K&index=2&t=51s)

En *No just Reality* fueron agregados audios con narración, música y efectos sonoros sencillos (golpes, explosiones, entre otros). A pesar de que el cuerpo del personaje intentaba recrear proporciones humanas desde rígidos polígonos, el rostro se muestra anguloso, sin volúmenes orgánicos, ni iluminación (e incluso sin nariz). Es decir, se mostraba más parecido a un objeto mecánico que a un humano. Lo mismo ocurre con el corto *Talking Face* (1974), donde un intento de modelado facial se muestra incompleto (y hasta tétrico) a causa del uso de polígonos rectilíneos, lo que le dio una apariencia de máscara rígida al carecer de otros elementos humanos como ojos o pómulos.

Si bien todos los anteriores proyectos (desde los trabajos de Ellen Bute hasta el del párrafo anterior) aprovecharon las técnicas más avanzadas hasta ese momento, es posible que la falta de conocimiento artístico por parte de sus creadores (o la ausencia de profesionales en arte<sup>123</sup> que conozcan a profundidad esas técnicas) haya limitado los resultados obtenidos. Incluso, aún con los algoritmos para geometrías y sombreado 3D, aún no es evidente el uso de narración para justificar las relaciones entre los elementos mostrados.

#### 1.16.6 **Gráficos 3D para audiovisuales comerciales (1972-1985)**

Iniciando la década de 1980 las tecnologías para 3D se insertaron en recientes empresas dedicadas a la producción audiovisual, tanto en videojuegos como en cine. Eso fue promovido en parte por los contactos profesionales entre científicos académicos, directores y productoras cinematográficas; y por supuesto, por financistas externos interesados en lucrar con las nuevas tecnologías.

Los videojuegos fueron los primeros productos comerciales en ensayar gráficos 3D rudimentarios, accesible al gran público, pero limitado debido a que el procesamiento de una consola para hogar era reducido. Por ejemplo, los juegos *Speedfreak* (1978) (mayormente distribuido en sala de videojuegos), *Battlezone* (1980) y *I Robot* (1983) mostraban formas 3D lineales que recordaban a los resultados de los primeros algoritmos para geometrías 3D, creados por Gilmar Roberts en 1963.

En *Speedfreak* el jugador presencia una pantalla negra enmarcando una carretera irregularmente sinuosa, totalmente elaborada con finas líneas pixeladas con simulación de perspectiva de horizonte. El desafío es esquivar geometrías similares a vehículos y animales mientras la pantalla recorre con lentitud la ruta. El único efecto de sonido durante todo el juego es activado cuando el jugador choca un objeto.

En *Battlezone* la ambientación es idéntica (fondo oscuro, geometrías únicamente lineales de color verde saturado, con desplazamiento 3D durante el acercamiento de los objetos). La tarea del usuario era apuntar a cada forma similar a un simplificado tanque enemigo, visible en un horizonte con triángulos que simulaban montañas. Los efectos sonoros (pitidos en tiempo regular, explosiones de tono electrónico y sonidos graves

---

<sup>123</sup> En *No just Reality* su creador fue un PhD en Ciencias de computación; y en *Talking Face*, un ingeniero y físico.

de alerta cuando un aparato enemigo esta cerca del disparador del jugador) le añaden un aura de serio simulador militar.

En cambio, *I Robot* presentaba un combate de nave espacial ante un enemigo de rostro geométrico similar a un humano, los gráficos 3D fueron presentados con colores rojo, amarillo y gris, todos saturados. Es interesante el desplazamiento del encuadre en este videojuego: horizontal, vertical y en giros de no más de 45 grados, especialmente cuando el usuario ataca al rostro poligonal, ligeramente sombreado, sin gradaciones, durante giros en su propio eje. En los ejemplos mencionados el encuadre se mostraba fijo durante los desplazamientos de izquierda a derecha, excepto en el juego de conducción *Speedfreak*, en el cual el desplazamiento del encuadre es vertical para seguir las curvas de las carreteras.

En lo que respecta a producción filmica, la industria del cine resaltó la reciente innovación en imagen digital. En 1974 el festival de Cannes dio mérito al corto animado *Hunger*, creado por el húngaro Peter Foldes, un pintor profesional que tuvo la oportunidad de acceder a un sistema computarizado para crear animaciones interpoladas<sup>124</sup>: es decir, que a partir dos imágenes dadas será recreada una nueva transformación animada.

*Hunger* presentó un estilo que facilitó ese efecto de interpolación, realizado en parte por el *hardware* (un extenso computador SEL-840A, uno de los pocos con 24-bits de procesamiento interno a inicios de la década de 1980). El estilo de las imágenes de *Hunger* eran de trazo lineal a mano, sin rellenos de color, captados por una cámara de video. Los dibujos en *Hunger* no mostraban ningún parecido con respecto a lo que intentaban referenciar. Eran más bien bocetos lineales rápidos, temblorosos y descuidados que mostraban una experiencia "surrealista, de continuo cambio gráfico" entre sí (Century, 2022, p. 63).

Por otro lado, a inicios de 1980 era insertado en el mercado el sistema Grass (Graphic Symbiosis System), un sistema complejo y de paneles con perillas y monitor, creado en 1972 en la Universidad Estatal de Ohio, EE. UU.

Cinco años después fue usado para recrear en una cortísima secuencia de la película *Star Wars, A new hope*, de 1977. La secuencia en cuestión recuerda a los gráficos lineales, sin polígonos coloreados, creados por Gilmar Roberts y sus algoritmos para geometrías 3D, en 1963.

La secuencia mencionada es presentada en la película durante apenas 35 segundos. En la trama está justificada como una explicación visual dada a los pilotos rebeldes (incluidos Luck Skywalker y Han Solo) para atacar a la esférica Estrella de la Muerte. Esta vez y a diferencia de los dibujos de Gilmar Roberts, se dibujaron geometrías más intrincadas, especialmente para estructuras de edificios y naves espaciales con sus recovecos volumétricos de entrantes y salientes, pero únicamente lineales.

---

<sup>124</sup> La interpolación refiere a insertar un contenido desde lo externo hacia un nuevo conjunto de elementos, diferentes o similares entre si.

También a finales de 1970 más entidades académicas vieron también la necesidad de incorporar departamentos dedicados a ensayar cómputo para gráficos 3D animados, como ocurrió en el Computer Graphics Research Group (CGRG), de la Universidad Estatal de Ohio, EE.UU. Los cortos animados producidos allí fueron *On and Off at the Circus*, de 1978; y *Pong man*, de 1977.

La función de lo mencionado fue puramente experimental, lo que permitió manipular con libertad los equipos y las imágenes obviando la intención narrativa lógica.

En *On and off at the Circus* el estilo de los personajes es *cartoon*, con simplificación rectangular u ovalada de extremidades y torso. Algunos de los modelados y su geometría 3D estaban facetados. Esto es, que eran evidentes los límites cuadrículados de los polígonos con los que estaban creados los personajes (un presentador de espectáculo circense, un payaso, un oso de peluche, entre otros). Y en otros, las proporciones de los personajes no se muestran cuidadas. El oso de peluche presenta brazos muy cortos, mientras que el payaso muestra manos muy grandes. Lo que se resalta en *On and off at the Circus* es la capacidad de los animadores en agregar giros y desplazamientos fluidos en los objetos 3D, sin interrupciones en esa fluidez. Sin embargo, el color saturado está limitado a tonos planos, cuyo volumen solo es perceptible a causa de una débil iluminación que solo agrega tonos grisáceos a las caras de los polígonos más alejados de la luz ambiental.

En *Pong man*, el cuerpo del único personaje se muestra menos irregular. Este es similar a las figuras de madera con forma humana usadas para las prácticas académicas de dibujo artístico. Se resalta que en ambos cortos el ambiente circundante es plano, a un solo color, con tenue iluminación ambiental y una cámara estática.

Ambos ejemplos permiten inferir que las capacidades de desplazamiento de objetos 3D en *softwares* a inicios de 1980 pudieron haberse resuelto. En cambio, la aplicación de iluminación y texturas aún estaban siendo exploradas, si bien ya existían las bases de *software* (lo desarrollado por Gouraud, Phong, Catmull, Newell y Blinn, entre otros) que sí permitía simular luz y sombra en imágenes tridimensionales con relativa calidad.

La exploración con el alcance narrativo del 3D ocurrió abriendo la década, en 1982, con la película *Tron* (Disney, 1982)<sup>125</sup>. El desafío de los directores de arte y del equipo de producción era recrear un mundo electrónico nunca visto en películas. La limitación del *hardware* (Magi Syntha Vision, Triple-I, entre otros) fue la de no permitir aún los modelados curvilíneos en ambientes 3D de gran escala, a pesar de que los productores deseaban ese despliegue para simular un mundo digital de millas de extensión (Ultimate History of CGI, 2019, min. 3:48). Así mismo, los gráficos 3D del filme fueron construidos vértice a vértice mediante un lápiz puntero

---

<sup>125</sup> John Lasseter, uno de los cofundadores de la empresa de animación Pixar, ha declarado que muchas de las escenas de la película *Tron*, de 1982, fueron (trad.) "una de las primeras animaciones por computadora" (Ultimate History of CGI, 2019, min. 16:31).

que dibujaba esos vértices sobre un gran tablero que, a su vez, el computador reconocía como un puerto de ingreso de datos.

Muchos de sus objetos y ambientes estuvieron inspirados en los videojuegos de la empresa Atari (Ultimate History of CGI, 2019, min. 20:37). Las superficies de las máquinas en el mundo electrónico de Tron eran planas, con bordes iluminados, parecidos a letreros neón. Los actores eran filmados en escala de grises, pero con vestimentas y artilugios que mostraban tramas y líneas que iban a ser saturadas en posproducción para simular retroiluminación y así unificarlo con los ambientes. La iluminación del ambiente era global, necesaria para generar sombras saturadas, sin gradaciones para así mantener la condición artificial. Finalmente, los efectos sonoros similares a sonido sintetizado por un computador (es decir, con frecuencias sonoras medias y altas que recuerdan a los sonidos de un videojuego de 8-bits) sumaron a la sensación de que el mundo de Tron estaba dirigido por electrónica pura.

Otro ejemplo de los primeros usos de narrativa cinematográfica y 3D ocurrió en 1985, cuando el guion de una película llamada *Young Sherlock Holmes* (Paramount Pictures, 1985), del director estadounidense Barry Levinson, mencionaba un personaje siniestro, con armadura y espada, formado por partes de vidrios rotos semitransparentes.

Recrear esa secuencia requirió de siete meses de producción (Robertson, 2023). El personaje en mención es mostrado mediante lentos encuadres de primer plano durante veinte segundos, dándole al espectador la sensación de enfrentarlo. La escena está iluminada con luz de vela, casi en penumbra. Esto agrega al personaje tonos desaturados que no facilitan apreciar su textura, excepto en planos cercanos. La morfología del hombre con armadura es exageradamente plana, con ligeros volúmenes cóncavos (recreando los músculos del personaje).

Aunque los productores deseaban emular la apariencia de porciones de vidrio unidos entre sí, la superficie no se muestra quebradiza ni irregular. Más bien, es similar a un muñeco creado con partes planas de metal pulido. Los productores deseaban mantener toda la escena (junto con el personaje con armadura) como una alucinación y no recrear una aparición realista de un humano contra un ente.

Los efectos sonoros de orquestación de suspenso y de explosión de una vidriera, además de la potencial acción de ataque contra un inocente, fue innovador para esa década, dejando en la memoria colectiva al 'hombre de la vidriera' como el primer personaje creado con 3D digital interactuando con otro personaje humano. Mientras que la producción de la película Tron ya lo había realizado en 1982 con ambientes y objetos 3D junto a actores reales en una misma escena.

## CAPÍTULO II: Maduración de las tecnologías 3D: introducción al *render* para videojuegos y películas

Los algoritmos para representar luz y sombra sobre superficies 3D ya habían sido ensayados por científicos especializados en matemáticas, física y ciencias de computación. Sin embargo, muchos de esos ensayos poco promovían el potencial artístico de esos cálculos de vectores y matrices aritméticas. La causa de eso es que pesaba mucho más el rígido método de comprobación y resultado, propio de la academia. Los encargados de esos ensayos debían dar a toda brevedad reportes a sus superiores de los resultados obtenidos y así justificar el financiamiento estatal para más investigación.

Siendo así, únicamente cuando esos algoritmos (y el gran trabajo intelectual subyacente) salieron de los laboratorios hacia las empresas de producción audiovisual es que pudieron enfrentarse al fuego creativo de directores, guionistas de ciencia ficción y empresarios de entretenimiento interactivo, todos ellos ávidos de nuevas herramientas de narración.

En esta sección se explicará cómo la maduración de los algoritmos para generar 3D, dadas por la academia estadounidense a inicios de 1960, permitieron una nueva evolución, especialmente al moldear y animar personajes variados, formar orgánicas o de fantasía, todo gracias a la obsesión por narrar, nacida de modernos creadores audiovisuales.

### 2.1 *Hardware y software para reproducir imágenes 3D de videojuegos y películas*

La palabra video, usada para referir a todo soporte que muestra en secuencia de fotogramas para percibir imágenes en movimiento, es un término derivado del latín *videre* (ver, mirar, percibir) (Gómez da Silva, 2009 p. 715). Y se ha vuelto un genérico para expresar que una película, una gran valla audiovisual o un videojuego son, en estructura, lo mismo. Eso es un error.

La producción de una película o de un video musical suele requerir de una labor previa, es decir, de planificar los recursos y en paralelo decidir un relato a expresar. Durante su producción se debe dar respuestas a cómo capturar las escenas que mejor expresen el mensaje. Luego de decenas de discusiones con criterios creativos y artísticos, serán elegidas las tomas que permitan convencer del por qué todo ese trabajo es digno de apreciar. Todo lo anterior es también parte de la producción de un videojuego al ser un trabajo colectivo.

Ya en la proyección de la película, el espectador recibe las imágenes y las evalúa según sus expectativas personales y gustos, pero *no le es permitido* alterar la secuencia de los eventos en la película, pues esa es un conjunto ya fijado. El usuario solo podrá alterar el tiempo de ejecución (pausa o avance rápido desde el propio dispositivo) y no el relato dado. Los videojuegos difieren en eso.

Los videojuegos sí permiten alterar ciertos eventos dentro del mundo narrativo. Los videojuegos son interacciones en tiempo real con imágenes que expresan conflicto e incertidumbre (Sancán y Sancán, 2023, p. 9) donde el propio usuario puede alterar la secuencia de los eventos mediante decisiones que le permitan alcanzar los objetivos o evitar la anulación de su participación.

En lo técnico, ese resultado audiovisual (ya sea de secuencia de imágenes en el cine o animado e interactivo en videojuegos) es ejecutado por el *render*, que son cálculos a partir de los valores que representan luz, sombras, textura y movimiento en toda imagen digital. El *render* está totalmente vinculado a la imagen digital puesto que es el proceso que permite la traducción de una larga elaboración a un acabado final, limpio y pulido de una imagen. En un sentido estético, el proceso de *render* es igual a usar *software* para finalizar el proceso de producción de una imagen y prepararla para ser apreciada y valorada. Y todas las tecnologías dedicadas a mejorar el *render* en imágenes digitales, desde 1960 hasta hoy, buscan que esa apreciación nazca desde la emoción dada por una alta calidad en imagen.

Allí también difiere el *render* para cine y el *render* para videojuegos, especialmente en aquellos con imágenes 3D. A diferencia de producir una escena para cine, donde se requiere *render* para verificar cómo la luz, la sombra y el encuadre resultan en conjunto, en videojuegos 3D el *render* vive y es ejecutado repetidamente mientras el juego está activo. En un videojuego el sistema de render *lee y vuelve a leer* los datos necesarios para mostrar las imágenes y las simulaciones de luz y sombra. Sin ese *render* en tiempo real, la consola de videojuegos no podría detectar cuándo es iniciado el juego, cuándo el jugador realizó una acción o cuándo es necesario dar por finalizado el juego a causa de una falta de destreza desde el jugador.

Los mayores desafíos en *render* para videojuegos siguen siendo las imágenes 3D. La simulación tridimensional en videojuegos apareció tímidamente a finales de 1978, junto con las consolas Atari, mundialmente comercializadas. Títulos con imágenes lineales, pero en 3D fueron *Speedfreak* (1978), *Battlezone* (1980) y *I Robot* (1983), donde los gráficos eran mostrados mayormente lineales, sin color en los polígonos y sin fondos intrincados.

Otro componente importante para el render en tiempo real es el *hardware*. Este permite a todo dispositivo electrónico (incluido consolas de videojuegos) reproducir imágenes digitales es la unidad de procesamiento gráfico (*Graphics Processing Unit, GPU*), término acuñado por la compañía estadounidense NVIDIA al lanzar el primer procesador para gráficos, el GeForce 256 en 1999 (Akenine-Möller, et al., 2018, p. 29).

El GPU es clave porque muestra en pantalla todo el resultado de cientos de procesos iniciados fuera y dentro del equipo electrónico. Por ejemplo, al reproducir películas el GPU mostrará las imágenes previamente renderizadas, especialmente si ha intervenido la producción de imagen 3D. En videojuegos, el GPU mostrará los polígonos, las líneas y las formas de cientos de píxeles en tiempo real; es decir, donde el usuario presenciara el resultado de su interacción apenas ejecute un evento.

El desafío mayor del *render*, tanto en imagen digital estática para videos, películas o en imagen interactiva en videojuegos es la calidad del resultado. Un *render* de calidad usará todos sus recursos para que la luz, sombras digitales y texturas variadas sean mostradas según las previas exigencias del artista digital. A mayor tecnología de procesamiento y simulación de efectos visuales, mejor resultado del *render*.

En la reproducción de películas digitales, el *render* actúa como un filtro interno junto con otros componentes electrónicos dentro del equipo. El *render* bebe de los datos que contienen los valores de color (en los píxeles) y los prepara para componerlos en imágenes a ser proyectadas. En cambio, en videojuegos el desafío del *render* es también la inmediatez del resultado visual después que el usuario ejecutó una acción.

A diferencia de proyectar una película digital 3D, donde existe un *render* una sola vez, pero es susceptible de ser proyectado cientos de veces en forma de imagen pulida, un videojuego necesita refrescar cada escena entre 30 a 60 veces por segundo (*frame per second*), no solo para mostrar la nitidez, iluminación y texturas digitales; sino también para detectar los eventos y responder acorde a ellos. Sin el *render* en tiempo real, la acción de disparar a una nave enemiga en un videojuego de batalla galáctica demoraría; o peor, no sería tomada en cuenta.

Según el artículo *Affective Games: How iOpiates Elicit an Emotional Fix* (Gökçay, ed. 2011, p. 348) un tiempo de respuesta de *render* de tiempo real igual a la cuarta parte de un segundo (240 milisegundos) sería muy lento. Tomando como ejemplo el juego galáctico, lo correcto sería que, entre el disparo hacia la nave y la destrucción de esta, exista una demora máxima de 100 milisegundos (la tercera parte de un pestaño, de aproximadamente 300 ms de duración).

## 2.2 Nuevas tecnologías para modelado 3D en personajes de videojuegos y películas

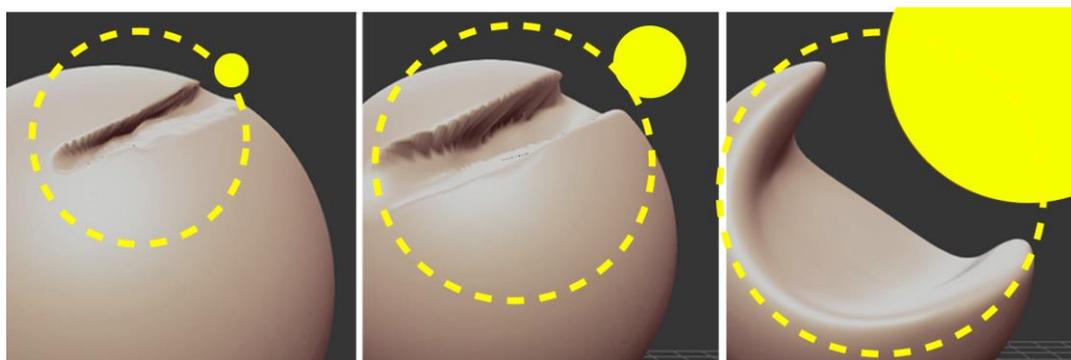
El modelado 3D desde computadores fue posible cuando los primeros algoritmos y ecuaciones para medir posición de vértices y exponer polígonos curvilíneos en pantallas fueron publicados. El sombreado de polígonos (*color interpolation shading*) de Henri Gouraud, de 1971; el modelado curvilíneo de polígonos de Iván Sutherland, Ed Catmull y Frederic Parke, de 1972; la simulación de la impresión de luz y sombra sobre superficies de polígonos digitales de Bui Tuong Phong, publicados en 1975; y el mejoramiento de las ecuaciones del modelado 3D, propuesto por Martin Newell, en 1975. Todos fueron proyectos académicos elaborados por científicos y matemáticos con el equipo necesario y el aval de laboratorios académicos estadounidenses.

Luego, a inicios de 1980, nuevas empresas interesadas en producir 3D para medios audiovisuales replantearon desde la empresa privada los aportes anteriores. *Software* como el Anima, de 1977; GRASS, de 1972; REYES, de 1981 y el sistema Renderman de 1988, fueron de mayor referencia para la producción 3D, con los alcances y las limitaciones propias de esos años, como la carencia de interfaces cómodos para los artistas digitales y la falta de personal con un especial equilibrio entre conocimiento técnico y artístico. El

mercado y las tecnologías posteriores a 1990 resolvieron ambas carencias y aportaron con automatización de funciones, mejores interfaces (desde computadores y desde la web) y mayor resolución de imagen, pero basados en los mismos principios ya fundamentados por Gouraud, Sutherland, Catmull, Parke y Phong y muchos otros visionarios científicos, entre 1960 y 1975.

Hoy en día existen dos criterios generales en la creación de modelado 3D para crear personajes, ambientes y otros cientos de objetos en 3D, para videojuegos y películas. Estos son: el modelado manual y el automático. El manual es el resultado en tiempo real de la intervención del modelador y del tipo de alteración mediante un *software* especializado, pero siempre dentro de los tres tipos de manipulación de vértices 3D digitales: al rotarlos, al escalarlos o ampliarlos y al trasladarlos de un área a otra (Siju Wu. et al., 2015, p. 2).

A diferencia de un escultor real manipulando arcilla, la influencia del diámetro de las herramientas digitales y la fuerza de empuje son controlados totalmente por el artista digital, llegando a diámetros imposibles para un modelador artesanal convencional. Prueba de esto es el siguiente ejemplo realizado con SculptGL (2023) creado por el ingeniero francés Stéphane Ginier y disponible gratis en internet. Allí se alteró tres veces el diámetro del puntero (círculo de color amarillo) que influye en la arcilla digital (área punteada).



*Figura 58. Cambios de diámetro en la herramienta de empuje sobre material digital. Diámetro de la herramienta digital, en círculo amarillo. Área del modelado 3D afectada, en líneas punteadas. Imagen creada en <https://stephaneginier.com/sculptgl/> (disponible gratis en la web).*

Por otro lado, el modelado automático crea formas 3D desde ecuaciones internas del *software*; es decir, recrea patrones sin la intervención del modelador humano; por ejemplo, al generar arbustos, rocas o nubes. La bibliografía técnica lo llama modelado procedural (Chopine, 2011), (Lienhard, et al. 2017).

Un ejemplo básico de generación automática 3D, muy accesible en internet, es <https://monstermash.zone> (de uso gratuito). Este *software* permite seleccionar una imagen plana; y luego de delinearla, el propio sistema la recompondrá en 3D.

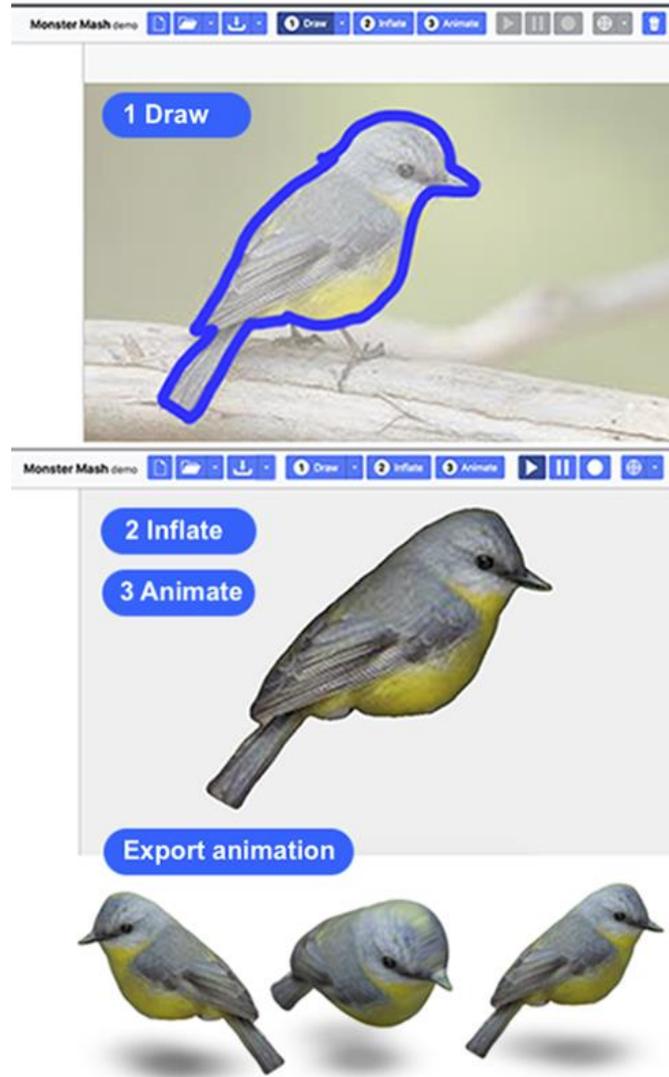


Figura 59. Generación automática de volumen y textura 3D a partir de una imagen Elaborado en <https://monstermash.zone> (2023)

Otros *softwares* de generación automática manipulan formas 3D complejas, como un cuerpo humano. En los siguientes se mostrarán tres de estas herramientas que pueden ser usadas para videos, videojuegos o películas que necesiten incorporar imágenes 3D de objetos o de morfologías: Mixamo, Metahuman e iClone.

Como primer ejemplo, Mixamo (<https://www.mixamo.com>) es un *software* en línea creado por la empresa estadounidense Adobe para seleccionar modelos humanos 3D ya completos y funcionales, tanto en movimiento como en texturas. Cada maniquí elegido puede ser descargado y manipulado en otros *softwares* para 3D. Mixamo expone 96 poses en siete categorías, desde humanos comunes hasta guerreros fantásticos.

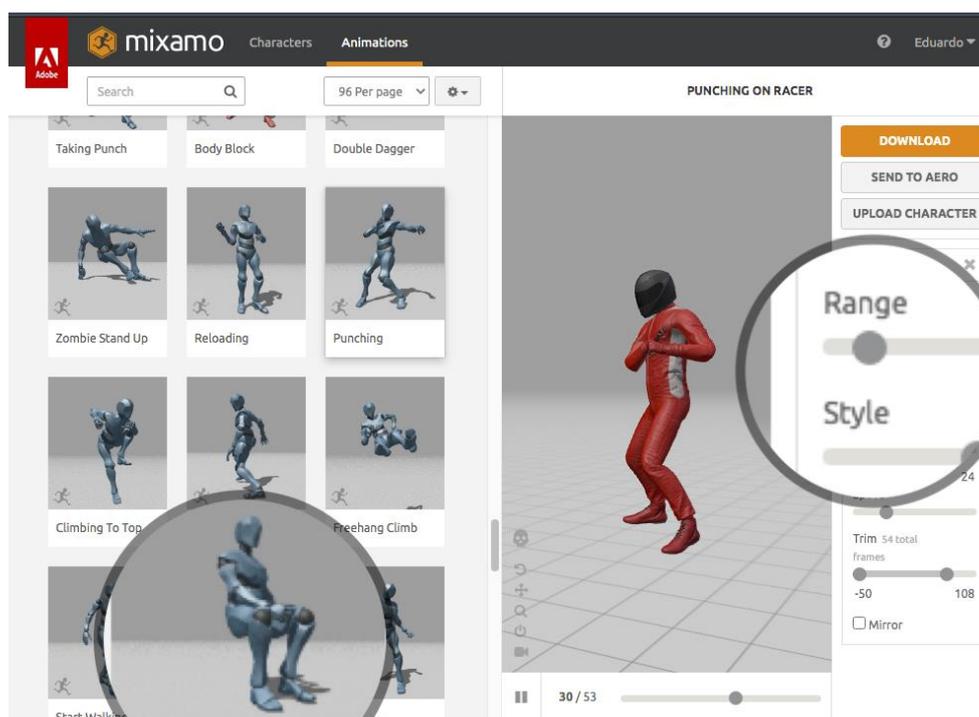


Figura 60. Pantalla inicial de Mixamo. Cada selección de maniquí 3D (panel izquierdo) permite una visualización y ajustes en los desplazamientos de las extremidades (panel derecho con deslizadores). Fuente: <https://www.mixamo.com>

Una opción es Metahuman, de la empresa Epic, creador del motor de videojuegos Unreal. Este es un *software* exigente en el proceso de cómputo. La propia empresa pide para su uso computadores con procesamiento RAM<sup>126</sup> de 8 a 64 gigabytes, generalmente de mayor costo que los computadores de gama media.

Metahuman da ajustes de volumen, textura y color en cuatro categorías (mostradas en español): Rostro, para manipular piel, maquillaje y dentadura; cabello, para manipular barba y bigote; ojos, para alterar color, sombreado y pestañas; y cuerpo, para alterar morfología. Los resultados 3D desde Metahuman pueden ser también integrados a otros *softwares* de modelado 3D. Se usará esta herramienta para crear uno de los dos proyectos prácticos mostrados en esta investigación, en el capítulo IV.

<sup>126</sup> *Random Access Memory*. Celdas electrónicas o chips cuya función es doble: guardar los datos que se están calculando en tiempo real, y permitir el acceso a esos datos siempre que el computador siga en funcionamiento.

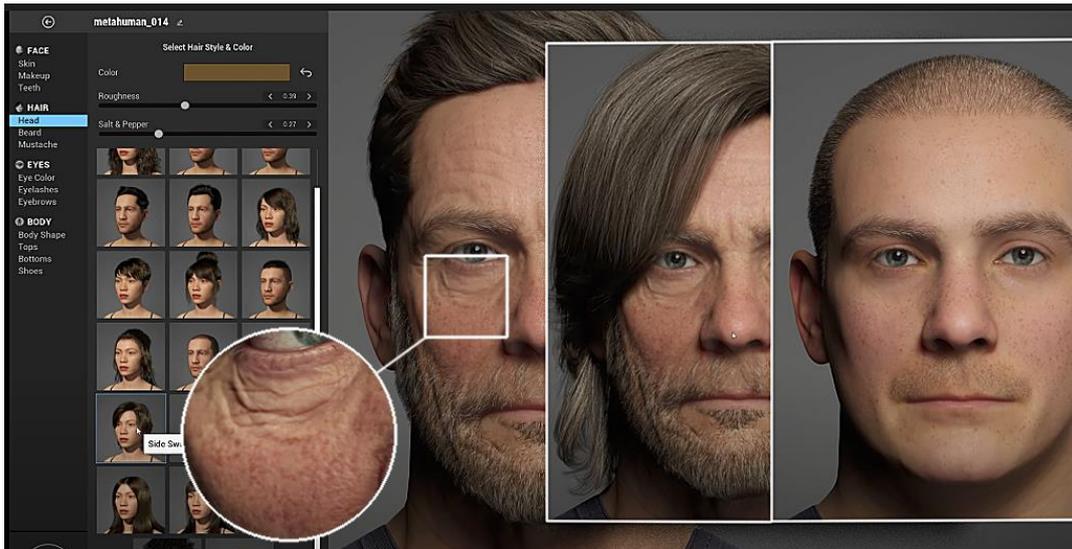


Figura 61. Pantalla inicial de MetaHuman. Alteración en piel y cabello 3D. Fuente: MetaHuman Creator: High-Fidelity Digital Humans Made Easy | Unreal Engine, canal de YouTube de Unreal Engine

Otro ejemplo de características avanzadas es iClone (versión 8) (<https://www.reallusion.com/iclone/>), de la empresa de *software* Reallusion. Así como en MetaHuman, iClone 8 busca un control inmediato para corrección de modelado y animación de personajes humanos 3D, en rostro y cuerpo, preexistentes o ya insertados por el artista modelador. A mayo del 2023 *iClone* está disponible gratuitamente solo para el sistema operativo Windows 11.

Una de las herramientas que iClone 8 expone es la de *Dynamic Wrinkles* (arrugas dinámicas). Esa interfaz muestra tres elementos: primero, el rostro humano, modelado en 3D, al que le serán añadidos los gestos; segundo, un esquema del mismo rostro, pero con áreas de color verde que representan los músculos necesarios para los gestos requeridos; y tercero, un puntero redondo que representa coordenadas de ubicación. Si el modelador desea agregar gestos al rostro, solo debe seleccionar qué áreas verdes (del rostro) desea manipular; y luego, debe desplazar el puntero redondo para elegir el tipo de gesto en tiempo real. En otro ejemplo del mismo *software*, el desplazamiento de otro puntero redirige cabeza, ojos y cuello del modelo 3D, alterándolos automáticamente. Para ambas manipulaciones (gestos o posición de la cabeza) el profesional modelador únicamente desplaza el puntero.

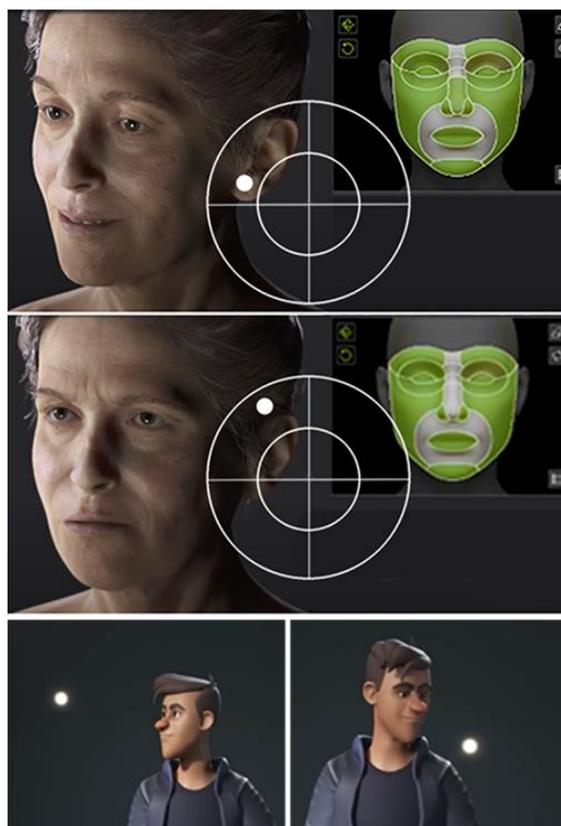


Figura 62. *Dynamic Wrinkles* en iClone 8. Arriba y centro: *Dynamic Wrinkles*. Rectángulo inferior: puntero para simulación. Fuente: iClone 8.2: *Realistic Look-At | Dynamic Wrinkles | Progressive Loading*, canal de YouTube de Reallusion.

## 2.1 Modelado automatizado en objetos 3D para videojuegos y películas

Tres modernos alcances para el modelado 3D son el automatizado procedural, el modelado de gráficas (*graph*) y el transformado por reglas procedurales. El procedural usa ecuaciones que modelan automáticamente y sin manipulación del usuario texturas u objetos que deben ser repetitivos.

Los algoritmos procedurales también pueden activarse durante el renderizado (el acabado final en luz, sombra y texturas de uno o varios objetos 3D) para ahorrar esfuerzo de producción (Chopine, 2011, p. 239, 240). El procedural es útil en el modelado de terreno o vegetación; debido a que estos patrones son semirregulares y aleatorios. Crear esas texturas mediante el método procedural es más rápido que hacerlo polígono a polígono.

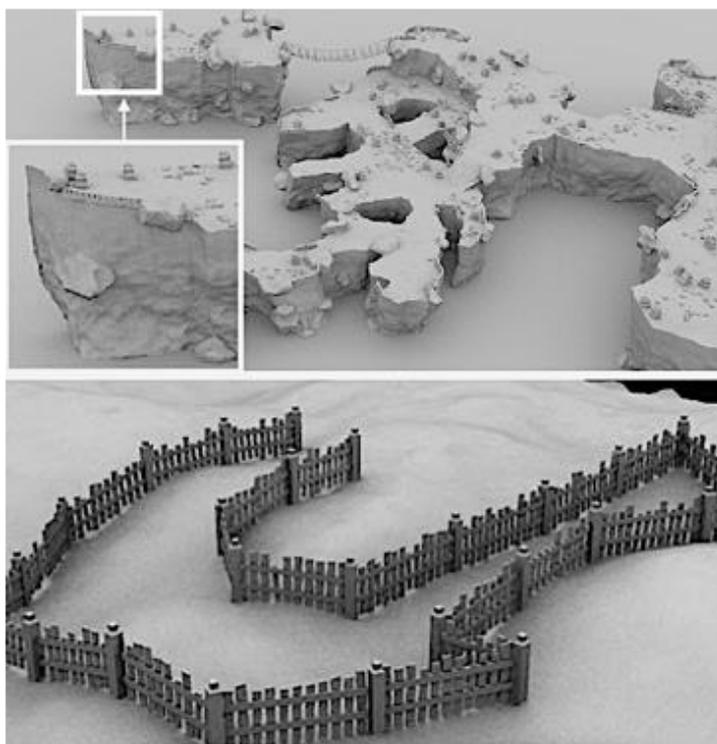


Figura 63. B- Ejemplo de modelado procedural. Arriba, modelo 3D de terreno rocoso del artista Freek Hoekstra creado en el software 3D Houdini. Abajo, diseño de una valla creada mediante patrones procedurales de repetición. Fuente: Imágenes tomadas del sitio web <https://80.lv> "Procedural Modeling for Gamedev".

Finalmente, el modelado por gráficas (*graphs modeling*) crea objetos 3D mediante jerarquías. Es decir, instrucciones ordenadas para crear puntos de control 3D con valores matemáticos alterables (Chopine, 2011, p. 230). Esos valores deforman, escalan, posicionan, dan color y velocidad de transformación a las texturas. Su más importante capacidad es la edición y combinación de nodos, con geometrías variadas como los fractales (patrones interminables de curvas y rectas). Muy útil para crear formas rocosas y vegetación. Hoy en día, cada una de las tres tecnologías anteriores ya está disponible desde distintos *softwares* especializados. En el capítulo IV se mostrará en detalle la aplicación de esos recursos en la creación de un personaje indígena y su ambiente selvático.

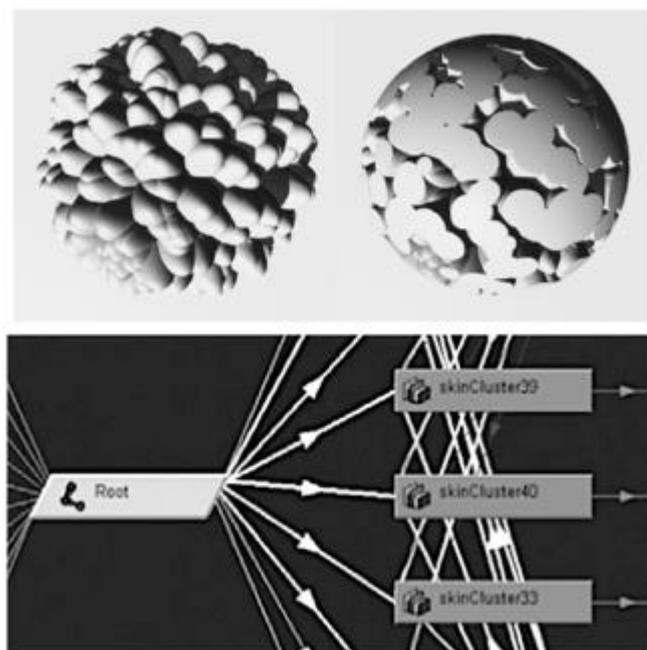


Figura 64. Ejemplo de modelado por nodos. Arriba, resultado de modelado por nodos. Abajo, diagrama de jerarquías.

Fuente: Chopine, 2011, p. 234.

Finalmente, la transformación por reglas procedurales (en inglés *Rule-based Procedural Modeling*) es un método para reutilización de objetos y creación de patrones. Por ejemplo, basta con unas pocas referencias de objetos 3D para crear todo un conjunto repetitivo de esos objetos al crear una ciudad o un bosque (Lienhard, et al. 2017, p. 1, 7).

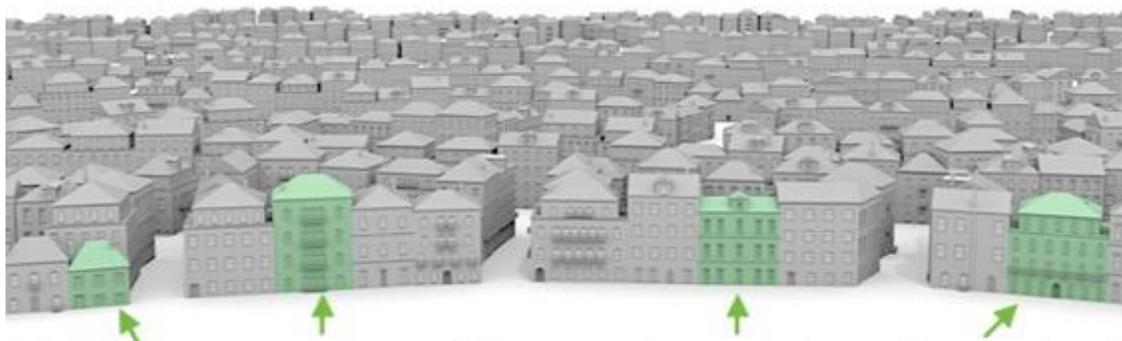


Figura 65. Ejemplo de modelado a partir de variaciones. Desde cuatro edificios (flechas verdes) se generaron iteraciones para crear 400 edificios. Fuente:

Lienhard, 2017, p. 7

En la actualidad el *software* para modelado de objetos 3D es variado, con opción de uso mediante pago (como en *Autodesk Maya*, *Cinema4D*) o de descarga gratuita (como *Blender*, o *Sculptris*). Desde internet existen

similares herramientas disponibles, como *Vectary* y *SculptGL*, este último de Stephane Ginier<sup>127</sup>. Ambas con una interfaz (los botones, ventanas y herramientas) sencilla.

Además de los puntos de control, es posible suavizar el 3D gracias al *extrude*, un anglicismo que significa extraer o halar la porción de un material, similar a moldear una suave arcilla.

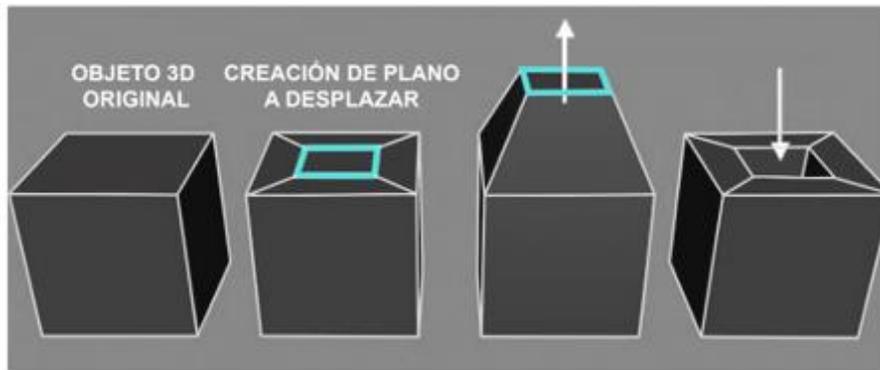


Figura 66. Ejemplos de estrujado 3D básico. Fuente: Tomado de Beane, 2012, p. 141.

Finalmente, un innovador método de modelado es el de realidad virtual. Permite construir objetos a partir de trazos y planos, uno a uno. Allí el usuario observa mediante unos visores un entorno mixto (el ambiente real y los objetos 3D). Con dos mandos inalámbricos es posible usar un interfaz que permite seleccionar herramientas virtuales de modelado, con capacidad de manipulación de objetos.



Figura 67. Ejemplo de modelado por polígonos desde realidad virtual. Dos mandos de realidad virtual manipulando un plano 3D.

Fuente: Mindesk, 2019.

<sup>127</sup> <https://stephaginier.com/sculptgl/>

En resumen, el modelado 3D combina artesanía y manipulación digital, fusionando reducción de espacio, multicolaboración y reusabilidad cuando se requiere elaborar 3D para audiovisuales. En la siguiente sección será detallado ese aprovechamiento desde la automatización.

Los fundamentos para el modelado 3D, para cine o videojuegos, seguirán siendo doblar y torcer polígonos para crear formas reconocibles y crear así objetos y personajes innovadores. Y es inevitable que en breve el 3D procedural agilice crear patrones y texturas 3D con mínima intervención del modelador profesional.

Como se leerá en los siguientes párrafos, toda la tecnología acumulada no solo será aprovechado por el cine, sino también por el entretenimiento interactivo de los videojuegos, más desafiante técnicamente debido a que cada segundo de imagen vive y es actualizada (por el sistema de cómputo) cientos de veces para darnos la posibilidad de interactuar en tiempo real.

## **2.2 Introducción al *render* para imágenes digitales**

En general, el *render* es una conversión total de una imagen digital, donde la electrónica del *software* y *hardware* transforma los píxeles desde el trabajo de producción a una imagen final más elaborada, equilibrada y texturada, siempre que el *software* conversor o de renderizado permita esa ampliación de calidad y siempre que durante la producción de las imágenes se hayan insertado ajustes necesarios para que esa calidad sea evidente. En otras palabras, el *render* por sí solo no mejora una escena excepto que decenas de ajustes y correcciones en color, iluminación o texturas hayan sido insertadas previamente durante la producción de la escena.

Para la producción de *render* en imágenes en secuencia, como aquellas elaboradas para ser reproducidas en películas o en videos, basta un *software* adecuado que genere *render* a cada fotograma de todas las escenas. El resultado de eso será acorde a los parámetros insertados por los productores o artistas digitales, lo que dará como resultado la imagen final y en secuencia de todas las escenas, listas para ser proyectadas o reproducidas.

En cambio, en videojuegos el *render* es proceso constante y tiene el papel de actualizar las imágenes debido a que la interacción del usuario puede alterar los resultados visuales. La clave del *render* en videojuegos es el *game loop* (bucle o reiteración de juego) (Akenine-Möller, et al., 2018, p. 6). Esta es una constante actualización del sistema según lo ejecutado por el usuario dentro del juego. Por ejemplo, si el personaje debe saltar un obstáculo, el sistema estará alerta para determinar si el usuario inició la tarea.

En otras palabras, tanto para producción fílmica como para videojuegos, el *render* es el mismo (procesa o traduce en imágenes de mayor calidad lo que en un inicio fue el trabajo iterativo de la producción digital). Pero en imágenes secuenciales, no interactivas, el *render* será un solo proceso posterior a la producción; y luego un solo proceso para la reproducción desde cualquier dispositivo que decodifique datos de imágenes digitales.

En cambio, para videojuegos el *render* será iterativo, activado cada conjunto de milisegundos para que el usuario perciba y observe el resultado de su interacción.

A diferencia del *render* usado para secuencias de video o fílmicas, el *render* en videojuegos enfrenta más desafíos técnicos y en tiempo real. Eso obliga al *hardware* reproductor del videojuego a tener una amplia capacidad de cálculo *para cualquier interacción* que el videojugador ejecute durante su participación interactiva. cuyos detalles se darán a continuación. A causa de esa diferencia, lo que queda de esta sección profundizará en el *render* para videojuegos. Mientras que todo el capítulo III detallará las técnicas, *software* y *hardware* usado para *render* en películas con imágenes 3D.

Uno de los recursos que el *hardware* de videojuegos debe fortalecer es el *game loop*, bucle o repetición de jugabilidad. El *game loop* requiere de cuatro subprocesos: primero, crear la activación (por ejemplo, cuando el usuario inicia el videojuego); segundo, ingresar las acciones o eventos (cuando el usuario manipula un personaje y le agrega actividad, como saltar o disparar); tercero, actualizar los elementos del videojuego (cuando un personaje entra a un nuevo escenario); y cuarto, generar mensajes desde el sistema (cuando el interfaz muestra los puntos ganados por el usuario, los mapas o los objetos que el personaje ha conseguido). Todo eso debe funcionar coordinadamente con otros componentes electrónicos, como la tarjeta de video y la RAM (memoria de procesamiento del computador). Si el *game loop* es una comprobación interna de necesarias órdenes en secuencia en la consola, el *hardware* será el músculo electrónico que le da al *game loop* su capacidad de ejecución, junto a otros miles de procesos, con el único objetivo de no saturar el sistema debido a los millones de cálculos generados por segundo.

Así mismo, el *game loop* genera cargas de cómputo en cada evento interactivo que el videojuego ejecute. A esas cargas se les denomina *draw calls*. Los videojuegos 3D de los años 2005 al 2013 generaban de 2.000 hasta 15.000 *draw calls* por segundo (Tatarchuk, 2015, p. 55, 56). Con los años, la complejidad de ese proceso ha sido triplicado para mostrarnos sombreados, efectos de partículas y presentación de interfaz (los botones, menús y otros datos útiles al videojugador), además de transiciones de luz, movimientos de cámara y animaciones, todo eso cada 33 milisegundos, el mínimo necesario para mostrar mediante el *render* cada escena 3D durante el juego.

Cada *hardware* para videojuegos tiene sus propias estrategias para lidiar con millones de *drawcalls*. Por ejemplo, el *frustum cull* son algoritmos especializados para que el sistema no consuma datos cuando un objeto está fuera del encuadre de la pantalla (Gregory, 2015, pp. 42, 444); es decir, si el objeto no es visible, no debe consumir recursos.

Otro método es la subdivisión fija (*fixed tessellation*, muy usada en juegos de video de inicios de 1990) donde los objetos 3D son mostrados en baja calidad (muy pixelados) al acercarse a la pantalla. Esa subdivisión

usa el teselado<sup>128</sup> (un mínimo dos versiones por cada objeto 3D, de mayor a menor resolución) que el sistema alternará según el acercamiento del encuadre (Gregory, 2015, p. 447).

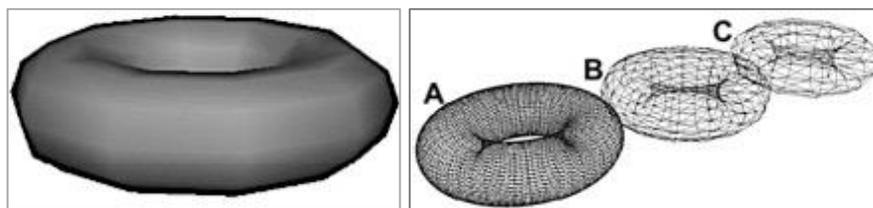


Figura 68. Ejemplos de teselación de polígonos. Izquierda, teselado con triángulos. A la derecha, teselado dinámico con tres versiones: (A) 5.000 triángulos, (B), 450; y C, 200 triángulos). Fuente: Gregory, 2015, p. 448.

### 2.3 **Render para videojuegos: 1965-2020**

Toda la emoción de los videojuegos empezó con simples bloques de colores mostrados en una pantalla de tubos catódicos. A mediados de 1960 los ingenieros estadounidenses Ralph H. Baer<sup>129</sup>, Bill Harrison (1947-1991)<sup>130</sup> y Bill Rusch<sup>131</sup> ya estaban probando un prototipo de consola que usaba un televisor para activar un sencillo juego de ping pong. Allí interactuaban dos jugadores mediante mandos conectados con cable al equipo. La historia tecnológica llama a ese primer aparato el *Brown Box*, que posteriormente fue comercializado como Magnavox Odyssey.

---

<sup>128</sup> Teselación: Unión de varias figuras geométricas regulares de igual tamaño. Esa unión, sin espacios entre los vértices de las geometrías, cubrirá una superficie amplia. Similar a unir piezas de rompecabezas únicamente con cuadrados, triángulos, etcétera. El artista neozelandés Maurits Cornelis Escher lo popularizó en 1930 al crear arte con teselados, influenciado por las publicaciones del matemático húngaro George Pólya que mostraban patrones de formas geométricas lineales.

<sup>129</sup> Migrante alemán radicado en EE. UU durante la II Guerra Mundial. Se unió al ejército para categorizar armas militares y para instruir tropas, en donde posiblemente obtuvo conocimiento básico en electrónica. Fue un autodidacta e inventor metódico, al punto de documentar al detalle sus inventos. En 1966 tuvo como objetivo crear un aparato de entretenimiento que pueda ser usado por la pantalla de un televisor, años después de ser contratado por la empresa electrónica Sanders Associates. En EE.UU., fue galardonado por la Medalla Nacional de Tecnología en 2006 y por la medalla del Salón Nacional de Inventores en 2010. Falleció en 2014 a los 92 años. Su sitio web (<http://www.ralphbaer.com/>) contiene gran parte de su historia.

<sup>130</sup> Ingeniero eléctrico estadounidense. Al enlistarse en su juventud en la Fuerza Aérea aprendió fundamentos electrónicos. En 1960 colaboró en el diseño de las placas de circuitos para lo que sería el video juego Magnavox Odyssey.

<sup>131</sup> Ingeniero eléctrico estadounidense graduado en el MIT. En 1967 se unió a la empresa electrónica Sanders Associates y diseñó gran parte de los circuitos del videojuego Magnavox Odyssey.

Baer y su equipo se enfrentaron a escollos técnicos en esos años, como los limitados matices de color y las formas rectangulares que el *hardware* podía mostrar en pantalla. Para compensarlo, introdujeron en algunos proyectos láminas traslúcidas con dibujos que, colocadas sobre la pantalla del televisor, simulaban escenarios, como una cancha de hockey o un castillo.

El real éxito comercial que llevó los videojuegos a los hogares fue el Atari 2600, de 1977. Ese fue un equipo que procesaba a 1.1 Mhz con 128 bytes de RAM. El Atari mostraba gráficos a 256 matices de color para cada píxel (un salto en calidad comparado con los videojuegos creados por Baer). Es decir, el color para cada elemento en pantalla era solo uno de una gama de 256 tonos. Además, las imágenes estaban limitadas a una resolución de pantalla de 160 píxeles (en vertical) por 191 píxeles (en horizontal) (Figuroa, 2006, p. 176).

En cuanto al contenido interactivo y visual de los videojuegos, desde finales de 1970 en adelante los desarrolladores y directores de arte usaron los siguientes criterios: la dimensionalidad, la perspectiva, el color, la presentación y el realismo (Röber, Masuch, 2005). Se explicará el primero y el último por estar más relacionado al renderizado, tema de esta sección.

La dimensionalidad (*dimensionality*) responde a qué escala son expresadas las imágenes en 2D y 3D, especialmente al justificar un evento narrativo, como la personalidad de un enemigo o el ambiente en el cual el videojuego transcurre.



Figura 69. Ejemplos de dimensionalidad en videojuegos. Derecha, *Space Invaders*, (1978). Centro, *Broken Sword* (1996). Izquierda, *Quake 3D* (1999).

Fuentes: Röber, Masuch, 2005, p. 4

El realismo es una expresión subjetiva que evalúa la exactitud en la representación 3D con un referente (Röber, Masuch, 2005, p.6). Por ejemplo, la piel de un dragón digital podría verse muy convincente si el artista 3D tomó como referencia la de un lagarto real. En cambio, un realismo simplificado usa mínimos elementos visuales, como en el videojuego *Mario Bros* (1983) al simular ladrillos, nubes y enemigos. Mostrar algo realista en pantalla (sea una película o un videojuego) no es una decisión menor: aún hoy depende de los recursos en *hardware* y *software* de cada sistema para reproducir con calidad detalles, colores y movimientos.

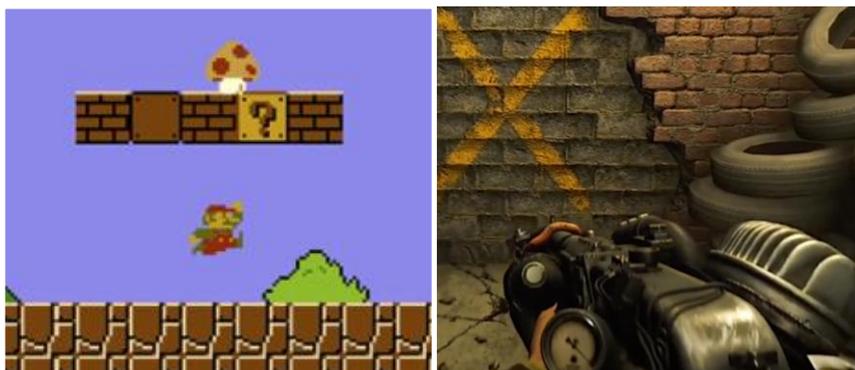


Figura 70. Ejemplos de representación de referentes en videojuegos. Derecha, *Super Mario Bros* (1985). Izquierda, *Wolfenstein II: The New Colossus* (2017), *Electronic Arts*.

Después de la euforia del Atari, los laboratorios de desarrollo en EE.UU. propusieron nuevas estrategias para soportar la siguiente generación visual interactiva, como el *z-buffer*, creado entre 1970 y 1974 por Ed Catmull y Wolfgang Strasser (1941)<sup>132</sup>. El *z-buffer* (z por la coordenada de profundidad; y *buffer*, por el anglicismo que refiere a proteger algo contra un impacto) da porciones extra de alojamiento de datos. Eso le permite al sistema no solo guardar nuevas operaciones matemáticas, sino también elegir dónde dar mayor nitidez según la ubicación de cada objeto 3D en pantalla (Wolf, 2009, p. 163, 165).

Todas esas estrategias intentaban evitar problemas comunes en esos años, como el calentamiento del equipo. Por ejemplo, en el juego *Cyber Sled* (Namco, 1993), un juego 3D para máquinas *arcade*<sup>133</sup>, fueron necesarios ventiladores de enfriamiento en los circuitos para minimizar el esfuerzo en su electrónica (Wolf, 2009, p. 163).

A finales de 1970 en videojuegos como *Battlezone* (Atari, 1980) fue común un *render* más ágil pero igualmente limitado en detalles de imágenes. Por ejemplo, *Battlezone* representaba delineados y sencillos tanques de guerra que apuntaban y disparaban (Hemovich, 2017, p. 10). A pesar de esa simplificación, sorpresivamente el videojuego fue adoptado en esa década para entrenamiento militar (Hemovich, 2017, p. 10).

Así mismo, el videojuego *I robot* (Atari, 1983) usaba un *render* de polígonos tridimensionales sin degradados (Wolf, 2009, p. 163). Aun así, resultó muy abstracto para las audiencias de 1980. Esto provocó un

---

<sup>132</sup> PhD. en Gráficos computarizados por la Universidad Técnica de Berlín en 1974. En su tesis describió el primer algoritmo para la memoria z-buffer. Actualmente es profesor adjunto de Matemáticas para la Universidad de Tübingen, en Alemania.

<sup>133</sup> Arcade (sala o galería con entrada en forma de arco) es un anglicismo usado para referir a las salas de videojuegos y a los juegos en forma de gabinete de madera con pantalla, activados por inserción de moneda, muy populares en bares estadounidenses desde inicios de 1970 gracias *Spacewar!* y *Pong*, los primeros de ese tipo.

desánimo en la industria para ese tipo de gráficos. En esos años era cuestionable que un videojuego pueda narrar mediante trama y conflicto, como lo hace un libro o una película. Pero la reducida interacción (cuatro tipos de desplazamiento, en cruz) y la calidad gráfica (solo recuadros de colores) limitaban ese alcance. No volvieron a tomarse en cuenta sino hasta inicios de 1990 (Wolf, 2012, p. 5), cuando nuevo *hardware* para gráficos amplió las posibilidades en forma y textura gráfica.

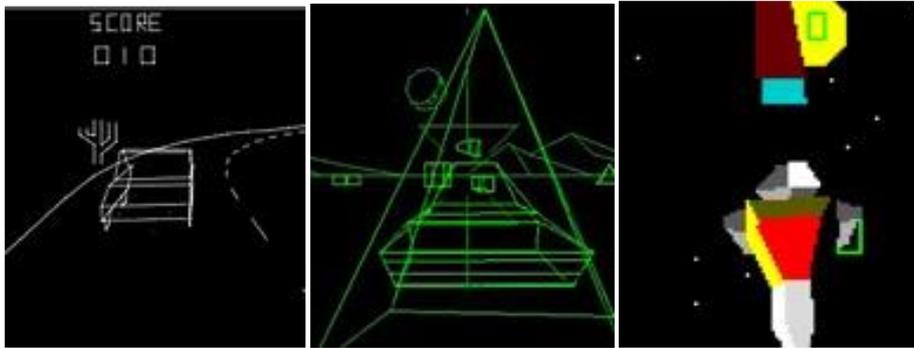


Figura 71. Ejemplos de videojuegos 3D, entre 1978 y 1983. Derecha: *Speedfreak* (1978). Centro: *Battlezone* (1980). Izquierda: *I Robot* (1983).

Fuentes: Hemovich, 2017, p. 6.

Otra alternativa para *render* de videojuegos en 3D fue la axonometría (objetos colocados en ángulos rectos que representan las tres dimensiones, muy usado en dibujo arquitectónico). Ejemplo de esto fue el videojuego *Zaxxon* (Atari, 1982), (Wolf, 2009, p. 158).

Otra técnica para ahorro de procesos en videojuegos fue el prerrenderizado. Esto era insertar una animación 2D o 3D previamente procesada dentro del videojuego. Fue popular con la llegada del disco láser en consolas como *Sega*, entre 1981 y 1984. Por ejemplo, en el juego *Astron Belt* (1983), un fondo de nubes era reproducido en bucle (Wolf, 2009, p. 161).

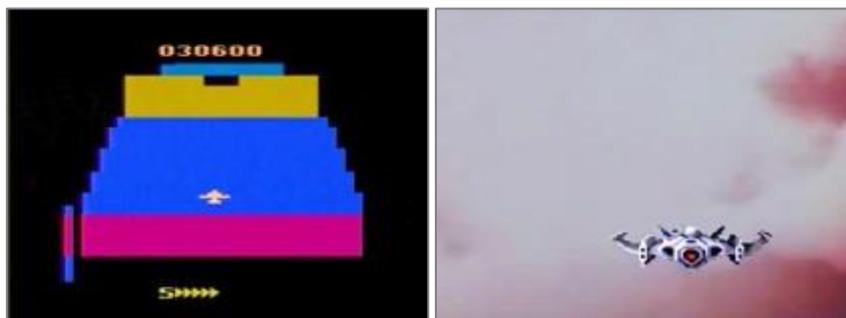
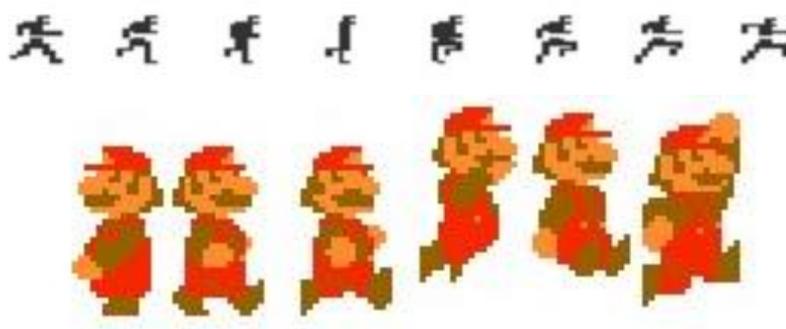


Figura 72. Ejemplos de axonometría y prerrenderizado en videojuegos, 1982 y 1983. Izquierda, *Zaxxon* (Atari, 1982), con axonometría. A la derecha, *Astron Belt* (Sega, 1983), con nubes prerrenderizadas. Fuente: Wolf, 2009, p. 161.

A pesar del *z-buffer*, la axonometría y el prerender, entre 1983 y 1984<sup>134</sup> el mercado de videojuegos 3D en esos años empezó a debilitarse a causa de una saturación de productos de baja calidad, junto a temáticas repetitivas que llevó al rechazo de los consumidores.

Una nueva oleada gráfica llegó con el *Nintendo Entertainment System*<sup>135</sup> (NES, 1985). Este contaba con procesadores 6502 y el PPU (*Picture Processing Unit*) para gráficos de 256 x 240 píxeles (Figuroa, 2006, p. 76), un poco más del doble que Atari. También introdujo los *sprites*. Esto es, fotogramas en secuencia que agrupaban movimientos coherentes con un tipo de acción (Gregory, 2015, p. 544) como saltar o correr y que el sistema mostraba únicamente cuando el usuario activaba una interacción. Tecnologías posteriores, como los motores de videojuegos, adaptarán los *sprites* a formas más creativas en videojuegos.



*Figura 73. Ejemplos de sprites. Arriba, animación en sprites monocromos, común en consolas como Atari. Derecha, sprites para el personaje de Mario Bros. para Nintendo. Fuente: Gregory, 2015, p. 544.*

### 2.3.1 Consolas de videojuegos (1990-1999) y *game engines*

Cinco años después del primer Nintendo, en 1990, se conoce en EE.UU. el término *game engine* (motor de videojuego). Fue un tipo de *software* colaborativo creado por entusiastas técnicos para crear y alterar videojuegos desde los ámbitos de arte digital, codificación, interacción y sonido. Hoy en día, los *game engine* evolucionaron como completos *softwares* para postproducción y efectos especiales. En el capítulo IV se mostrará un ejemplo del uso del motor Unreal en la creación de 3D interactivo.

Usar cualquier *software* para la creativa exploración, sin obstáculos corporativos que lo limiten fue la causa para que una comunidad de técnicos y programadores altere tecnología de terceros, muchas veces sin permiso. Ese criterio fue iniciado entre 1983 y 1985 por el estadounidense Richard Stallman (1953). Este físico

---

<sup>134</sup> La extrema apertura para crear y publicar videojuegos, sin licencias ni lineamientos visuales o narrativos estrictos degradó la calidad de estos en Atari (Figuroa, 2006, p. 76) y fue uno de los factores para la baja demanda de esas consolas entre esos años.

<sup>135</sup> NES, Nintendo Entertainment System. Consola de videojuegos de segunda generación, lanzada comercialmente en 1985

y programador, graduado de la universidad de Harvard, creó en 1985 la *Free Software Foundation*. Aún hoy, motiva el libre uso de *software* para modificarlo y compartirlo (Hosch, 2023). Para Stallman, usar tecnología es usar la libertad (gnu.org, 2023). Los creadores de los primeros *game engine*, organizados en comunidades *game mod* (modificadores de videojuegos) abanderaron el libre uso de tecnología, que a su vez lo reforzaron con la llegada del internet, desde 1995, para compartir libremente archivos y códigos de programación de terceros.

Los primeros *game engine* fueron creados entre expertos en lenguajes de programación ávidos de compartir sus resultados. Ese objeto de intercambio era un conjunto complicado de líneas de código que permitían obtener y manipular (muchas veces sin autorización) el código fuente de otros *softwares*. Al mismo tiempo, esos códigos eran compartidos entre otros programadores para evaluar y agregar mejoras que luego otros podían aprovechar. Por ejemplo, los primeros *game engine* permitían crear mediante codificación (aún no eran desarrollados los interfaces de usuario) sencillas colisiones entre objetos 3D, junto simulación de explosiones (Noor, 2013, p. 1674) mediante el uso de *sprites*, una técnica que se explicará en los siguientes párrafos.

Una vez finalizado un proyecto, este era convertido a un programa instalador y luego repartido a toda la comunidad *game mod* para evaluarlo y proponer libres alteraciones. Esa dinámica permitió, por ejemplo, que un conjunto de programadores anónimos (y otros, como Andrew Johnson, Preston Nevins y Rob Romanchuk) transformen el código de un popular video para las computadoras Apple II y Commodore 64, llamado *Castle Wolfenstein* (Muse Software, 1981), creado por el programador estadounidense Silas Warner. Por lo que, obviando los evidentes derechos de autor, la comunidad *game mod* obtuvo el código fuente y usó un sencillo *software* de dibujo para reemplazar algunos de los gráficos originales por unos azules personajes, muy parecidos a los del cómic (y luego) programa animado *Los pitufos* (*De Smurfen*) creado por el belga Pierre Culliford, en 1958. El videojuego alterado se lo conoció como *Castle Smurfenstein* y fue compartido gratuitamente desde 1981 y durante toda la década de 1980 (Dyer, 2016).

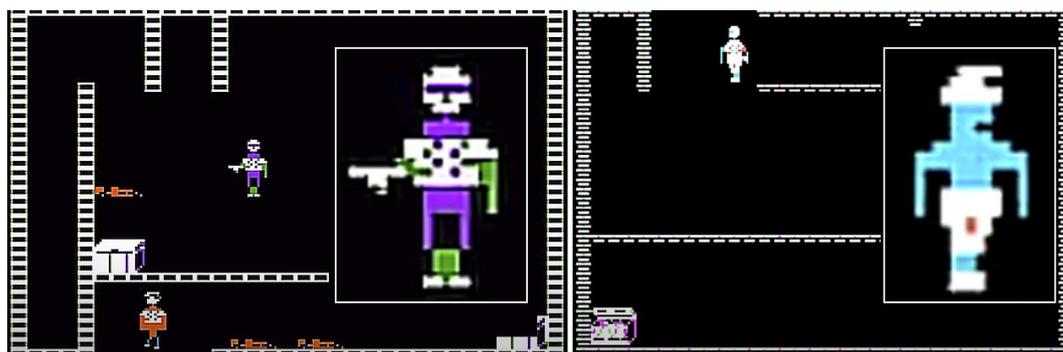


Figura 74. A la izquierda, imagen del videojuego *Castle Wolfenstein*, de la empresa Muse Software. A la derecha, la modificación con la referencia a *Los Pitufos*. Fuentes Dyer, 2016, *The first 'Official' Castle Smurfenstein Home Page*, <https://www.ev1.uic.edu/aej/smurf.html>

Ese ejemplo debió motivar a otros interesados en alterar videojuegos ya existentes. Entre 1990 y 1995 aparecieron nuevos juegos creados desde *game engine* de libre uso, como *Quake III* y *Unreal* (Romero, 2018, min. 36:14). Gracias a ese impulso nuevas comunidades de *software* libre crearon motores, como el *idTech*, desarrollado por John Carmack (1970)<sup>136</sup>, John Romero (1967)<sup>137</sup> y Dave Taylor<sup>138</sup>. Como se verá, el *idTech* y sus tres versiones serán el fundamento técnico para todos los *game engine* desarrollados desde finales de 1990 en adelante.

Productos del primer *idTech* en el año 1991 fueron *Hovertank 3D* (todavía con colores planos) y *Catacomb 3D* (con texturas y polígonos simples). En 1992 apareció *Wolfenstein 3D* (que elevó la cantidad de matices de 16 a 256 colores) y en 1994 *Shadowcaster* y *Rise of the Triad* (con mayor cantidad de texturas) (Griliopoulos, 2011). Más de uno tuvo características técnicas clave como entornos hipertexturizados (*texture-mapped environment*) y capacidad multijugador (Romero, 2018, min. 10:12).



Figura 75. Videojuegos generados desde el motor de videojuegos *id Tech*, 1990. Arriba, izquierda: videojuego *Hovertank 3D*. Derecha: *Catacomb 3D*, ambos de 1991. Abajo: *Wolfenstein 3D*, de 1992 y *Rise of the Triad 3D* de 1995. Todos videojuegos para computadores PC.

Fuente: Griliopoulos, 2011.

<sup>136</sup> Diseñador de videojuegos estadounidense. Creador del modo *first-person shooter* durante sus proyectos en la empresa que fundó, *id Software*. Junto a John Romero. Crearon y distribuyeron gratuitamente el videojuego *Commander Keen* en 1990, y lanzaron al mercado *Wolfenstein 3-D* en 1992 y *Doom* en 1993.

<sup>137</sup> Artista y diseñador autodidacta estadounidense de videojuegos de ascendencia mexicana. Inició su carrera en 1979 como programador en pequeñas empresas tecnológicas hasta que conoció a John Carmack, cuya unión resultó en la empresa *id Software*.

<sup>138</sup> Ingeniero eléctrico estadounidense. Fue miembro de la compañía *id software* que desarrolló los videojuegos *Doom* y *Quake*, entre 1993 y 1996.

Mientras tanto, la empresa privada apostaba también por comercializar entretenimiento interactivo a nivel mundial. En 1990 fue presentada (primero en Japón) la consola Súper Nintendo Entertainment System (SNES), con capacidad de 16 bits<sup>139</sup> (65.536 colores), dejando atrás a los colores en bloques de las populares Atari.

Las consolas de 1990 retomaron las técnicas de animación ya ensayadas en videojuegos desde 1980, como la simulación de profundidad mediante el desplazamiento entre fondo y personaje, un efecto visual llamado paralaje (*parallax*) en el cual los elementos en primer plano se desplazan más rápido que los elementos de fondo. Eso fue parcialmente logrado desde videojuegos como *Jungle King* (Taito, 1982), *Suicide Express* (Gremlin Graphics, 1984), entre otros. Pero un nuevo nivel de *parallax* en videojuegos fue evidente para la SNES en *Donkey Kong Country* (1994) donde los elementos 3D fueron colocados en capas superpuestas (RGME, 2017), junto con *sprites* animados con texturas 3D en personajes y otros elementos. El *parallax* fue usado en las primeras animaciones estadounidenses en blanco y negro de inicios de 1920 y luego en filmes animados, desde 1937.

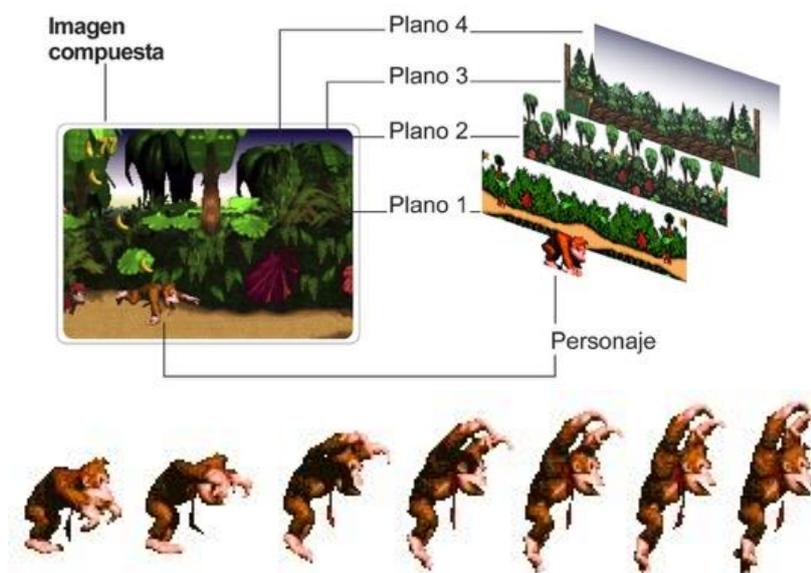


Figura 76. Tridimensionalidad mediante capas de profundidad en videojuegos. Capas de fondos, encuadre y efecto mosaico en fondos para NES. Fuente: Basado en RGME, 2017. Elaboración propia.

En 1994 llega una nueva cota de calidad visual, la PlayStation (PS) de Sony, con un procesador de 32 bits R3000A a 33.3 Mhz<sup>140</sup> (Voica, 2016). Para comparación actual, un sencillo microchip de tienda electrónica

<sup>139</sup> El bit en informática es una unidad contenedora de solo dos posibles valores: cero o uno. El valor de las combinaciones será el resultado de elevar el número dos (los dos valores posibles en un bit) al valor de la cantidad de bits capaces de reproducir un sistema. Por ejemplo, 2 elevado a 16 es igual a 65.536 posibles valores.

<sup>140</sup> Unidad para medir la cantidad posible de ciclos por segundo en un sistema electrónico. Cada cálculo realizado en un computador usa más de un ciclo (1 hertzio) para enviar o recibir señales eléctricas que conforman datos y cálculos. 33

tiene 60 Mhz. El PS podía mostrar hasta 360 mil polígonos y 30 millones de cálculos por segundo<sup>141</sup> con sombreado Gouraud<sup>142</sup>, texturizado y resolución de 640 x 480 píxeles (tres veces más que Atari) a un costo para la época de \$300 (Centre for computing history, 2019).

Un año después, el Nintendo 64 (N64) de 1995, logró un *render* de 150 mil polígonos por segundo. Introdujo el *anti-aliasing* (algoritmos que suavizan los bordes escalonados de los objetos 3D) y el *trilinear mip mapping*, que ahorra esfuerzo de *render* al usar tres calidades de textura (baja, alta y media calidad) en objetos mostrados según el acercamiento del encuadre. También sumó el *environment mapping*, que aportaba con efectos como el reflejo de árboles y nubes sobre la carrocería de un vehículo en movimiento (Tyson, 2000).

Es importante señalar que en toda la década de 1990 al 2000 la calidad gráfica de los videojuegos dependía del modelado 3D, de la cantidad de polígonos usados y de la calidad del texturizado. Por ejemplo, en el juego *Golden Eye* (Nintendo, 1997) para N64 se permitía el *anti aliasing* (suavizado de bordes irregulares) pero carecía del *environment mapping* (reflejo del entorno en objetos metálicos). En cambio, sí mostraba el sombreado Gouraud (difuminado de sombras y luces) y efectos humeantes en disparos y explosiones.

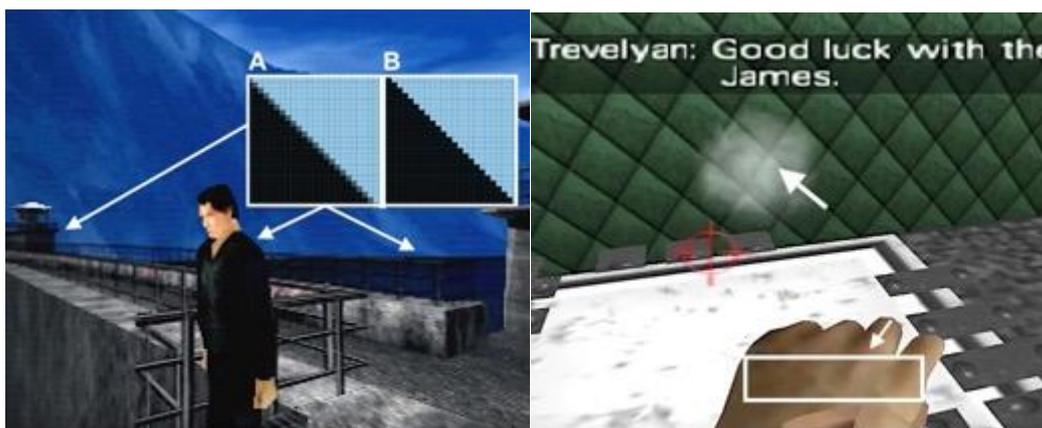


Figura 77. *Antialiasing* y efecto 3D de evaporaciones. *Golden Eye* (1997), para N64. Izquierda, el *antialiasing* activado (A) añade más píxeles para eliminar la irregularidad del contorno, pero consume más procesos. En recuadro B, el efecto desactivado. A la izquierda, el efecto de humo después de un disparo (flecha) y el efecto de sombreado Gouraud en la mano del personaje. Fuente: Cuadro de la imagen tomada de internet. Elaboración propia.

Antes de llegar al año 2000 el potencial de las imágenes en computadora ya había generado expectativa desde los fabricantes. Es así como en 1995 la empresa 3dfx Interactive lanzó la tarjeta gráfica SST-1 Voodoo

---

megahertz (Mhz) son iguales a 33 millones de oscilaciones por segundo. Un computador de gama alta, a 2023, puede alcanzar los dos mil millones de ciclos por segundo (o 2000 Mhz).

<sup>141</sup> Años después, en el 2000, PS2 superará esas capacidades con un renderizado de 75 millones de polígonos por segundo, además de procesar canales *alpha* (transparencias) y *mip mapping* (Arsenault, 2008).

<sup>142</sup> Algoritmos para sombreado e iluminación digital en superficies 3D en pantalla, creados en 1971 por el aspirante a doctorado de la Universidad de Utah, Henri Gouraud.

Graphics. Esta fue la primera que vendió licencias para que su tecnología fuese adoptada por otras empresas (Sanglard, 2019). Otras tarjetas derivadas de la Voodoo fueron Diamond Monster 3D, Canopus Pure3D, BIOSTAR Venus 3D y ORCHID Righteous 3D (Sanglard, 2019).

La SST-1 de Voodoo Graphics contaba con chips similares a los del *PlayStation* (1994) y *Nintendo 64* (1995). Añadía reproducción de objetos transparentes (*Chroma-Key Operation* y *alpha channel*<sup>143</sup>) y *render* de neblina con canales *alpha* (*fogTable Register*) entre otros (3dfx, 1995, p. 6, 14, 80). El canal alfa como propiedad de edición de imágenes fue creado por los ingenieros Alvy Ray Smith (1943)<sup>144</sup> y Ed Catmull, en 1970 (Smith, 1995, p. 5).

La Voodoo Graphics también contenía dos tipos de circuitos para *render*, TREX (*Texture Raster Engine*) y FBI (*Frame Buffer Interface*). TREX recibía texturas 3D y el FBI generaba luz y sombra digital con el *z-buffer* (*un atajo en la memoria de la consola para acelerar el acceso a datos*). Todo eso para computadores de hogar u oficina.

Llegando al año 2000 el *hardware* para gráficos en computadores sumó evolución mediante paquetes de *software* para *render* y para producción de imágenes 3D. Estos fueron el DirectX y el Shader Model 5, ambos desarrollados por Microsoft.

El DirectX inició como un conjunto de versiones de códigos, instalables en el sistema operativo Windows. Cada nueva versión agregaba suavizado de imágenes 3D, sombreado y *render*, especialmente para videojuegos.

El Shader Model 5 fue más allá de la presentación de imágenes: eran códigos que permitían personalizar las propiedades del *render* según cada necesidad (Akenine-Möller, et al., 2018, p. 39). Finalmente, empresas fabricantes de hardware como Nvidia también incorporaron a inicios del 2000 los primeros *renders* para texturas de pelaje y cabello, a ese recurso de *software* se le llamó llamado NVIDIA *HairWorks* (De Smedt, 2012), (Nvidia, 2019).

---

<sup>143</sup> Un canal alfa es un nuevo canal transparente que se podrá añadir al final de los canales RGB (red, green, blue) en toda imagen digital. Hoy en día es un recurso común cuando se desea agregar efectos que, si bien alteran total o parcialmente una imagen, son reversibles y editables en tiempo real.

<sup>144</sup> Estadounidense. PhD. en Ciencias de la computación en la Universidad de Stanford (EE.UU.), miembro de la Academia estadounidense de ingeniería. Autor de *A Biography of the Pixel*, (MIT Press, 2021). Fue director de investigación de gráficos computadora para LucasFilm, entre 1980 y 1986; y cofundador de la empresa Pixar, donde colaboró como investigador entre 1986 y 1991. Hoy en día es miembro de los estudios Baobab (alvyray.com, 2023).



Figura 78. Tecnología Nvidia para render de texturas en videojuegos. Secuencia del videojuego *Call of Duty: Ghosts* (2013). Izquierda, antes de aplicar *HairWorks*. Derecha, después de aplicarlos. Fuente: Nvidia, 2019

### 2.3.2 Motores de videojuegos: id Tech versiones 1, 2 y 3

Como ya fue mencionado, el motor Id Tech 1 fue el primer *software* distribuido gratuitamente entre miembros de la comunidad *game mod* estadounidense a inicios de 1990 para crear o modificar videojuegos. Los primeros proyectos nacidos de ese *software* usaron ampliamente (realmente en exceso) tres técnicas que evitaban forzar el *hardware* de un computador al reproducir videojuegos con simulación 3D. Esas técnicas fueron el *texture map*, los *keyframes models* y los *sprites* animados. A decir verdad, esos métodos fueron un astuto replanteamiento de técnicas ya conocidas para recrear en pantalla simulación 3D *sin usar polígonos tridimensionales*.

El *texture map* se evidenció con éxito en las primeras versiones de los videojuegos *Doom* (id Software, 1993), donde un guerrero futurista recorre salas oscuras para destruir alienígenas; y en *Hexen, Beyond Heretic* (Raven Software, 1995), con una ambientación similar a *Doom*, pero sobresaturada de texturas justamente por el uso del *texture map*. Esta técnica no forzaba al *hardware* que reproducía el videojuego debido a que la tarjeta de video solo debía leer y mostrar imágenes planas que simulaban profundidad. Las imágenes para la escena completa en un videojuego creado con el IdTech no pasaban de los 640 x 480 píxeles, a 35 cuadros por segundo; pero fueron suficientes en toda la década de 1990 para resaltar texturas de paredes, pieles de monstruos o gestos de rostros.

Los *texture map* pueden crearse en *software* como Adobe Photoshop o GIMP<sup>145</sup>, a una resolución mínima de 256 x 256 píxeles (Beane, 2012, p. 168), (Gregory, 2015, p. 462). En el videojuego *Doom*, el *texture map* fue usado ampliamente para mostrar sombreados y texturas en objetos y personajes que no requerían de iluminación digital. Eso permitió que el *hardware* muestre fluidamente las escenas del videojuego, sin interrupciones, al no necesitar *render* en tiempo real para sombras o luces.

Los *keyframes models* fueron otra técnica para crear imágenes 3D mediante el IdTech. Esta consistía en mostrar a los personajes en poses tridimensionales, pero únicamente desde polígonos 2D (Engel, LaMothe,

<sup>145</sup> *Software* para edición de imágenes, de libre descarga y de uso.

2003, p. 258), (Griliopoulos, 2011). El polígono plano permitía intercambiar secuencias para mostrar animaciones de personajes corriendo o siendo heridos por un disparo; todo eso posible gracias al uso de secuencias *sprites*.

Los *sprites* son texturas proyectadas sobre los polígonos planos (Hall, 1992, p. 60). Carmack, Romero y Taylor, los creadores de *Doom*, animaron los *sprites* para resaltar el volumen en personajes humanoides y monstruos. Esta técnica ya había sido usada en juegos *arcade* como *Basketball*, de Taito Corporation (1974) y por Atari, en 1977; en juegos como *Space Invaders* (Taito Co., 1978) y *Pac Man* (Namco, 1982). También en la consola *Intellivision*, fabricada por Mattel en 1982, una de las primeras en soportar *sprites* y efectos de colisión (Dillon, 2011, p. 35).

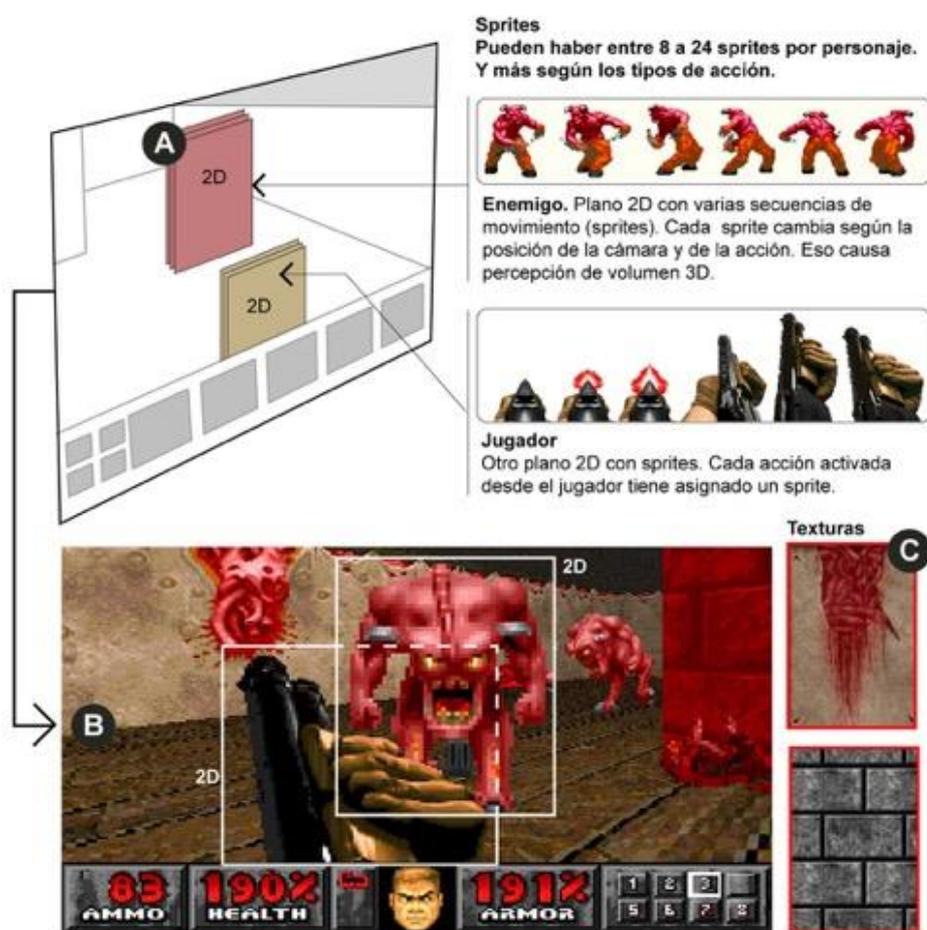


Figura 79. Uso de sprites y aplicación de volumen desde texturas. Arriba, esquema de los planos 2D para aplicar sprites. Abajo, secuencia del videojuego Doom. Fuente: Imágenes tomadas de internet. Elaboración propia.

Nuevamente, la experiencia técnica alcanzada por los desarrolladores de la comunidad *game mood* al crear *Doom* evolucionó en el motor IdTech 2. De allí surgieron *Quake* y *Quake II* entre 1997 y 1999. Estos videojuegos mantuvieron las ambientaciones saturadas de texturas, como en *Doom*, con una ágil interacción al usar las técnicas *texture map*, los *keyframes models* y los *sprites*.

En el año 2000 llegó un mejorado motor Id Tech (versión 3) que permitía a los videojuegos creados con ese motor ser reproducidos con una total compatibilidad entre equipos. Los videojuegos derivados del Id Tech 3 fueron *Call of Duty* (2003), *Star Wars Jedi Knight II* (2002), *Star Trek: Voyager Elite Force* y *American McGee's Alice*, ambos del año 2000 (Griliopoulos, 2011).



Figura 80. Dos productos creados por el motor IdTech 3. *Medal of Honor: Allied Assault* y *Star Wars Jedi Knight II*. Fuente: Griliopoulos, 2011

En 2004 el motor *idTech* derivó en su versión 4. Sumó el *bump mapping*, un nuevo algoritmo que permitía añadir en los objetos 3D texturas susceptibles de reflejos y sombreados; y el *normal mapping*, una combinación de colores rojo, verde y azul usados para crear nuevas texturas (Griliopoulos, 2011).

Pasada la fiebre de creación 3D para videojuegos en toda la década de 1990 y desde *software* compartido y gratuito; los nuevos motores de videojuego fueron afinados por emergentes empresas de *software*. Un nuevo motor fue *Rage* (*Rockstar Advanced Game Engine*) creado en 2006 por la empresa *Rockstar*. Entre sus aportes están el trabajo colaborativo en red para diseñar videojuegos; el *High Dynamic Range*, que daba matices de color en sombras y luces brillantes; las dinámicas 3D de líquidos acuosos y simulación de vestimentas en personajes.



Figura 81. Partículas, antialiasing y sombras dinámicas en videojuegos. Derecha, *Hexen II* (1997) de *Raven Software*. Izquierda, *Ultimate RacePro* (Kalisto E., 1998). Fuentes: Imágenes tomadas de YouTube, 3Dfx\_Aslinger (2018), 3dfx:history (2014). Elaboración propia.

Finalmente, otras empresas estuvieron alineadas a la evolución del *software* y *hardware* y lo aprovecharon para crear videojuegos de gran escala comercial a causa de su contenido narrativo. Por ejemplo, la empresa Eidos Interactive lanzó *Tomb Raider* para PC, PlayStation y Sega Saturn<sup>146</sup> entre 1996 y 1997, insertando las aventuras de personajes femeninos con una mejor calidad de *render*, a 41 cuadros por segundo (Sanglard, 2019). Esto creó movimientos ágiles y menos robotizados, pero aún lejos de las dinámicas realistas de los 60 cuadros por segundo actuales.



Figura 82. Gráficos de videojuegos 3D a inicios de 1990. Arriba, Mario 64, para Nintendo 64 y Tomb Raider, para PC y PlayStation 1 (Sony). Abajo, videojuegos Quake y Duke Nukem para PC, 1996. Fuente: Sitios web con contenidos de videojuegos varios.

En resumen, la colaboración entre programadores y artistas nuevamente lideró la innovación, esta vez en videojuegos, considerados hasta mediados de 1990 como un pasatiempo sin relevancia técnica. Las nuevas propiedades en imágenes, como representar texturas y sombras sin necesidad de un alto costo en *hardware*, además de las nuevas cotas de resolución de imagen (las escenas pasaron de los 8 bits a la explosión visual de los 16 bit, con 65.500 matices de color) creó mayor impacto en usuarios y más réditos comerciales en los fabricantes, llevando el entretenimiento interactivo desde las consolas a las computadoras del hogar.

---

<sup>146</sup> Una estrategia comercial de exclusividad de Sony no permitió que ese video esté disponible para otras consolas 3D, como Nintendo 64.

### 2.3.3 Render en game engines y primeras consolas de videojuegos: 2000-2013

Iniciando el nuevo siglo XXI la oferta de consolas a nivel mundial siguió viva. Entre 2001 y 2013 aparecen el GameCube, Xbox y Xbox 360 (Microsoft), PlayStation 3 y Wii. Equipadas internamente con los algoritmos Shader Model 3 que potenciaban la presentación sombreados para cada escena (Akenine-Möller, et al., 2018, p. 35, 38).

La innovación del GameCube (Nintendo, 2001) fue su procesador gráfico ATI Flipper, con *render* simultáneo de ocho texturas, un z-buffer mejorado (memoria extra para procesar imágenes), simulación digital de neblina, *antialiasing* (suavizado de los píxeles) y renderizado de 6 a 12 millones de polígonos, con 24 Mb en RAM (Sfetcu, 2014), (McShaffry, Graham, 2013, p. 10). Productos para esta consola fueron *Mario Kart* (2003), *Beyond Good & Evil* (2003), *Soul Calibur 2* (2002), *Metroid Prime* (2002), entre otros.



Figura 83. Videojuegos para GameCube entre 2002 y 2003. Arriba, izquierda, Mario Kart Double Dash (2003), derecha, Soul Calibur 2 (2002), abajo, izquierda, Burnout 2 (2002), derecha, Metroid (2002). Fuentes: Sfetcu, 2014. Nintendo Life, 2018

En cambio, la primera consola Xbox (Microsoft, 2001) contenía tres chips modelo Xenos, con mejores cálculos para iluminación de objetos 3D en tiempo real (Sherrod, 2008, p. 107). Esta consola irrumpió al producir por sí misma una resolución máxima de 1920 x 1080 píxeles para la calidad de imagen de los videojuegos. Facilitó una entrada para conexión a internet, un chip interno de 64Mb de RAM y un disco duro de 8Gb (diez veces la capacidad de un CD ROM) (McShaffry, Graham, 2013).

Por otro lado, la consola Nintendo Wii (2006) fue la primera en proponer interacción corporal. Eso promovió juegos de actividad física usando sensores desde la consola que detectaban el movimiento del

mando de control al agitarlo (como una raqueta de tenis) o usándolo para simular lanzar flechas. El motor de *render* usado para esta consola fue CryENGINE 3, (Gregory, 2015, p. 29, 30). Su mejor característica fue un efecto de irradiación lumínica (*emissive texture map*) (Gregory, 2015, p. 477), similar a observar un objeto traslúcido que emite luz dentro de sí.



Figura 84. Videojuegos para GameCube entre 2002 y 2003. Arriba. *Emissive texture map* en tiempo real en *Luigi's Mansion*, de Nintendo Wii. Los *cáusticos* funcionan al simular material traslúcido e iluminado dentro del cuerpo de los fantasmas. Abajo, *Wii Sports*. Nintendo apostó a la interacción y control por sobre complejos gráficos de personajes. Fuentes: Gregory, 2015, p. 478

Nintendo Wii no contaba con el fotorrealismo de otras consolas (Cameron, 2011, p. 411). Pero eso amplió el rango de edad y género de sus consumidores al mostrar personajes caricaturescos, casi redondeados, sin texturas ni siluetas complejas. Para Jon Cogburn<sup>147</sup> y Mark Silcox<sup>148</sup>, autores del libro *Philosophy Through Video Games* (2009) la percepción de realismo en Nintendo Wii deriva de la interacción kinestésica, más vívida y personalizada (Cogburn, Silcox, 2009, pp. 19, 20). Por ejemplo, en el juego *Wii Sports* el jugador debe realizar

---

<sup>147</sup> Profesor estadounidense de filosofía en la Universidad de Louisiana, EE. UU, con un doctorado en la Universidad Estatal de Ohio en 1999. Entre sus campos de estudio están la teoría computacional de la mente, sociología y ciencia. Coautor del libro "Philosophy Through Video Games" junto a Mark Silcox.

<sup>148</sup> Profesor de filosofía en la Universidad Central de Oklahoma. Autor de libros con temáticas de estética y filosofía. Entre sus obras están: "A Defense of Simulated Experience" (2019), "Experience Machines: The Philosophy of Virtual Worlds" (2017) entre otras. Coautor del libro "Philosophy Through Video Games" junto a Jon Cogburn.

los movimientos de un tenista real. Otro desarrollo que sí mantiene gráficos realistas para Nintendo Wii son *Xenoblade Chronicles* (Monolith Soft, 2009), donde un caballero medieval debe eliminar a los monstruos.

Otro tipo de representación en videojuegos es la creación de imágenes no realistas (*non-photorealistic rendering*) (Röber, Masuch, 2005, p. 2). Su propósito es resumir las formas visuales con simulación de plasticidad, agilidad y exageración de movimiento en personajes estilo caricatura. Ese es un criterio basado en las ideas de los legendarios dibujantes de Disney, Ollie Johnston (1912-2008)<sup>149</sup> y Frank Thomas (1912-2004)<sup>150</sup>, como en la exageración y el estiramiento en personajes<sup>151</sup> (*Disney animation: the illusion of life*, 1981).

Siguiendo con la innovación de *hardware* en consolas, 24 años después de su primer modelo Sony comercializó la PlayStation 4 (2013), cuyo procesamiento en RAM saltó de 5Mb a 8192Mb (8Gb), es decir, creció 1600 veces (Kelly, 2016).

La PlayStation 4 trajo nuevos estándares debido a que fue creada para ser compatible con videojuegos creados en su propio motor de videojuegos, el PhyreEngine<sup>152</sup> (presentado por Sony en 2008) (Gregory, 2015, p. 29). Su característica clave fue el *render diferido* (*deferred rendering*). Este usaba una porción de memoria para calcular y almacenar todo el proceso de *render* de superficies (Gregory, 2015, p. 531), pero saturaba sombras y luces (Valient, 2011).

El PlayStation 4 también aplicó dos nuevas formas de *render*: el *precomputed radiance transfer* (PRT en inglés) y el *deferred rendering*. El PRT simula el rebote de luces y sombras digitales. Ese es un efecto logrado con la técnica de *radiosity*<sup>153</sup>, basado en algoritmos creados en la Universidad de Cornell, EE.UU., para estudiar la transferencia de calor entre materiales. Los algoritmos *radiosity* calculan la incidencia de la luz de entre varias fuentes, otorgando sombras más suaves y luces difusas aun cuando pueda existir una sola fuente de luz general (Gregory, 2015, p. 530).

---

<sup>149</sup> Dibujante y animador estadounidense, ex director de animación en Disney Studios entre 1940 y 1980. Falleció en 2008.

<sup>150</sup> Dibujante estadounidense y animador de películas de Disney entre los años 1937 y 1977. Falleció en 2004.

<sup>151</sup> *Disney animation: the illusion of life*, es un libro publicado en 1981 y que detalla 12 principios para estilo y animación en dibujos: estirar y apretar, anticipar, poner en escena, acción recta y pose a pose, seguimiento y acción superpuesta, entrada lenta o rápida, arcos, acción secundaria, tiempo, exageración, dibujo sólido, apelación de carácter. Esos conceptos siguen siendo usados hoy en día para cualquier tipo de animación.

<sup>152</sup> A 2024 ese *game engine* es de código abierto, con varias versiones disponibles en la web, pero no oficiales

<sup>153</sup> Proceso de *render* que usa una interpretación de reflejos y sombras suaves y graduales, hoy en día usados especialmente en arquitectura. Los algoritmos usados en la técnica *radiosity* son en gran parte derivados de la técnica de *render* de Phong. (Martin, 1999).

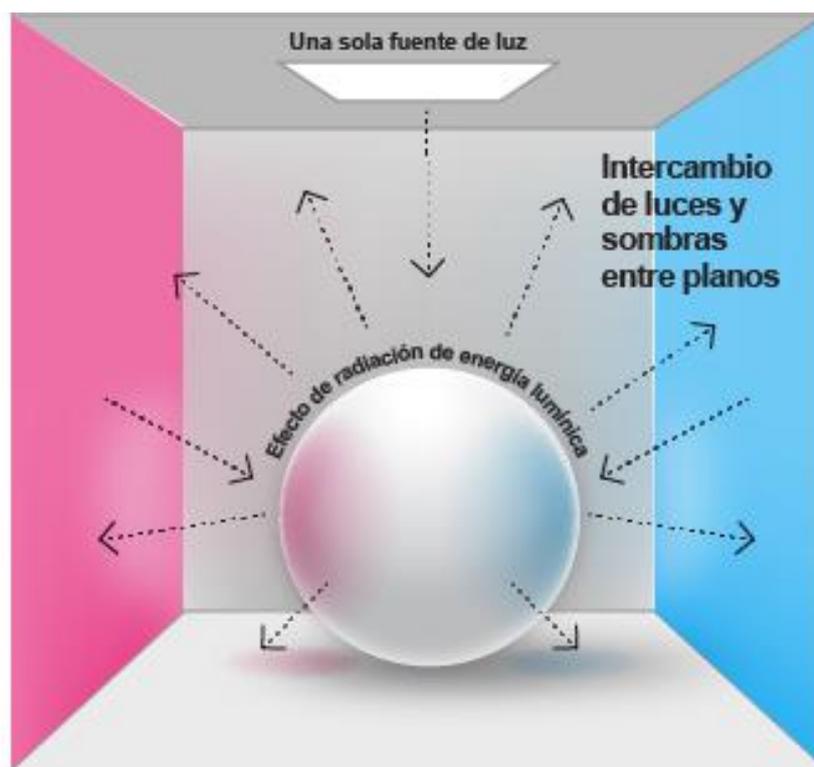


Figura 85. Ejemplo de interacción de luces y sombras con la técnica radiosity. Fuentes: Gregory, 2015, p. 530 y elaboración propia.

En cuanto a videojuegos con alto realismo gráfico, en 2003 la empresa Activision distribuyó *Call Of Duty*<sup>154</sup>, elaborado con el motor IW (Infinity Ward) creado en el 2005 por la empresa Id Software. Otras ediciones son *Modern Warfare 3*<sup>155</sup> (2011) y *Black Ops II*<sup>156</sup> (2012) (Noor, 2013, p. 1676). El motor IW cuenta con propias librerías de código<sup>157</sup> para efectos de penetración de proyectiles y animación de partículas (como el efecto del fuego de un lanzallamas). El factor comercial a favor de este motor es la compatibilidad con los sistemas Xbox One, PS4, Windows PC, PS3, Xbox 360 y Wii U (Noor, 2013, p. 1687).

<sup>154</sup> Videojuego de acción en primera persona basado en el género bélico-histórico. Actualmente es una franquicia con más de 20 títulos de videojuegos con el mismo género.

<sup>155</sup> Videojuego de acción en primera persona basado en el género de combate militar futurista 3D. Fue lanzado en 2011 y desarrollado en conjunto por las empresas Activision e Infinity Ward.

<sup>156</sup> Videojuego de acción en primera persona basado en el género bélico 3D futurista, desarrollado por la empresa Treyarch, y lanzado en 2012.

<sup>157</sup> Una librería es una extensa porción de código de programación generado por programadores o comunidades de estos en lenguajes específicos como Java, C# o JavaScript. Permite de forma rápida resolver una necesidad al aplicar ligeros cambios a los nombres o variables de datos, evitando la necesidad de usar el todo código base.

Otro videojuego del género bélico y gráficos realistas es *Crysis*<sup>158</sup>, (Crytek, Electronic Arts, 2007), un *first-person shooter* de militares futuristas creado con el motor *CryEngine*<sup>159</sup>, uno de los más completos en esos años (Noor, 2013, p. 1676). *Crysis* aprovecha el *Voxel-Based Global Illumination*, con algoritmos de iluminación oclusiva (luz similar a un día nublado y con sombras difusas) y efectos de luz indirecta (*scale ambient occlusion*) en grandes extensiones 3D, como la representación 3D de selva o montañas.

Otras tres técnicas de *render* del *CryEngine* son: el *Real-time indirect light bounce* (rebote de luz indirecta); el *Real-Time Dynamic Water Caustics*, con representaciones de agua en reposo o en movimiento; y el *Volumetric Fog Shadows*, que permite crear atmósferas y nubosidades (CryEngine, 2019).

---

<sup>158</sup> Videojuego 3D con gráficos realistas, multijugador, de género bélico futurista con ambientación selvática.

<sup>159</sup> Este motor está disponible para descarga y uso sólo para PC (a marzo del 2019) desde el sitio [https://www.cryengine.com/community\\_archive/viewtopic.php?f=326&t=83005](https://www.cryengine.com/community_archive/viewtopic.php?f=326&t=83005)

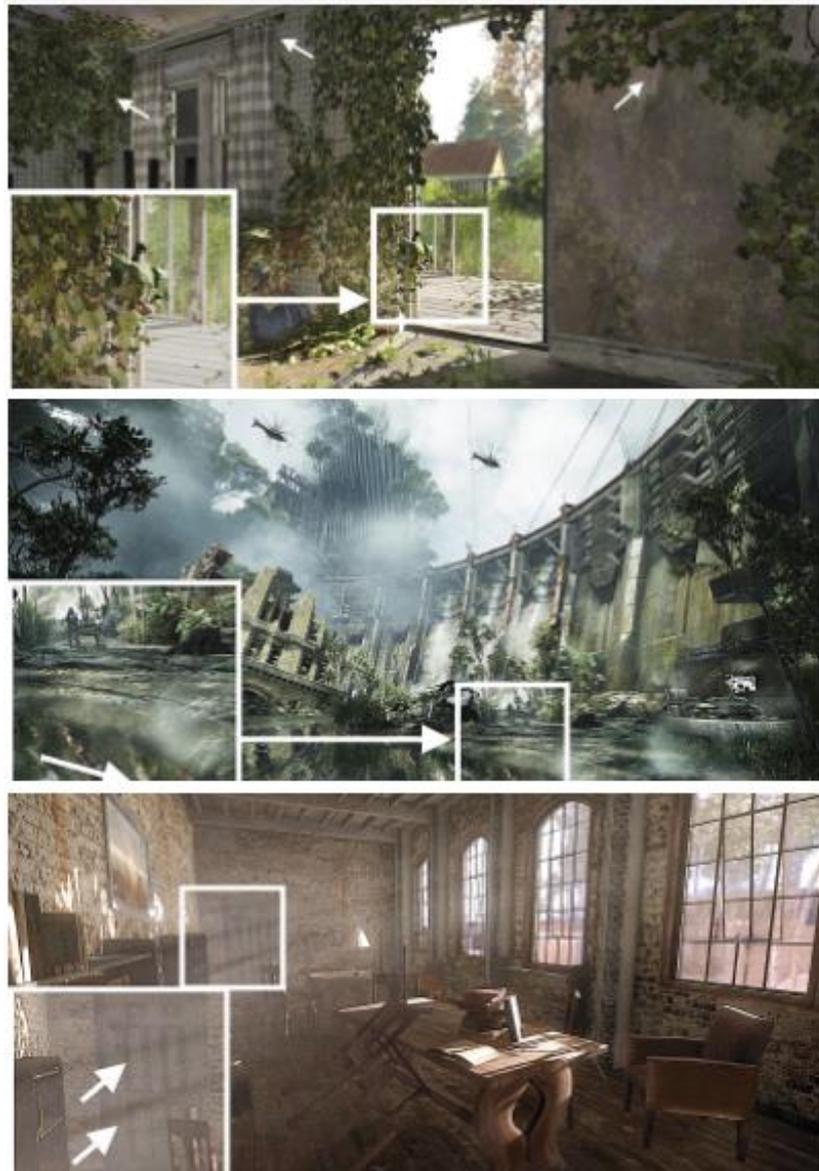


Figura 86. Render en motor CryEngine, 2019. Arriba, oclusión de ambiente y detalles presentes durante escasa iluminación (flechas). Centro, reflejos cáusticos en superficies acuosas y reflejos (flecha). Abajo, reproducción iluminación de ambientes con neblina (flechas). Fuentes: CryEngine, 2019

El motor RAGE, que inició como una derivación del motor IdTech, presenta preconfiguraciones de *render*, que son un gran conjunto de algoritmos reusables para simulación de fricciones, caídas, colisiones de objetos y movimientos preelaborados a ser aplicados en acciones como trotar, correr o escalar.

Otra franquicia que aprovecha el *third person games* es *Assassin's Creed*<sup>160</sup> (Gryptonite Studios, Gameloft, Ubisoft, 2007), lanzado inicialmente para PlayStation 3, Xbox 360. Este producto aprovechó una evolución

<sup>160</sup> Videojuego de aventuras con ambientes históricos y de alta calidad en gráficos.

de *game engines* bajo el nombre Scimitar<sup>161</sup>, cuya mejora derivó en el motor AnvilNext Game Engine, en 2012. Su mayor característica son los cálculos basados en inteligencia artificial en PC, PlayStation 3, Xbox, Wii U y en consolas portátiles como PSVita (Noor, 2013, p. 1677, 1678, 1681).

Como todo motor de *render*, el motor AnvilNext se complementa con *software* de terceras empresas, como el HumanIK de la empresa Autodesk, con algoritmos ya programados para acciones de escalar en personajes humanos. AnvilNext también incorpora render para resolución en paisajes (*detailed open-world environment*) y render para variaciones de ambiente climático (como el representar un día soleado o en invierno) (Noor, 2013, p. 1682).



Figura 87. Resultado de render en videojuego AnvilNext. Diferentes ambientaciones para el videojuego Assassin's Creed. Fuente: Noor, 2013, p. 1682

Otros videojuegos exigen un tipo especial de *render* para ambientaciones montañosas o visualización de carreteras (Noor, 2013, p. 1678). Este género fue popularizado con *Need for Speed*<sup>162</sup> (Electronic Arts, 1994) y con *Battlefield Bad Company*<sup>163</sup> (Electronic Arts, 2008) ambos títulos creados con el motor de videojuegos DICE Frostbite. Este motor ya mostraba una capacidad para crear con realismo texturas pulidas metálicas, las físicas de un vehículo en movimiento o el efecto de la destrucción de edificios (Noor, 2013, p. 1686).

---

<sup>161</sup> Motor de videojuegos desarrollado por la empresa Ubisoft. Scimitar fue la base técnica para crear los videojuegos *Assassin's Creed* y *Prince of Persia*. Luego del lanzamiento de esos productos, Ubisoft inició el mejoramiento de ese motor, y en 2012 lo nombró AnvilNext.

<sup>162</sup> Videojuego con temática de carreras de autor, elección interactiva de competencias y del desempeño en la velocidad y otras características de los vehículos.

<sup>163</sup> Videojuego con temática bélica histórica, competencia directa de CallOfDuty.



Figura 88. Efecto de render de destrucción en DICE FrostBite. Fuente: Canal de Electronic Arts en YouTube. *Battlefield: Bad Company - Frostbite Engine Trailer*. (2008) <https://www.youtube.com/watch?v=iej04xp2IUc>

En resumen, a inicios de la década del 2000 el 3D para entretenimiento se apoyó en los procesadores gráficos y las tarjetas de video. Ambos en el papel de mediadores entre lo que el videojuego muestra y procesa. Las consolas de esa década (GameCube, Xbox y Xbox 360, PlayStation 3 y Wii) pasaron de ejecutar miles de polígonos a 12 millones de polígonos por segundo. El *render* (la presentación final de modelado, color y volumen de una imagen digital) sigue siendo un proceso complejo cuyo desafío es mantener la calidad en el acabado final.

#### 2.3.4 Alcances de los *game engines* actuales

Los *game engines* de mayor uso posterior al año 2010 para videojuegos siguen siendo *CryEngine 3* (gratuito solo para PC), *Xenko*, *Ogre*, *Unity* y *Unreal Engine 4*.

Casi todos se apoyan en librerías de código<sup>164</sup> para potenciar sus capacidades. Por ejemplo, *CryEngine* aprovecha una librería llamada *Physically Based Rendering*<sup>165</sup> (PBR). Esta librería genera render fotorealista

---

<sup>164</sup> Extensas porciones de código de programación que permiten de forma rápida resolver una operación al aplicar ligeros cambios en los datos, evitando la necesidad de usar todo un lenguaje de programación desde cero. Las librerías de código pueden ser creadas y alteradas libremente a lo largo de los años por comunidades de programadores; o desarrolladas por empresas fabricantes de software que muchas veces facilitan el libre uso de esas librerías, pero no su modificación.

<sup>165</sup> *Software* de *render* fotorealista cuyos algoritmos simulan la interacción de la luz sobre diferentes tipos de simulaciones de materiales rígidos, acuosos o transparentes, basados en el comportamiento de la reflectividad de la luz en texturas irregulares. Tomado de un resumen del libro *Physically Based Rendering: From Theory To Implementation* (2023), de Matt Pharr, Wenzel Jakob, and Greg Humphreys, 4ta edición, publicado por MIT Press.

mediante la simulación de propiedades lumínicas digitales como la propagación (recorrido de la luz), el reflejo (el rebote de la luz entre superficies) y la dispersión (difusión de la luz según el medio que atraviesan).

Otro motor, Xenko usa librerías para dividir el *render* mediante imágenes 3D con múltiples vistas de escenas (Xenko, 2018) útil para apreciar los resultados paso a paso en toda la amplitud de la composición 3D.

Otra librería es V-Ray. Esta automatiza multitareas (*Multithreaded CPU Rendering*) para crear un *render* de trazado o *ray tracing*. El *ray trace*<sup>166</sup> es un rayo virtual dentro del sistema generador de objetos 3D que evalúa cada píxel, su comportamiento de luz y sombra según el impacto de ese rayo en superficies de objetos digitales (Avgerakis, 2004, p. 276). Al generar el *render* el resultado es una iluminación virtual con gradaciones y puntos de luz más realistas.

Como alternativa de un *game engine* de libre uso (*open source*) está OGRE (*Object-Oriented Graphics Rendering Engine*). Su calidad de *render* es básica y limitada, pero al ser de creación libre es totalmente gratuito (Gregory, 2015, p. 32, 293).



Figura 89. Ejemplos de resultados de *render* en tiempo real para videojuegos Derecha, CryEngine. Centro, Vray. Izquierda, OGRE. Imágenes tomadas de los sitios web de las empresas desarrolladoras. Fuentes: Avgerakis, 2004, p. 276. Gregory, 2015, p. 32, 293.

Otro motor popular entre creadores de videojuegos es *Unity*. Ampliamente usado para 3D y 2D debido a su extensa documentación en varios idiomas. Su *render* usa el preprocesado en tiempo real (*precomputed realtime render*) (Unity, 2019); una técnica que alista los polígonos milisegundos antes de ser mostrados en pantalla. También aprovecha el *Baked GI Lighting* y el *Precomputed Realtime GI Lighting* (Unity, 2019), ambos explicados a continuación.

---

<sup>166</sup> También llamada la técnica de *render* del trazado de rayos. Sus algoritmos fueron creados en conjunto por Charles A. SURI y J. Turner Whitted en 1970. Ese método simula el comportamiento de rayos de luces digitales, según la fuente de iluminación, su impacto, su rebote en sólidos y su sombreado.

Los algoritmos del *Baked*<sup>167</sup> *GI Lighting* trabajan directamente con toda fuente de luz en la escena, como una lámpara o la luz del sol en un ambiente digital. Gracias a eso las luces aparecen combinadas con la superficie de todos los objetos 3D en dos formas: de manera directa (la luz apunta a la textura y puede combinarse con ella); o indirecta (la textura recibe la luz que rebota desde otro punto). Sin embargo, la interpretación de la luz mediante el *Baked GI Lighting* siempre será estática. Eso significa que las luces y sombras no reaccionarán a los cambios de posición de la cámara o del objeto. Por ejemplo, la sombra de un cubo tendrá la misma ubicación (no se moverá) incluso si el cubo es desplazado. El *Baked GI Lighting* es útil cuando se desea evitar un mayor procesamiento de RAM<sup>168</sup>, especialmente en videojuegos reproducidos en celulares.

En el *Precomputed Realtime GI Lighting*, en cambio, la iluminación directa e indirecta (calculada antes de ser mostrada) es influida por el plano de cámara (la luz cambiará ligeramente si el encuadre está cerca o lejos a la fuente de luz). Allí los algoritmos deciden qué tipo de iluminación será mostrada y cuál puede mostrarse con menor resolución.

Las más recientes versiones de Unity cuentan con un *middleware* (una librería de código más ampliada) denominado *Enlighten*. Este contiene cálculos de iluminación ambiental, luz indirecta (la luz que llega a un objeto luego de rebotar en otros) y también algoritmos de optimización y conservación de energía. Esta tecnología evita que fuentes de iluminación 3D emitan más luz de la necesaria (Unity Documentation, 2019).

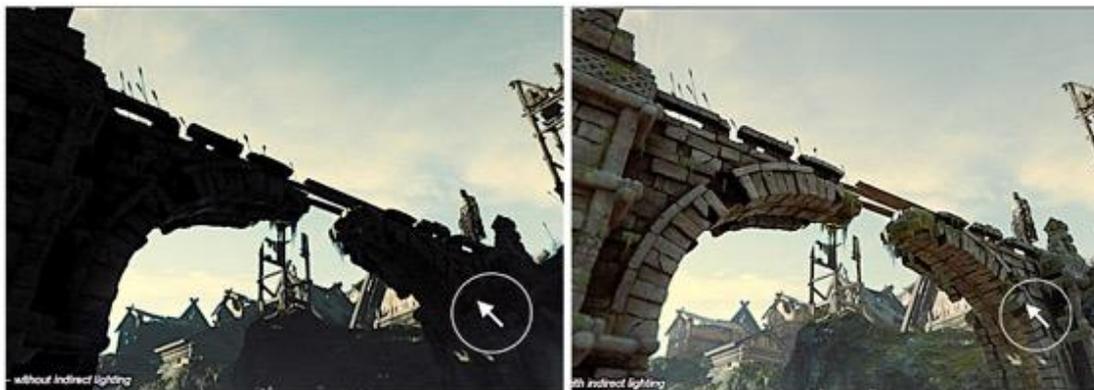


Figura 90. Aplicación de luz en texturas con Unity Izquierda, *Enlighten* activado. Derecha, desactivado. Fuente: Mortensen, 2014.

Finalmente, el motor *Unreal*, usado por primera vez en 1998 como *software* de producción y *render* para videojuegos de persecución y laberintos, comparte características con otros motores como *CryEngine* y *Unity*,

---

<sup>167</sup> Baked o baking, en español, cocinado al horno. En imágenes 3D refiere a fusionar la imagen de una textura junto con otra que contiene datos de coordenadas de luz y sombra digital.

<sup>168</sup> Random Access Memory. Microprocesadores cuya función es guardar los datos que se están calculando en tiempo real. Luego de apagado el computador, los datos se borran siempre que no hayan sido guardados en el disco duro o en otro dispositivo de almacenamiento.

pero cuenta con algoritmos más eficaces para recrear luz y texturas digitales. *Unreal* será usado para crear dos proyectos 3D, detallados en el capítulo IV.

Versiónes recientes de *Unreal* muestran tres tipos de algoritmos aplicados para animación de personajes y *render* de texturas. El primero, llamado *ragdoll physics*, son secuencias previamente animadas e instaladas que permiten seleccionar gestos corporales y añadirlos a los personajes durante eventos específicos, como explosiones o golpes. El segundo, el *Lightmass*, es un *render* nítido para penumbras y sombras difusas. Y un tercero permite crear efectos de daño en objetos estáticos o simulación de multitudes humanas, entre otros (Unreal Engine, 2019).

El *render* de *Unreal* también utiliza tres recursos para simulación de luz y sombra: el primero es el sombreado diferido (*deferred shading*) donde cada sombreado es mostrado poco a poco para evitar una recarga de procesos; el segundo es el sombreado de superficie interna (*Sub-Surface Shading*) usado para representar texturas similares al mármol transparente; y el tercero es la translucidez encendida (*lit translucency*) usado para texturas similares a una esfera de vidrio o a una gran burbuja (Unreal Engine, 2019).

Los algoritmos del *deferred shading* deciden la calidad de las luces y las texturas según la cercanía de los objetos y el encuadre de la pantalla. El Lit Translucency crea transparencias desde volúmenes como humo o nubes. El Sub-Surface Shading crea sombreados internos en semisólidos, simulando materiales como la cera o gelatina. *Unreal* también permite posproducción con *ambient occlusion* (simula iluminación de día nublado con sombras difusas realistas) y el *tone mapping*, que modifica la influencia de la luz para agregar temperaturas de color, por ejemplo, al añadir un ambiente sepia o de una caída de sol (Figura 71) (Unreal Engine, 2019).

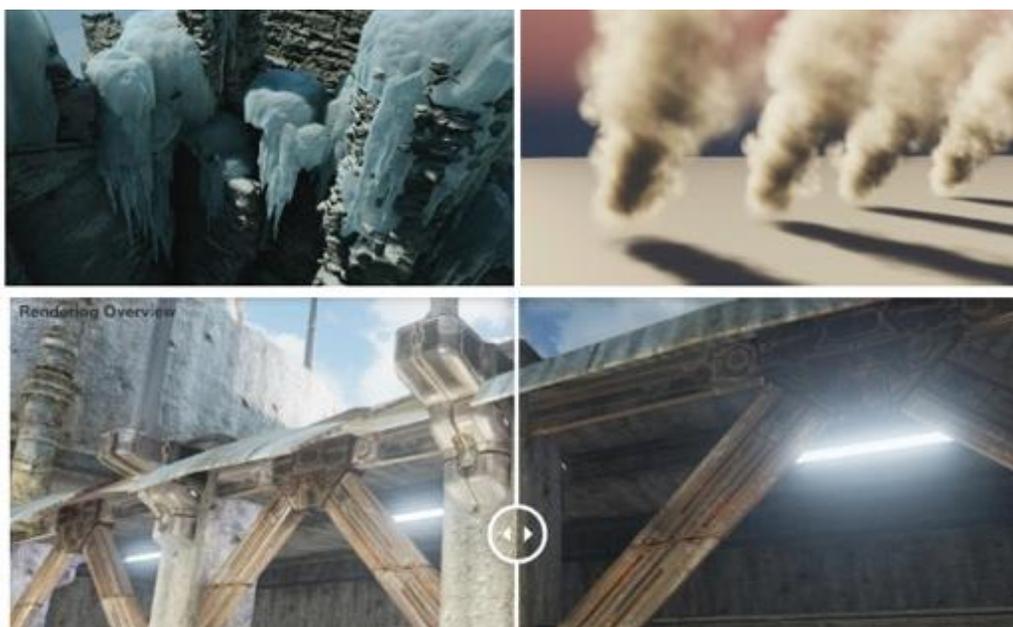


Figura 91. Motor Unreal Engine: ejemplos de renderizado Arriba, derecha, *Subsurface Shading*. Arriba, izquierda, *Lit Translucency*. Abajo, *Tone mapping* (izquierda, desactivado. Derecha, activado). Fuente: Unreal Engine, 2019.

Por otro lado, los ingenieros de *Unreal* crearon nuevas propiedades de *render* conocidas como Nanite y Lumen GI. Nanite es un *render* para polígonos desde cualquier escala, asignados automáticamente a un objeto 3D. Su eficacia radica en dos criterios: Nanite solo carga la información requerida según el encuadre de la escena y la malla de polígonos es mostrada comprimida sin afectar el rendimiento. A más acercamiento la calidad no será afectada. Una de sus limitantes es que no es activable en texturas con transparencias (Unreal Engine 5.0, 2022).

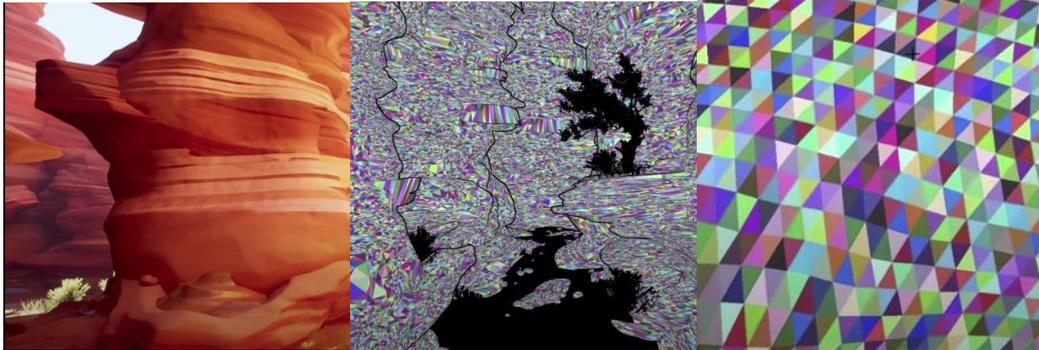


Figura 92. Técnica de malla poligonal Nanite, de Unreal 5. Izquierda, imagen renderizada. Centro, la estructura poligonal de Nanite sin textura aplicada. Derecha, resultado del render desde el máximo acercamiento. Fuente: Tomado de Nanite in UE5: The End of Polycounts?. Canal de YouTube de Unreal Engine. Tomado de <https://www.youtube.com/watch?v=xUUSsXswyZM> [Accedido en mayo del 2022]

La técnica *Lumen Global Illumination and Reflections* en *Unreal* permite ajustar la luz indirecta o difusa sobre los objetos. Por ejemplo, Lumen muestra mayor detalle cuando el color de un objeto afecta indirectamente a otro. Por ejemplo, al cambiar "el ángulo del sol, encender una linterna, abrir una puerta exterior o incluso volar una pared provocará un cambio en la iluminación indirecta y los reflejos." (Unreal Engine 5(b), 2022).



Figura 93. *Lumen Global Illumination* y *Reflections* en 3D. Par vertical izquierdo: *Lumen* desactivado. Par vertical derecho: *Lumen* activado. Fuente: *Unreal Engine 5.0 Release Notes (Unreal Engine 5(b), 2022)*

En videojuegos las empresas productoras tienen mucho cuidado al decidir qué nueva tecnología de *render* usarán para sus proyectos. Puesto que cada nuevo avance puede también sobrecargar la consola que reproducirá el videojuego (responsable de procesar y mostrar las imágenes). Cada producto debe pasar por una evaluación y determinar si aparecen demoras en la interacción o en la carga de las escenas. Todo eso previo a su comercialización final.

En videojuegos modernos, más de 100 milisegundos en la demora de ejecución (como lanzar un objeto, saltar, esquivar, etcétera) es incómodamente perceptible por el usuario; puesto que en la vida real una acción y su reacción tiene un lapso variable, como el lanzar una pelota y su posterior rebote. El desafío es reproducir las mismas leyes físicas del mundo real hacia una pantalla, de forma convincente para que puedan ser interactivos y atractivos de usar.

### 2.3.5 Simulación de texturas en videojuegos mediante materiales digitales

Las técnicas aplicadas para reducir el tiempo de *render* en videojuegos recaen también en la implementación de materiales (imágenes digitales de cualquier tipo de textura conocida), como el *bump map* y el *normal map*. Los materiales son imágenes de texturas reconocibles del mundo real aplicadas en objetos 3D para simular, por ejemplo, la textura de una roca, de un barril de madera.

El *bump map* es una técnica para texturizar 3D, creada en 1978 por el físico e ingeniero estadounidense James Blinn. Allí un algoritmo añade texturas mediante cambios de posición en los tres colores RGB de una imagen digital. Alterar esos datos permite simular sombras, bultos o arrugas.

El *bump map* es una manera económica de *render* para objetos con texturas no complejas, como el simular una pared de ladrillos o rocas (Beane, 2012, p. 165). Incluso, no es necesario un complejo *software* para crear *bump map*. El lector puede generarlo desde cualquier herramienta en línea que genere el efecto *bump maps* a partir de una imagen dada. En la figura 85 se muestra un ejemplo con la imagen de la palabra *bump*, alterada mediante el generador y agregada en un objeto 3D.

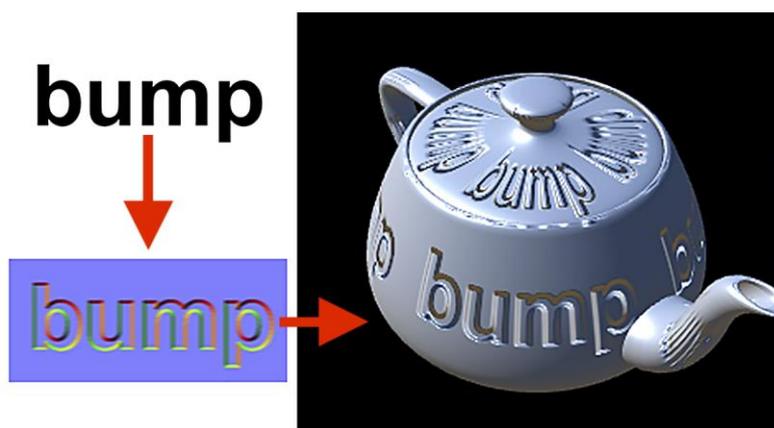


Figura 94. Ejemplo de *bump map*. Fuente: Elaboración propia desde el sitio web <https://cpetry.github.io>

Por otro lado, el *normal map* usa algo similar al *bump map*, pero desde una paleta de colores RGB, en donde cada matiz tendrá un único comportamiento: o solo de luz, o solo de sombra, según su ubicación en ejes de altura, anchura y profundidad, con gran ahorro de proceso (Sherrod, 2008, p. 375), (Beane, 2012, p. 144). Videojuegos como *Halo 3* (2007), *Gears of War* (2006), *Call of Duty 4* (2007) y *Metal Gear Solid 4* (2008) han aprovechado ambas técnicas.

En las siguientes imágenes (Fig. 95) se muestran ejemplos de esa técnica. En el par de esferas superiores, la segunda contiene una textura *bump-map*. A su lado izquierdo, una escena de *Call of Duty 4 Modern Warfare* (2007) con una pared de ladrillos con granulado *bump-map*. En las tres imágenes centrales, el modelado 3D de un dragón y la aplicación de la textura *normal-map*. Y en el par de imágenes inferiores, cada color violeta saturado representa la influencia del *normal-map* en la superficie del modelado.

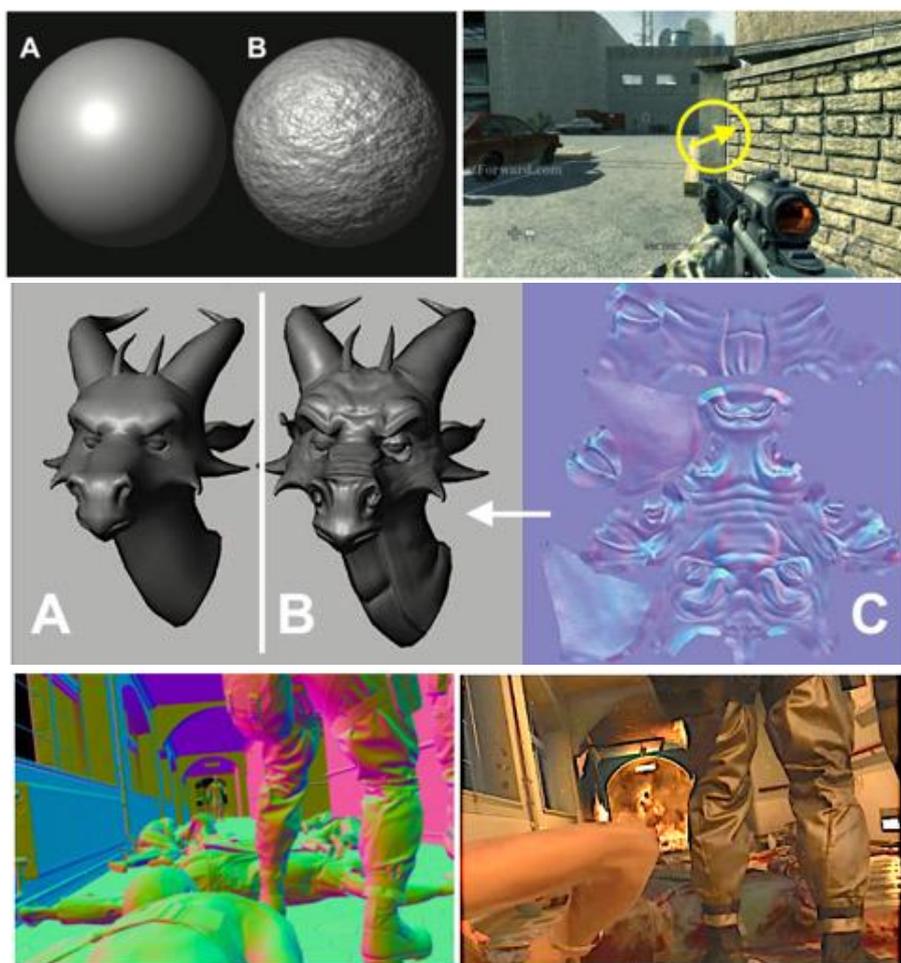


Figura 95. Texturizado para videojuegos mediante bump map, normal map. Fuente: Beane, 2012, p. 165; Beane, 2012, p. 173.

Todas las técnicas de *render* ya mencionadas tienen un objetivo: mostrar el esfuerzo de los modeladores 3D de forma nítida, sin errores en texturas o desfases de colores. Sin embargo, es el *render* final el proceso responsable de fusionar o unificar el trabajo artístico 3D con cada una de las tecnologías usadas para texturas, polígonos, luz y sombra digital. Mucho más en videojuegos, los cuales requieren micro *renders* constantes (en resumen, mínimo 60 veces cada imagen y por segundo).

¿Cómo es el proceso de *render* en una escena de videojuego? Un análisis creado en el 2015 por el ingeniero en *software* Adrian Courrégés<sup>169</sup> explica desde la secuencia de *Deus Ex: Mankind*<sup>170</sup> (Eidos Montreal, 2016) la complejidad técnica durante un *render*. Courrégés empleó el *software* de libre uso *RenderDoc*, descargable solo para sistemas Windows para el análisis de la escena, (Courrégés, 2015) y el motor de videojuegos Unreal 5 para la ejecución de la escena 3D a analizar.

<sup>169</sup> Francés, ingeniero en *software*. En su blog <http://www.adriancourreges.com/> escribe acerca de desarrollo de videojuegos, *render*, internet y seguridad en sistemas.

<sup>170</sup> Videojuego con escenas 3D de acción y combate militar futurista.

Una vez instalado en la computadora, el *software RenderDoc* debe ser llamado desde el motor Unreal, junto con la escena 3D a analizar<sup>171</sup>. Se explicará el análisis de una escena del videojuego *Deus Ex: Mankind* en los siguientes párrafos.

En el numeral 1 (ver figura 96, abajo), se renderiza el *normal map*, es decir, se define el comportamiento de cada color en la escena. Le sigue el *depth map* (también llamado *z-depth* o *depth pass*), una técnica que aloja valores de cada píxel según su ubicación y distancia con respecto al encuadre de la cámara (Birn, 2000, p. 268). En el numeral 3 se determina qué está iluminado, qué en sombra y qué con iluminación indirecta. El numeral 4 es un mapa de iluminación oclusa (luz no directa que crea sombras difusas, como las sombras en un día nublado). En el numeral 5 cada píxel es afectado según su ubicación (técnica llamada *Light Pre-Pass*). Aquí aún no es calculado el tipo de comportamiento de luz según el material (la escena tiene 45 fuentes de luz digital).

Numerales 6, 7: Se redibuja cada polígono con su color final dependiendo de la malla de textura, sombras, profundidad (ya calculadas en numeral 1, 2 y 3). También se renderiza objetos transparentes y volúmenes (halos de luz en ventanas y en techo), se corrigen tonos y se añade el interfaz para uso del jugador (cantidad de vidas y otras mediciones útiles).

Finalmente, en el numeral 8, la escena está totalmente renderizada. Todo este proceso debió durar menos de la treintava parte de un segundo (33,0 milisegundos, un estándar de la industria para *render* en tiempo real) (Gregory, 2015, p. 10, 348).

Los ocho pasos ya mencionados resumen todo el esfuerzo de *hardware* y *software* ejecutado por una consola para mostrar hasta 60 imágenes por segundo de cada escena de un videojuego. La capacidad de la consola para procesar *render* (ya sea mediante *normal map*, *depth map*, representación de luz oclusa, indirecta y transparencias, entre muchas otras técnicas) dependerá de la tecnología que contenga su hardware y de los algoritmos con los que fue creada la escena 3D. De allí radica la importancia para que los creadores de 3D estén actualizados en cuanto a qué tecnologías son las más aprovechables en producción 3D.

---

<sup>171</sup> Un secuencia más detallada acerca de cómo usar ambos *softwares* para analizar escenas 3D desde el *render*, puede ser accedida desde <https://docs.unrealengine.com/5.0/en-US/using-renderdoc-with-unreal-engine/>

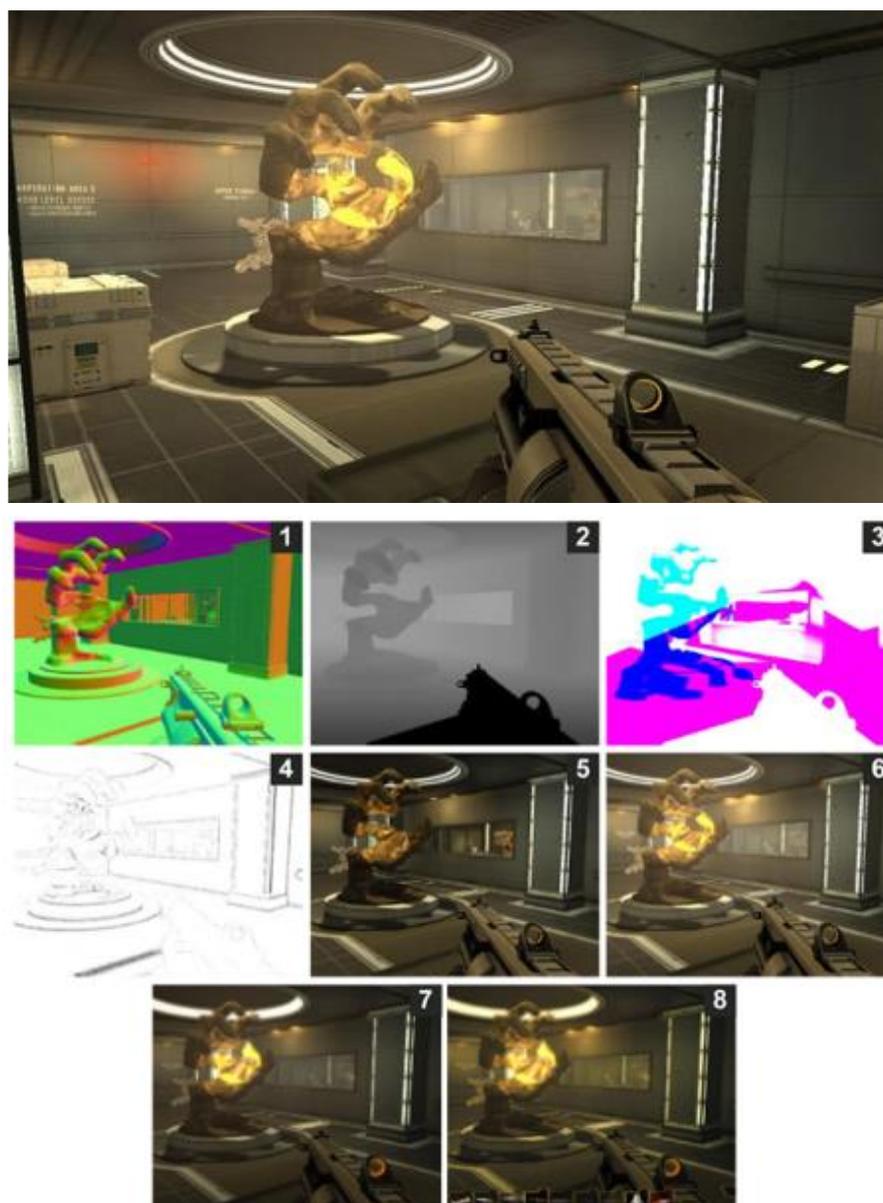


Figura 96. Secuencia de proceso de renderizado en tiempo real. Render en escena de Deus Ex: Mankind. Fuente: Courrèges, 2015.

En resumen, los *game engine* han dado importantes herramientas técnicas para planear, crear y distribuir videojuegos. Iniciaron como herramientas de libre uso, pero especializadas para programadores avanzados. Poco a poco fueron convirtiéndose en potentes algoritmos que simplificaron un complejo proceso de producción y lo volvieron colaborativo, independiente y accesible para todo aquel que, con suficiente documentación de uso pueda aprovecharlos.

### 2.3.6 Breve evolución del *render* en consolas portátiles: 1979-2017

Una evolución justificada de las consolas para videojuegos son las consolas portátiles. Empezaron a comercializarse temprano y masivamente en 1979 en EE. UU. elaboradas con pequeños transistores, microchips<sup>172</sup> y pantallitas de cristal líquido LCD (similar a las pantallas de las calculadoras electrónicas comunes) del tamaño de media tarjeta de crédito.

En esas pantallas cada imagen a un solo color se encendía o se apagaba según la interacción con el usuario, como ocurría en el *Nintendo Game&Watch* de 1981. Entre 1989 y 1998 las consolas de mano *Sega Game Gear* y el *Nintendo GameBoy Color* innovaron con una pantalla más colorida. En 2004 la consola *PlayStation Portable* abrió un nuevo camino con una memoria de 8Mb y un chip para visualizar polígonos (hasta 33 millones de polígonos por segundo (IGN, 2003).

En 2010 llegó el Nintendo 3DS, con *render* 3D para nubes, sombras difusas, texturas y *refraction mapping* (el efecto de la luz cuando atraviesa un objeto transparente, como un vaso con agua). Procesaba "15,3 millones de polígonos por segundo" con su chip de gráficos PICA200 (Leadbetter, 2010).

En 2012 aparece el PlayStation Vita, de Sony. Este contó con sensores de movimiento (acelerómetro) y de posición (giroscopio), que permitían una interacción a partir del movimiento manual de la consola. El PS Vita también agregaba pantalla táctil, formatos de video y audio de alta calidad (García, 2017).

La consola Nintendo Switch (2017) permitía conexiones hacia salidas de monitor en alta definición (1.920 por 1.080 píxeles). Su potencia era de 4Gb de RAM, con un chip Tegra X1, base para los futuros motores de videojuegos como *Unreal Engine 4* o *Unity* (García, 2017).

---

<sup>172</sup> La familia de chips SM5 con 4bit de RAM de la marca Sharp se usaron para este tipo de dispositivos.

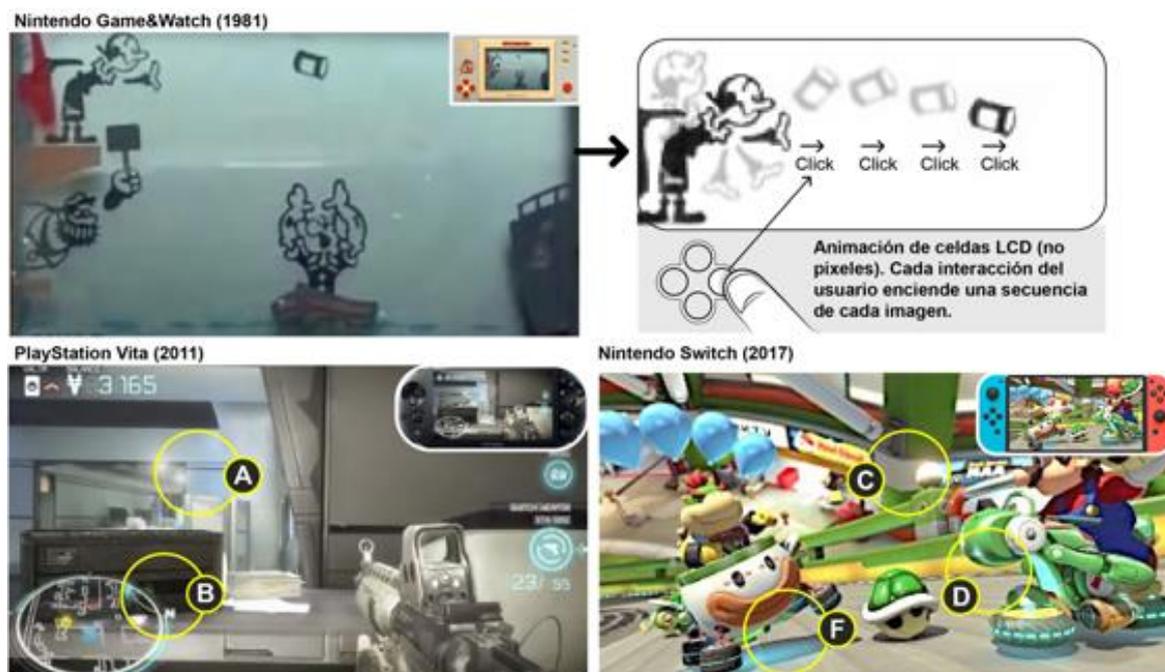


Figura 97. Animación de celdas en pantalla LCD. Arriba, izquierda: pantalla del Nintendo Game&Watch (1981). Abajo izquierda, PlayStation Vita. Abajo, derecha, Nintendo Switch. Fuente: Imágenes de videojuegos, tomado de internet. Elaboración propia.

## 2.4 Análisis estético de las imágenes 3D en este capítulo según tecnologías de render

### 2.4.1 Render 3D para videojuegos

Los códigos de programación creados en laboratorios académicos necesitaron de nuevos impulsos para ser usados desde los nuevos computadores personales, comercializados mundialmente a inicios de 1980. Eso dio paso para que programadores independientes desarrollen productos desde una comunidad creciente, interesada en videojuegos (y en su alteración), especialmente en imágenes tridimensionales.

Entre los años 1990 y 1994 aparece uno de los primeros *softwares* creado en comunidad. Este prometía democratizar el desarrollo de videojuegos. Eso era un proceso limitado a empresas con extenso personal técnico y gran financiamiento. El *software* en mención fue conocido como *idTech* y permitió trabajar en conjunto y sin limitaciones en proyectos compartidos dedicados a la interacción jugable. Resultado de ese primer proceso aparecen los juegos *Hovertank 3D* y *Catacomb 3D* (ambos en 1991); y *Wolfenstein 3D*, de 1992. Todos esos títulos podían ser instalados mediante dos docenas de diskettes<sup>173</sup> o CD-ROM hacia el computador.

*HoverTank 3D* es un videojuego experimental que usó una primitiva técnica de simulación de geometrías 3D llamada raycast, pero usando polígonos con superficies de color. Esa técnica para 3D fue

<sup>173</sup> Unidad externa de almacenamiento magnético, de 3.5 pulgadas de tamaño, usado en computadores personales desde 1980. Consistía en una rígida carcasa con una cinta interna en forma de disco. Hoy en día están en desuso.

elaborada en 1980. desde IBM, por el ingeniero Arthur Appel. Con eso fue posible generar volúmenes en sencillas geometrías cúbicas, cuyo sombreado plano, sin gradaciones, reaccionará según la ubicación de una fuente de luz. En *HoverTank 3D*, el ambiente es similar a un sencillo laberinto formado por grandes cubos de colores planos, sin texturas. El videojugador puede recorrer ese laberinto con desplazamientos de 360 grados. Las animaciones (de explosiones y de personajes muy simplificados) son activadas mediante *sprites* de no más de 10 fotogramas.

Una discreta evolución de *HoverTank 3D* ocurrió con *Catacomb 3D*, donde ahora los polígonos de los cubos mostraban texturas pixeladas intentando simular ladrillos enmohecidos. Además de efectos sonoros de gritos, música sintetizada común a los videojuegos de 8-bits. Ambos juegos estaban enmarcados con un fondo plano oscuro, sin ninguna otra geometría.

Finalmente, con *Wolfenstein 3D* será agregado un mejor intento de dirección artística y creativa en videojuegos. El videojuego en mención narra la incursión de un soldado dentro de una prisión subterránea nazi, en forma de catacumbas. El objetivo es entrar a la zona enemiga, eliminar enemigos y buscar rehenes abriendo y explorando las celdas. En este producto interactivo se repiten las técnicas de sus predecesores (laberintos con cubos y desplazamiento 3D). Pero esas están ampliadas con imágenes que ambientan el conflicto del juego: muros con texturas rocosas exageradas, banderas con águilas y esvásticas y soldados de uniforme caqui. Todas esas imágenes se muestran a una escala alterada que distorsiona su apariencia, como si los cuerpos del personaje hubieran sido apretados de cabeza a pies, achatándolos verticalmente.

Pocos años después y gracias a las mejoras nacidas de la comunidad *game mood*, aparecen nuevos juegos con innovadora simulación 3D, creados por la empresa id Software desde mediados de 1992: *Doom* (1993), *Quake* (1996) y *Quake II* (1997) fueron los primeros títulos en incorporar avances en simulación de texturas y animación 3D mediante tres nuevas técnicas en esos años: los *texture map*, los *keyframes models* y los *sprites*.

El *texture map* es una técnica que aliviana el trabajo de la tarjeta de video del computador al solo leer imágenes pixeladas que representan texturas. Evitando con eso crear polígonos que representen, por ejemplo, rocas. Con el *texture map* es posible crear una superficie rocosa mediante cualquier sencillo programa de pintura digital para empapelar (desde el *software game engine*) varios polígonos rectangulares con esa textura. En *Quake* eso es evidente tanto en los pixelados muros de ladrillo, piso y paneles de metal. La causa de esa pixelación es la cantidad de puntos de color por pulgada, requeridos durante esos años (no más de 256 pixeles por lado). Hoy en día esa resolución se incrementó hasta siete veces.

El *keyframe model* fue otra técnica de ahorro de datos para el *hardware* de las computadoras de mediados de 1990. Consistía en mostrar personajes en escorzos tridimensionales, pero pintados en polígonos planos. El desafío allí era mostrar más de una posición para que la sensación de 3D sea convincente. Cada nueva pose (es decir, cada nueva imagen) sería reemplazada con la siguiente pose gracias al *game loop*, por lo que aún no era necesario animar personajes 3D puros, lo que hubiera ocasionado una sobrecarga al computador. Los

juegos *Wolfenstein 3D*, *Doom*, *Quake* y *Quake II*, creados entre 1990 a 1997, aprovecharon esa técnica para mostrar, por ejemplo, monstruos corriendo hacia la pantalla. Es común confundir esas imágenes con una elaboración 3D. Lo que en realidad ocurre es que son varias pinturas digitales sobre un solo plano, pero que son mostradas en secuencia (mediante *sprites*) para que la animación del personaje genere esos escorzos animados.

Finalmente, la técnica de *sprites* retoma los fundamentos de la animación fotograma a fotograma, concebida en los primeros juguetes ópticos de mediados del siglo XX y en las animaciones en láminas transparentes (*cel-animation*) de dibujos animados estadounidenses de 1913.

Los *sprites* son imágenes que muestran la secuencia de inicio a fin de una acción. Donde cada fotograma contiene un micro movimiento que, al sumarse entre los fotogramas restantes, muestra una acción de un personaje o un objeto. *Quake* y *Quake II* usan *sprites* para casi todos los personajes, acciones (como explosiones) y en comportamiento de objetos 3D (como enemigos disparando). Los *sprites* están muy vinculados a la técnica del *keyframe model* por que es justamente un conjunto de *sprites* los proyectados sobre un polígono plano, donde es la secuencia quien hace posible evidenciar la animación.

Todos los videojuegos mencionados dieron con un nuevo tipo de estilo según los eventos interactivos con los que el videojugador se enfrentaba. Es así como el género de *first-person shooter* (disparos en primera persona) inició con un encuadre frontal que permite el acceso visual a un entorno en penumbra de laberintos y recovecos que esconden enemigos, armas u otros objetos de apoyo para el videojugador. Junto a efectos sonoros de suspenso, con sonidos de frecuencias graves sostenidas, ecos y gruñidos de bestias que son escuchados fuera del encuadre. Ese estilo aún es retomado por videojuegos actuales, pero en los que se ha ganado mayor realismo en texturas y movimientos de personajes.

#### **2.4.2 Imágenes basadas en *render* 3D para videojuegos (1998-2020)**

De los ejemplos anteriores se resalta que los polígonos aún no podían simular efectos de brillo y sombras dentro del mundo 3D. Ese recurso llegó entre 1998 y el año 2000. Por ejemplo, el videojuego *Ultimate RacePro* (1998) mostraba mejores reflejos en la carrocería (*environment mapping*), fondos prerrenderizados, humo y sombreado dinámico en tiempo real. Un prerrenderizado es una secuencia iterativa (como un simple video que nunca es pausado) insertada en la escena de un video. Este es un recurso que evita trabajo en el *hardware* al no necesitar *render* de imágenes 3D, sino simplemente la reproducción de un video, como en el pasar de las nubes en una escena con un gran paisaje.

Años después llegó un mejorado *game engine* (el Id Tech 3). Esta vez, cada nuevo juego creado en ese *software* reproducía sombreado dinámico. Es decir, ahora cada imagen 3D podía contar con un efecto de sombra que cambiaba según el encuadre de la imagen. A diferencia de la primera versión de *Doom*, donde las sombras eran fijadas a las texturas. Y en 2004, una nueva versión id Tech 4 permitió a los desarrolladores dos

nuevos recursos: agregar texturas que podían reflejar luz y sombra del ambiente y generar texturas más detalladas.

En 2006 y con nuevos *game engines* como *Rage* aparecen nuevos algoritmos para representar color de superficies 3D y texturas vaporosas con el *High Dynamic Range*. Dos resultados del uso de *Rage* para PC fueron *Hexen II* (1997) y *Ultimate Race Pro* (1998).

*Hexen II* repite el ambiente en penumbra iluminado solo con antorchas, en forma de laberinto, inspirado (o simplemente reusado<sup>174</sup>) a partir de su predecesor, *Doom*, de 1993, con muros y paredes con texturas igual de saturadas para crear tensión visual al simular ladrillo de roca envejecida, mármol o bajo relieves con figuras de guerreros a caballo, muy similar a los relieves salientes de los murales persas del siglo I a.C. hallados en las ruinas de Persépolis<sup>175</sup>. La superficie del piso en algunas escenas también muestra diseños circulares simétricos, posiblemente emulando los patrones de las alfombras turcas del siglo XVI. Muchas de las texturas *Hexen II* se muestran suavizadas, sin bordes escalonados, como en explosiones, humaredas y efectos de colisión, debido al *anti aliasing* que elimina lo irregular de los píxeles cuando el encuadre se aleja de los elementos 3D. Sin embargo, texturas como césped y vegetación son mostradas planas, similar a una alfombra común. *Hexen II* también muestra sombras proyectadas hacia el piso en algunos personajes enemigos, eso es posible gracias a algoritmos de reflexión dinámica de luz (donde las sombras varían según la posición del objeto 3D o del encuadre).

En *Ultimate Race Pro*, un juego de competencia automovilística, solo las texturas de la carrocería de los vehículos simulan efectos de reflejos y luz, pero con sombras sin gradaciones. Los cerros y edificios no muestran detalles importantes debido a que la velocidad en la que los vehículos interactúan difumina esos elementos. Solo en los efectos de neblina y de iluminación nocturna ese difuminado está justificado. En ese género de juegos los efectos de audio, como el sonido de la dinámica de motores, de la acción de freno y aceleración le agregan al ambiente una experiencia de máquina de simulación, que en *Ultimate Race Pro* compensa la baja calidad de los gráficos.

Entre el año 2001 y el 2013 aparecen nuevas consolas de videojuegos con nuevas prestaciones, 30 años después del primer videojuego de popularidad comercial (el arcade *Pong*, de 1972). Los nuevos equipos (GameCube y Wii, de Nintendo; Xbox y Xbox 360, de Microsoft; PlayStation de Sony) venían con nuevos recursos técnicos, elaborados casa dentro y apuntando a una desafiante combinación de objetivos: innovación, competencia, captura de un mayor mercado y fuerte posicionamiento de marca. Atrás quedó, en la década de

---

<sup>174</sup> Se debe recordar que muchos códigos de esos videojuegos eran compartidos libremente entre desarrolladores, por lo muchos debieron ser reusados, cambiando las texturas por otras.

<sup>175</sup> En la actualidad, está ubicado en Shiraz, al suroeste de Irán. Persépolis, fundada por el rey Darío I en el 512 a.C., fue capital del imperio Persa.

1960, la innovación puramente científica del 3D y de mínimo ensayo artístico. Ahora la narrativa interactiva tomaba la posta para exigir el máximo a los nuevos algoritmos para 3D.

El videojuego Mario Kart (Nintendo, 2003) fue una referencia precisa de lo logrado en técnicas 3D, iniciando la década del 2000. En ese juego los elementos presentan sombras dinámicas más fluidas que cambian según el acercamiento de los elementos a las superficies (como el piso o entre otros elementos). Los elementos también presentan una simulación de vivacidad al no mostrarse nunca rígidos, incluso en posiciones de pausa o de espera.

El encuadre de la cámara también muestra dinamismo cuando debe seguir a los personajes en giros laterales, vibraciones y en tomas de planos generales. Y en cuanto al ambiente, se observa una perspectiva infinitamente texturizada, con agilidad para coordinar la perspectiva junto con la cámara. Las texturas no se muestran intrincadas posiblemente para no quitar protagonismo a otros varios elementos de la escena: mapa del recorrido, icono, nombre y posición del competidor más cercano, tiempo restante de la carrera, número de vuelta y nivel de velocidad. Y el videojugador puede apreciar diferentes texturas a lo largo del juego, creando en cada nuevo nivel un ambiente de selva, de ciudad, de arena deportiva, con carreteras con nieve, de pista de carrera, entre otros. No es casual que, para lograr todo ese despliegue, la empresa Nintendo (creadora de la consola GameCube) había insertado dentro de su propio un procesador de gráficos, el ATI Flipper, con mayor rendimiento para texturas y polígonos (con un render de 6 a 12 millones de polígonos por escena).

La cota de calidad para competir por más audiencia (y ventas) también perteneció a la consola PlayStation (Sony), desde 1994, año de la primera versión. La consola pasó a procesar 360 mil polígonos (en 1994) a 41 cuadros por segundo con *render* multitareas (*Multithreaded CPU Rendering*) para imagen y audio (Schertenleib, 2013, p. 42). Lo multitarea se refiere a calcular varias capas de datos por segundo. Eso sumó agilidad en los personajes 3D que aún no se mostraban detalladamente modelados. En la primera versión del PS existían limitaciones: algunas imágenes eran mostradas con texturas escalonadas (debido a la evidencia de los píxeles); ciertas acciones de los personajes eran repetitivas y las figuras humanas se mostraban muy simplificadas cuando el encuadre se acercaba a ellas. Aun así, fue una experiencia que dejaba en el olvido a los videojuegos de *Atari* o del *Nintendo Entertainment System*, formados por bloques coloridos o mapas de bits.

Un videojuego que evidencia esas limitaciones es *Spider-man* (Activision, 2000). Allí los personajes (excepto el del Hombre Araña) muestran un modelado rígido, sin curvas. Y si bien los ambientes como edificios y ciudades se observan elaborados únicamente mediante extensos bloques de edificios con texturas de concreto poco realistas, la limitada cantidad de fotogramas por segundo (no más de 40 fps) crea micro pausas durante el juego. Un aspecto evidente es la presencia de transparencias (que permiten ver, en algunos casos, la infraestructura interna de edificios). Esas limitaciones evolucionarán en 2006, con los algoritmos Shader Model 3, con mejores gradaciones para superficies 3D; y en 2013 con la PlayStation 4, con capacidad

de procesamiento de 8Gb y mejor *render* para simular rebotes de luz sobre superficies que simulen varios niveles de opacidad o de texturas, como simulación de metal o prendas de vestir.

Un ejemplo de esa evolución es *Horizon: Zero Dawn* (Sony, 2017). En la cual el principal responsable de ese pico de calidad y realismo 3D es el game engine PhyreEngine (lanzado en 2008 por Sony, hoy en día con versiones no oficiales descargables desde la web). En el juego mencionado el despliegue de texturas es realista, tanto al representar tablones de madera bajo luz de antorchas, pelaje y ropaje, cortezas de árboles bajo la nieve, e incluso, arbustos moviéndose por la acción del viento. Y el desplazamiento de los encuadres combina velocidad con seguimientos lentos, con enfoques hacia los elementos más importantes de la escena y desenfoques según la profundidad de campo, muy similar a la cinematografía del cine de acción moderno. A 2017 y hasta el 2020 (el año del lanzamiento de la versión 5 del PS) el 3D de *Horizon: Zero Dawn* dio nuevas escalas de referencia para estudios y desarrolladores, pero agregó un nuevo ítem a la lista de desafíos en 3D: esto es, la representación de rostros 3D en personajes para videojuegos.

En 2001 también fue presentada la consola Xbox (Microsoft, 2001). Con un interés en mostrar mejor calidad de iluminación en una amplitud de imagen de 1920 x 1080 píxeles, soportado por un mejor uso de la memoria RAM. Las series Xbox (2001) y Xbox 360 (2005) aportaron a la calidad de imagen con el uso del VRAM, una porción de memoria de la tarjeta de video que guardaba digitalmente objetos 3D durante el *render*, evitando demoras por una carga excesiva de polígonos (McShaffry, Graham, 2013, p. 78, 81) permitiendo hasta 60 fotogramas por segundo y evitando las micro pausas durante el juego, muy comunes en consolas con menos de 40 fps. Un ejemplo de eso es el videojuego *Star Wars: The Clone Wars* (Pandemic Studios, 2002) en la que el jugador debe manipular una mediana nave y atacar una villa enemiga. Los desplazamientos de las naves sobre el suelo se muestran realistas solo cuando el plano es cercano, pero irregulares cuando el plano es abierto. Las sombras de los objetos no se muestran difuminadas y en algunos casos son inexistentes, pero el efecto de las explosiones y las llamaradas se muestran con más detalle. Eso es así porque es común en consolas que los desarrolladores y la dirección de arte deba tomar decisiones en cuanto a qué efectos visuales tienen prioridad. Obviamente, los efectos explosivos, la textura de la nave principal y sus halos de propulsión, todos ellos efectos más cercanos a la interacción del jugador, tienen más relevancia que la proyección de las sombras de las naves.

Otro título para analizar es *Brothers in Arms: Road to Hill* (Gearbox Software, 2005), un juego emulador de combate militar en la selva. Allí es evidente el esfuerzo del *render* para interpretar columnas de humo, fuego de los disparos, cielo nublado con luz oclusa y el polvo de la carretera, pero la calidad decrece en la ambientación y en los personajes: no hay detalle en arbustos (se muestran incluso con polígonos incompletos e irregulares) y la morfología de los soldados es casi rectilínea, con mínimos gestos faciales. Nuevamente, es evidente la toma de decisiones sobre qué elementos soportarán la carga del *render* de la consola. Generalmente son aquellos en los que recae el contexto de la narrativa. Si el juego tiene como marco una batalla militar del siglo XX, sería obvio pensar que los detalles en disparos, vestimenta y otras interacciones que simulen la batalla

muestren mejor calidad, al contrario de la textura de una laguna, que recibe el interés narrativo del juego. Luego vendrían nuevas versiones de *game engines*, especialmente de grandes estudios de producción con mejores propuestas para la calidad del 3D: Rage, de 2006; IW (Infinity Ward) y Unity, del 2005; PhyreEngine, del 2008; CryEngine 3, del 2009; AnvilNext y DICE Frostbite, del 2012.

Es así que, desde el año 2000 en adelante, cada nuevo año serán presentadas mejoras en la resolución o representación de imágenes 3D (tanto en flujo de trabajo, interfaces, iluminación, texturas o jugabilidad). Ese aporte llegará especialmente desde estudios de producción de videojuegos. Hoy en día siguen siendo sitios en donde confluyen noveles empresarios, científicos y académicos con veteranía en imagen digital, novatos o experimentados profesionales artistas digitales de ambos sexos, talentosos animadores y modeladores 3D; y por supuesto, interesados financistas. Esa es la razón por la que cada nuevo aporte tecnológico desde esas empresas (especialmente en *software*) será nombrado con alguna de las siguientes palabras: *high, poligonal, map, shadow, sbader, light, range, poligonal, texture*, o cualquier otro término que evoque la manipulación de píxeles, luz y sombra para lograr un nuevo pico de calidad en tecnología 3D. Y a su vez, servirá para producir un nuevo videojuego en el cual se presenten mejor calidad y realismo. Todo para que una nueva empresa tome la posta y genere sobre ese aporte nuevos hitos técnicos.

## CAPÍTULO III: Evolución del *render* en películas y en la articulación (*rigging*) en personajes digitales 3D

Ya se ha explicado que el *render* convierte visual y estéticamente una imagen digital, en elaboración, hacia su acabado final en una pantalla. Conocer el funcionamiento del *render* es útil en todo campo creativo o científico que aplique imágenes digitales como medio de información, simulación o expresión artística.

Por ser una etapa clave de creación digital, se hará un recorrido por su evolución técnica; y luego, se revisará cómo derivó en la producción de personajes 3D animados de hoy en día. Luego, este apartado cerrará con la evolución técnica del *rigging*, importante por ser el método de simulación de locomoción en personajes animados 2D y 3D.

### 3.1 El render

Es una integración, conversión o transformación de un estado a otro entre elementos heterogéneos desde los cuales un resultado (visual) es esperado (Hughes, J., et al., 2014, p. 387). Desde la década de 1950 y en investigaciones estadounidenses dedicadas a la percepción de la imagen el *render* fue un término común para entender cómo las tecnologías podrían usar el color y la textura para producir una escena digital.

Hoy en día, el *render* de una escena es activado cuando el usuario convierte, exporta o renderiza desde el interfaz del *software* una imagen o una escena con varias otras imágenes. Luego del *render*, el resultado evidenciará la calidad de los efectos usados para iluminar, texturizar, colorear o modelar los elementos digitales.

Así mismo, el *render* en 3D es el resultado de millones de cálculos que simulan la energía lumínica natural en texturas y superficies para convertirlos en volumen y perspectiva, enmarcadas en planos de cámara, texturas y animación; todo esto mostrado en una pantalla.

Un *render* de calidad equilibra velocidad y precisión en la representación visual 3D o 2D (Avgerakis, 2004, p. 274). Gracias al *render* (imagen 98, abajo) una escena (A) será transformada a un nuevo estado con imágenes más nítidas (B). El tiempo de proceso dependerá de factores como el poligonaje de los elementos (cantidad de planos y vértices), las texturas, la resolución de la pantalla (cantidad de píxeles por pulgada y millones de colores disponibles), entre otros. En los siguientes párrafos se darán detalles de los hitos técnicos que aún son fundamento para entender la evolución del *render* 3D.

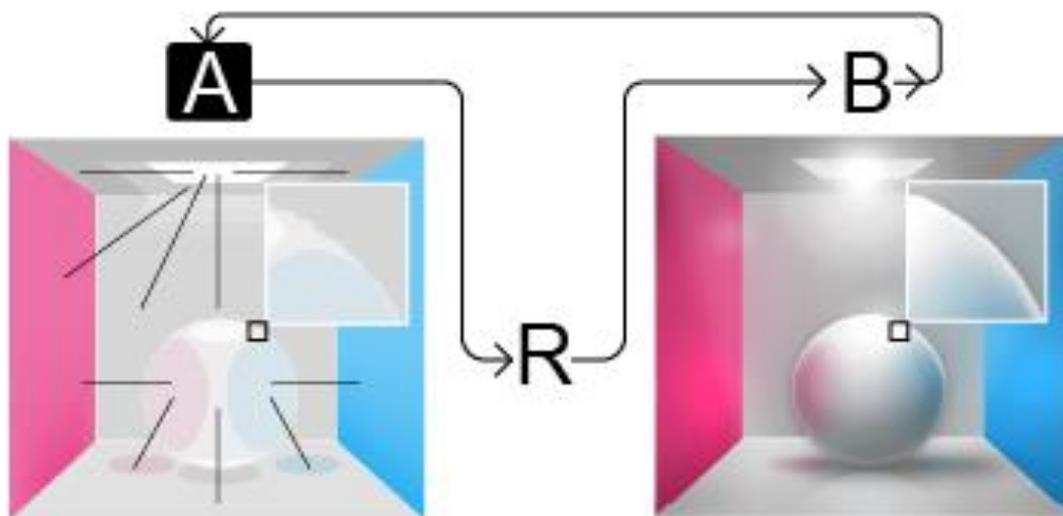


Figura 98. Estado prerender y posrender. Fuentes: Elaboración propia

### 3.2 Primeros algoritmos para generación de objetos 3D en pantalla

El primer gran hito para la producción desde computadores de una imagen tridimensional inició con el trabajo doctoral llamado *Machine Perception of Three-Dimensional Solids* de Lawrence G. Roberts (1963).

En ese documento fueron mostrados los primeros códigos de tareas (algoritmos para ser interpretadas por una máquina) dedicados al ocultamiento de polígonos digitales (Pegoraro, 2017, p. 4). El ocultamiento se refiere a que un objeto real y sólido no muestra todas sus caras o vértices cuando está rotando, a menos que sea transparente. Los algoritmos de Roberts ocultaban en imágenes digitales las porciones de los elementos geométricos, dando la percepción de volumen al rotarlos en pantalla.

Roberts creó 5000 instrucciones en el sistema mediante cálculos matemáticos de vectores (puntos con dirección y velocidad) y matrices (valores numéricos interrelacionados y mostrados en un conjunto de celdas de cálculo). Roberts usó también un monitor con tubos de rayos catódicos y un primitivo lápiz electrónico (el Sketchpad de Iván Sutherland) con capacidad de dibujar y modificar la longitud de imágenes lineales en pantalla (Roberts, 1963, p. 48, 62).

Resumimos el aporte de Roberts para recrear dibujos en pantalla de la siguiente forma: primero, Roberts fotografió varias posiciones de rotación de un objeto geométrico real, como una pirámide elaborada con algún material rígido; luego, anotó las coordenadas de posición de cada vértice; después, colocó esas coordenadas en un plano digital, ingresándolas a un computador mediante un lápiz electrónico (creado el mismo año que la tesis de Roberts por su colega Ivan Sutherland); finalmente, los valores de las coordenadas fueron ajustadas para mostrar un polígono tridimensional digital de líneas blancas en una pantalla electrónica oscura (Appel, 1967, p. 388).

Lo aportado en la tesis doctoral de Roberts fue el primer avance práctico en *render* para dibujar líneas 3D, a mediados de 1960. En su tesis, Roberts aclaró que tomó como referentes técnicos a los ensayos de los matemáticos Oliver Gordon Selfridge<sup>176</sup> (1926-2008) y Louis Hodes<sup>177</sup> (1934-2008), (Roberts, 1963, p.11) usados ambos para extraer datos desde caracteres ingresados a un sistema y para reconocimiento de patrones lineales desde una máquina. Según Roberts, "para reconocer si la geometría de un objeto le pertenece a una silla o a una mesa" (Roberts, 1963). Roberts usó esos estudios para averiguar cómo obtener las coordenadas de las líneas geométricas que en 1963 iba a dibujar en una pantalla.

No se han documentado hallazgos similares en otros países en esos años. Pero es posible que, a partir de Roberts, otros investigadores hayan usado parte de esas ideas para nuevas soluciones prácticas; por ejemplo, en los algoritmos del matemático francés Faget de Casteljaou<sup>178</sup> (1930-2022) para crear simulaciones de volúmenes 3D curvos mientras trabajó para el fabricante francés Citroën, en 1963.

¿Por qué ocurrió en el mismo año, pero en diferentes países, un similar hito técnico para el dibujo de líneas en pantalla? Y de ser así, ¿por qué no hay registro de colaboración mutua entre Roberts y Casteljaou? Debe recordarse que Roberts obtuvo sus hallazgos desde la colaboración académica y Casteljaou desde la empresa privada. Y que la tesis de Roberts (y muchas otras en esos años) fueron publicadas para la comunidad científica y el público en general, sin restricción de acceso. Mientras que los algoritmos de Casteljaou fueron patentados entre 1959 y 1963 (nadie más que Citroën podía usarlos). Por lo tanto, estuvieron ocultos al público durante 17 años, posiblemente por celo empresarial (Müller, Prautzsch, 2022, párr. 1).

Aún así, finalizando 1960 aún faltaba por explorar el movimiento 3D controlado, la visualización de planos, colores, texturas y sombras. Eso llegaría a finales de 1980 con mejores algoritmos y hardware eficiente.

---

<sup>176</sup> Inglés, luego de graduarse en matemáticas por el MIT, en EE.UU., colaboró allí en 1968 como jefe científico y años después como asesor técnico para la NSA (Agencia Nacional de Seguridad de EE.UU., en español). Es considerado como uno de los primeros investigadores en reconocimiento de patrones aritméticos mediante máquinas y redes neuronales.

<sup>177</sup> Graduado en Ciencias por el Politécnico de Brooklyn (EE.UU), y en filosofía por el MIT, en 1962. Sus trabajos estuvieron dirigidos al lenguaje de programación LISP y en reconocimiento de patrones lineales desde máquinas.

<sup>178</sup> Durante su colaboración en el fabricante Citroën, en la década de 1960, creó algoritmos para simular en pantalla formas planas y curvas.

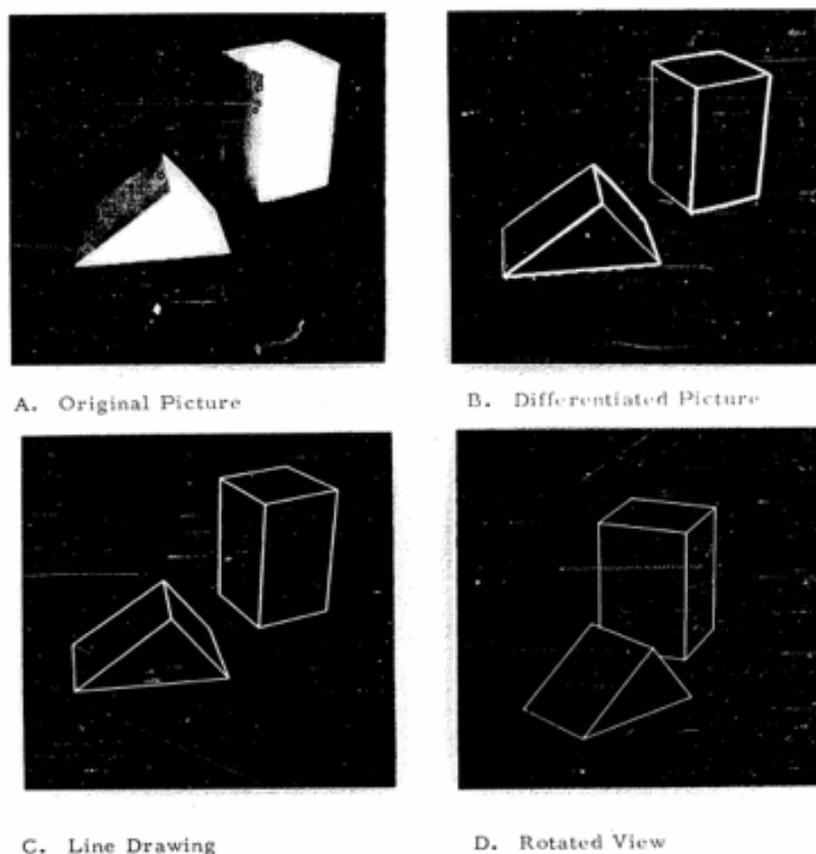


Figura 99. Polígonos tridimensionales en pantalla, de Lawrence G. Roberts. Los polígonos podían rotarse desde la pantalla. Fuente: Roberts, G. (1963, p. 55)

Para ese trabajo Roberts usó un gigante computador Univac<sup>179</sup>. Desde allí codificó los algoritmos mediante los lenguajes de programación COBOL<sup>180</sup> y Fortran<sup>181</sup>, ambos útiles para cálculos matemáticos y gestión de base de datos en empresas y universidades de esos años. El resultado era observable en una pantalla de osciloscopio Tektronix (Carlson, 2017a, p. 91). Décadas después su trabajo fue complementado con otros proyectos igualmente académicos.

---

<sup>179</sup> La *Universal Automatic Computer I* fue el primer computador fabricado entre 1950 y 1968 por Remington Rand para empresas estatales estadounidenses y laboratorios. Estaban formadas por torres del tamaño de una refrigeradora que contenían piezas electrónicas, perillas, lectores de cinta y una impresora para mostrar los datos (los primeros modelos no contaban con pantalla). Muy usada en esos años para contabilidad y base de datos a gran escala, como en la cuantificación del censo o para elecciones de candidatos al gobierno.

<sup>180</sup> Siglas de *Common Business-Oriented Language*, creado en 1959 por una sección del gobierno estadounidense dedicado a soluciones militares y empresariales que requerían automatizar datos desde máquinas. Su sintaxis es breve, con palabras clave en forma de verbos en inglés (*initialize, move, allocate, inspect*, entre otras).

<sup>181</sup> Fortran (Formula Translating System), es un lenguaje orientado al cálculo numérico, diseñado en 1957 para las computadoras IBM y usado en aplicaciones científicas y de ingeniería.

### 3.3 Primeros estudios para generar luz y sombreado en objetos 3D

El trabajo Roberts reveló que las matemáticas y los códigos de programación sí podían mostrar algo más que ondas sinusoidales, como las generadas por Benjamin Laposky cuando jugaba con las perillas de un osciloscopio, en 1950.

Iniciando la década de 1970 vendrían dos nuevos avances para la imagen 3D: el modelado y el sombreado. Los primeros códigos para generarlos fueron creados por Henri Gouraud en 1971. También gracias a Ed Catmull y Fred Parke con su trabajo *A computer animated hand* de 1972, más los algoritmos de Bui Tuong Phong en 1973 que simulaban la brillantez de objetos bajo diversos tipos de luz.

El esfuerzo de dibujo y sombreado 3D debía ser interpretado por un sistema que calculara e interprete la luz digital (y sus resultados en gradaciones de sombras) en una superficie. Con ese concepto fundamental sería posible crear tecnologías para un *render* de calidad. Una de esas tecnologías fue el *ray tracing* (trazado de rayos), un método de cálculo que simula el comportamiento luminoso digital según la fuente y según la superficie (Whitted, 2018a).

Los primeros procesos de *render* fueron ensayados en los laboratorios estadounidenses de la empresa Bell, basados en trabajos anteriores de los ingenieros James Blinn<sup>182</sup> y Martin Newell<sup>183</sup> y J. Turner Whitted<sup>184</sup>, tres científicos que entre 1974 y 1978 crearon ecuaciones para *render* de texturas y movimiento de objetos 3D en una pantalla.

Fue Turner Whitted quién terminó mostrando por primera vez, en una conferencia Siggraph<sup>185</sup> de 1979, un innovador ejercicio animado de *render* digital mediante trazado de rayos virtuales para recolectar datos de color en una imagen digital. Y un año después publicó sus algoritmos nombrando a la técnica como *ray-traced* (Whitted, 1980). La animación (a 480 por 640 píxeles de resolución, generado en dos computadores: PDP-11/45 y VAX-11/780) (Whitted, 1980, p. 349) consistía en el giro de una esfera amarilla alrededor de otra transparente, parecida al cristal, ambos flotando sobre una superficie cuadrículada<sup>186</sup>. Turner se apoyó en

---

<sup>182</sup> Estadounidense, Ph.D. de Ciencias de la Computación por la Universidad de Utah, actualmente retirado profesionalmente.

<sup>183</sup> Colaborador del departamento de Ciencias de la computación en la Universidad de Utah a inicios de 1970. Presentó códigos de programación mejorados que permitían modelar e iluminar digitalmente objetos 3D con superficies más curvas.

<sup>184</sup> Estadounidense. Es investigador y profesor en la materia de Ciencias de la Computación por la Universidad Estatal de Carolina del Norte y miembro de la Academia Nacional de Ingeniería estadounidense.

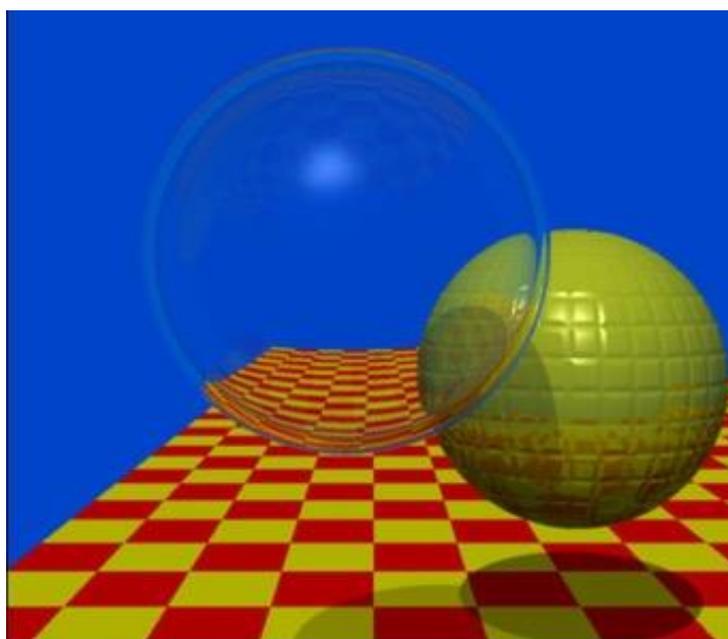
<sup>185</sup> Siglas en inglés del Grupo de Interés Especial en Computación Gráfica y Técnicas Interactivas. Entidad estadounidense inaugurada en 1974, y hoy en día sigue divulgando ciencia para la industria audiovisual.

<sup>186</sup> El lector puede revisar el video original en *The Compleat Angler - First demonstration of recursive ray tracing in computer graphics animation*: <https://www.youtube.com/watch?v=0KrCh5qD9Ho>

los trabajos de iluminación de polígonos digitales de Pong, de 1975; y en los códigos para modelar objetos 3D, de Blinn y Newell, del mismo año (Whitted, 1980, p. 343), pero dejó claro en el resumen que su aporte necesita mejoras y mayor capacidad de proceso si se desea usarlo para simulaciones 3D más complejas.

En gráficos por computadora un rayo es un elemento abstracto y matemático (no es real ni tangible) determinado por un origen, una dirección y un destino. Similar a una flecha virtual que al tocar algo recibe datos. Este concepto sirvió para evaluar y recolectar datos de posición y color en cada píxel que el rayo virtual colisionaba. La cantidad de colisiones podían ser contadas por miles o millones de ellas (es decir, miles o millones de rayos), según la cantidad de puntos de color por pulgada en una imagen. No se debe confundir el rayo del *ray-tracing* con un vector, que es un valor de posición y velocidad dado cada extremo de un trazo geométrico.

Esa potencial cantidad de colisiones del *ray tracing* generó limitaciones desde el *hardware*: a más rayos evaluadores era necesario más procesamiento de cómputo, una capacidad no disponible en computadores de 1979. Esa pudo ser una razón por la que, hasta 1995, eran imposibles los gráficos 3D en computadores comerciales, de hogar u oficina.



*Figura 100. Ray tracing e iluminación global en imágenes tridimensionales. Escena del render The Compleat Angler Fuente: Whitted (2018a).*

### **3.4 Primeros estudios para generar modelados 3D mediante polígonos**

La creación de modelado tridimensional seguía siendo un trabajo lento y estaba sujeto a básicos polígonos facetados, es decir, en donde era evidente un trazado cuadrículado tosco, con superficies irregulares.

Pero en 1978 Edwin Catmull<sup>187</sup> y J. Clark<sup>188</sup> aportaron con algoritmos en su documento *Recursive generated B-spline surfaces on arbitrary topological meshes* (Catmull, Clark, 1978, p. 350).

La subdivisión de polígonos 3D de Catmull y Clark es aún un método usado para generar puntos de control (vértices para manipular polígonos 3D) en superficies de cualquier volumen (también llamado topología arbitraria) y no únicamente en sólidos rectangulares. El resultado fue una continuidad poligonal en forma de malla cuadriculada con puntos de control que permiten progresivamente un esculpido 3D suavizado (Catmull, Clark, 1978). Hoy en día, la técnica de subdivisión de polígonos de Catmull y Clark está muy relacionada con el deseo de precisión, libertad de control y gran detalle al representar mediante 3D un objeto natural complejo. Un término que agrupa varias técnicas similares es el de LOD (*levels of details*, o nivel de detalle). Su objetivo es generar 3D con realismo, pero sin exceder el esfuerzo de cómputo del sistema al momento del *render*; o durante planos de cámara, donde a más distancia entre objeto y cámara, menos realismo 3D será necesario, especialmente en videojuegos.

En los años siguientes, la combinación del aporte de Bézier (curvas modificables con vértices) y los de Catmull y Clark (subdivisión de una superficie) resultará en algoritmos de modelado más eficaces llamados NURBS (*Non-Uniform Rational Basis Splines*). Esta es una definida malla de planos que al ser manipulada crea formas para moldear cualquier objeto como formas curvas, redondeadas, o rectas.

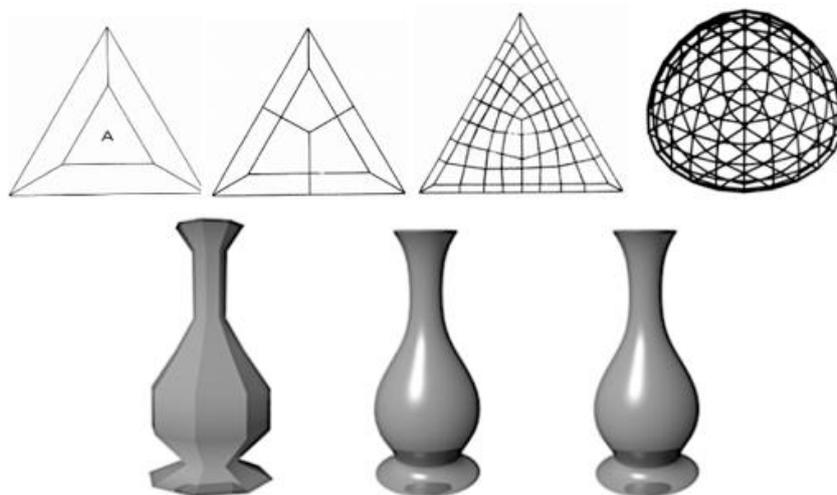


Figura 101. Subdivisión de Catmull y Clark. Cada subdivisión de superficie crea nuevos parches y vértices. Abajo, render progresivo de un modelo 3D.

Fuentes: Catmull, Clark, 1978, p. 352, 353. Chopine, 2011, p. 63.

<sup>187</sup> PhD. en Ciencias de la Computación por la Universidad de Utah en 1974. Cofundó los estudios de animación Pixar.

<sup>188</sup> Fundador de Silicon Graphics, Netscape y Shutterfly. Entre 1979 y 1984 fue profesor en ingeniería eléctrica en la Universidad de Stanford.

En paralelo al *render*, laboratorios académicos estadounidenses preparaban la llegada de la unidad mínima visual que ahora es conocida como el píxel. Este fue adoptado gracias a su uniformidad, modularidad y mejor control de matices desde algoritmos matemáticos.

Hasta aquí llega un breve contexto de los primeros ensayos en gráficos en pantallas. Luego vendría el primero desafío a reseñar: modelar y esculpir objetos digitalmente.

Volviendo a las primeras técnicas del *render*, a inicios de 1980 Turner Whitted creó *scan-line* mediante el lenguaje de programación Fortran (Whitted, 1978b, p.11). *Scan-line* analizaba horizontalmente cada una de las filas de píxeles de cada objeto. Luego calculaba el relleno y el sombreado según la posición de cada punto de color con respecto a una fuente de luz digital. El aporte de Whitted daba resultados poco detallados, lentos y no profundizaba en la iluminación 3D (Beane, 2012, p. 237).

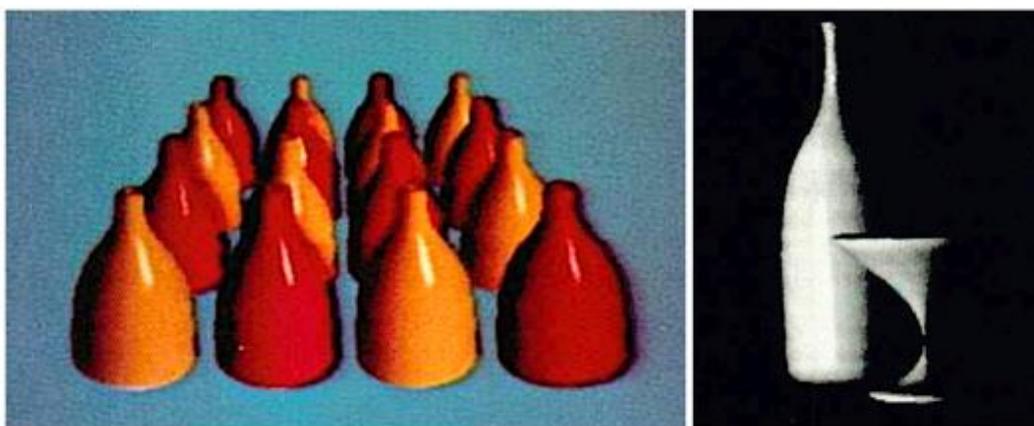


Figura 102. Renderizado con *scan-line*. Dos resultados de renderizado con la técnica de *scan-line*, propuesto por Turner Whitted en 1979. Fuentes: Whitted, 1978b, p.11.

Otro aporte fue el de Arthur Appel<sup>189</sup>, un ingeniero de IBM, también a inicios de 1980. Su mérito fueron los algoritmos de *render* de luz y sombra, conocidos como *raycasting*. Al igual que el trabajo de Turner Whitted, el *raycasting* recreaba con poco detalle el sombreado de un objeto tridimensional.

El *raycast* propuesto por Appel fue un haz o rayo evaluador generado dentro del sistema, con datos de origen y dirección que captaban información de luz digital en polígonos 3D. Resumimos todo eso en dos parámetros: ubicación del rayo y captura de datos de color. El *raycast* requiere mantener toda la geometría presente en la memoria del sistema (Christensen, Jarosz, 2014, p. 117) generando más carga de información (Roth, 1982, p. 114) al capturar datos de cada píxel; por ejemplo, una imagen de 100 x 100 píxeles generará

---

<sup>189</sup> Ingeniero e investigador estadounidense. Trabajó en el departamento de sistemas computarizados en el Centro de Investigación Thomas J. Watson, de la empresa IBM, en 1975.

10.000 rayos. El videojuego *Wolfenstein 3D* (Id Software, 1992) fue uno de los primeros en mostrar *raycast* para interacción.



Figura 103. Ensayo técnico y posterior aplicación de la técnica ray cast. Arriba, renderizado ray casting usando el lenguaje de programación Java. Abajo, detalle del videojuego *Wolfenstein 3D*, de 1992, el cual aplicó el raycast debido a la rapidez del procesamiento. Fuente: Pash, A. (2016).

### 3.5 Primeras exploraciones del 3D en producciones audiovisuales

Importantes avances técnicos en *render* a inicios de 1970 se concretaron en el sistema *SynthaVision*, que posteriormente derivó en el sistema MAGI al empezar 1980 (Carlson, 2017a, p.168). Este nuevo sistema otorgaba mayor densidad de sombreado en sólidos 3D mediante la técnica del *raycasting*. En el cine, se la aplicó en la primera mitad de la película *TRON* (1982) en la secuencia de la persecución motorizada. Allí se intercalaron en una sola escena ambientes 3D de gran escala que simulaban un mundo no natural, electrónico, de neón y rectilíneo, por un lado; y actores reales insertados en esos ambientes (Carlson, 2017a, p.169). El desafío era homogeneizar ambiente y personajes en un continuo convincente. Pero ese requerimiento drenó gran parte del financiamiento para la producción.

En combinación con el sistema MAGI se usó el *hardware* y *software* Triple-I, desarrollado por la empresa con el mismo nombre, fundada en 1962 por John Whitney Jr. y Gary Demos<sup>190</sup>. El *software* usado con ese equipo fue un sistema de *render* llamado Tranew junto a el ASAS (Actor/Scriptor Animation System), además del modelado con el Tektronix 4014 (Carlson, W. (2017a). Todos esos equipos tenían el aval de desarrollo desde laboratorios académicos estadounidenses y con los algoritmos hasta ese momento publicados.



Figura 104. Render mediante sistema MAGI. Película TRON (1982). Escena del game grid mediante el sistema MAGI. Fuentes: Carlson, 2017, p. 169, imagen tomada de YouTube.

Los aportes académicos en imagen digital 3D, iniciados en EE.UU. en 1960, seguían siendo mejorados desde fuera de los laboratorios. Pero aún se esperaba fusionar todo eso en un relato atractivo. La industria del 3D digital aún esperaba emular la vivacidad narrativa de Stuart Blackton, Winsor McCay y Emile Cohl, entre otros, a inicios del siglo XX.

En 1980 el desafío 3D seguía siendo el representar texturas variadas, gestualidad en rostros de personajes y animación. Razón por la cual en 1980 el desarrollo de nuevas tecnologías se mantuvo constante. Prueba de eso es el *software* *Twixt*.

El sistema de animación *Twixt* fue creado por la empresa Sun Microsystems<sup>191</sup>, entre 1980 y 1985 (Gómez, 1985, p. 69). Fue el primer programa en proponer en su interfaz una línea de tiempo (*keyframes*) como abstracción de una secuencia de animación compuesta por celdas. Esta era una línea horizontal que contenía una fila de recuadros. Cada celda o cuadro alojaba la posición y ubicación de un objeto (muy común actualmente en la interfaz de cualquier sistema para animación).

---

<sup>190</sup> Ejecutivo de grandes compañías que deseaban lucrar con producciones digitales en 3D, tanto en cine como en tv. Profesor del California Institute of Technology (CalTech).

<sup>191</sup> Compañía tecnológica fundada en 1982, y activa hasta el año 2010. Desarrolló productos como el sistema operativo Solaris, el lenguaje de programación Java, *hardware* para computadoras y otros.

Esa línea resultaba en una visualización en tiempo real (Gómez, 1985), (Carlson, 2017a, p.110). Un ejemplo de eso son los cortos *Humanonon* (1982), dirigido por Michel Francois<sup>192</sup>; y *Snoot y Muttly* de Susan Van Baerle<sup>193</sup> y Doug Kingsbury<sup>194</sup> de 1984 (Carlson, 2017a, p.110).



Figura 105. Render mediante sistema MAGI. Arriba, *Humanonon*, de Michel Francois, 1982. Abajo, corto *Snoot and Muttly*, creado por Susan Van Baerle y Doug Kingsbury en 1984. Fuentes: Carlson, 2017b (video 4.23), Carlson, 2017, p. 110. Henón, 2018, min. 35:46

Otro ejemplo de inicios de 1980 es el corto de Disney *Where the Wild Things Are*, de 1983, dirigido por John Lasseter<sup>195</sup>. Tal fue la innovación visual que todos esos desarrollos pasaron a ser requeridos por la industria comercial, como en los gráficos del *Super Bowl* y los logotipos de la cadena televisiva ABC en 1985 (Ohio Technology Consortium, 2019).

La industria musical también fue beneficiada de personajes 3D animados. En 1985 la banda inglesa de rock *Dire Straits* produjo junto con la empresa Rushes Post Production a dos geométricos personajes en el video musical *Money For Nothing*. Los creadores de ese video modelaron y animaron con un sistema Bosch

---

<sup>192</sup> Director de cine, actor y guionista francés. Dirigió desde 1950 filmes como *Naissance d'une ville* (1958), *Hotel dieu de beaune* (1964), *Vivre dans un parc* (1965) y *Les chats* (1967).

<sup>193</sup> Según el sitio web *Computer Science Bibliography* (<https://dblp.org/>) Susan L. van Baerle es una animadora digital miembro del Visualization Laboratory de la Universidad de Texas, EE.UU.

<sup>194</sup> Obtuvo su maestría en *Computer Animation* en la Universidad Estatal de Ohio, en 1985. Un año antes produjo junto a Susan Van Baerle el corto "Snoot & Muttly". Según su cuenta personal en la red social LinkedIn (<https://www.linkedin.com/in/douglas-kingsbury-72a77110/>) actualmente es profesor de pintura, anatomía, animación digital y narración audiovisual.

<sup>195</sup> Animador estadounidense. Graduado en el California Institute of the Arts en 1979. Ingresó a los estudios Disney donde colaboró en películas animadas como *The Fox and the Hound*, de 1981. Fue contratado por el estudio Lucasfilm Ltd., propiedad del director George Lucas, donde creó la animación *The Adventures of André and Wally B.*, de 1984. En 1986 cofundó los estudios Pixar, donde trabajó en conjunto con otros artistas para crear las películas *ToyStory*, de 1991; *A Bug's Life*, de 1998; *Cars*, de 2006, entre otros.

FGS-4000 Quantel Paintbox, una computadora especializada en gráficos animados 3D de esos años, muy usada para producción en televisión.

En las imágenes siguientes (Figura 106) se aprecian algunos ejemplos: arriba, izquierda: escena para el Super Bowl, 1983-1984. Arriba, derecha: fotograma para *Where the Wild Things Are*, de 1983. Abajo, izquierda: escena de *Money For Nothing* de Dire Straits, 1985; derecha, escena de *Panique sur le 16*, de 1987.



Figura 106. Ejemplos de animación 3D entre 1983 y 1987. Fuentes: Carlson, 2017a, p. 433. Carlson, 2017a, p. 169. Henón, 2018, min. 26:30, (Ohio Technology Consortium, 2019).

Hasta aquí es posible comprender que, a mediados de 1980, la capacidad de los sistemas 3D y del *render* para texturas era limitada. Pero se aprovechó ampliamente la animación de bloques 3D con una sola iluminación ambiental y en colores llanos, sin degradados y sin texturizados.

Desde mediados de 1980 en adelante el 3D ampliará sus funciones. Tres ejemplos tomados de los archivos en línea del sitio web del Siggraph<sup>196</sup> entre 1986 y 1992, lo demuestran.

Un primer ejemplo es la animación *Maru, Sankaku, Shikaku*, de 1983, creada en la Universidad de Osaka, Japón. Allí primó el 3D de objetos básicos, pero con iluminación y sombras suavemente difuminadas posiblemente gracias a las técnicas de Phong. Este *render* fue creado por un sistema Links-1 generador de

<sup>196</sup> La comunidad SIGGRAPH (Grupo de Interés Especial en Computación Gráfica y Técnicas Interactivas, en inglés)

gráficos en computadora con 10Mb de memoria. Su *render* se apoyó en el *ray casting*, un conjunto de algoritmos evaluadores de datos digitales de luz y superficie creados en IBM, en 1980.

Un segundo ejemplo es el corto de 1988 *Deltoid... A Drinking Man*<sup>197</sup> de Joseph J. Banchemo Jr., creado en un computador Apollo DN 3000<sup>198</sup> y producido por la empresa estadounidense BBN Delta Graphics. En la animación mencionada se mostraba un personaje sin texturas, armado con rectángulos y triángulos interactúa en medio de un ambiente repleto de objetos con colores vivos y sombras suavizadas (no hay modelados facetados)<sup>199</sup>.

El tercero es el corto *LIPS*, diseñado por el estadounidense John Paul en 1992. Este fue creado por un computador AT & T Pixel Machine, Mac II y los *softwares* Raylib y PhotoShop. El corto combina 2D y 3D sobreponiendo el rostro de un alienígena sobre la cara del expresidente estadounidense George Bush. El sistema Pixel Machine contaba con 32Mb, similar al sistema Silicon Graphics<sup>200</sup> de ese año (con un procesador interno de 500 Mhz). Los sistemas Silicon Graphics fueron un estándar de la industria por su capacidad de procesamiento, pero tenían un costo elevado.



Figura 107. Ejemplos de animación 3D entre 1983 y 1992. *Maru, Sankaku, Shikaku* (1983). *Deltoid... A Drinking Man* (1988). *LIPS*, 1992.

Fuentes: SIGGRAPH (2019) *Art Show Archives*.

---

<sup>197</sup> <https://digitalartarchive.siggraph.org/artwork/joseph-j-banchemo-jr-deltoid-a-drinking-man/>

<sup>198</sup> Producidos por la empresa Apollo Computer entre 1980 y 1990, era un computador de escritorio, con pantalla y teclado, usado para contabilidad en empresas.

<sup>199</sup> Según los archivos en línea de SIGGRAPH, el equipo que se usó fue un DN 3000 Apollo Computer de 32 bit con sistema operativo Aegis Aux de Unix, resolución de pantalla de 1024 x 800 píxeles, procesador de hasta 25 Mhz y 8 Mb de RAM. Todo a un precio de \$14.000 aproximadamente (Henkel, 1984, p. 16), (SIGGRAPH, 2019).

<sup>200</sup> Años después, en 1999, gran parte del personal de desarrollo de Silicon Graphic Inc. (SGI) y algunas de sus patentes fueron transferidas a la empresa de hardware para gráficos Nvidia, luego de una reestructuración de las dos empresas.

En cuanto a 3D y *render* en cine, el ahorro de costo y de tiempo fueron variables que a mediados de 1987 eran evaluadas para determinar si valía el esfuerzo crear una película animada en 3D. Al ser esa una tecnología que estaba aún siendo probada, los recelos empresariales para cambiar el tradicional dibujo a mano sobre papel eran mucho más fuertes. Un ejemplo de eso es la anécdota contada en el documental *The Pixar Story* (2007, min. 11), dirigida por Leslie Iwerks y explicada a continuación.

A inicios de 1980 un joven dibujante en los estudios Disney de nombre John Lasseter obtuvo el permiso de sus jefes para presentar un potencial proyecto mixto (animación tradicional junto con 3D) de un cuento infantil popular llamado *The brave Little toaster*. Después de ocho meses de preproducción, Lasseter y colaboradores presentaron los resultados a Edward Hansen, su jefe de producción. Al finalizar la exposición, Hansen preguntó el costo total de la película. Lasseter argumentó que, al ser una animación mixta, posiblemente no sea mayor al de producir cualquier otro proyecto tradicional. Hansen concluyó la reunión exigiendo más rapidez y ahorro de dinero para poder dar el visto bueno. Luego de una discusión causada por desacuerdos, Hansen abandonó la sala; y minutos después, Lasseter fue despedido de los estudios Disney<sup>201</sup>.

Aún así, *The brave Little toaster* fue producida por otra empresa de animación y mediante animación dibujada escena a escena. Una vez finalizada su producción fue distribuida por Disney, en 1987. Un año después de ese evento, Lasseter y otros cofundadores crearon el estudio Pixar, cuyos colaboradores ya habían tenido experiencia en los estudios LucasFilms<sup>202</sup>, que a su vez detuvo las operaciones en una de sus áreas de producción de imagen digital por un supuesto bajo rendimiento<sup>203</sup>.

Las recompensas creativas para Lasseter y colaboradores llegaron después. Un ejemplo que cambió el rumbo del 3D es el corto *The Adventures of André and Wally B.*, de 1984 (LucasFilm Computer Graphic Project, 1986)<sup>204</sup>. De casi un minuto de duración, creado inicialmente con una resolución de 512 x 488 píxeles, cuyo proceso de *render* tomó media hora por escena (Cook, Carpenter, Catmull, 1987, p. 100). *The Adventures of André and Wally B.* fue el primer ensayo animado 3D de John Lasseter dentro del departamento de animación digital de LucasFilm, después de su despido de Disney.

---

<sup>201</sup> Lasseter no volvería a pisar los estudios Disney sino hasta 1990, con la llegada de una nueva directiva que le permitió a la empresa Pixar (del que Lasseter es cofundador) abrir camino para producciones 3D.

<sup>202</sup> Productora de películas y efectos especiales para cine, fundada por el director de cine George Lucas en 1971. En 1982 fue proveedora de videojuegos para la empresa Atari. Fue comprada por los estudios Disney en el 2012.

<sup>203</sup> El director de cine George Lucas cortó el financiamiento a su división de computación digital debido a que un *software* para 3D, llamado Pixar, no daba beneficios económicos. En otras palabras, la empresa Pixar nació al desvincularse con LucasFilms. Fuente: Documental *The Pixar Story* (2007), minuto 24:15.

<sup>204</sup> Fue presentado en el SIGGRAPH de 1986 y creado por LucasFilm Computer Graphic Project, una división dedicada a los gráficos 3D que luego de vendida derivó en Pixar. Su historia completa se puede revisar en los libros *Creatividad, S.A.: Cómo llevar la inspiración hasta el infinito y más allá* (2014), escrito por Ed Catmull y Amy Wallace; y en la biografía *Jobs* (2011) de Walter Isaacson.

Para esto fue aprovechado REYES (siglas de Renders Everything You Ever Saw<sup>205</sup>), un sistema de animación y modelado básico creado por Loren Carpenter<sup>206</sup> y Robert L. Cook<sup>207</sup> entre 1981 y 1983, con financiamiento de la productora Lucasfilm Computer Division (Goodrich, 2024). REYES fue el primer *software* formal de *render* 3D usado en Disney Studios (Burley, et al., 2018, p. 1).

El evento mencionado en el párrafo anterior es clave porque, de allí en adelante, inicia la gran conquista técnica y artística del 3D. Con los desarrollos en LucasFilms y posteriormente de Pixar finaliza la ausencia de texturizados complejos y variados, mostrando ahora sí mayor versatilidad plástica del 3D.

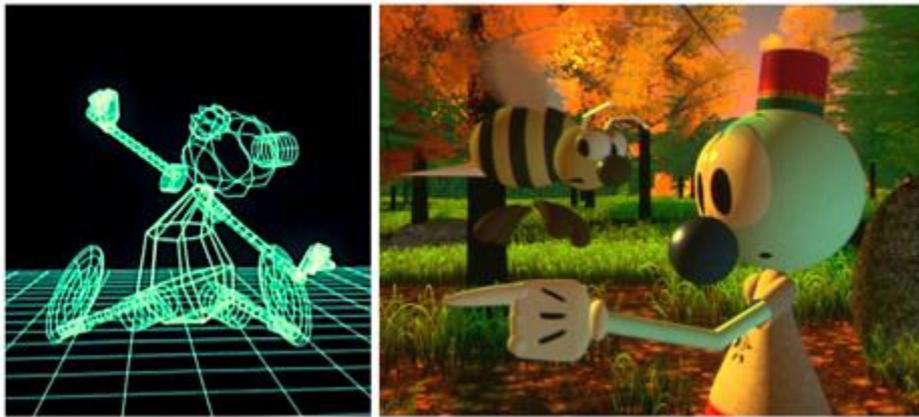


Figura 108. *Adventures of André and Wally*, 1986. Polígonos lineales de Wally y render final. Fuentes: *Ultimate History of CGI*, 2019, min. 1:59; SIGGRAPH, 2019, *Art Show Archives*.

### 3.6 Confluencia y sofisticación en 3D: REYES, Renderman, Pixar

Iniciando la década de 1980 el salto de la imagen 3D desde los laboratorios académicos hacia las pantallas de artistas digitales seguía concretándose. Un ejemplo de eso ocurrió con el propio Carpenter y su *Vol Libre* (1980), una animación con paisajes tridimensionales que simulaba un sobrevuelo en montañas, elaborado bajo pedido por la compañía Boeing. Allí se generaron algoritmos para texturas digitales de montañas y vegetación. Estas debían ser observadas simulando un punto de vista elevado. Esa automatización

---

<sup>205</sup> Renderiza todo lo que ya viste

<sup>206</sup> Estadounidense. Con un masterado en ciencias de la computación por la universidad de Washington. Inició en la empresa Boeing generando gráficos 3D. Luego colaboró en la empresa productora de cine y efectos especiales Lucasfilm en el área de Computación. Colaboró en las animaciones digitales del filme *Star Trek II: The Wrath of Khan*. Años después, en la empresa Pixar, tuvo el cargo de científico senior. Cocreador del *software* Renderman.

<sup>207</sup> Cocreador del *software* Renderman. Graduado en física por la universidad de Duke, en 1973, y en Gráficos por Computadora, en 1981, por la Universidad de Cornell, EE.UU. Cook colaboró con la productora Lucasfilm y posteriormente en desarrollo de software para los estudios Pixar. En 2009 fue elegido miembro de la Academia Nacional de Ingeniería de EE.UU.

fue basada en esquemas fractales, que son patrones geométricos infinitos que combinan curvas y rectas en repeticiones interminables.



*Figura 109. Vol Libre, 1980, de Loren C. Carpenter. Fuente: Documental The Pixar Story, 2007*

Con esas bases tecnológicas, Carpenter pasó en 1986 a la división de animación por computadora de la empresa Lucasfilm, en donde aplicó sus algoritmos para películas de ciencia ficción. Ese mismo año REYES ya era la definitiva herramienta 3D para agregar texturas complejas, pero con capacidad de procesamiento limitado (Burley, et al., 2018, p. 1).

Un año después, Carpenter y los investigadores Robert L. Cook (1952)<sup>208</sup> y Ed Catmull mentalizaron el concepto de micropolígonos digitales; como diminutas geometrías cuadrículadas (llamadas también subpíxeles) insertadas dentro de otros polígonos cuyas funciones eran realizar cálculos de luz y sombra (Cook, Carpenter, Catmull, 1987, p. 95) aportando mayor definición de texturas en una malla 3D.

Una de esas propiedades es el *Distributed ray tracing*, un método que mejoró el anterior *ray tracing* de J. Turner Whitted al recrear iluminación digital indirecta como reflejos y rebotes de luz (Christensen, Jarosz, 2014, p. 119).

REYES (el primer sistema para 3D usado en Disney Studios) derivaría luego en RenderMan (presentado en 1988 por la empresa Pixar), un sistema de renderizado y de comunicación entre uno o más equipos de desarrollo 3D (Apodaca, Gritz, 2000, p.13). RenderMan se apoyaría también en otras tecnologías

---

<sup>208</sup> Estadounidense, graduado en Física por la Universidad Duke, en 1973; y especializado en gráficos digitales por la Universidad de Cornell, en 1981. Elegido en 2009 por la Academia Estadounidense de Ingeniería por su aporte al *render* de imágenes.

propias del estudio Pixar como el programa Marionette<sup>209</sup> para animación, modelado e iluminación creado en Pixar; y RingMaster, un gestor de proyectos 3D (Carlson, 2017a, p. 330, 340).



Figura 110. Micropolígonos en sólido 3D. Esquema para insertar micropolígonos en sólido 3D digitales. Fuentes: Gráfico tomado de Cook, Carpenter, Catmull, 1987, pp. 99.

Como ya expusimos, los aportes tecnológicos de Pixar han sido claves para el futuro del 3D mundial. La historia de esta empresa estadounidense es un caso a revisar porque muestra cómo fueron equilibradas, bajo un mismo techo, los intereses artísticos y técnicos, el legado de la imagen y la animación en conjunto y el deseo de lograr beneficios económicos, presente en toda iniciativa privada.

Con el contexto ya dado, en la siguiente sección se dará respuesta a lo siguiente: ¿Cómo Pixar aprovechó el legado técnico y artístico de la imagen en movimiento? y ¿cómo influyó en la producción de imagen digital hoy en día?

### 3.7 La cima conquistada en imagen digital 3D: *Luxo Jr.*, *Red's Dream* y *Tin Toy*

Lo que será expuesto en esta sección explica una suma de hechos que resultaron en lo que se define aquí como la cima conquistada de la animación digital. Fortalecida esta por un extenso legado técnico en cuanto a animación e imagen y empujada por la necesidad artística y el deseo de fundamentarla en ciencia mediante computadoras y algoritmos de programación.

¿Por qué son tan importantes los siguientes eventos a relatar? Porque son el resultado de un extenso proceso de trabajo electrónico y criterio visual, a partir de muchas de las observaciones iniciadas siglos antes por Da Vinci, Newton, D'Arcy y Plateau y Roget; por Georges Méliès, por los Lumière, por Stuart Blackton, por Winsor McCay, por Emile Cohl, por Willis O' Brian, por Raymond Harryhausen y por supuesto por Gilmar Roberts, por Gouraud, por Bui Tuong Phong, por Sutherland, por Parke, por Newell, por Csuri y por una veintena de científicos e inventores con la mentalidad artística suficiente para crear imágenes expresivas

---

<sup>209</sup> Fue un *software* exclusivo y patentado de Pixar (al igual que los *softwares* RingMaster y RenderMan) creado en 1988 para modelado, iluminación y sombreado de geometrías 3D. Marionette fue reelaborado y nombrado como Presto, también exclusivo de Pixar, usado hoy en día para efectos especiales en cine y tv.

moviéndose por sí mismas. El gran concepto que agrupa los siguientes logros podría estar basado en la siguiente premisa: Aprovecha las técnicas ya descubiertas, pero innova y aporta basadas en ellas.

Siguiendo con el relato, luego de la separación entre Pixar<sup>210</sup> y LucasFilms a causa del contrato de producción con Disney, Pixar produjo tres cortos: primero, *Luxo Jr.*, (1986)<sup>211</sup>; segundo, *Red's Dream*, (1987) y finalmente con el corto *Tin Toy* (1988).

*Luxo Jr.* fue presentado en la conferencia Siggraph<sup>212</sup> de 1986; y un año después, fue nominado al Óscar a la categoría de Mejor Corto Animado, en competencia con los cortos de animación tradicional (dibujos pintados a mano) *The Frog, the Dog and the Devil*, de Bob Stenhouse (de 7 minutos de duración); y *A Greek Tragedy (Een griekse tragedie)*, de Willem Thijsen y Linda Van Tulden (de 6 minutos), siendo este último el ganador en esa categoría.



Figura 111. *Luxo Jr.*, de 1986. Fuente: Cook, Carpenter, Catmull, 1987, pp. 100, 101.

*Tin Toy* (1988) retorna a la animación de objetos con texturas sensibles a la iluminación, como las paredes, el piso, la piel del bebé y otros materiales. El *hardware* y *software* base fue el Pixar Image Computer, el sistema Renderman y otros equipos conocidos como Disney's Computer Animated Production System (CAPS) (Henne, Hickel, Johnson, Konishi, 1996, p. 463). Finalmente, el trabajo de cámara con planos múltiples y desplazamientos cinemáticos amplía el potencial del corto como si fuera un extracto incompleto de un filme más amplio. *Tin Toy* ganó un Óscar como Mejor Corto Animado en 1988.

---

<sup>210</sup> Pixar inició en 1986 con \$10 millones, financiado por el empresario estadounidense Steve Jobs, según el documental *The Pixar Story* (2007), minuto 26.

<sup>211</sup> *Luxo Jr.* fue el primer corto animado en ser nominado a un premio Óscar.

<sup>212</sup> La comunidad SIGGRAPH (Grupo de Interés Especial en Computación Gráfica y Técnicas Interactivas, en inglés) es una entidad que agrupa conocimiento técnico y científico para la industria audiovisual estadounidense.



Figura 112. Ejemplos de render mediante el sistema REYES, de Pixar. Fuentes: Cook, Carpenter, Catmull, 1987, pp.100, 101.

### 3.8 Nuevos hitos de la investigación académica en *render* 3D: 1980-1990.

A finales de 1980 fueron logrados importantes aportes en la iluminación para imágenes 3D. Esto resultó en mejores algoritmos, como el *Rendering equation*, desarrollado por David Immel y James Kajiya<sup>213</sup> en 1986 (Carlson, 2017a, p. 588, 751). Este mejoró el cálculo de la luz entrante, saliente y reflejada mediante ecuaciones de energía lumínica, más realista, basada en la técnica *radiosity*, desarrollada por investigadores de la Universidad de Cornell, EE.UU., entre 1984 y 1988 (Carlson, 2017a, p. 131, 590, 747). Un ejemplo de ese resultado es la imagen resultante del *render* conocida como *The Radiosity Factory*.

La imagen del *Radiosity Factory* muestra el interior de una fábrica 3D con armazones y plataformas creadas sin texturas junto a iluminación digital desde el techo. Allí radica su innovación al crear una atmósfera que ilumina progresivamente los intrincados volúmenes de las maquinarias. En 1987 la generación de esta imagen requirió 190 horas con un gigante sistema VAX 8700, de 256 megabytes de RAM con un precio de \$592 mil<sup>214</sup> (ComputerWorld, 1987).



Figura 113. Render mediante técnica *radiosity*, 1980. Izquierda, la Caja Cornell. Derecha, *The Radiosity Factory*, resultado de las investigaciones en iluminación y renderización en la Universidad de Cornell a finales de 1980. Fuente: Carlson, 2017a, p. 2, 131, 133.

<sup>213</sup> Jim Kajiya tiene un PhD en Ingeniería por la Universidad de Utah. Fue director de investigación para Microsoft en 1997. Desarrolló algoritmos para el procesamiento del renderizado de una imagen 3D. Aportó también en el mejoramiento del anti aliasing (evitar la distorsión de píxeles) por ejemplo, para mostrar texto más nítido en una pantalla.

<sup>214</sup> Ver *Large and medium-scale systems, Spotlight. Product: VAX 8700, DEC, base price.*

En paralelo, a inicios de 1990 un director de videos y modelador 3D de nombre Chris Landreth, de la Universidad de Illinois ya exponía personajes tridimensionales humanizados con resaltadas gestualidades al aprovechar el sistema *Maya* (Autodesk). Entre 1998 y 1993 creó el corto *Data Driven: The Story of Franz K.* y *Bingo* (Landreth ya había sido nominado al Oscar en 1996 por el corto *The End*) (Carlson, 2017a, p. 605). Gracias al nuevo *software*, Landreth pasó de estructuras geometrizadas a un modelado más orgánico. Los rostros presentaron nuevos gestos como si el modelador tuviera acceso a los músculos internos de las mandíbulas, cejas y frente.



Figura 114. Render para gestos faciales en 3D. Desde arriba, *Data Driven: The Story of Franz K.*, de 1993; *The End*, 1996 y *Bingo*, 1998. Fuente: Carlson, 2017a, pp. 605, 606, 607. Videos tomados de YouTube.

Todo esto ocurría mientras otros investigadores como James Kajiya<sup>215</sup>, Timothy Kay<sup>216</sup>, Wayne E. Carlson<sup>217</sup> y Edwin Tripp III<sup>218</sup> aportaron con nuevas ecuaciones para recrear detalles más finos como cabello

---

<sup>215</sup> Fue director de investigación para Microsoft en 1997. Desarrolló algoritmos para el mejoramiento del anti aliasing (evitar la distorsión de píxeles).

<sup>216</sup> Estadounidense, PhD. en 1992 en gráficos 3D por el instituto CalTech.

<sup>217</sup> Fue profesor emérito en la Universidad Estatal en Ohio, (EE.UU.). Fue director del Advanced Computing Center for the Arts and Design en la propia universidad.

<sup>218</sup> Graduado de Ingeniería eléctrica y matemáticas por la Universidad Estatal de Carolina del Norte (EE.UU.) y por el MIT. Trabajó entre 1982 y 1986 en desarrollo de gráficos digitales en la empresa Cranston/Csuri Productions; y como

y pelaje. Sus propuestas evolucionarán en 2003 gracias a experimentos en cabello digital (Pekelis, Hery, Villemin, Ling, 2015, p.1), usados en la versión 3D del filme *The King Lion* (Disney, 1994) y *Zootopia*, (2016). Pero antes del 2000 algunos resultados en 3D aún eran poco precisos pero fascinantes para esos años debido, por ejemplo, a la iluminación de texturas (Yang, Ouhyoung, 1997, pp. 1, 8).

### 3.9 Primeras aplicaciones de efectos con objetos 3D en cine y series

Ya expusimos que la plasticidad del 3D emocionó a los profesionales de la industria publicitaria estadounidense a inicios de 1980, debido a las posibilidades de combinar historia y ficción, con personajes de apariencia *verosímil* a diferencia de las animaciones tradicionales 2D, estilizadas y generalmente dirigida a un público infantil.

Así ocurrió en el filme *Young Sherlock Holmes* (1985). Este último renderizado a 1024 x 614 píxeles de resolución bajo una consola Computer Consoles Inc. (CCI) más potente que la VAX 11/780 (Cook, Carpenter, Catmull, 1987, p.100), (ComputerWorld, 1987, p. 61).



Figura 115. Animaciones 3D con captura de movimiento, entre 1985 y 1990. Secuencia de *Young Sherlock Holmes* (1985). Fuentes: Carlson, 2017a, p. 424. Escena de programa del canal de YouTube Film 86, min 2:15

La fórmula de la animación 3D dentro de producciones televisivas para jóvenes iba a tener sus primeras propuestas, pero debían esperar hasta finales del 2005 para que empiecen a crecer en técnica. Dos de las más notables series de tv con total predominio de gráficos tridimensionales por computadora entre 1993 y 1994 fueron *Insektors* de la productora francesa Studio Fantone y dirigida por Renato G. LaCroix; y *ReBoot* (1994) de la canadiense MainFrame Entertainment.

---

director asistente en la Computer Graphics Research Group en la Universidad Estatal de Ohio, entre 1982 y 1993. Entre 1992 y 2008 trabajó como consultor en ingeniería de *software*.

En *Insektors* abundan las texturas vegetales 3D de tonos parduscos en un mundo de insectos; y en *ReBoot*, un 3D para niños con cuatro temporadas de duración (O'Neill, 2016, p. 27), es mostrada topología facial en personajes con expresiones casi robóticas. En esa serie la presencia de texturas está limitada a rocas o asteroides. Algunas de esas limitaciones debieron acelerar el proceso de *render* para alcanzar los reducidos tiempos de entrega o por los limitados presupuestos para televisión.



Figura 116. Series para niños con animación 3D, 1993 y 1994. Izquierda Izquierda, serie *Insektors*, dirigida por Renato G. LaCroix, 1993. Derecha, serie *ReBoot*, MainFrame Studios, 1994. Fuente: (O'Neill, 2016, p. 27).

### 3.10 Inicio de la confluencia técnico-artística 3D en filmes

Como expusimos en el capítulo I, los complejos engranajes políticos-estatales-científicos en EE.UU. financiaron entre 1950 y 1980 los más importantes trofeos tecnológicos para el 3D y la imagen digital.

Ahora será el turno de la empresa privada. Entre 1987 y 1999 los estudios Pixar, DreamWorks y Warner Bros. produjeron películas animadas gracias al legado técnico generado durante ocho décadas (desde los primeros ensayos con *stop motion* en 1900 hasta los gráficos 3D en películas y videos musicales de 1985). Así se tienen como ejemplos los filmes *Toy Story* (1995), *A Bug's Life* (1998) y *Toy Story 2* (1999).

Cuatro años tomó crear y producir *Toy Story* con treinta animadores, dibujantes e iluminadores digitales. El documento *The Making of Toy Story* revela detalles del sistema de producción especialmente en *render* (Henne, Hickel, Johnson, Konishi, 1996, p. 466). En las etapas previas se estableció qué texturas deberían usarse, si debían verse nuevas o usadas, reflectivas o brillantes. *Toy Story* fue estrenada en 1995 con una recaudación final de \$361 millones (Zorthian, 2015).

Su éxito abrió puertas a más proyectos. Siguiéron los filmes *A Bug's Life* (1998), *Monster Inc.*, (2001), *Cars* (2006), *Ratatouille* (2007), *Finding Nemo* (2003), *The Incredibles* (2004), *Wall-E* (2008), *Up* (2009), *Toy Story 3* (2010).

En esos años Pixar ya contaba con su propio conjunto de códigos (librerías) alterables según cada necesidad de animación (Henne, Hickel, Johnson, Konishi, 1996, p. 466). Muchos de los modelados digitales fueron creados en el *software* Marionette, exclusivo de Pixar, ejecutado desde computadores *Silicon Graphics Indigo 2*. Este software fue accesible tanto para artistas modeladores sin base de programación, como para técnicos avanzados en codificación, con capacidad de construir sus propios módulos de control para diversos usos, pero siempre dentro de las paredes de Pixar.

Otro sistema desarrollado dentro de Pixar fue Ringmaster. Este automatizaba la creación de los modelados 3D, la edición de escenas y facilitaba la colaboración de profesionales desde diversos equipos; es decir, registraba y ordenaba texturas y dirigía el proceso de *render* hacia otras computadoras para no cargar ese proceso en un solo equipo. Allí nació el concepto del *Render Farm*. Esta es una estrategia que consiste en conformar una red de más de una docena de computadores, trabajando el *render* en tiempo real y con alto procesamiento. El objetivo es sumar cerebro de cómputo en una gran malla de máquinas para agilizar un proyecto con alto procesamiento, como un largometraje animado de una hora.



Figura 117. *Toy Story*, 1995. Arriba, un primer modelado del personaje Woody, de *ToyStory*, para una evaluación técnica en 1989. Centro, evaluación de personajes (1992). Abajo, escena de la película original. Fuente: Fotogramas obtenidos de videos en Youtube. Documental *The Pixar Story* (2007), minuto 35:55

Otras compañías como DreamWorks y Warner Bros. aportaron con filmes 3D muy elaborados como *Antz* (1998) y *The Iron Giant* (1999). Este último es especial por la combinación de ambientes y animaciones 2D junto con el modelado 3D del robot gigante. La perspectiva realista y la apariencia mecanizada del personaje no pudo haber sido logrado únicamente con dibujo 2D (Robertson, 1999).

Las formas del personaje robotizado fueron creadas en Maya (Autodesk) y Animo (Cambridge Animation System); luego renderizado en modo *cartoon* desde Renderman (Pixar), con volúmenes delineados. La unión de 2D y 3D, llamada animación híbrida, permite combinar digitalización 2D en dibujo y coloreado (O'Hailey, 2010, p. 5).

Esa fusión de elementos híbridos ya había sido establecida en el corto nominado al Óscar *Technological Threat*, de 1988, producido por Bill Kroyer<sup>219</sup> Films, en donde las secuencias reúnen animaciones dibujadas junto con personajes creados y animados en computadora (modelo Silicon Graphics IRIS 3120); también desde el filme *Off His Rockers*, de Disney. Otros filmes fueron *The Great Mouse Detective* (1986), de Disney y *The Black Cauldron* (1985).



Figura 118. Ejemplos de animación híbrida (2D y 3D). Derecha, *The Iron Giant* (1999). Izquierda, los cortos *Technological Threat* (1988), y *Off His Rockers* (1992). Fuente: (O'Hailey, 2010, p. 5).

<sup>219</sup> Estadounidense. Produjo animaciones digitales para comerciales y películas. Trabajó en Disney en 1977, lo que le llevó a crear efectos visuales en la película (1982). Trabajó como animador de efectos visuales en las películas *Rugrats in Paris: The Movie* (2000) y *The Flintstones in Viva Rock Vegas* (2000). Actualmente es director de artes digitales en la Universidad Chapman, EE. UU.

### 3.11 Motores de *render* como complemento a la producción 3D

Los motores de *render* (*render engines*) reúnen algoritmos e interfaces de pantalla comunes a cualquier otro equipo para diseño o animación digital. Hoy en día es común que muchos estudios de producción desarrollen (y vendan) sus propios motores según lo que necesite la industria. Estas necesidades pueden ser desde simular volúmenes como líquidos, humo, evaporaciones, reflexiones de luz, efectos de pelaje en animales, efectos de explosiones, efectos climáticos, entre otros.

El motor de *render* Houdini (SideFX<sup>220</sup>) fue clave desde los inicios de Pixar. Houdini presenta la capacidad de recrear como nubes y humo digital (Siggraph Asia, 2018, p. 6, 28, 33). Otro motor de *render* es Katana<sup>221</sup>. Allí, los volúmenes son creados por separado para mayor eficiencia mediante integración del sistema Renderman (SIGGRAPH ASIA, 2018, p. 12).

Con la cantidad de tecnologías de *render* disponibles en la industria de la imagen 3D en EE. UU. algunos estudios empezaron a usarlas combinadas. Esa forma de trabajo es conocida como renderizado híbrido, lograda al usar tecnologías como el path tracing<sup>222</sup>.



Figura 119. Render con el software Houdini. Arriba, renderizado de nubes para *Cars 3* (2018). Abajo, Izquierda, renderizado híbrido (Scan-line y ray trace) en *Toy Story* (1995). Derecha, renderizado con path-tracing en *Finding Dory* (2016). Fuente: SIGGRAPH ASIA, 2018, p. 6; Christensen, Jarosz, 2014, p. 105.

<sup>220</sup> El *software* Houdini es propiedad de la empresa SideFx. Es un editor de modelado, iluminación, rigging, efectos especiales para cine y motor de videojuegos. Tiene una versión simplificada gratuita y también de pago. Tomado de <https://www.sidefx.com/>

<sup>221</sup> *Software* de *render*, iluminación y organizador de flujo de trabajo, creado por la empresa Foundry.

<sup>222</sup> Anglicismo técnico que refiere a los cálculos y predicciones matemáticas para que las partículas de luz tracen mediante vectores (movimientos lineales) su influencia lumínica sobre varias superficies.

Ejemplos de path tracing son muchas de las escenas en el filme *Finding Dory* (2016). Este es un conjunto de algoritmos que calculan sombras, reflexiones de luz (cambio de dirección de un rayo de luz al golpear un objeto), refracciones (cuando la luz atraviesa una masa líquida) y luz difusa indirecta (similar a la luz de un día nublado) en un solo proceso (Christensen, Jarosz, 2014, p. 105).

El render path tracing fue basado en las teorías usadas décadas antes para conocer, desde la física teórica, el comportamiento de las partículas de luz (fotones) y su energía. Las bases de esos estudios nacieron del trabajo científico de los matemáticos Stanislaw Ulam<sup>223</sup> (1909-1984) y John von Neumann<sup>224</sup> (1903-1957) (Eckhardt, 1987); que años después fueron tomadas en cuenta por un estudiante de doctorado de la Universidad de Utah, Jim Kajiya, en 1986.

El path tracing resultó versátil para *render* de pelaje y volúmenes como nubes y humo, pero que puede crear granulado en ciertas imágenes (Christensen, Jarosz, 2014, p. 110, 127, 151). Una propiedad adicional del path tracing es el cálculo de la variación geométrica mediante un rastreo constante de píxeles llamado *Volume path tracing* (SIGGRAPH ASIA, 2018, p. 18). El path tracing se aplicó también en el corto *Bunny* (1998) con logros en la iluminación difusa; y en *Monster House* (Amblin, 2006), el primer largometraje creado con esos algoritmos (Christensen, Jarosz, 2014, p. 114).



Figura 120. *Monster house* (2006). Fuente: Amblin Entertainment, canal de YouTube.

---

<sup>223</sup> Polaco. Llegó a EE.UU. en 1939 ya graduado como doctor en matemáticas. A la mitad de la II Guerra Mundial fue invitado a participar como matemático en el Proyecto Manhattan, cuyo objetivo era construir una bomba atómica para ser usada por EE.UU. Luego de la guerra trabajó como docente y autor de libros acerca de física y matemáticas.

<sup>224</sup> Húngaro. Muy joven se doctoró en matemáticas por la Universidad de Budapest y luego en química por la Escuela Politécnica Federal de Zúrich. Fue invitado por el gobierno de EE. UU. a colaborar en el Proyecto Manhattan como asociado científico. Junto con Stanislaw Ulam crearon y publicaron métodos matemáticos para simulación de energía hidrodinámica.

Un *software* estándar que ha aprovechado el path tracing es Arnold, de Autodesk. Este motor de *render* contiene una actualización de unos anteriores algoritmos de renderizado conocidos como Montecarlo. Estos estiman el promedio de los valores de iluminación y sombra según la densidad de píxeles.

En resumen, el path tracing es la técnica estándar en *render* de iluminación para películas hoy en día, siempre que exista la combinación de otros algoritmos y suficiente poder de procesamiento de cómputo (Christensen, Jarosz, 2014, p. 151).

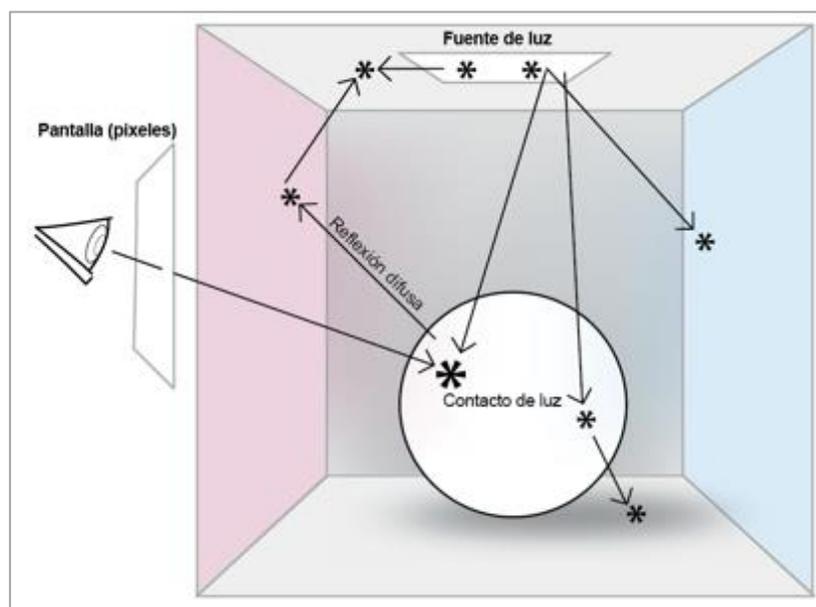


Figura 121. Explicación de render con Path-tracing Los rayos que calcularán el comportamiento de la luz nacen desde el plano de la cámara, y no desde la fuente luminica. Fuente: Basado en Christensen, Jarosz, 2014, p. 111. Elaboración propia.

### 3.12 Render en cine 3D

Con la tecnología 3D ya consolidada a inicios del siglo XXI había algo seguro: el nuevo nivel de narrativa y entretenimiento debía ser aprovechado desde la narración de personajes, colores, luces, sombras y texturas.

Con el 3D el espectador ya no debe completar visualmente los ambientes dibujados a lápiz y coloreados con tintas como en las películas animadas en blanco y negro de Georges Méliès o Stuart Blackton, en 1890. En esas producciones el público sabía que estaba ante una artesanía de dibujantes y animadores talentosos. Pero en el cine 3D actual todo es confusamente táctil y real.

Como ejemplo de eso están los filmes *Shrek 2* (DreamWorks, 2004) donde ensayaron el *Distributed ray tracing*, un *render* para cálculo de iluminación directa y difusa, una técnica aprovechada también en la película

*Monster University* (Pixar, 2013). Años después, en 2010, este método debió ser mejorado debido a las inconsistencias en texturas, por el costo en tiempo de proceso y por la gran necesidad de almacenamiento en memoria (Burley, et al., 2018, p. 1).



Figura 122. Filmes 3D con render raytrace Fuentes: Christensen, Jarosz, 2014, p. 120.

Una nueva técnica desde los motores de *render* es el mapeo de fotones (photon mapping<sup>225</sup>), derivada del *path tracing* y también incluida en el motor de *render* de Studios Disney, el Hyperion<sup>226</sup>. Este *software* contiene tres procesos propios: iluminación indirecta (rebote de luz), difusa (iluminación similar a un día nublado) y cáusticos.

Los cáusticos se refieren al efecto de luz brillante desde el interior de los materiales acuosos o traslúcidos, similares a los patrones de luz observados en la profundidad del mar. El *photon mapping* actúa de la siguiente manera: Primero, emite partículas digitales de luz (fotones virtuales) desde las fuentes de iluminación hasta el sólido y luego almacena datos de luz-material-textura.

Segundo, estos datos son organizados en un mapa de puntos de luz. Tercero, se renderizan según toda la información obtenida, como la densidad de fotones y la potencia de la luz indirecta (Christensen, Jarosz, 2014, p. 121). Sin embargo, esta técnica requiere más carga de proceso RAM al calcular la ubicación de todos los fotones (Griggs, 2018, p. 36). Se espera que esos inconvenientes mejoren según los sistemas

---

<sup>225</sup> Técnica de iluminación global cuyos algoritmos iluminan escenas de forma rápida y con menos recursos. Fue creado por el profesor, autor y conferencista de la Universidad de San Diego, EE.UU., Henrik Wann Jensen. Sus hallazgos en 3D se han publicado en su libro *Realistic Image Synthesis Using Photon Mapping*, del 2001. Tomado de <http://graphics.ucsd.edu/~henrik/papers/>

<sup>226</sup> *Software* de *render* exclusivo de Disney Studios creado entre el 2012 y 2013.

obtengan mayor capacidad y documentación. El photon mapping fue aplicado en la mayoría de las secuencias de *Moana* (Disney, 2016).



Imagen 123. Renderizado mediante *photo mapping*. Arriba, *Tangled* (Disney, 2017), y *Frozen* (2013). Abajo, render con *photo mapping* en *Moana* (Disney, 2016). Fuentes: Christensen, Jarosz, 2014, p. 121. Burley, et al., 2018, p. 1

Otra técnica de *render* para iluminación es el Point-based global illumination<sup>227</sup> (Christensen, Jarosz, 2014, p. 125). Las investigaciones que la fundamentaron fueron causa de reconocimiento técnico. Por ejemplo, en 2010, Christophe Hery, Per Christensen y Michael Bunnell, miembros del equipo de la empresa Industrial Light & Magic obtuvieron un Óscar por logro científico y de ingeniería por desarrollos con el Point-based global illumination.

El Point-based global illumination es una representación conjunta de diminutos puntos de iluminación indirecta (llamados nube de puntos o point cloud) repartidos en todas las superficies presentes en una escena 3D. Esta técnica comprende dos conceptos: primero, uso del surfel (porción de superficie con

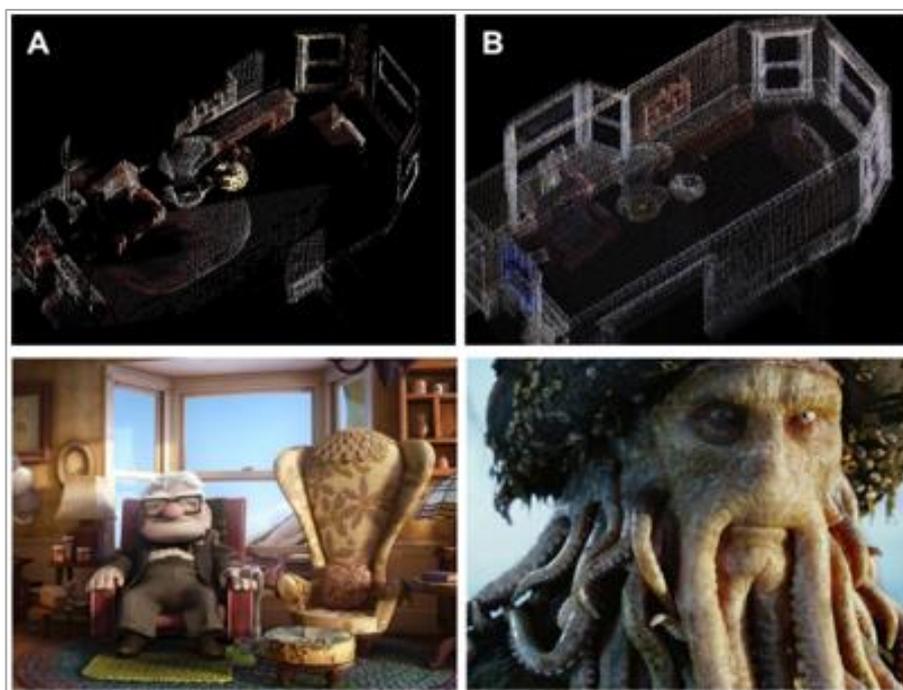
---

<sup>227</sup> Técnica de *render* para iluminación difusa digital. Presentada por primera vez en una conferencia SIGGRAPH del año 2010 por Per H. Christensen, de los estudios Pixar. Tomado de <https://graphics.pixar.com/library/PointBasedGlobalIlluminationForMovieProduction/paper.pdf>

información específica de color y geometría); y segundo, el uso de una jerarquía de conglomerados (cluster hierarchy), que es una organización de puntos de iluminación.

En el Point-based global illumination son sumados datos a partir de los point clouds y de la cantidad de luz reflejada en la superficie de cada píxel. Esta técnica fue usada en *Up* (Pixar, 2009) y en *Pirates of the Caribbean 2: Dead Man's Chest*, (ILM, 2006). La iluminación global basada en puntos también puede aplicarse mediante selección de área de colores determinados (key light) y en porciones específicas de luces (fill lights) (Christensen, Jarosz, 2014, p. 124).

Como ventajas de esta técnica se tiene que la nube de puntos es alojada en una memoria caché (una porción de la memoria RAM de un sistema, disponible para agilizar tareas repetitivas); y que la iluminación indirecta no es mostrada granulada.



*Figura 124. Ejemplo de point-based global illumination. Arriba, (A), render con keylight; (B), render con fill lights. Abajo, Up (Pixar, 2009) y Pirates of the Caribbean 2: Dead Man's Chest, (ILM, 2006). Fuentes: Christensen, Jarosz, 2014, p. 124.*

Por otro lado, en cuanto al sombreado e iluminación de cabello y pelo digital 3D, su representación aún es un desafío, tanto si es cabello o pelaje animal, oscuro o claro. Una técnica probada para ese tipo de representación es la del Monte Carlo path tracing<sup>228</sup>. El nombre Monte Carlo se refiere al nombre dado a las

<sup>228</sup> Es un conjunto de algoritmos de render que calcula la mejor ruta para vincular emisores y receptores de luz digital mediante el comportamiento de neutrones. Fue ideado por primera vez por Stan Ulam y John von Neumann en 1983, al evaluar el comportamiento de la radiación e interpretarlo matemáticamente. Su metodología y algoritmos se han

ecuaciones creadas por investigadores estadounidenses en 1946 para el cálculo de interacciones entre átomos. El método Monte Carlo reúne algoritmos de aleatoriedad y probabilidad de protones, usados en EE. UU. durante investigaciones nucleares en 1950 y posteriormente para gráficos en computadora (Kalos, Whitlock, 2008, p. 1), (Eckhardt, 1987). Una desventaja en su aplicación es la presencia de fórmulas matemáticas complejas que aún hoy se intentan simplificar (Chiang, Bitterli, Tappan, Burley, 2016, p. 1).

El Monte Carlo path tracing logra un realismo óptimo en texturas que simulen algún tipo de pelaje (Christensen, Jarosz, 2014, p. 139). Ejemplos en cine son el pelaje del conejo en el filme *Alice in Wonderland* (2010) renderizado en el motor de *render* Arnold; y la textura esponjosa de la oveja de *Zootopia* (Disney, 2016), renderizado en el motor Hyperion, del mismo estudio (Christensen, Jarosz, 2014, p. 140).



Figura 125. Path-tracing para simulación de pelaje. Arriba, renderizado con path-tracing. Abajo, el conejo en *Alice in Wonderland* (2010) renderizado en Arnold. Izquierda, escena de *Zootopia* (2016) renderizada en Hyperion. Fuentes: Christensen, Jarosz, (2014, p. 140); Chiang, Bitterli, Tappan, Burley, (2016, p. 2, 6).

publicado por los autores James Kajiya en el documento *Rendering Equation* (1986), por L. Carter y E. Cashwell en el libro *Particle-Transport Simulation with the Monte Carlo Methods*.

Otra técnica de *render* para cine es el *ray tracing*, replanteado por Disney Studios en búsqueda de un alto realismo mediante su motor Hyperion (Disney's Hyperion Renderer, 2019). Uno de esos replanteos es el *Ray reordering and sorting*<sup>229</sup> (Christensen, Jarosz, 2014). Este sistema resuelve renderizados complejos con múltiples fuentes de iluminación. Maneja millones de rayos virtuales de luz según el tipo de contacto con las superficies 3D. Luego, el sistema los agrupa según dirección, región y tipo de impacto de luz (llamado clasificación por lotes o *ray-sorting framework*) y finalmente son renderizados dando un eficaz manejo de procesamiento de luz y sombra (cada gran lote puede tener 30 millones de rayos) (Christensen, Jarosz, 2014, p. 136).

La eficacia del *Ray reordering and sorting* fue comprobada al renderizar escenas de 800 x 500 píxeles con 70 millones de polígonos y 13Gb en texturas, en un sistema de 12-núcleos Xeon 5675 con 48 Gb de memoria (Eisenacher, Nichols, Selle, Burley, 2013, p. 4).

Un caso documentado es la producción de la película *Big Hero* (Disney, 2014). En la escena de la ciudad alumbrada están agrupados medio millón de fuentes de iluminación, entre luces de vehículos y de neón. Fueron procesados mucho antes del *render* final, con 100.000 nodos de iluminación alojados en la memoria del *hardware* (Burley, et al., 2018, p. 5).



Figura 126. *Ray reordering and sorting* en filme 3D. Secuencia de la ciudad de San Francisco en el filme *Big Hero* (Disney, 2014). Fuentes: Christensen, Jarosz, 2014, p. 136.

Por otro lado, en *Zootopia* (Disney, 2016) el desafío fue crear texturas de animales de un conjunto de 64 especies y en 157 personajes, incluso con más de mil de ellos en una sola toma (Burley, et al., 2018, p. 7). La experiencia técnica acumulada hasta ese momento no permitía diferenciar la cantidad de especies presentes en la película.

<sup>229</sup> Reordenación y clasificación de rayos, en español

Es así que el motor de *render* Hyperion<sup>230</sup> accedió a los algoritmos que permitían crear textura y color, más la creación de ciertas porciones de pelo mediante *B-Splines*, líneas creadas mediante puntos de control que otorgan niveles de suavidad o dureza en las curvas (Burley, et al., 2018, p. 7).



Figura 127. Texturas para filmes desde motor de *render* Hyperion. Render de texturas en motor Hyperion. *Zootopia* (2016) requirió, entre otros, múltiples luces difusas (no luces directas) y corrección intuitiva de color para las representaciones de pelaje. Fuente: Burley, et al., 2018, p. 7

Nuevos enfoques han propuesto más métodos de *render*. Del *path-traced global illumination*, bastante usado por su resultado realista en grandes productoras fílmicas como Disney<sup>231</sup> derivó en el *physically based rendering*<sup>232</sup> (PBR) (Burley, et al., 2018, p. 1). El PBR está basado en la física formal. Comprende algoritmos de sombreado (*shading*) que permiten alcanzar realismo según ecuaciones de partículas. Entre estos fenómenos están la emisión (cuando la luz es creada desde una lámpara o una vela), absorción (la luz traspasa un medio homogéneo, como el agua o el cristal), difusión (la luz traspasa o choca en un medio heterogéneo como la neblina o el plástico duro), reflexión (la luz rebota sobre un material brillante como el acero), además del fenómeno de la conservación de energía (Ratkovic, 2017, p.1), es decir, solo hay esfuerzo de iluminación únicamente donde sea necesario.

Otra técnica derivada del *physically-based ray tracing*<sup>233</sup> está en el motor de *render* Arnold. Según una reseña en el sitio web [fxguide.com](http://fxguide.com) (Seymour, 2012), Arnold inició como un proyecto de *software* llamado

---

<sup>230</sup> Motor de *render* creado por los estudios Disney entre 2012 y 2013.

<sup>231</sup> "Walt Disney Animation Studios has transitioned to path-traced global illumination as part of a progression of brute-force physically based rendering in the name of artist efficiency". Traducido: "Walt Disney Animation Studios ha hecho la transición a la iluminación global trazada como parte de una progresión de representación física basada en fuerza bruta en nombre de la eficiencia del artista" (Burley, et al., 2018, p. 1).

<sup>232</sup> *Software* para *render* fotorrealista mediante simulación de reflectividad de la luz en texturas irregulares.

<sup>233</sup> Refiere a la simulación del comportamiento de las partículas de luz mediante los algoritmos de trazado de rayos

RenderAPI, creado por el ingeniero español Marcos Fajardo<sup>234</sup> en 1997 e inspirado por su interés en la imagen digital cuando empezó a documentarse de la técnica ray tracing. En 2001 Arnold fue usado para el *render* de la película *50 Percent Grey*, dirigida por el irlandés Ruairi Robinson y en 2009 Sony Pictures usó Arnold para la película *Cloudy with a Chance of Meatballs*, dirigida por los estadounidenses Phil Lord y Christopher Miller.

Además de las propuestas estándar de una mejor gestión de memoria, uso del disco duro y ejecución desde múltiples procesadores, el motor Arnold (Autodesk) que facilita la personalización de *render* (Griggs, 2018, p. 36). Por ejemplo, al limpiar de granulado en las sombras indirectas y difusas; o al dar control de desenfoque por movimiento (Griggs, 2018, p. 93).



*Figura 128. Motor de render Arnold y ejemplo de dispersión de luz. Derecha, ambiente acuático con neblina. Izquierda, el mismo ambiente con simulación de rayos de luz y dispersión. Fuente: Griggs, 2018, p. 93.*

Filmes 3D recientes como *WarCraft* (2013), también aprovecharon el motor de *render* Arnold. Un caso especial son las librerías de sombreado del *Arnold Standard Hair*<sup>235</sup>, un sistema basado en el sombreado difuso para cabello. Existen dos tipos de difusión: directa, direccionada hacia un punto fijo del objeto; e indirecta, al

---

<sup>234</sup> Español. Ingeniero en Informática de Sistemas por la Universidad de Málaga en 1996. Trabajó como Arquitecto de *software* para Sony Pictures entre 2005 y 2010. Fundó la empresa Solid Angle, con operaciones en Madrid y Londres entre 2009 y 2016. Allí Fajardo trabajó en investigación para *software* de render. Trabajó como Arquitecto de *software* para la empresa Autodesk hasta el 2020; donde finalmente vendió Solid Angle. Actualmente dirige The Frank Barton, un estudio de animación en España.

<sup>235</sup> Las librerías de código son *software* que pueden ser agregados a otro para ampliar las prestaciones. El Arnold Standard Hair permite alterar el color (de una porción o de toda la textura) del conjunto de cabello. Eso es posible mediante el ajuste de un valor llamado melanina (el nombre del pigmento natural que da color al cabello humano). También es posible ajustar el efecto de reflexión especular, que es el efecto encargado de simular el brillo tubular de las hebras del cabello, especialmente cuando el cabello se muestra peinado, mojado o con algún otro tinte. Otro ajuste posible es el de refracción, que es el efecto de la luz atravesando el conjunto de cabellos, por ejemplo, cuando está delante de una fuente de luz intensa (Autodesk Arnold, 2024).

recibir el reflejo del color de algún objeto cercano). El *Arnold Standard Hair* reúne controles para texturas, índices de refracción, configuración de brillo y de parámetros de melanina (más oscuro o claro).

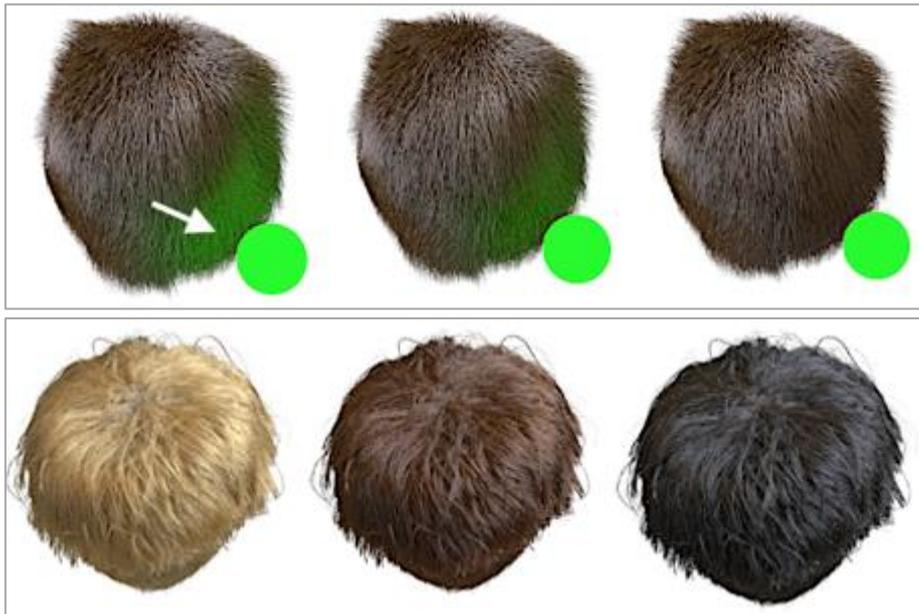


Figura 129. Motor de render *Arnold* para aplicar texturas de cabello. Ejemplos de control de luz indirecta difusa (arriba) y de cantidad de melanina (abajo). Fuentes: *Arnold* (2018).

Las ecuaciones para *render* de iluminación de alto rango dinámico (*High-dynamic-range*, HDR) sirven para ampliar la gama de tonos oscuros y tonos claros en una imagen. Contienen información de luminancia (cantidad o intensidad de luz que el ojo puede percibir en un entorno real) con una posibilidad de matices más allá de los 8 bits (256 matices posibles) y hasta de 32 bits, es decir,  $4^{294.697.295}$  de posibilidades de matices de color (Beane, 2012, p. 242). Aunque muchos dispositivos admiten un rango amplio o reducido de colores, se espera que esa capacidad mejore a mediano plazo (Kuang, et al., 2006, p. 1, 2).



Figura 130. Render de iluminación de alto rango dinámico. Filme Iron Man (2008), con materiales iluminados en HDR.

Fuentes: Christensen, Jarosz, 2014, p. 148.

Actualmente la fortaleza de los grandes estudios y productoras no es únicamente el *hardware* que usan. También es la capacidad de desarrollar *sus propias herramientas* a la medida de cada proyecto. Esta capacidad nace por la conformación de los equipos de producción con personal experimentado en programación, centrados únicamente en el desempeño gráfico de los sistemas y en el conocimiento de lenguajes dedicados a ese objetivo.

Otro ejemplo de desarrollo interno de tecnologías es el creado por el estudio Moving Picture Company (MPC). Este colaboró en la producción del filme *El libro de la Selva* (2016) mediante su desarrollo para composición de escenas llamado *RenderFlow*<sup>236</sup> (Romeo, 2016). Este *software* crea previsualizaciones de escenas a partir de nodos o fases. Es decir, una o varias escenas puede reutilizar porciones de secuencias ya renderizadas (con información de profundidad, iluminación y color ya establecidas), también pueden ser modificadas y actualizadas en tiempo real y añadirlas a las nuevas composiciones (Romeo, 2016).

El *RenderFlow* logra esa reutilización de procesos dividiendo por capas (*layers*) componentes visuales como paisajes, personajes u objetos de la escena; que luego serán recompuestos en el *render* final. En la figura 131 (abajo) es mostrado un previsualizado 3D del filme *El Libro de la Selva* (2016). Para agilizar únicamente el render de la caminata de los animales, el área que señala cada flecha roja no es renderizado durante esa previsualización. Y en la imagen inferior se expone una secuencia del mismo filme en el sistema *RenderFlow*.

---

<sup>236</sup> Sistema de *render* por redes de computadores, adaptable a cualquier *software* de modelado o de *render* 3D.

Los colores representan un nivel de detalle elaborado de la escena. Todas las escenas serán actualizadas y visualizables posteriormente en una red multicolaborativa según el avance del proceso.

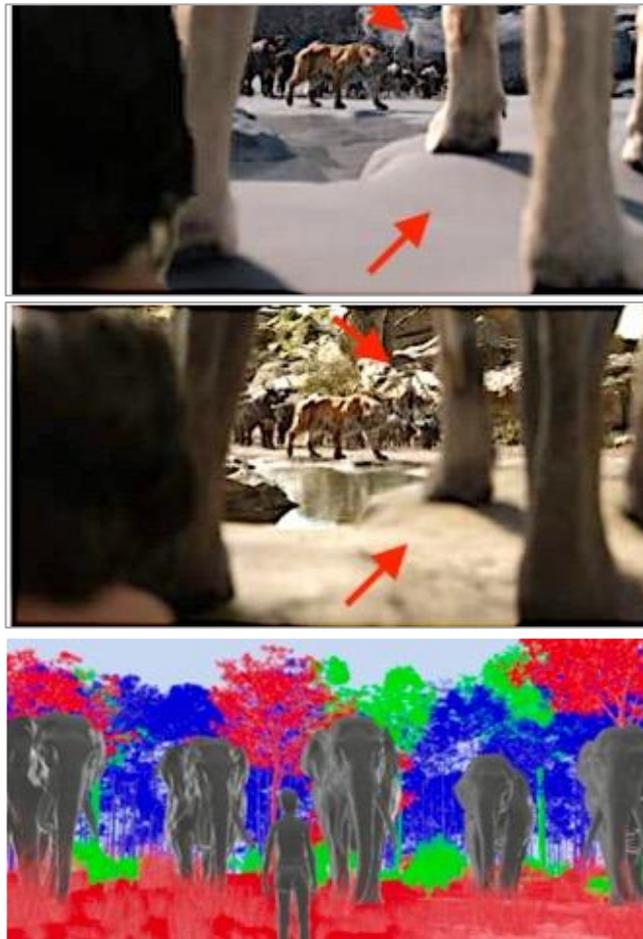


Figura 131. Aplicación de RenderFlow en el filme 3D *El libro de la Selva*. Fuente: Auty, Chazot, Hernández, Romeo, 2016, p.1; Romeo, 2016.

La experiencia del estudio MPC fue aprovechada en la película *El Rey León* (Disney, 2019). Pero como en toda producción de Disney, fueron los sistemas RenderMan e Hyperion los que completaron el trabajo. RenderMan aportó con el *Marschner Advanced Hair Shading* (MHS), el resultado de una evolución de treinta años en algoritmos de renderizado de texturas de pelaje y cabello desde los primeros estudios de Kajiya y Kay en 1989.

El *Marschner Hair Shading* es un conjunto de ecuaciones de dispersión de luz sobre las hebras de pelo 3D, especialmente durante movimiento o torsión. Fue una propuesta del profesor de la Universidad de

Cornell, Steve Marschner<sup>237</sup> en 2003, basándose en características biológicas y físicas de las fibras de cabello, inicialmente estudiadas por la industria cosmética.

Marschner identificó tres componentes para iluminar hebras y pelo: primero, siempre existirán reflejos en la superficie del cabello; segundo, la luz tiene capacidad de transmitirse dentro del cabello; y tercero, la luz siempre es reflejada (es observable) internamente dentro de cada hebra.

Por ejemplo, se determinó que la distribución de las microcélulas del cabello (llamadas corticales) son las causantes de la textura, del pigmento y del comportamiento de la luz sobre las fibras (Pekelis, Hery, Villemin, Ling, 2015, p. 3). Esta tecnología también es evidente en los filmes *3D Monster Inc.* (2001) y *Buscando a Dory* (2016).

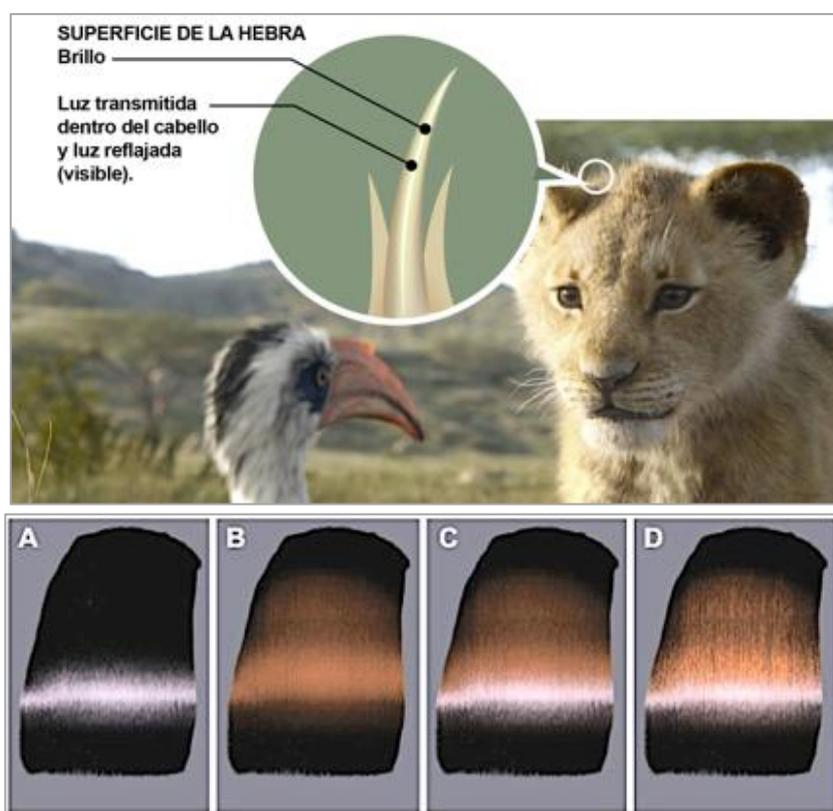


Figura 132. Aplicación del Marschner Hair Shading. Arriba, *The King Lion* (2019). Abajo: altas luces primarias, secundarias. En los últimos cuadros se muestran las combinaciones. Fuente: Seymour, 2017; Pekelis, Hery, Villemin, Ling, 2015, p. 3.

<sup>237</sup> Profesor del Departamento de Ciencias de la computación y Visión de la Universidad de Cornell, EE.UU. Trabaja en investigación para Microsoft, Hewlett Packard y en la Universidad de Stanford. Para profundizar en el Marschner Hair Shading se propone revisar el documento "An Artist Friendly Hair Shading System" de Sadeghi, I., Pritchett, H., Jensen, H., Tamstorf, R. 2010.

Durante una charla en el marco del Siggraph<sup>238</sup> 2016, representantes del estudio MPC explicaron el desenvolvimiento de esta tecnología durante la producción del filme *El Libro de la selva* (Disney, 2016). El *render* tradicional, basado en *hardware*, fue insuficiente debido a la cantidad de personajes y ambientes, ocasionando interrupciones (*flickering hardware renders*) y rupturas en sólidos 3D (Romeo, 2016). RenderFlow se apoya en otros motores como *Mental Ray*<sup>239</sup> y *Katana*, un organizador de trabajo multicolaborativo. Este es un rasgo técnico importante que facilita el seguimiento por parte de supervisores del proyecto.

Aquí es evidente, nuevamente, la gran ventaja de los desarrollos *dentro de casa* (o *software* propietarios) y la compatibilidad técnica que esto logra, en donde el *software* desarrollado por las productoras (en este caso, la creación de un *render* propietario como en Disney Studios, Pixar o Autodesk) evolucionan técnicamente según las necesidades propias de producción. El beneficio del *software* de desarrollo propio (también llamado patentado o de autor) es que permite ajustar las propias herramientas a las necesidades de producción de cada proyecto, con ahorro de tiempo y eficacia<sup>240</sup>.

Una reciente colaboración de MPC en producción fue en el filme *Pirates of the Caribbean: Dead Men Tell No Tales* (Disney, 2017). El aporte de este estudio simplificó el uso de efectos visuales y técnicas de *render* para simular los vastos ambientes marinos, sin necesidad de realizar la mayoría de las filmaciones en exteriores con gigantes embarcaciones y personajes en acción. Una vez más, el *software* propietario permitió compatibilidad entre sistemas, algo que posiblemente les mejora el día a día a desarrolladores y artistas. De nada serviría un innovador *software* si este no permite trabajar en conjunto con otras tecnologías.

Como prueba de eso, efectos como los barcos que emergen y son destruidos en el mar necesitaron de la compatibilidad del *software* Bifrost (Autodesk), de *Houdini* (SideFX), *Katana* (Foundry) y del motor *RenderMan* (Pixar) (Wolter, 2017). Para las extensiones de mar, por ejemplo, fueron modelados cientos de texturas acuáticas en el *software* Maya (Autodesk) junto con librerías de animación para las colisiones.

---

<sup>238</sup> Siglas de Grupo de Interés Especial en Computación Gráfica y Técnicas Interactivas, en inglés. Conferencia anual de tecnologías de animación y 3D, organizada por la Association Computer Machinery (ACM), en EE.UU.

<sup>239</sup> Según el sitio web de Autodesk, Mental Ray ya no se comercializa desde abril del 2017 debido a cambios en estrategias comerciales.

<sup>240</sup> "(...) and we demonstrate through case studies how we have benefited from having a proprietary renderer that can evolve with production needs." (Burley, et al., 2018, p. 1). Traducido: "(...) y demostramos (...) cómo nos hemos beneficiado de tener un renderizador propietario que puede evolucionar con las necesidades de producción".



*Figura 133. Escenas de Pirates of the Caribbean Escenas de Dead Men Tell No Tales (Disney, 2017). Fuente: Wolter, 2017.*

Usar texturas en sólidos ayuda a representar en 3D la superficie de un objeto real. Incluso ya existen profesionales especialistas de esa tarea, denominados *texture artists*. Una de las técnicas usadas son los *UV maps*<sup>241</sup> (donde U refiere a la envoltura horizontal y la V la vertical). Los UV son acoplados a las superficies de los polígonos como si se proyectaran las imágenes sobre ellos. Cada textura es posicionada según las coordenadas de la estructura interna de la malla (Birn, 2000, p. 218). En sólidos 3D más intrincados como el cuerpo humano, los UV deben ser coherentes con la forma a envolver.

---

<sup>241</sup> Técnica para la representación de texturas sobre geometría 3D sin excesivo cómputo. La solución para adaptar texturas al 3D y que no genere esfuerzo de procesamiento ha sido buscada desde 1966 por científicos que ya habían trabajado con algoritmos que simulen planos tridimensionales, como Lawrence G. Roberts. Paul S. Heckber en su documento *Survey of Texture Mapping*, de 1986, propuso una nueva revisión de la técnica.

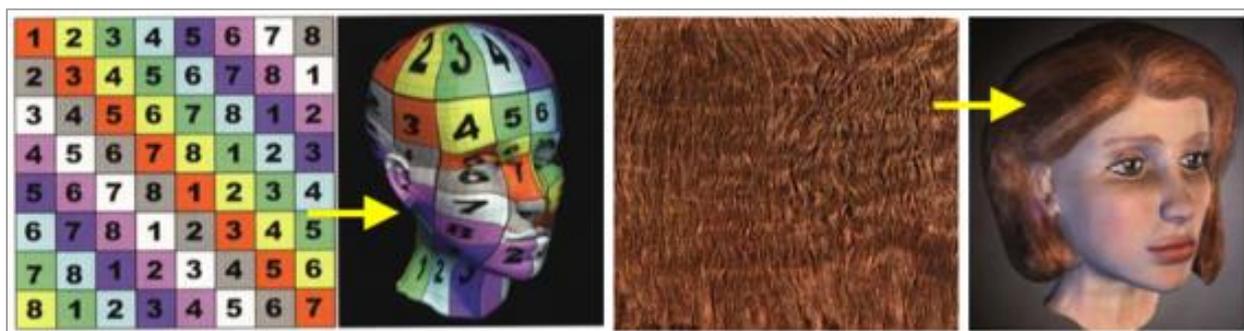


Figura 134. Aplicación de UV maps en 3D. Arriba, a la izquierda, cuadrícula usada como patrón de ubicación. Luego, la textura ya se ha proyectado en el sólido. Fuente: Birn, 2000, p. 218.

En cuanto a recrear vestimenta 3D, en el filme *Los increíbles 2* (Pixar, 2018) se simularon prendas y arrugas de telas y ropajes. El objetivo es crear una malla de polígonos de menor densidad, parecido a una tela fina y maleable. La malla de polígonos correspondientes al vestuario de los personajes fue ajustada rápidamente a través de un método digital llamado ajuste por activación (*cloth rig shot adjustments*<sup>242</sup>) que también borra los pliegues no requeridos según la acción.

Resumiendo, es posible afirmar que cada nuevo avance en 3D digital fortalece primero la narración y luego las formas visuales. Ambas siguen siendo hoy en día las fuerzas de la imagen en movimiento sin renunciar a ese gran rectángulo luminoso y plano que es la pantalla de dos dimensiones.

### 3.13 Futuras posibilidades del *render*

Existe un consenso entre creadores y estudios de producción: hay expectativas en acelerar el proceso de *render*, específicamente un 25% más veloz (Forrester Consulting, 2018, p. 1). En proyectos de gran escala aún se deben esperar semanas hasta que una película 3D, de una hora de duración, termine su *render*.

Mientras tanto, aún son desarrollados nuevos alcances como el *render* de descomposición atómica (*Atomic Decomposition*) propuesta por los creadores del motor *Unity*. Esta técnica usa iluminación sobre sólidos 3D creados con una malla digital de micro facetas, similar a cuadrículas microscópicas con divisiones que permiten una mayor variedad de matices en una pequeña superficie. Otras técnicas aún en exploración son las ecuaciones de descomposición de luz, que prometen una mayor calidad de las texturas al simular el comportamiento de los átomos de luz (*atomic operators*) (Belcour, 2018, p. 2), (numeral 7.3 Limitations & Failure Cases, en Belcour, 2018, p. 11).

<sup>242</sup> Tecnología 3D que simula la textura y el comportamiento físico de materiales como la tela, ropa o vestimenta. A 2023 esta es una completa herramienta ya disponible desde motores de videojuegos como Unreal. Allí ya se puede controlar variables como la sensibilidad de la simulación del ropaje a la gravedad, la simulación del peso del material o la colisión con otros sólidos.



Figura 135. Render con descomposición atómica de luz. Fuentes: Belcour, 2018

Nuevas propuestas para creación de videojuegos y proceso de *render* están disponibles gratuitamente para sistemas como Windows, Mac y Linux. Un ejemplo es Godot Engine 3.1 (con licencia de uso libre del MIT) que admite personalización de *sprites*, editor visual y procesos de *render* estándares ya revisados aquí como el *Physically-based rendering* (*render* basado en cálculos de la física de las partículas de luz), *Global illumination* (iluminación ambiental), *render* de alto rango dinámico (amplía la gama de tonos según cálculos de interacción de la luz con objetos), *malla de animación para objetos 2D (2D Skeletons)*, entre otros.



Figura 136. Interfaz del motor de videojuegos Godot Engine. Herramienta 2D Skeletons. Fuentes: <https://godotengine.org>

### 3.14 Locomoción y gestualidad en 3D: el rigging

Los primeros experimentos con *stop motion*, a inicios del siglo XX, estuvieron limitados a un ejercicio de fotografiar y montar fotogramas para que, en secuencia, eso produzca una simulación de movimiento. Luego fue necesario resolver otra cuestión: ¿Cómo generar una articulación convincente, respetando la morfología de una estructura con potencial de animación? Los eventos que se dan a continuación ya contenían la respuesta implícita: primero se debe entender la morfología y sus posibles articulaciones; y luego, podrán ser simuladas para generar una articulación realista.

Dos eventos casi a la par pudieron haber apuntado a eso. Primero, cuando el inventor francés Etienne-Jules Marey<sup>243</sup> (1830-1904) recreó, entre 1873 y 1882, un mecanismo fotográfico de captura simultánea, junto con un rudimentario cronómetro para filmar caballos galopando y gatos saltando. La pesada cámara de Marey capturaba doce imágenes por segundo (Sito, 2013, p. 200). Su aporte fue el captar al detalle las gestualidades y los cambios de posición en seres humanos y animales durante actividades de locomoción. El resultado de esa observación fue publicado en su libro *Le Movement*, en 1894, el mismo año que inventó y comercializó un aparato proyector de fotografías, llamado phonoscopio.

Segundo, una conexión clave a ese hecho fue la actividad del fotógrafo inglés, Edward James Muybridge<sup>244</sup> (1830-1904) cuando llegó en 1868 a EE.UU. para fotografiar paisajes. En 1873, el empresario estadounidense Leland Stanford, interesado por los trabajos de Etienne-Jules Marey, requirió de un fotógrafo para constatar ciertos aspectos del galope en caballos. Muybridge desistió del proyecto al percatarse que su cámara no contaba con un obturador veloz como para reproducir los trabajos de Marey. Cinco años después, Muybridge aplicó similar procedimiento que Marey: doce cámaras a una velocidad de obturación veloz (dos décimas de segundo).

Entre 1884 a 1887 la Universidad de Pensilvania (EE.UU.) financió los proyectos de Muybridge, lo que resultó en la publicación de *Animal Locomotion: An Electro-Photographic Investigation of Consecutive Phases of Animal Movements*, en 1887 (Zelazko, 2023). Muybridge debió construir un proyector para mostrar las secuencias captadas, al que llamó zoopraxiscopio. Esa divulgación le dio fama de investigador, abriéndole las puertas de centros de estudios y conferencias.

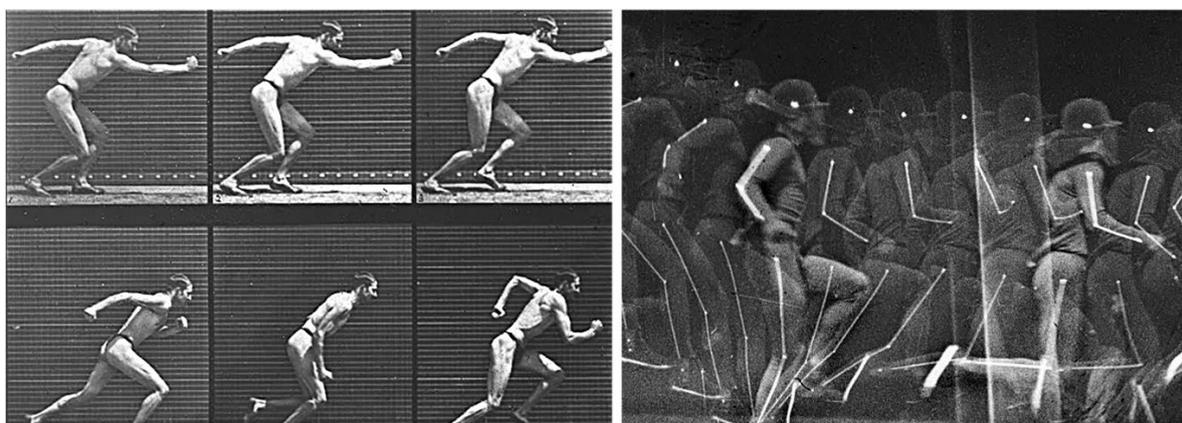
Podría decirse que los trabajos de Marey y Muybridge, por separado, se muestran innovadores y similares. Pero se nota una pequeña diferencia: Marey insistió en entender (y no solo en captar) los gestos corporales y extremidades de los seres vivos registrados por el lente de su cámara, especialmente durante movimientos intrincados. Una prueba de eso fueron las fotos conocidas como *Les clichés géométriques* (las

---

<sup>243</sup> Francés. Doctorado en psicología, además de biólogo. Docente del Collège de France. Reconocido por sus inventos para capturar el movimiento de humanos y animales mediante equipo fílmico de inicios del siglo XX.

capturas geométricas), realizadas alrededor de 1882 (Sito, 2013, p. 200). En ellas, Marey vistió a una persona con un traje oscuro pero trazado con líneas más claras en las extremidades. Ese truco le permitió predecir la secuencia de cada articulación (además del desplazamiento de las extremidades) al momento de mostrar las secuencias.

Como será evidente en las siguientes páginas, el concepto de Marey (indicar y seguir el trazo de los puntos donde las articulaciones interactúan) se replica con más sofisticación técnica, casi noventa años después, con el Animac, un primer artefacto electrónico concebido para captar el movimiento de las articulaciones humanas y mostrarlas en una pantalla.



*Figura 137. Izquierda, fotogramas de hombre corriendo, de E. Muybridge, entre 1884 y 1886. Fuente: Google Arts & culture (2023d). Derecha: fotogramas de Marey, tomadas alrededor de 1882. Fuente: (Google Arts & culture, 2023c)*

Ya iniciando el siglo XX, serán añadidos nuevos artefactos (como articulaciones internas) como una nueva evolución de la animación articulable. Hasta la llegada de esa y otras innovaciones, muchos creadores aprovecharon lo que tenían a la mano: equipo fílmico y deseo de expandir las herramientas disponibles.

Un ejemplo de eso es el trabajo del cineasta polaco Ladislav Starevich<sup>245</sup> en su corto *The DragonFly and the Ant*, filmado entre 1911 y 1913 (Rosebush, 1990, p. 10). Starevich usó armaduras internas con uniones articuladas en cada muñeco; y creó alrededor de 200 diferentes cabezas con expresiones variadas que iba incrustando en cada nueva secuencia para así agregar gestos a los rostros.

---

<sup>245</sup> Cineasta ruso, nacido en 1882, fallecido en 1965. Graduado de la St. Petersburg Academy of Fine Arts. Viajó a Francia en 1920 para acrecentar su deseo cinematográfico ante el nuevo invento de la cámara de cine.



Figura 138. Secuencia de *The Dragonfly and the Ant*, de L. Starevich. Fuente: Rosebush, 1990, p. 10. Video del sitio web [www.openculture.com](http://www.openculture.com): "Watch the Amazing 1912 Animation of Stop-Motion Pioneer Ladislav Starevich, Starring Dead Bugs", 2013.

Otro método de animación incluye manipular recortes de papel rígido, únicamente en dos dimensiones. Inspirado por los teatros orientales de sombras en donde la silueta a contraluz crea contraste ante un fondo monocolor. Un hermoso ejemplo de eso es el trabajo de la cineasta alemana Lotte Reiniger (1899-1981)<sup>246</sup> en su largometraje *The Adventures of Prince Achmed*, de 1926 (Rosebush, 1992, p. 13). El filme dura una hora, mucho más que otros trabajos con *stop motion* que no excedían de los 15 minutos. Solo se conserva una copia restaurada en 1999 por el Museo Fílmico alemán. El trabajo de Reiniger incluye transformaciones de formas articuladas (básico y artesanal), con contrastes fondo-forma mediante repetición de patrones, líneas y sonorización.

Reiniger añadió acercamientos, panorámicas y difuminados. Pero a causa de la guerra interrumpió su labor para investigar nuevas técnicas fuera de Europa.



Figura 139. Papel articulado en *The Adventures of Prince Achmed*. Fuentes: Rosebush, 1992, p. 13. Video de YouTube del canal [Leading North](https://www.youtube.com/channel/UC...).

---

<sup>246</sup> Cineasta alemana nacida en 1899 y fallecida en 1981.

Por otro lado, un nombre añadido a la lista de creadores de tecnología para animación es el del ingeniero y artista estadounidense Lee Harrison III. Su deseo de automatizar la producción de animaciones y efectos visuales le incentivó a que, luego de graduarse en artes, fundara la Computer Image Corporation, en 1967 (Tajchman, 1977, p. 24). Allí concretó su anhelo desde tres *softwares* innovadores para la época, pero poco usados debido a la complejidad de su funcionamiento y a la todavía calidad gráfica limitada: el Animac y su versión mejorada, el Scanimate.

El Animac era un gigante equipo con un pequeño monitor cuya pantalla no mostraba interfaz alguna, solo los resultados visuales de lo animado, ya sean gráficos o los datos numéricos obtenidos al usar el arnés. El Animac solo podía ser usado desde paneles con consolas de perillas, botones, cables y deslizadores que insertaban en las imágenes valores de movimiento, color y manipulación de formas. Las animaciones eran creadas a partir de imágenes dibujadas previamente a mano y luego captadas por cámara de video a 60 cuadros por segundo, pero con una baja resolución de monitor de tubos catódicos de 800 líneas por pulgada (Norman, 2019).



Figura 140. Dibujo en Scanimate, 1970. Fuente: tomada del video Scanimate DVD 1, del sitio web [www.archive.org](http://www.archive.org). Minuto 14:52 y Min. 30.

Según la documentación revisada, Lee Harrison III<sup>247</sup> creó un interesante instrumento en complemento al Animac. Este complemento fue un arnés articulado que se ajustaba a una pierna o a un brazo humano. Ese arnés podía captar el giro de las articulaciones humanas (como la rodilla o el codo) y luego convertir eso en valores numéricos que eran leídos en un osciloscopio montado en el propio Animac. Harrison llamó a ese arnés el *Bone Generator*.

---

<sup>247</sup> Ingeniero estadounidense, creador en 1962 del hardware *Animac* y del software *Scanimate* para animación de gráficos 3D, y animación mediante articulación.

*El Animac* también permitía animar objetos geométricos digitales, como ojos y labios (Vasulka, 1992, p. 92, 93, 94). Con eso, Harrison incorporaba al vocabulario 3D de mediados de 1960 definiciones como los *'bones'* (huesos, que eran delgadas líneas interconectadas con otros elementos articulables digitalmente); *skin* (piel, como capas en forma de muelles y resortes sobrepuestas sobre los huesos; y *joints* (articulaciones como conexiones entre huesos y piel con jerarquía determinada).

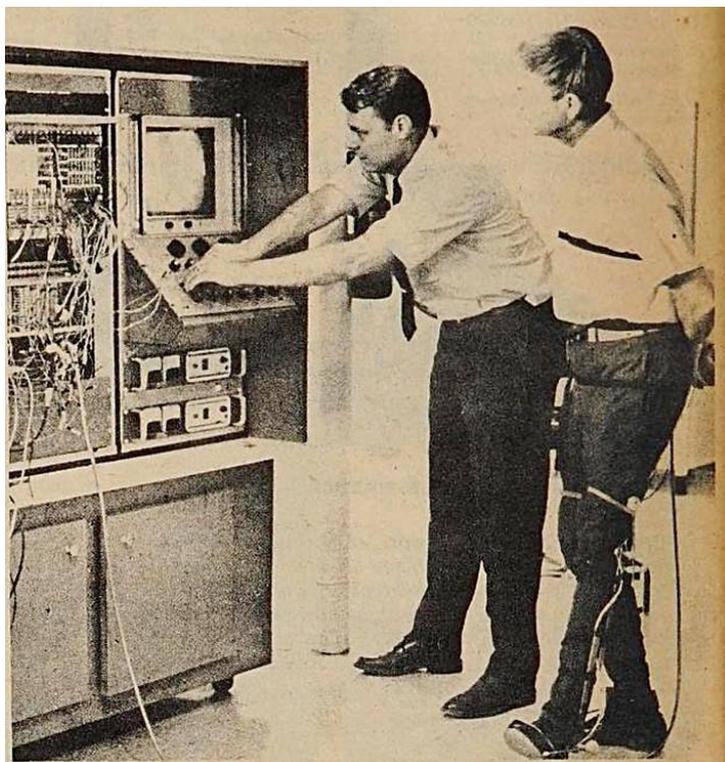


Figura 141. Harrison, *el Animac* y el uso del arnés, 1970. Harrison manipulando las perillas del *Animac*, mientras otro creaba movimientos con el arnés para ser captados en el sistema. Fuente: *Whole Earth Catalog*, 1970, p. 68

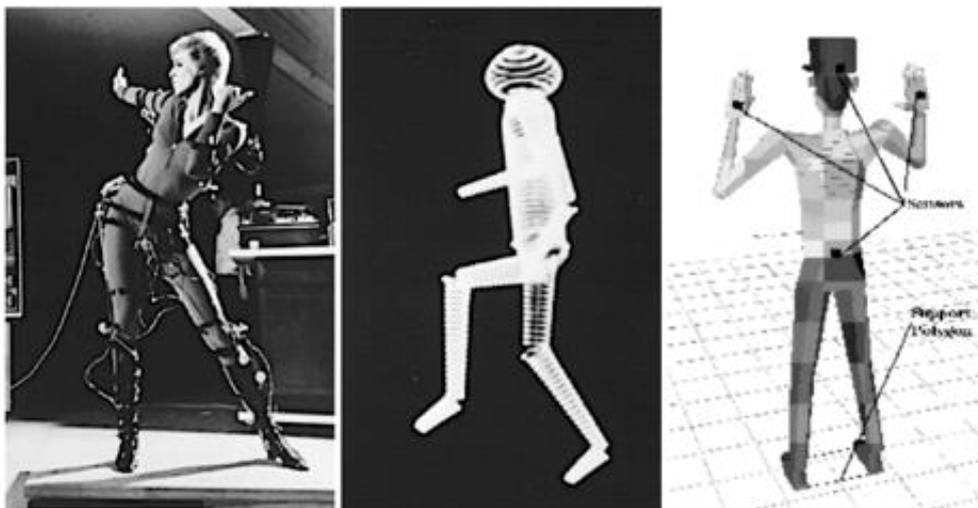


Figura 142. Sensores de movimiento en tiempo real de L. Harrison, 1962. Izquierda, *Animac*, imagen publicitaria del sistema de Harrison. Centro, resultado en la pantalla del *Animac*. Derecha, esquema del sistema en cinco sensores usados en el *Animac*. Fuente: Vasulka, 1992, p. 93. Badlerm, Hollick, Granieri, 1993, p. 6

En 1989 los sistemas de animación de personajes eran complejos, caros y solo presentes en costosos estudios de tv y cine. La película *Tron* (Disney, 1982) fue una de las primeras en combinar ambientes tridimensionales en 3D, e insertar mediante superposición a personajes humanos. No alcanzó a reponer su costo de producción y provocó poca inspiración para nuevas producciones. *Tron* recaudó 26 millones, en comparación con los 17 millones que costó producirla (Martínez y García, 2018, p. 79).

Fue desde la producción cinematográfica de inicios de la década de 1990 que artistas interesados en nuevas tecnologías aprovecharon nuevos *softwares* y equipos, como el *Renderman*, cuyo desarrollo había iniciado en 1981, primero desde la empresa Lucasfilm y luego desde Pixar, pero que presentado formalmente como herramienta de producción digital en 1988 por los fundadores de Pixar. De ambas empresas y de su influencia directa en el 3D se expondrá con más detalle en los próximos párrafos.

Un ejemplo de eso es el animador Steve ‘Spaz’ Williams<sup>248</sup>. Él colaboró en los filmes *The Abyss* (1989), *Terminator 2* (1991), *Jurassic Park* (1993) y *The Mask* (1994) usando computadores *Silicon Graphics* 3130, SGI GT60, GT80 y el *software* de modelado *Alias*, que años después se convertiría en *Maya* (Autodesk). ‘Spaz’ Williams también usó las primeras versiones del sistema *Renderman*<sup>249</sup> (Barr, 2012), creado desde dentro de la empresa Pixar.

Williams aplicó en el filme *The Abyss* una innovadora simulación de fluidos transparentes en el personaje de ficción conocido como pseudópodo (que representaba una columna líquida con vida propia). A ese personaje se le agregó dirección y movimiento mediante vértices curvos llamados *B-Splines*<sup>250</sup>, una técnica más flexible en la manipulación de vértices para curvas en objetos 3D, explicados anteriormente.

---

<sup>248</sup> Canadiense, graduado del Ontario Institute for Studies in Education y posteriormente del Sheridan Institute, donde se especializó en animación y técnicas de cine. Trabajó en el estudio *Industrial Light and Magic* desde 1988. En 1997 ya había participado como animador digital en las producciones de *The Abyss* (1989), *Terminator* (1991), *Jurassic Park* (1993) y *Spawn* (1997).

<sup>249</sup> *Software* de animación 3D, efectos especiales y *render*, creado por la empresa filmica estadounidense Pixar en 1993. A 2023 la versión 25 está disponible mediante dos versiones: de pago y otra para producción sin costo.

<sup>250</sup> El literal B se refiere a una expresión matemática compuesta por varias cifras operables (basis functions) usada para calcular cada sección de la curva y sus puntos de control, o nodos.

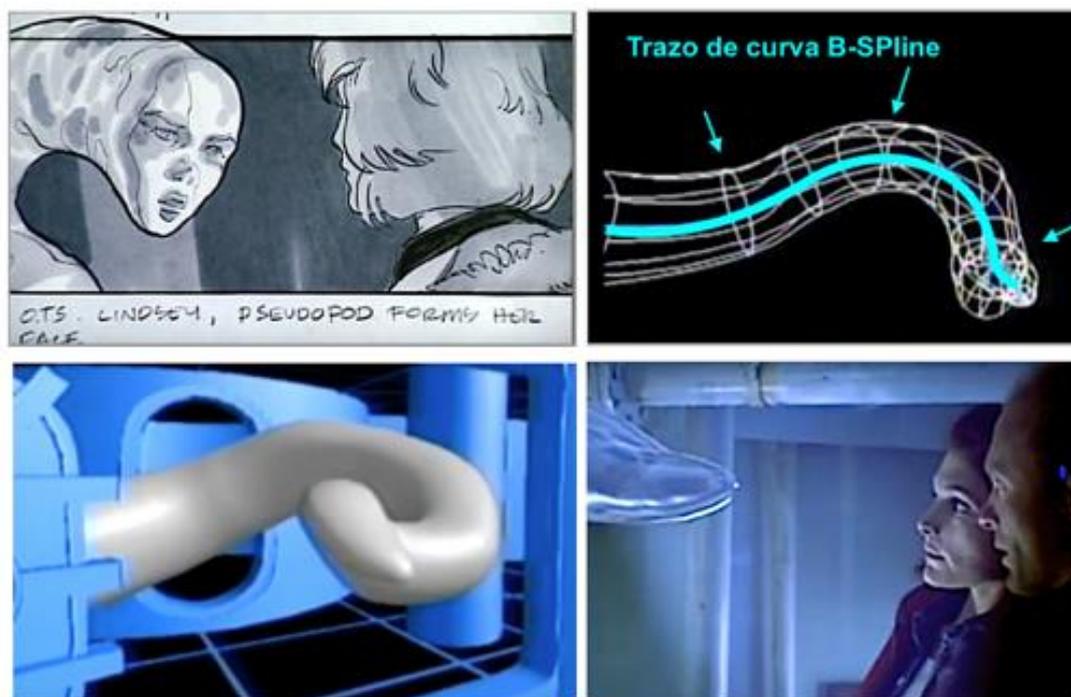


Figura 143. Secuencia del filme *The Abyss*, y uso de curvas B-Spline. Pseudópodo de *The Abyss* (1989) animado con curvas B-Spline. Fuentes: Barr, 2012. "The Abyss - CGI making of (1989)" tomadas del canal de "Ultimate History of CGI" en YouTube.

La experiencia de Williams lo condujo a trabajar con Steven Spielberg<sup>251</sup> en el filme *Jurassic Park* (1993) modelando los gigantes dinosaurios. Para la animación del T-Rex crearon primero un esqueleto modelado con resina según referencias en paleontología, ciencia que estudia los restos de animales anteriores a la presencia de los primeros humanos. El modelo en resina fue escaneado<sup>252</sup> mediante coordenadas en Y (desplazables arriba y abajo), en X (desplazables de izquierda a derecha) y en Z (desplazables desde adelante y hacia atrás); además de curvas *B-Splines*<sup>253</sup> para cada vértice de la malla 3D, un proceso exageradamente milimétrico<sup>254</sup> y extenuante (Acune, 2014).

<sup>251</sup> Director de cine estadounidense nacido en 1946. Su primer éxito comercial fue *Jaws* (1975). Le siguieron *Close Encounters of the Third Kind* (1977) y *E.T.* (1982), entre otros. Fundó su productora *Amblin Entertainment*, en 1970, y posteriormente cofundó la empresa *Dreamworks*, en 1994. Ha ganado premios Óscar a mejor película y mejor director. Durante su carrera abarcó géneros como la ciencia ficción y los dramas históricos.

<sup>252</sup> Spielberg también requirió de un gigante dinosaurio robótico para algunas secuencias.

<sup>253</sup> B, por la función aritmética usada para calcular las curvas de una línea; y *splines*, por la técnica de carpintería usada para dibujar líneas curvas a partir de una viga flexible de madera.

<sup>254</sup> "It was very, very tedious (...) These were the guys that would blow out their hands and arms with Carpal Tunnel Syndrome!" (Barr, 2012). Traducido: "Fue muy, muy tedioso (...) Estos eran los tipos que se volaban las manos y los brazos con el síndrome del túnel carpiano".

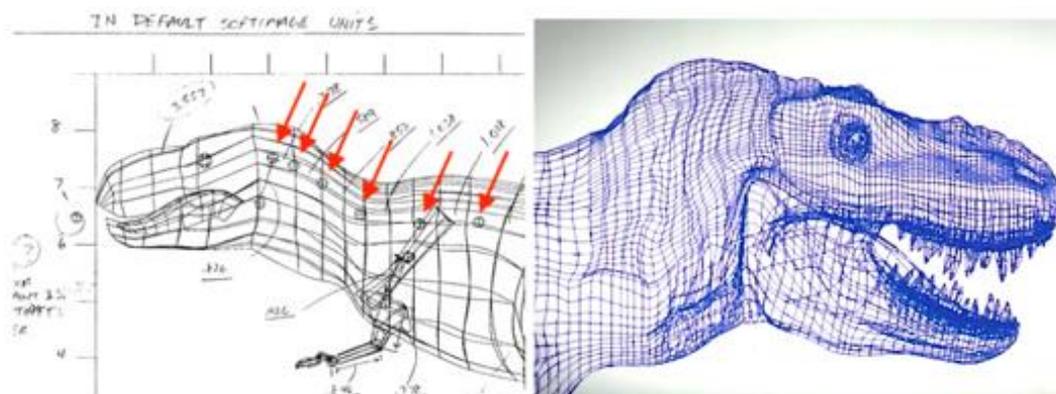


Figura 144. Producción y animación de T-Rex. Esquema dibujado a mano por Williams para calcular los puntos de control en el modelado 3D (flechas rojas) para animar el T-Rex. Fuentes: Acune, 2014, Barr, 2012.

Hoy en día, *softwares* como 3D studioMax (Autodesk) ofrecen métodos de animación y de desplazamiento de extremidades mucho más simplificados, basados en las funciones esqueléticas y musculares naturales de seres vivos o ficticios; pero sin duda alguna inspirados en los conceptos de Lee Harrison III, de 1970.

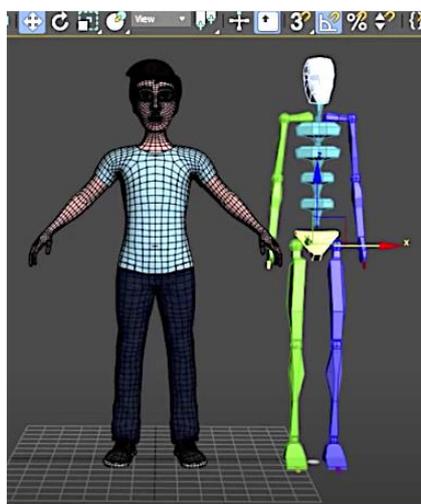


Figura 145. Sistema de rigging para StudioMax. CAT Detalle de interfaz del sistema CAT (Character Animation Toolkit) del software de animación 3D StudioMax. Fuentes: Mils Cerny Animation, canal en YouTube

Por definición, el *rigging*<sup>255</sup> es un conjunto de puntos controladores que simplifican la estructura de posición y desplazamiento de articulaciones 3D digitales. Las estructuras de *rigging* más populares en 3D están

<sup>255</sup> Del verbo inglés *rig*: poner en condición o posición. Diccionario Merriam-Webster en línea.

organizadas en dos partes: las jerarquías de uniones (*joints*) donde las articulaciones pueden flexionarse; y los huesos (*bones*), que son estructuras rígidas para movimiento y torsión, seleccionables uno a uno o en conjunto. Estas uniones pueden ubicarse arbitrariamente en la anatomía a modelar, siempre que la animación resulte convincente y fácil de editar (Kivistö, 2012, p. 16).

Los autores McLaughlin, Cutler, Coleman (2011, p. 3) identifican los siguientes usos del *rigging* en 3D: para afinar movimientos con *motion capture* (captura de movimientos mediante sensores en el cuerpo); para deformación de piel 3D; para gestos faciales 3D con estructura de uniones (*joints*) y deformadores; y finalmente, para control de simulación de músculos, vestimenta y artefactos como joyería y armas.

La captura de movimiento se inició como una técnica que calcaba los desplazamientos corporales luego de filmar la gesticulación de brazos, rodillas, pies o cabeza de un actor. Fue conceptualizada en 1915 por un dibujante-animador polaco, Max Fleischer<sup>256</sup> (1883-1972) mediante un aparato al que llamó rotoscopio (*rotoscope*). Este fue un armazón de madera con un vidrio en el que eran proyectadas secuencias filmadas que luego eran calcadas sobre papel. Fleischer lo patentó en 1917 (Pointer, 2017, p. 27). Su funcionamiento era el siguiente: Fleischer capturaba mediante dibujo los gestos corporales de los personajes que filmaba; y luego, reproducía esos dibujos creando una nueva animación. Eso añadía animaciones fluidas en bailes y movimientos debido a que captaban las sutilezas de un humano real. Entre sus cortos animados están *Swing You Sinners!* (1930), *The Mad Scientist* (1941) y *The Inkwell imps in Koko's earth control* (1952).

---

<sup>256</sup> Migrante polaco y productor de dibujos animados en EE.UU. Creador de la técnica de filmación conocida como rotoscopio; este era un aparato que proyectaba imágenes sobre una pantalla que a su vez era usada para calcar cada pose humana con exactitud, y usarla para escenas animadas.

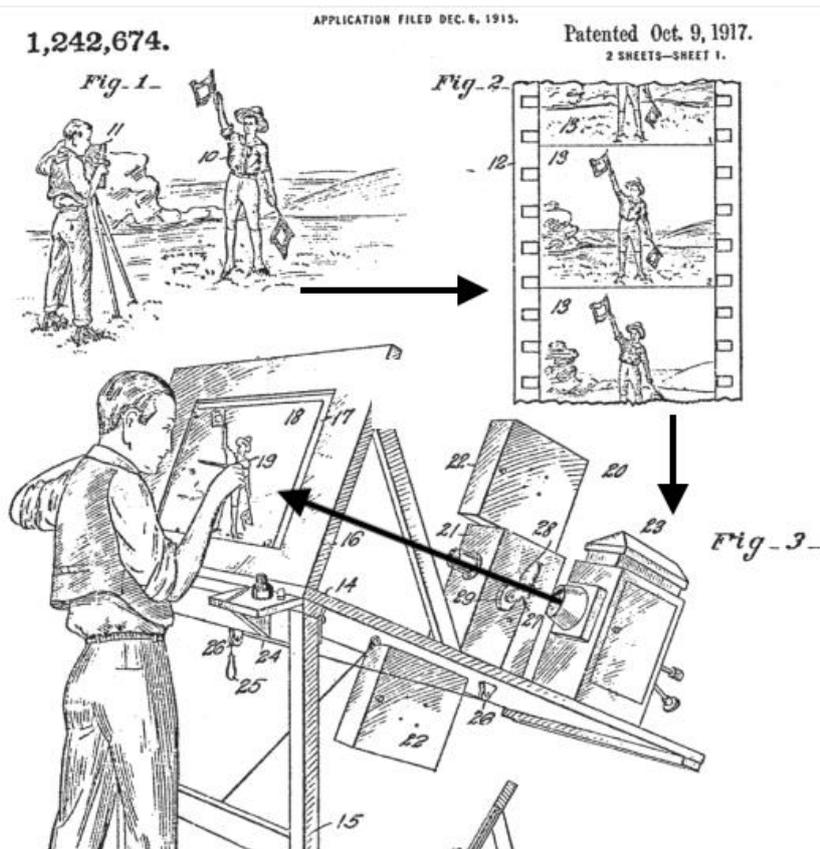


Figura 146. Esquema del rotoscopio de Fleisher. Las flechas negras no están en el original. Fuente: Pointer, 2017, p. 27

A finales de 1980 el *motion capture* era un mixto técnico entre mecánica y electrónica. El *render* del *motion capture* añadió más procesamiento debido a que los movimientos más precisos y con dinámica más natural debían ser representados con fidelidad en una imagen 3D. Un ejemplo de eso es *Brilliance*, de 1985 (Abel & Associates, 1985) con un androide 3D animado, de brillos cromados y de correcta anatomía que gira sobre su propia silla. Para la animación usaron el sistema Silicon Graphics y para el renderizado un equipo VAX 11/750. Su textura plateada pulida está incompleta (no acoge la reflexión de todo el entorno). Pero la animación y el desplazamiento de la cámara (en rotación, ascendente y con acercamientos) sumaron un todo visual convincente, nunca antes visto antes de su proyección en el Super Bowl en el EE.UU. de 1985.

Otros ejemplos son la animación del personaje Waldo, que combinó captura de movimiento con imágenes de video para el programa *The Jim Henson Hour*, de 1988; una animación de una cabeza femenina en la película *Don't Touch Me*, de 1989, creado por los estudios Kleiser-Walczak y una animación publicitaria para la lotería de Pennsylvania, de la agencia Homer & Associates.



Figura 147. Animaciones 3D con captura de movimiento, entre 1985 y 1990. Arriba, izquierda; *Brilliance*, de 1985, creado por el estudio *Abel & Associates*. Arriba, derecha, el personaje *Waldo C. Abajo*, izquierda, *Dozo*. Abajo, derecha, animación para la Lotería de Pennsylvania.

Como primeras referencias documentales del *rigging* está la publicación de Michael Gleicher *Comparing Constraint-Based Motion Editing Methods* de 2001. Allí aparecen conceptos como la cinética inversa (*Inverse Kinematics*) que es la influencia de una articulación principal sobre otras secundarias. A diferencia de la cinética delantera (*Forward Kinematics*), donde cada articulación puede moverse independiente, sin influenciar en otras. Cualquiera que sea el método, toda la estructura animable debe al menos aceptar la articulación independiente (*Forward Kinematics*).

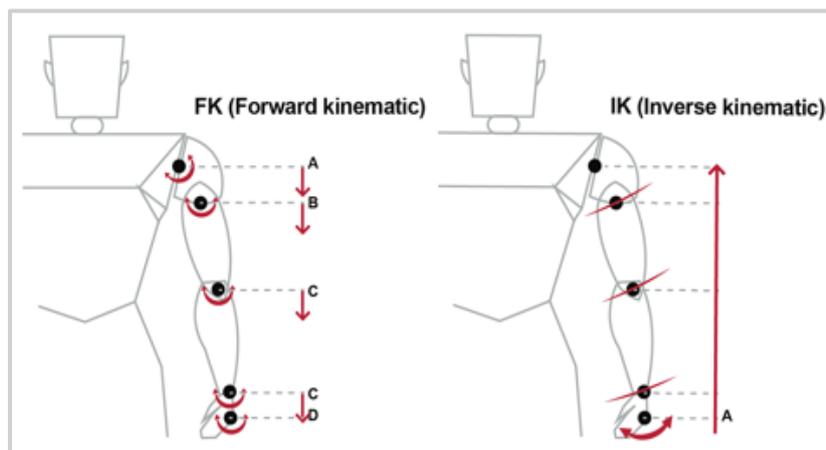


Figura 148. Tipos de cinemática en articulaciones. En la cinemática hacia delante (*forward kinematic*), cada articulación (A, B, C, D) se manipula sin influenciar al resto. Con la inversa (*inverse kinematic*), una articulación primaria o padre (A) influenciará en el resto de las articulaciones secundarias.

Fuente: Basado en White, 2006, p. 434. Elaboración propia.

Esas jerarquías tienen un orden e influencia, es decir, una articulación principal (padre) puede contener una o varias articulaciones secundarias (hijos) (relación *parent-child* o también llamado *parenting*) (Beane, 2012, p. 178). Entran en esta dinámica unos puntos de control llamados deformadores (en algunos *softwares* presentan el nombre de *skinning* o *enveloping*). Estos permiten el desplazamiento en cada articulación 3D. Cada manipulación de controladores dependerá de la coherencia en la estructura articulada. Por ejemplo, si es animando un jugador de fútbol 3D, sus brazos y rodillas deben respetar las flexiones naturales de cada extremidad.

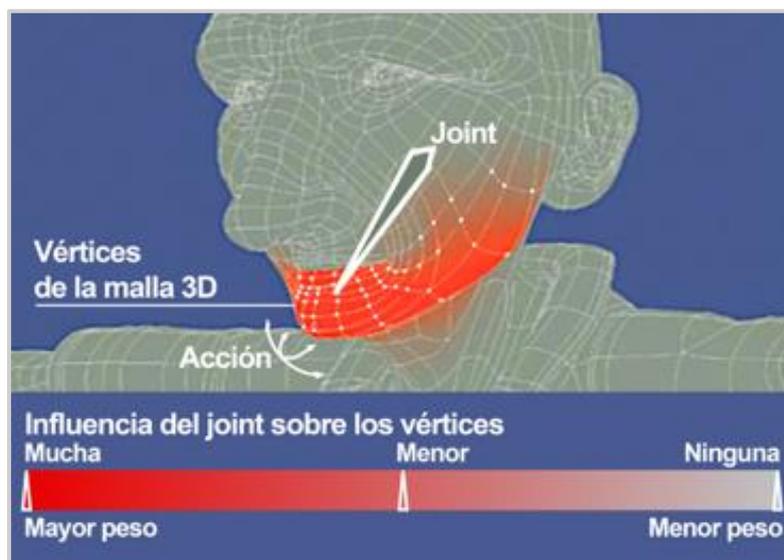


Figura 149. Pesos sobre vértices de la malla 3D. Mayor intensidad del color, mayor la influencia del joint o unión sobre la deformación de los vértices.

Fuente: Basado en Vaughan, 2012, p. 105

Una idea importante relacionada a la influencia que tiene un punto de control o vértice sobre el área articulada es el peso (*weight*). Los pesos son valores numéricos (generalmente van de 0 a 100) que determinan cuál será la influencia que tendrá la unión o *joint* en la deformación del resto de las áreas cercanas (Vaughan, 2012, p. 105). Esos sectores a deformar son identificados visualmente por una degradación de colores: a más valor numérico en cada punto de control, más intenso el color de sus vértices y más poder de empuje tendrá el *joint* sobre la deformación.

Otro concepto ramificado es el *rigging* de músculos 3D. Las primeras propuestas técnicas fueron mostradas en una de las conferencias SIGGRAPH<sup>257</sup> a finales de 1980 en el documento *Layered Construction for*

<sup>257</sup> La comunidad SIGGRAPH (Grupo de Interés Especial en Computación Gráfica y Técnicas Interactivas, en inglés) es una entidad que agrupa conocimiento técnico y científico para la industria audiovisual mundial. Fue inaugurada en 1974 por la Association for Computing Machinery (ACM) de EE.UU., y en sus eventos anuales en todo el mundo exponen conferencias, avances técnicos, *software* y otros productos.

*Deformable Animate characters* de Chadwick, Haumann & Parent (Kivistö, 2012, p.17). El *rigging* de los músculos muestra triángulos como metáforas visuales de músculos y tendones necesarios para manipular o contraer una extremidad cualquiera. También permiten recrear extensiones e inserciones, es decir, puntos de origen y contacto de huesos, piel y músculo según la extremidad y anatomía 3D humana o de un animal.

El *rigging* de músculos debe cuidar la geometría 3D al deformar la piel digital que cubre músculos y huesos en un personaje digital. Una extrema manipulación puede ocasionar bultos raros e incoherentes en la piel de un personaje (Kivistö, 2012, p. 16).

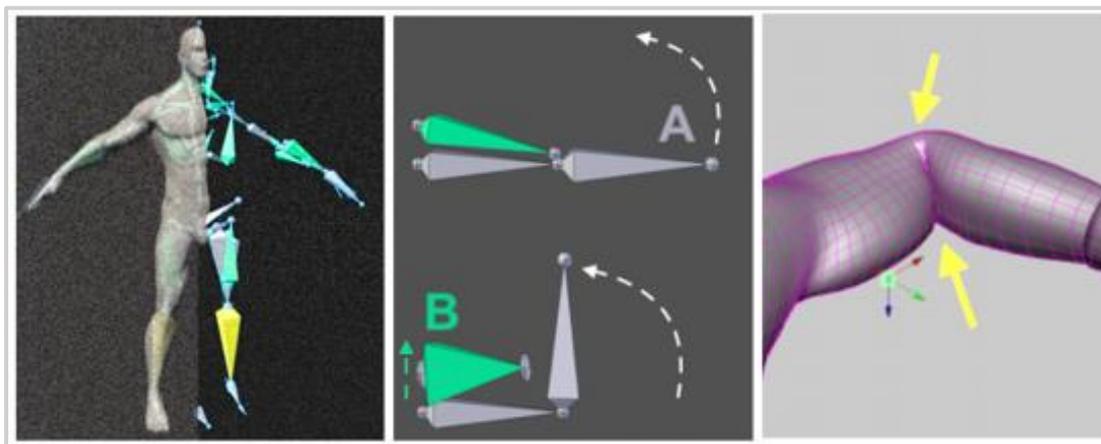


Figura 150. *Rigging* para músculos 3D. Imagen izquierda y central muestra una mecánica simple de relajación (A) y contracción (B). A la derecha, un abultamiento de piel. Fuente: Fotocomposición modificada basada en Kivistö, 2012, p. 19, 21. McLaughlin, Cutler, Coleman, 2011, p. 12.

Nuevos procedimientos en *rigging* buscaron simplificar el proceso en tiempo y esfuerzo, intentando automatizarlo. Baran y Popovic<sup>258</sup> propusieron uno de los primeros automatizados en 2007 con un método llamado *Pinocchio* (Baran, Popovic, 2007, p. 72). Ese método mostraba un *rigging* genérico para diversos esquemas de locomoción. Por ejemplo, si se necesita una locomoción bípeda, un solo esquema puede ser insertado ya sea en un personaje humano o un robot. El trabajo de Baran y Popovic establecía algoritmos de incrustación automática del esqueleto articulable dentro del modelado 3D (un proceso llamado *Skeleton Embedding*). Este es una incrustación del esqueleto dentro del modelado para adaptarlo a la proporción correcta de huesos (*bones*).

---

<sup>258</sup> Ilya Baran y Jovan Popovi son investigadores activos del Massachusetts Institute of Technology (MIT). Publican sus documentos en la librería digital de la Association for Computing Machinery (ACM) y abarcan temas como la iluminación digital, animación, captura de movimiento, deformación 3D, entre otros.

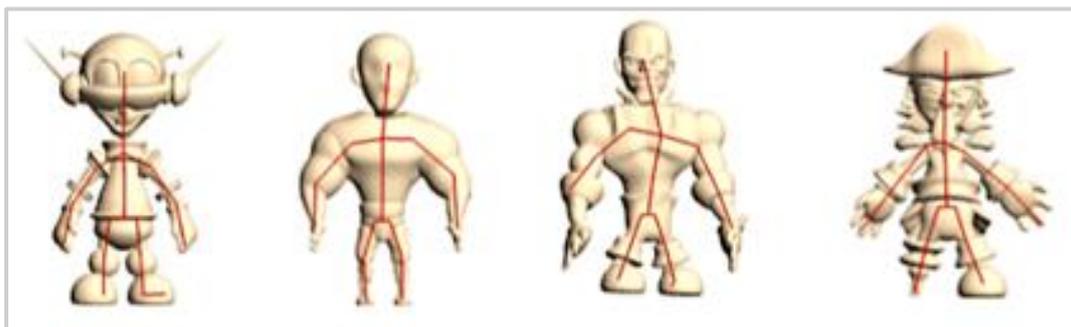


Figura 151. Ejemplo de rigging genérico, 2007. Fuente: Baran, Popovic, 2007, p. 72-6.

Aportes más actuales proponen una mejor adaptación del *rigging*. En el documento *Avatar Reshaping and Automatic Rigging Using a Deformable Model* (Feng, Casas y Shapiro, 2015), se establecen algoritmos que automatizan la estructura de *rigging* desde objetos reales escaneados con fotogrametría<sup>259</sup>. Esta es una tecnología que captura mediante cámara un objeto y promedia esa imagen a un volumen 3D fiel. La fotogrametría actualmente es posible desde teléfonos móviles de alta gama en *software* como Canvas (Occipital Inc.), Capture: 3D Scan Anything (Standard Cyborg) o Scandy Pro (Scandy Inc.).

Según Feng<sup>260</sup> y colaboradores, su método simplificaría el tiempo de *rigging* y mejoraría el aporte de Baran y Popovic (el esquema de *Pinocchio*) puesto que la correcta adaptación del esqueleto a un modelado 3D (llamado reformulación o *reshaping*) ocurrirá sin importar la altura del personaje o su complejión. Esta técnica fue probada en psicología social al simular apariencias físicas específicas, como en cirugía estética (Feng, Casas, Shapiro, 2015, pp. 1, 2, 7).

Al igual que en anteriores tecnologías en desarrollo, aún se deben resolver cuestiones de uso. Feng y colaboradores establecen que su aporte mejora la animación de formas orgánicas, como una mano (Pan, et al, 2009, p. 126) pero no de modelados de cuerpos humanos (Feng, Casas, Shapiro, 2015, p. 3). *Esto podría dar pie a determinar que el trabajo intuitivo del artista modelador sigue siendo útil por sobre la total automatización*. Como limitación, Feng y colaboradores proponen que no es aplicable aún para personajes caricaturizados o *cartoons*<sup>261</sup>. Sin

---

<sup>259</sup> Según el libro *Introduction to Environmental Forensics* (2015), de Brian L. Murphy y Robert D., la fotogrametría (*Photogrammetry*) es la tecnología que captura, mide e interpreta datos desde objetos físicos, susceptibles de ser convertidos en formas tridimensionales. (<https://www.sciencedirect.com/book/9780124046962/introduction-to-environmental-forensics>)

<sup>260</sup> Andrew Feng, investigador de la Universidad de California, EE.UU.

<sup>261</sup> "Thus it is not suitable for rigging cartoonish characters (...). However, (...) we can extend (...) by using additional shapes to span the body shape space of cartoonish characters." Feng, Casas, Shapiro, 2015, p. 7. Traducido: "Por tanto, no es adecuado para manipular personajes caricaturescos (...). Sin embargo, (...) podemos extender (...) mediante el uso de formas adicionales para abarcar el espacio de la forma del cuerpo de los personajes de dibujos animados".

embargo, de mejorar estas y otras propuestas, el siguiente horizonte de estructura de *rigging* en modelados 3D llegaría a la automatización total.

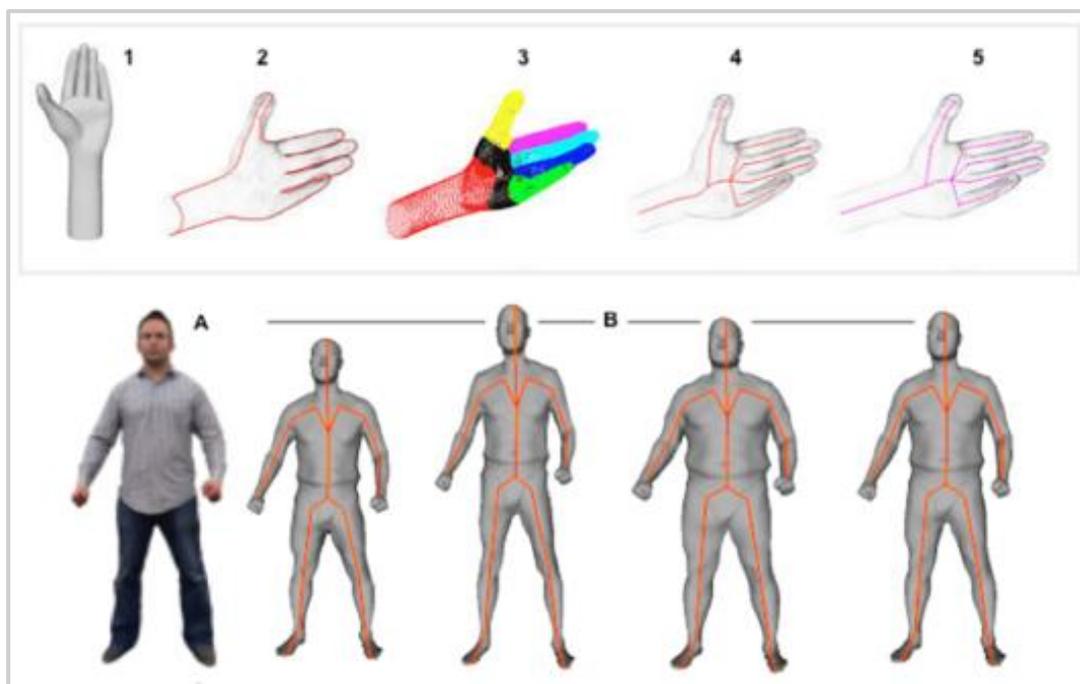


Figura 152. Ensayos con *rigging* automatizado, de Feng, et al., 2015. Arriba, modelado a partir de una forma 3D y mediante descomposición de sus partes. Abajo, *rigging* automatizado según variación de modelos. Fuente: Feng, Casas y Shapiro, 2015, pp. 4, 6.

Dejando por un momento las propuestas de automatización y mejoramiento de *rigging* se revisarán ejemplos similares desde estudios de animación vigentes en filmes o videojuegos, aprovechando que muchos de esos procesos están documentados y accesibles en línea.

Un ejemplo es el estudio Blue Sky<sup>262</sup>, responsable del 3D y de efectos especiales en filmes como *Ice age* (2002), *Robots* (2005) y *Río* (2011). Su innovación deriva de su *software* ChopRig (articulación por trozos o secciones) (Lima, 2018) ejecutado desde el *software* 3D Maya (Autodesk) y cuya principal herramienta son puntos de control en los polígonos 3D llamados deformadores. Estos modifican la malla 3D para crear nuevos volúmenes mediante acciones como doblar (*bend*, en inglés), ensanchar (*flare*), torcer (*twist*), flexionar (*flex*), crear protuberancias (*bulgs*), deformación (*warp*), estrechar (*narrow*), entre otros (Chopine, 2011, p. 75). Para hacer eso, el sistema ChopRig divide en subáreas la superficie 3D de un personaje, en donde cada división coloreada (independiente de las demás divisiones) será influenciada por un conjunto de deformadores específicos según

<sup>262</sup> Estudio de animación estadounidense, fundado en 1987, creador de 10 películas animadas, entre ellas *Río* (2011) y *Era de hielo* (2002). El estudio cerró sus operaciones en 2021.

la necesidad de animación. El conjunto total de esos deformadores es llamado *SubDeform* y su innovación es permitir más ajustes en las divisiones ya creadas.

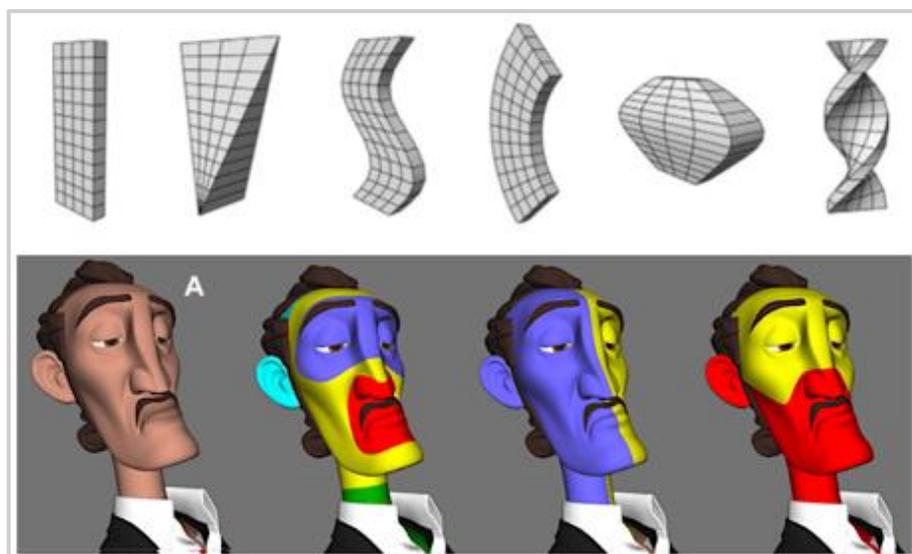


Figura 153. Resultado de deformadores en sistema ChopRig. Fuentes: Chopine, 2011, p. 75. Lima, 2018.

Otro ejemplo de *software* para *rigging* es Presto, creado por Pixar<sup>263</sup> Studios en colaboración con el *software* para 3D Maya (Autodesk). Presto es una herramienta multicolaborativa para *rigging* y simulación de colisiones.

Para explicar sus propiedades se toma como referencia una demostración del ingeniero Dirk Van Gelder<sup>264</sup> de Pixar, dada en la conferencia Nvidia GPU Technology Conference del 2014 (Amid, 2014). La interfaz de Presto ofrece deformadores (puntos de control que modifican la malla 3D) preconfigurados desde fábrica con una variedad de gestos ya establecidos. Eso permite articular, por ejemplo, dos gestos faciales en seguidilla; un rostro 3D alegre cuyos labios articulen la palabra '¡hola!'; y otro rostro triste con párpados cerrados.

---

<sup>263</sup> Empresa estadounidense de animación y efectos especiales mediante gráficos por computadora. Se formó dentro de la productora Lucas Film, en 1979. Desde 1982 participó junto con animadores, técnicos en programación y efectos especiales en las películas *Star Trek II: The Wrath of Khan* (1982), *The Adventures of André & Wally B.* (1984), *Young Sherlock Holmes* (1985), entre otros. Pixar fue adquirida por el empresario Steve Jobs en 1986, con 40 empleados, iniciando en paralelo una colaboración con los estudios Disney. En ese contexto se produjeron los cortos *Luxo Jr.*, *Red's Dream*, *Tin Toy*, entre otros. A inicios de 1990 hasta el 2022 empiezan las grandes producciones como *Toy Story*, *A Bug's Life*, *Finding Nemo*, *Cars*, *Coco*, *Los increíbles*, entre otros. Al 2023 siguen produciendo filmes 3D de alta calidad narrativa y técnica.

<sup>264</sup> Director de desarrollo de *software* en la empresa NVidia, EE.UU. Trabajó en los estudios Pixar como Jefe de Ingeniería en las áreas de *rigging* y creación de personajes.

Una vez creados los gestos podrán alojarse en el sistema en forma de categorías (gestos de enojo, gestos de felicidad, etcétera) o en lo posterior ser 'montados' en cualquier otro proyecto. Al animador 3D solo le basta escoger su elemento 3D, seleccionar los deformadores, ubicarlos, elegir el tipo de gesto y evaluar el resultado.



Figura 154. Software Presto y funcionalidad de rigging facial. Arriba, deformadores sobre un personaje del filme *Monster Inc.* (Pixar, 2001). Fuente: Dirk Van Gelder, de Pixar. Conferencia Nvidia GPU Technology (Amid, 2014).

En otros sistemas para rigging de gestos un avanzado aporte viene desde el estudio cinematográfico Dreamworks<sup>265</sup> con su propio sistema de expresiones<sup>266</sup>. En la película *Shrek* (Dreamworks, 2001) el sistema FACS (*Facial Action Coding System*) usó capas de musculatura 3D, divididas en músculo y piel. Este sistema controló la contracción y el abultamiento de la piel digital del personaje (por ejemplo, en las mejillas al soplar o reír) (McLaughlin, Cutler, Coleman, 2011, p. 16).

---

<sup>265</sup> Estudio estadounidense de animación y efectos especiales, fundado en 1994 por los productores Steven Spielberg, Jeffrey Katzenberg y David Geffen. Entre sus producciones están *Lincoln* (2012), *Transformers: Revenge of the Fallen* (2009), *Munich* (2015), *Madagascar* (2005), *Shrek* (2001), entre otros.

<sup>266</sup> La creación y el rediseño de software 3D desde los estudios de animación es una constante en la industria filmica de EE.UU. Esa es la razón por la que programadores y jefes técnicos forman parte de millonarios proyectos. Como inconveniente, no siempre esos desarrollos son conocidos a profundidad debido al secreto comercial y a la competitividad entre estudios.



Figura 155. Sistema FACS de Dreamworks. Animación de expresiones en *Shrek* (Dreamworks, 2001).

Fuente: McLaughlin, Cutler, Coleman, 2011, p. 16.

Otros desafíos comunes en *rigging* ocurren cuando el personaje presenta morfología especial. Según McLaughlin<sup>267</sup> y colaboradores (2011, p. 13) eso ocurrió en el filme 3D *Madagascar* (DreamWorks, 2005) con personajes de locomoción dual (bípeda y cuadrúpeda) como el león Álex. Por ejemplo, en posición cuadrúpeda sus hombros son más estrechos, el tórax más alargado y el pecho más elevado (2011, p. 15-16), lo que es diferente cuando Álex está en locomoción bípeda. Este personaje requirió un solo sistema de *rigging* para ambas locomociones.



Figura 156. Doble postura para *rigging*, Doble *rigging* en *Madagascar* (Dreamworks, 2005). Fuente: McLaughlin, Cutler, Coleman, 2011, p. 15, 16

Como ya expusimos al principio de este capítulo, a inicios de 1980 las primeras interfaces para *rigging*, como el *Scanimate*, eran muy entramadas. El artista modelador debía planificar primero en papel y lápiz cómo debían ser desplazadas las articulaciones y qué vértices animar, para luego llevarlos punto a punto mediante

---

<sup>267</sup> Tim McLaughlin es investigador y jefe del departamento de Visualización de la Universidad de Texas, EE.UU. Trabajó en Industrial Light & Magic entre 1994 y 2007 en producción de efectos especiales para *Star Wars: Episode I, War of the Worlds*, entre otros.

coordenadas y aritmética en una interfaz de perillas. Las manipulaciones y las correcciones debían hacerse entre ensayo y error, paso a paso, alargando el tiempo de producción y limitando las correcciones.

El problema de las interfaces complicadas para todo tipo de usuario ya fue solucionado gracias a las nuevas propuestas de diseño de interfaz y a las disciplinas que la estudian. Estas son la Experiencia de Usuario (*UX, User Experience*) y de Interfaz de Usuario (*UI, User Interface*). Así como en el *software* y en el diseño web en general, las interfaces de modelado y *rigging* se nutren de las disciplinas mencionadas para entregar finalmente al usuario final un mayor control mediante una mejor comprensión del diseño.

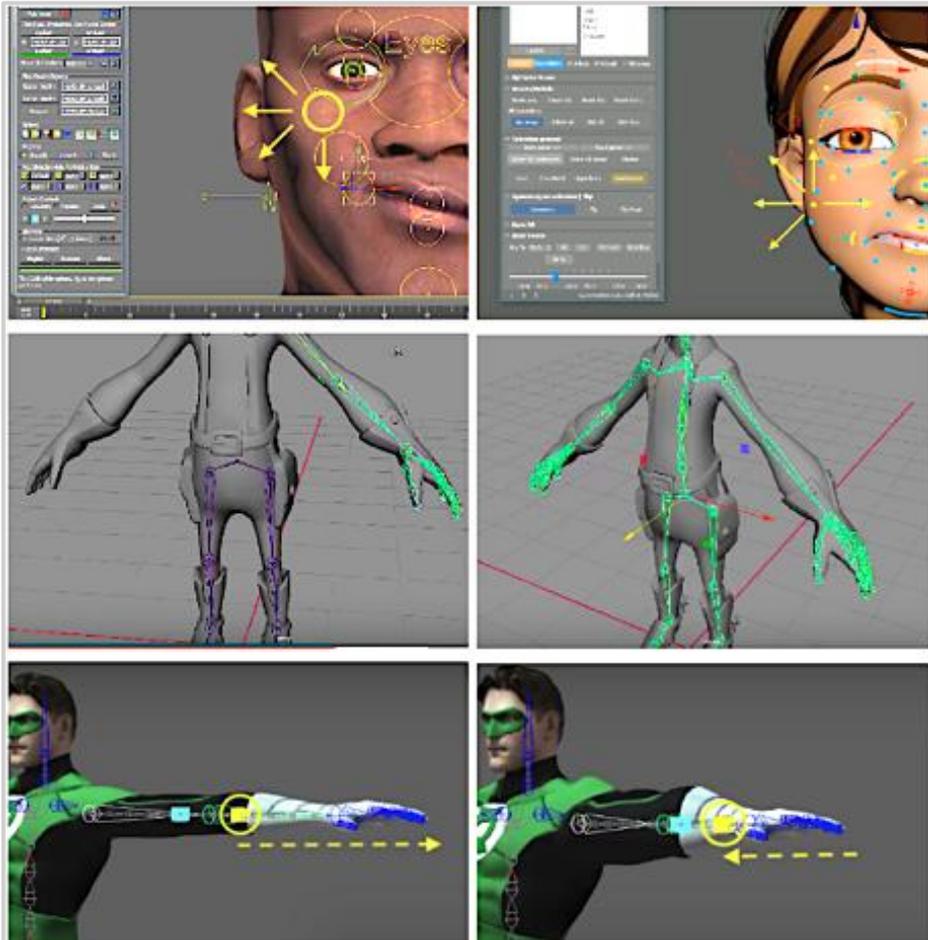


Figura 157. Diferentes interfaces para rigging en software 3D. Arriba, AutoRig en 3DStudio Max. Centro, Maya. Abajo, Auto Rig de Maya. Fuentes: Canal Rigger, "What's New in Rigger 2.2 for Autodesk Maya" en YouTube.

Una nueva tecnología en *rigging* que está comercializándose desde finales de 2018 es la animación 3D mediante realidad virtual (AWN, 2019). El *software* pionero en esta combinación de tecnologías es el Masterpiece Motion de la empresa Masterpiece VR. Allí es aprovechado un espacio virtual mediante un visor o casco para ese formato; con herramientas de modelado y *rigging*. Esta tecnología promete acelerar la creación de la estructura esquelética, la creación de poses y la manipulación de vértices y uniones. Un proceso que suele

ser tedioso por su complejidad<sup>268</sup>. Toda esa producción sería elaborada en una escala humana similar al trabajo de un taller tradicional de escultura, en donde los objetos y personajes no son miniaturizados dentro de una pantalla, mucho menos sus herramientas. Y en donde los volúmenes y proporciones de los objetos animados podrían ser mejor detallados.

Avances como el ya mencionado concretan al fin la integración con otros programas 3D estándares como Blender y Maya (Autodesk y motores de videojuegos como Unity (Masterpiece Motion, 2019). En *Masterpiece Motion*, como en cualquier sistema de realidad virtual, es prioritario usar visores y cascos para que la experiencia inmersiva facilite manipular directamente las uniones de las articulaciones en el modelado. Los controles manuales permitidos para la interacción con el modelado 3D (a julio del 2019) son de los equipos VIVE y Oculus (Masterpiece VR, 2019, p. 6, 7).



*Figura 158. Rigging con realidad virtual. Fuente: AWN, 2019. Masterpiece Motion, 2019.*

Como resumen, la tecnología 3D fue adaptada para recrear articulación en un objeto inanimado, un anhelo humano que ya lleva más de veinte siglos. La tecnología actual de *rigging* es la derivación de desarrollos generados por empresas que cuentan con tres ventajas importantes: crean, aplican y evalúan *su propia tecnología*. Todo para hallar un resultado artístico completo en 3D.

---

<sup>268</sup> Jon Gagne, jefe de MasterpieceVR: "Creative professionals want to spend more time animating characters but find rigging painful" (AWN, 2019). Traducido: "Los profesionales creativos quieren pasar más tiempo animando personajes, pero les resulta doloroso manipularlos".

### 3.15 Análisis estético de las imágenes basados en las primeras tecnologías de *render* para 3D

#### 3.15.1 Imagen con *ray-tracing* (trazado de rayos)

Los algoritmos de *ray-tracing* proponen un rayo virtual evaluador de datos por cada punto de color en una imagen digital. El primer ensayo de esta propuesta fue presentado por J. Turner Whitted, en 1979, en forma de un silencioso video animado. Allí son mostradas dos esferas: una estática y transparente, flotando sobre una superficie cuadrículada; y otra de color amarillo, con surcos cuadrículados como si estuviera formada de pequeños ladrillos. Esta última esfera gira alrededor de la esfera estática transparente, acción que permite observar cómo ambas se solapan entre sí, logrando un efecto de translucidez realista cuando los bordes de la esfera transparente se distorsionan. Toda la escena está enmarcada en un fondo azul junto a una fuente de luz colocada arriba y fuera del marco de la escena, generando sombras no difusas sobre la superficie cuadrículada. Finalmente, es evidente un ligero grano en toda la imagen animada. Eso es causado por el proceso iterativo de los rayos sobre los píxeles (exactamente de 307.200 píxeles) para calcular el color en la animación.

#### 3.15.2 Imagen 3D con subdivisión de polígonos

Subdividir polígonos digitales refiere a agregar líneas y vértices a un plano. A su vez, estos vértices permitirán ser manipulados para alterar la forma poligonal inicial. Por ejemplo, imagine el lector un recuadro de papel, de 10 cm x 10 cm. Eso significa que es posible agregar una línea recta a la mitad de cada lado, obteniendo cuatro pequeños cuadrados de 5 cm por lado y cuatro vértices (más los cuatro vértices del cuadrado inicial). Y luego, es posible agregar otra línea más en la mitad de esos recuadros (logrando cuadrados de 2,5cm por lado); y luego, agregar otra línea más en medio de ellos. Gracias a la subdivisión de polígonos digitales (propuesta por Edwin Catmull y Jim Clark, en 1978) es posible generar una malla infinita de líneas (y de vértices) desde cualquier ubicación de un polígono limpio, sin divisiones.

En los primeros ejemplos dados por Catmull y Clark se observan lineales planos limpios (triángulos o esferas), sin una malla interna ni color en su superficie. A cada nuevo vértice añadido se genera una nueva línea que es marcada sobre la superficie. A mayor cantidad de nuevos vértices, más densa la malla. Luego, la manipulación de esas mallas es posible gracias a la alteración de la posición de los vértices mediante una técnica a la que Catmull y Clark llamaron curvas digitales *B-spline*. Estas curvas permiten alterar la amplitud de una curvatura al manipular solo ciertos puntos de control. A más puntos de control, mayor alteración de la curva.

Como símil, imagine el lector la red típica de un arco de fútbol. Esa malla, formada por gruesos hilos, correspondería a una gran subdivisión de un polígono. Luego, cuando el balón es pateado hacia dentro de la malla, este inflará (alterará) la quietud de la red formando una o más curvas aleatorias. El balón refiere a un solo punto de control que altera decenas de vértices. El gran aporte de Catmull y Clark, en un contexto de

modelado digital, fue dar total libertad al artista modelador para decidir dónde agregar pocos puntos de control que influyan sobre muchos vértices.

### **3.15.3 Imagen 3D para audiovisuales comerciales (1980-1999)**

En mediados de 1980 la industria audiovisual ya consideró al 3D como una tecnología que valía la pena ahondar, pero sin dejar a un lado el legado de la artesanía del dibujo animado como recurso narrativo. Prueba de eso son los cortos *Humanonon* (1982), dirigido por Michel Francois; y *Snoot y Muttly* (1984) de Susan Van Baerle y Doug Kingsbury.

En *Snoot y Muttly* es mostrado un bosque 3D de formas geométricas sin texturas ni proyección inferior de sombras, al igual que en los dos flamencos formados con esferas y triángulos que se desplazan con sus extremidades a lo largo de la escena. En ese corto los creadores modelaron una superficie mate, sin reflejos ni brillos, pero sí con suaves gradaciones de sombras, propias de esferas mate con suave iluminación ambiente. Resulta interesante el controlado desplazamiento del encuadre de la cámara, desde lo más alto de la escena hasta el piso. A toda la escena de tres minutos de duración le acompaña un fondo musical creado en sintetizador

En *Humanonon* (1982), un conjunto de polígonos rectangulares simples y de matiz rosado se elevan del suelo, armando una forma humana. Durante los siguientes dos minutos y medio el personaje explora mediante una caminata robótica un mundo también geométrico, pero sin texturas, acompañado (al igual que en *Snoot y Muttly*) de ambientación sonora mediante música con sintetizadores. Según los créditos del corto, los creadores usaron también una gigante computadora VAX-11/750, un equipo muy popular para cálculos contables en empresas (Henón, 2018, min. 35:46).

Un caso a resaltar ocurrió en 1985 con el primer video musical en 3D distribuido por una disquera internacional. Este es el video del tema *Money For Nothing*, de la banda de rock *Dire Straits*. El video fue diseñado y animado por la empresa Rushes Post Production. En *Money For Nothing* se presentan dos personajes con vestimenta de obreros y una mascota, sin texturas, armados con bloques 3D que recrean su torso y extremidades. Estos interactúan en un ambiente de colores planos, mientras que sus movimientos combinan suaves rotaciones de cabeza y de torso. Los personajes son mostrados desplazándose entre planos y en movimientos laterales. Esta morfología 3D también fue aplicada en Francia en el corto *Panique sur le 16* de Mac Guff Ligne Studio<sup>269</sup>, de 1987, aunque con polígonos más suavizados.

---

<sup>269</sup> Estudio de animación y producción audiovisual creado en Francia, en 1986. Inició creando comerciales para tv y en filmes de bajo presupuesto. En el año 2000 colaboró en la película animada *Azur & Asmar*, de Michel Ocelot. La empresa Universal Studios compró este estudio en el año 2011, y actualmente opera bajo el nombre de Illumination Mac Guff, responsable de la producción de las películas *Despicable Me* (2010), *Secret Life of Pets* (2016), y *Sing* (2016).

Entre 1980 a 1983 todos los demás proyectos que involucren 3D usarían similares recursos: superficies ligeramente texturadas, iluminación ambiental mediante *ray-casting*, rectángulos y óvalos para la morfología de personajes, proyección de sombras con mínimas gradaciones, uso de *texture map*; pero muy especialmente, una combinación de 3D con dibujos animados, siendo esta mixtura la técnica de apertura que permitió al 3D consolidarse, desde 1983 en adelante, como el recurso audiovisual y narrativo más importante logrado hasta ese momento.

El corto *Where the Wild Things*, de 1983, coproducido por el animador John Lasseter para Disney, fue un proyecto de evaluación para determinar cómo los gráficos 3D son compatibles con el legado del dibujo animado. Allí se combinaron control de cámaras y ambientes 3D junto con superposiciones de imágenes animadas. Por ejemplo, cuando uno de los personajes debe atravesar varios ambientes de una casa. La locomoción del personaje fue realizada a mano, mientras que los interiores y la sala fueron recreados con 3D. La combinación funciona por la exacta coordinación entre la animación tradicional y el movimiento de cámara.

Lo siguiente debería ser considerado como un logro acumulativo del 3D. En 1984 y de la mano del mismo productor fue presentado *The Adventures of André and Wally B.* Su personaje principal, Wally, es un muñeco geoméricamente básico. Lasseter se inspiró en las formas circulares de los primeros bocetos animados del ratón Mickey. Otra razón para esa simplicidad fue que para ese ensayo era necesario un personaje con el mínimo de polígonos<sup>270</sup>. El corto muestra un escenario con tupido bosque y alta carga de texturas en follaje y cortezas de árboles (las texturas las pintaron a mano, digitalmente)<sup>271</sup>. El tipo de iluminación usado permite intuir la textura del personaje, similar al plástico pulido. El trabajo de diseño de sonido<sup>272</sup> fortaleció acciones como el aleteo de una abeja y la simulación de velocidad, complementada con los primeros ensayos del *motion blur*.<sup>273</sup> En *The Adventures of André and Wally B.* las animaciones fueron mostradas más ágiles y con matices gestuales que ayudaban a narrar la personalidad de cada personaje.

Sin embargo, a pesar de todas estas innovaciones, los sistemas continuaban siendo complejos de utilizar y aún era necesaria una gran dosis técnica de programación en modelado y en *render* (Ultimate History of CGI, 2019, min. 4:52). El *software* usado fue conocido como REYES, un proyecto interno de la productora

---

<sup>270</sup> Documental *The Pixar Story* (2007), minuto 22:12

<sup>271</sup> “(...) It is the first short film created by the future animation studio, featuring complex flexible characters, hand-painted textures, and motion blur.”, Pixar (2019). Traducido: “Es el primer cortometraje creado [...] con personajes complejos y flexibles, texturas pintadas a mano y desenfoco de movimiento.”

<sup>272</sup> Disciplina técnica en producción audiovisual, responsable de crear y simular mediante efectos de sonido una acción o evento.

<sup>273</sup> Efecto aplicado digitalmente que simula la dinámica de un objeto en movimiento veloz. Generalmente logrado en el cine mediante el movimiento de la cámara, y en la fotografía a través de un largo tiempo de exposición. En 3D se añade *motion blur* alrededor de un objeto para resaltar movimiento.

Lucasfilm Computer Division que permitió a Loren Carpenter y Robert L. Cook aplicar los conocimientos acumulados hasta 1983 en cuanto a simulación de 3D mediante código de programación.

Antes de finalizar la década de 1980 fueron presentados tres cortos animados que sumarán a la cota de calidad de 3D logrado en esa década. Estos son *Luxo Jr.*, (1986)<sup>274</sup>, *Red's Dream*, (1987) y *Tin Toy* (1988).

En *Luxo Jr.*, de dos minutos de duración, toda la escena es expuesta frente a un plano general estático y en penumbra, con objetos 3D bien definidos y con amplios rangos dinámicos (áreas digitalmente iluminadas, desde la más clara a la más oscura). Las lámparas, de formas suavizadas y con reflexiones difusas, simulan mediante fino píxel aceleraciones de movimientos. Eso les impregna un marco de sentimiento y ternura. Es decir, ya no se muestran planos facetados o discontinuos en las gradaciones de color en los polígonos 3D; y los objetos ya no expresan rigidez. Al contrario, se exponen embebidos de una energía vital. *Luxo Jr.* también presenta desenfoques por movimientos (*motion blur*) para recrear un difuminado en los objetos cuando expresan agitación energética. La única textura casi imperceptible es la del piso de madera. Esas credenciales técnicas derivaron en reconocimiento desde la propia industria.

En *Red's Dream*, (1987) la cantidad de elementos presentes en las escenas contrastan con el único elemento orgánico: un payaso caricaturesco sin texturas. El personaje no contiene la amplia gama de movimientos y agitaciones de las lámparas en *Luxo Jr.* Finalmente, los desplazamientos de cámara son reducidos, limitándose a primeros planos y planos generales.

En *Tin Toy* (1988) gracias al efecto de iluminación es fácil identificar algunos materiales (imágenes que simulan texturas reales), como el que recubre el juguete (el mismo plástico pulido y brillante de *Adventures of André and Wally B.*).

Finalmente, desde 1995 el 3D pasó de un nuevo e interesante recurso para cortometrajes animados a ser el gran escaparate narrativo y audiovisual a nivel mundial con las producciones *Toy Story* (1995), *A Bug's Life* (1998) y *Toy Story 2* (1999). Las tres películas simplemente retomaron y ampliaron lo alcanzado en *Luxo Jr.*, *Red's Dream* y *Tin Toy*: calidad de detalle 3D en planos cercanos como en amplios, reflexiones de luz nítidas desde diversas superficies, gradaciones dinámicas de sombras según la ubicación de los elementos, efectos de barrido en elementos con desplazamientos acelerados, modelados curvilíneos que eliminan su rigidez si presentan locomoción, rebote o compresión de sus formas.

Desde el año 2000 en adelante los motores de *render*, los nuevos algoritmos y efectos renovarían lo logrado en este período para recrear no solo estructuras geométricas o iluminación, sino también vestimenta, pelaje, gestos faciales, nuevas texturas, enmarcado todo eso con narrativa de calidad junto a los nuevos alcances en resolución de pantalla, interfaces colaborativos, *software* de pago o gratuito.

---

<sup>274</sup> *Luxo Jr.* fue el primer corto animado en ser nominado a un premio Óscar.

## CAPÍTULO IV: Dos proyectos de creación y animación de ambientes y personajes 3D

En este cuarto capítulo será expuesto la planeación de dos flujos de trabajo para producción 3D realista, junto con documentación, trabajo de modelado, texturizado y animación. Todo eso desde dos proyectos 3D inéditos y a manera de estudio de casos.

En el primer proyecto serán explicados los procesos de creación de un personaje femenino indígena latinoamericano y su ambiente forestal realista, tanto en textura, luces y sombras; todo eso con escenas 3D usando *software* para automatizado de modelado 3D, texturizado y simulación de físicas.

En el segundo proyecto se detallará la creación de un video corto con un personaje 3D robótico y su ambientación, modelado en 3D, de inicio a fin, mediante procesos más tradicionales en producción 3D e igualmente explicados al detalle.

### 4.1 Los proyectos

El primer trabajo a detallar mostrará en una escena interactiva 3D a un personaje femenino con rasgos de la cultura amazónica huaorani, Esta es un conjunto de comunas indígenas ubicadas en América del Sur, en el área oriental de la República del Ecuador. Sus miembros están aislados de las zonas urbanas, su actividad cotidiana es la caza, la recolección de alimentos y la protección de su ambiente y cultura. Se eligió al pueblo huaorani<sup>275</sup> por ser un símbolo de la resistencia contra las costumbres no originarias y por la defensa de su territorio ante empresas extranjeras interesadas en consumir sus recursos naturales.

El relato en el cual está basado este proyecto 3D interactivo es el conflicto entre la naturaleza y su defensa contra aquellos quienes desean debilitarla. En el videojuego, el personaje femenino huaorani tendrá un papel mediador entre la naturaleza y sus oponentes.

En los siguientes párrafos se explicará el *software* usado para este proyecto, además de las técnicas de modelado de polígonos 3D, pintura y textura 3D, animación de articulaciones (*rigging*), simulación de físicas e interacción 3D. Los *softwares* que serán revisados son Metahuman (Unreal), Maya (Autodesk) y Substance 3D Painter (Adobe).

---

<sup>275</sup> Hoy en día los huaorani se subdividen en 24 comunidades con un total de 3.000 miembros, ocupando las provincias ecuatorianas de Pastaza, Napo y Orellana.

El segundo proyecto recrea con modelado 3D a un robot EVA, uno de los personajes de la serie animada Neón Génesis Evangelión (Shinseiki Evangelion)<sup>276</sup>. Aquí también serán aplicados procesos de modelado 3D, texturas, *rigging*, canales alfa y finalmente *render* para video.

Las fases para ambos proyectos serán de preproducción, para determinar el flujo de trabajo; de producción, para la planificación de los elementos visuales; y de postproducción, para editar los efectos que resalten personajes y escenas según las propiedades narrativas deseadas.

Un flujo de trabajo es un extenso conjunto de pasos ya comprobados en calidad de resultado y ahorro de tiempo para lograr un objetivo de producción. Ese no es un término que apunta solo a lo digital. Un carpintero profesional podría haber creado, mediante práctica y ensayo, un correcto flujo de trabajo para elaborar una silla. Y es posible que otro carpintero haya mejorado ese flujo al añadir mejores técnicas y eliminar las innecesarias.

En producción digital 3D cualquier flujo para crear personajes deberá tomar en cuenta la tecnología necesaria (o la posible), los retos a resolver y el tiempo promedio a ocupar. A diferencia de una simple lista de tareas (más breve y puntual), un flujo de trabajo detalla los subprocesos útiles para alcanzar los resultados deseados. En ambos proyectos se detallará una completa referencia de costos en *hardware* y *software*.

Ambos proyectos contienen un personaje principal en el cual suele recaer la fuerza narrativa. Y uno de ellos (la mujer huaorani) se lo concibió según su contexto cultural real. La importancia del personaje en narrativa y el uso de la cultura como marco de relato será explicado en los siguientes párrafos, a modo de introducción, antes de presentar el detalle de los proyectos 3D.

Para Edwin G. Lutz (1868-1951), un estadounidense de familia alemana, su sueño de plasmar en libros su experiencia como caricaturista e ilustrador le fue imposible durante la I Guerra Mundial (1914-1918).

Su anhelo fue realidad unos años después de finalizar el conflicto. En 1920 Lutz publicó en Nueva York, EE.UU. su primer libro, *Animated cartoons: how they are made, their origin and development* (Lutz, 1926). Este debió ser el primer documento bibliográfico de inicios del siglo XX que explicaba en once capítulos variadas técnicas para dibujar personajes animados. Además, sus páginas aportaron criterios para narrativa en dibujos o consejos para crear ambientes y personajes presentados en una sola escena.

Lutz publicó años después *Drawing Made Easy*, en 1935. Allí mostró ejemplos de composiciones, paso a paso, mostrando mediante entretenida pedagogía el uso de la proporción, de las líneas y de las formas geométricas como base para dibujos más elaborados.

---

<sup>276</sup> Serie animada para la televisión, creada en 1995 por la compañía Gainax y por el productor japonés Hideaki Anno.

Por ejemplo, en el libro Lutz aconsejó usar triángulos y líneas verticales como esquema base para dibujar animales, como una cigüeña (Lutz, 1935, p. 45) y con un cuadrado seccionado en partes como plantilla para dibujar un caballo (Lutz, 1935, p. 57).

Lutz fue un prolífico autor de técnicas de dibujo. El resto de sus 16 obras abarcaron anatomía, composición y diseño de paisajes. Incluso, ofrecía breves consejos para conceptualizar personajes en caricaturas. En su publicación *Animated cartoons* (Lutz, 1926, p. 241, párr. 1, 2) se lee, traducido:

Si un sombrero es demasiado pequeño, seguramente hará reír; y si es demasiado grande, es seguro que dará hilaridad burlona. E incluso si es del tamaño correcto, solo necesita estar posado en la cabeza en un ángulo para que se considere ridículo.

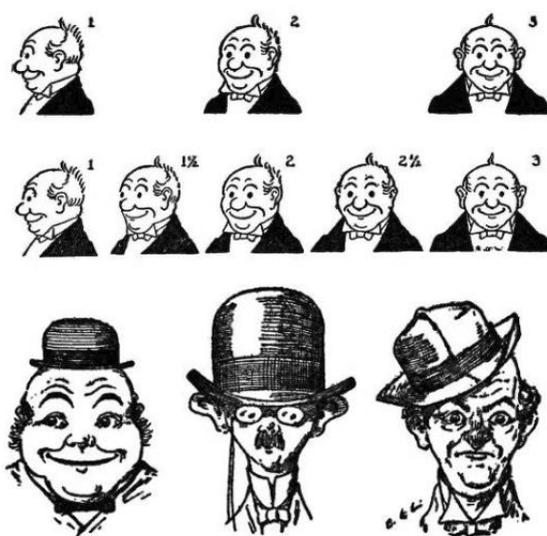


Figura 159. Algunas configuraciones para personajes, de Lutz. Fuente: Lutz (1926, p. 183, 235-239)

Sin saberlo, Lutz estaba inyectando sus ideas en un joven entusiasta devenido en empresario que llevaría sus consejos (de creación de personajes) al cine. Ese joven fue Walt Disney (1901-1966), quien siendo un básico dibujante halló en 1920 algunos de los libros de Lutz en una biblioteca pública de la ciudad de Kansas, en EE. UU. (Seastrom, 2019), los cuales le inspiraron. Luego de casi dos décadas, en 1937, la empresa Walt Disney Productions presentó la primera película animada y a color, *Blancanieves y los 7 enanos*.

Se resalta que desde la década de 1930 el proceso para crear personajes dibujados era aún intuitivo. Eso es evidente en el trabajo de Albert Hurter (1883-1942), uno de los primeros dibujantes contratados en Disney para la producción de *Blancanieves*. Hurter tuvo la responsabilidad de concebir gráficamente los personajes según un guion dado. Sin embargo, sus primeros bocetos no fueron aceptados debido a que exageraban los estados de ánimo del personaje por sobre su comicidad, agregando demasiado dramatismo (Shoard, 2016) o simplemente mostrándolos carentes de gracia.

En paralelo al trabajo de Lutz apareció otro dibujante, Gustaf Tenggren (1896-1970), un recién emigrado sueco que llegó a EE. UU en 1923, con apenas 24 años. Él aportó con nuevas ideas en estilo y arte para animación en esos años. Tenggren ya era un reconocido ilustrador de revistas en Nueva York cuando debió mudarse a Los Ángeles, contratado por Disney. Entre 1936 y 1939 colaboró con el diseño de los ambientes y en "dar sugerencias a los animadores acerca de cómo debían verse los personajes y escenarios" (Mortensen, 2017, p. 10, párr. 4), además del diseño de los carteles para las películas que iban a estrenarse. Tenggren y su equipo motivaron a la creación de nuevas responsabilidades que hoy en día están bien definidas en producción audiovisual; como la del artista concepto y el diseñador de narrativa. Ambos plasman la primera visión en arte y estilo en los personajes y ambientes de una película previo a la gran producción (Maxwell, 2020, p. 92).

En *Blancanieves*, Tenggren dio con un estilo de caricatura que expresaba con óvalos y círculos la afabilidad cómica de los enanos o el sereno rostro de *Blancanieves*; y con triángulos la cara gris y angulosa de la malvada reina. Tenggren también estuvo inspirado en la ruralidad de su Suecia natal. En los bocetos proponía colores pardos o grisáceos y ambientes de bosques en penumbra.

Otros dibujantes de Disney que aportaron con los primeros conceptos de personajes animados entre 1935 y 1940 fueron el húngaro Ferdinand Horvath (1891-1973) y el estadounidense Carl Barks (1901-2000). Sin embargo, el trabajo de Tenggren prevaleció por equilibrar aspecto y personalidad en sus dibujos. Su aporte fue establecer un flujo de trabajo artístico para largometrajes animados.



Figura 160. Bocetos para los personajes de la película *Blancanieves*, de Disney. Arriba, izquierda: dibujo de Carl Barks. Arriba, derecha, boceto de Ferdinand Horvath. Abajo, izquierda, boceto de Albert Hurte; centro, boceto de Gustaf Tenggren. Abajo, derecha: Dibujos de Albert Hurte y Gustaf Tenggren. Todos realizados entre 1934 y 1937. Fuentes: Mortensen, 2017; Shoard, 2016; *The Walt Disney Family Museum* (2013).

La producción de *Blancanieves* aportó con innovadores procesos de creación de personajes. Primero, con el *storyboard*, una secuencia dibujada de toda la película y que aún hoy funciona como la guía total del relato previo a la producción. También con la hoja de modelo o plantilla de personaje. Esa hoja debía funcionar como una referencia completa de poses, proporciones, apariencia y expresiones de cada personaje para mantener concordancia durante cada escena; especialmente cuando más de un dibujante animador debe encargarse de uno o varios personajes.

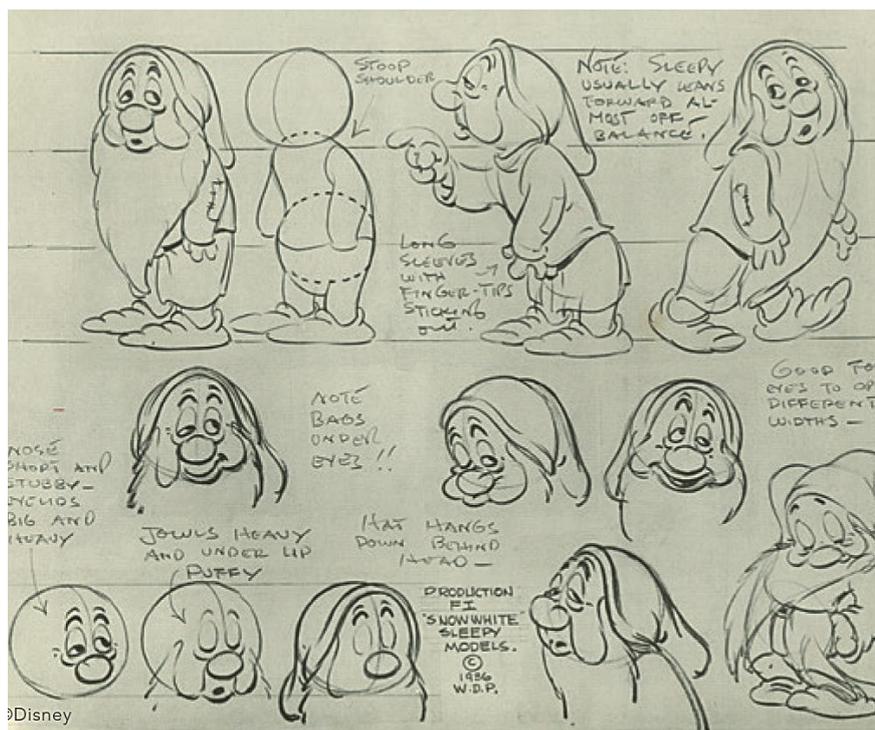


Figura 161. Hoja de estilo para el personaje Dormilón, en Blancanieves Fuente: *The Walt Disney Family Museum* (2013, p. 20).

Lo establecido en la producción de *Blancanieves*, hace ya 86 años, sirvió para todo el trabajo fílmico en Disney. También para muchos grandes estudios de animación hoy en día. Por ejemplo, las definidas responsabilidades del artista concepto, el *storyboard*, la biblia del personaje (*Character Bible*, una ampliación de los *model sheet*), los flujos de trabajo o la documentación son fases comunes en producción de películas y videojuegos en la actualidad.

Gracias a eso, las configuraciones para crear personajes son amplias. Por ejemplo, al añadir comportamientos que expresen estados mentales, emociones y contextos (si el personaje está basado en un relato real o ficticio), tramas (si la estructura del relato debe ser simple o intrincada), iconicidad (si el personaje es mostrado con un estilo gráfico único), funciones (si el personaje tendrá el rol de héroe, mentor u oponente) y en las relaciones interpersonales con otros miembros del relato (un personaje tiene una relación de hostilidad con otro, pero también podría tener una relación de amistad con un tercero) (Schell, 2015, p. 345-355).

Otro recurso es agregar apariencias identificables según cada personaje (las formas angulosas de un triángulo como base para el diseño de un personaje grotesco y las formas ovaladas y curvas para un personaje amigable), movimientos característicos (por ejemplo, un solo tipo de salto o trote para un único personaje) y accesorios (un personaje usa una cierta cantidad de armas, ropa o utensilios según cada fase o capítulo del relato) (Rogers, 2014, p. 83).

## 4.2 La cultura e historia como tema narrativo audiovisual

No es moderno el uso de narrativas culturales en artefactos que simulen movimiento. 400 años antes del siglo I los egipcios ya usaban muñecos articulados para representar sus creencias. Es decir, usaban figuras humanas para intermediar con los dioses; en la Europa del siglo XIII eran usados títeres para representar personajes bíblicos y a inicios del siglo XIX investigadores europeos construyeron artefactos giratorios, como el zoótropo, para representar la diversión típica de la época: arlequines saltando, parejas en gala bailando y jinetes jóvenes cabalgando.

Años después, los primerísimos ensayos con el *stop motion* de Georges Méliès y Stuart Blackton y las animaciones de Emile Cohl y Winsor McCay a inicios del siglo XX fueron enriquecidos con personajes tomados del entretenimiento en esos años, como payasos y actores de circo. En otras palabras, el ser humano ha usado referencias de sus creencias y cotidianidad para mostrar mediante el arte animado el reflejo directo de su vivir y pensar.

Al igual que los muñecos articulados, los dibujos animados y luego los píxeles fueron adaptados para expresar no solo ficción, sino también las ideas subyacentes en cultura e historia del ser humano que los creó.

La cultura es una fuente de narrativas porque concentra conductas, símbolos y reacciones humanas acumuladas, repetidas o legadas a lo largo del tiempo y obtenidas desde un ambiente único (Kluckhohn, C., citado en Geertz, 2017, p. 16, 363). Otros criterios proponen que las diferencias culturales impiden que una globalización descontrolada diluya la riqueza de lo diferente (Han, 2005, p. 17, 63). Por lo tanto, estar inserto en una cultura significaría usar nuestro cuerpo y lenguaje *para expresar qué somos, para diferenciarnos, para interactuar con otros e identificarnos con nuestro modo de vivir*.

La producción audiovisual también debe dar atención a la conciencia cultural (*cultural awareness*). Esta cuestiona cómo cada proyecto debería ser aceptado o interpretado desde sus símbolos y desde el lenguaje usado hacia el espectador de otras regiones del mundo (Maxwell, 2020, p. 232), tanto para exponer aprendizaje mediante la multiculturalidad o fomentar la tolerancia entre culturas.

De igual manera, la historia (el estudio de eventos pasados y sus relaciones) es un concentrador de narrativas porque funciona como un amplio registro cultural de evolución y cambio humano (Harari, 2023, min. 59:14<sup>277</sup>). La historia contiene personajes, conflictos, desenlaces y relaciones entre causas y efectos basados en hechos reales, muchas veces trascendentes en el tiempo. Usar temas históricos en audiovisuales y 3D es una práctica impulsada en proyectos interactivos universitarios, en donde no siempre exigen lograr metas puramente comerciales, pero sí buscan novedad tecnológica.

---

<sup>277</sup> Monólogo del historiador israelí Yuval Noah Harari, autor de *Sapiens, de animales a dioses* (2015), editorial Debate (en español), Barcelona.

Por ejemplo, en América Latina estudiantes de la Pontificia Universidad Católica del Perú desarrollaron *1814: La Rebelión del Cusco* (Chiyong, et al., 2016), un videojuego que explica una insurrección independentista en el Perú republicano del siglo XIX. En México, la productora Lienzo creó *Mulaka*. Esta muestra los relatos mitológicos de la cultura mesoamericana Tarahumara (Nintendo Store, 2018).

En Ecuador, la Universidad de Cuenca y la empresa privada financiaron el videojuego *El gran viaje* (Santos, 2018). Este representa en tono de ficción a una joven llamada Nina Samay. Ella debe recuperar a sus padres luego de la invasión Inca en lo que ahora es Ecuador, ocurrida a mediados del siglo XV. La conquista inca es un hecho histórico recogido por cronistas del siglo XVI, como Cieza de León (1520-1554), Juan de Betanzos (1510-1576) y Cabello de Balboa (1535-1608), (Araneda, 2021. pp.7, 37).

Otro ejemplo fue creado en la Facultad de Informática y Electrónica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (Ecuador). Allí existe un proyecto 3D de personajes basados en el tradicional Paso del niño Rey. Esta es una marcha que conmemora el nacimiento de Jesús y al mismo tiempo, el proceso de mestizaje durante la colonización (Villacrés, et al., 2023, p. 295). Los personajes representados en 3D son el diablillo (el mestizo), el payaso (la pureza) y el Curiquingue (un danzante humano que representa la divinidad de las aves andinas) (Villacrés, et al., 2023, p. 295).



*Figura 162. Cuatro ejemplos de proyectos de videojuegos. Imágenes parciales de videojuegos culturales o históricos. Arriba, izquierda, 1814: La Rebelión del Cusco. Arriba, derecha, Mulaka. Abajo, izquierda, El gran viaje; y finalmente, el curiquingue, imagen 3D basada en la fiesta religiosa del Paso del niño Rey.*

A pesar de los esfuerzos por lograr financiamiento, muchos proyectos culturales que usan 3D solo alcanzan su fase de prueba (la mexicana *Mulaka* sí está disponible para ser comprado en línea en el sitio web *steampowered.com*). Algunos siguen delimitados al ensayo académico, más si la industria de audiovisuales interactivos en Latinoamérica es reducida, o dirigida exclusivamente a publicitar productos de consumo, o menos interesantes que otras temáticas, como la producción de ficción para tv y cine.

Por lo tanto, sumando a los proyectos interactivos 3D que expongan cultura en América Latina se aporta aquí con el detalle de la producción de un personaje indígena huaorani, cuyo resultado será un prototipo interactivo 3D.

El relato de conflicto de la protagonista huaorani está enmarcado en lo siguiente: la irrupción del hombre industrializado en una amazonia desgastada en sus recursos. En ese conflicto entra la joven huaorani cuyo papel será atenuar y controlar la ira de la naturaleza (representada en la forma de un cóndor andino sagrado) para así expulsar a los que explotan el bosque y devolver la selva amazónica a su estado natural.

El escenario que ambienta ese relato será el de un extenso bosque 3D, recreado fielmente en iluminación, textura vegetal y materia rocosa según las referencias documentales halladas. El personaje huaorani deberá recorrerlo para hallar artefactos que le permitan juntar la suficiente energía y así aplacar la ira de la Naturaleza.

#### 4.3 Proyecto: modelado y animación de un personaje 3D para videojuego

De aquí en adelante serán mostradas las fases de creación y animación de un prototipo 3D interactivo. Este desarrollo tendrá el siguiente flujo de trabajo:

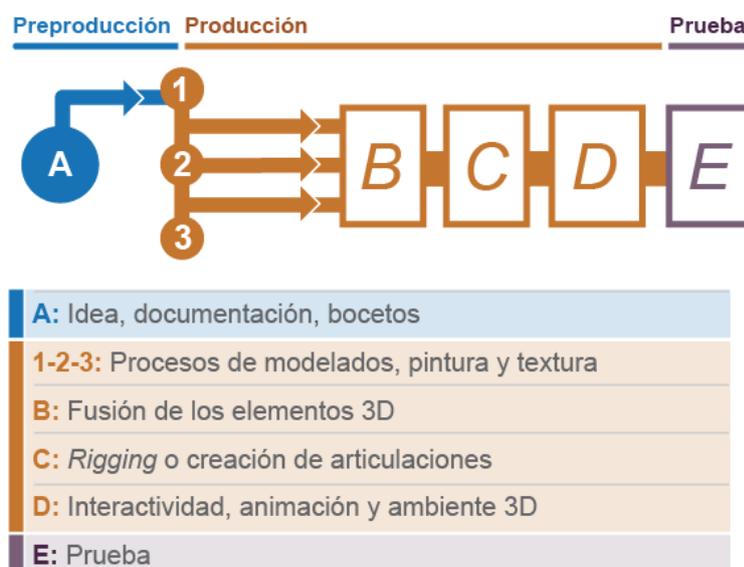


Figura 163. Flujo de trabajo para producción de personaje interactivo. Fuente: Elaboración propia.

Según el flujo mostrado arriba, en preproducción se documentará la idea inicial y se realizarán los bocetos (A). Luego, la producción contará con tres procesos: primero, anatomía y articulación 3D de personajes; segundo, modelado de objetos accesorios; y tercero, pintura y texturizado. Le siguen la fusión de los elementos (B) en el motor de videojuegos Unreal, luego el *rigging* (C) y finalmente la interacción y animación.

Se aclara que el *render* estará implícito en cada fase<sup>278</sup>. Serán aprovechados tres *softwares* similares en función (elaborar y alterar 3D) pero con muy definidas prestaciones: el *software* Metahuman (Unreal engine) será usado para crear un cuerpo femenino 3D y su esqueleto articulado; Maya (Autodesk) para modelar accesorios y ropajes; Substance 3D Painter (Adobe) para pintura y texturas; y el motor de videojuegos Unreal (Epic Games) para la integración final de todos los elementos, la interacción, la animación y la fase de prueba.

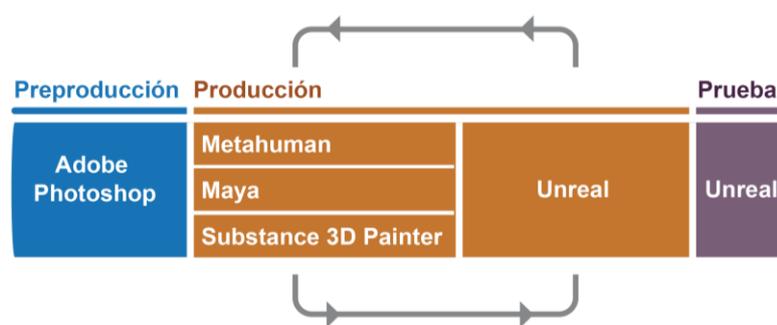


Figura 164. Softwares usados para elaboración de personaje huaorani. Fuente: Elaboración propia.

Según la calidad del *software* existirá una anidación entre tecnologías (flechas grises, arriba). La anidación se refiere a usar herramientas de cada *software* en combinación con otra que la complementa.

#### 4.3.1 Preproducción

La idea para este proyecto con temática cultural 3D inició con la revisión de documentación y bocetos. Luego de dos semanas de búsqueda bibliográfica se halló información del pueblo huaorani. Este es un grupo de comunas indígenas que aún viven y cazan en la Amazonía ecuatoriana, pero aislados por decisión propia de las grandes áreas urbanizadas.

Wuaorani<sup>279</sup> es la expresión de una lengua indígena llamada *wao terero*. Wao significa 'la gente' (Conaie, 2014). Los primeros intentos de comunicación con los huaorani iniciaron en 1956 mediante misioneros españoles y colombianos que visitaron esas comunas.

<sup>278</sup> Para un estudio amplio de los orígenes técnicos del *render* revisar el capítulo III de este documento.

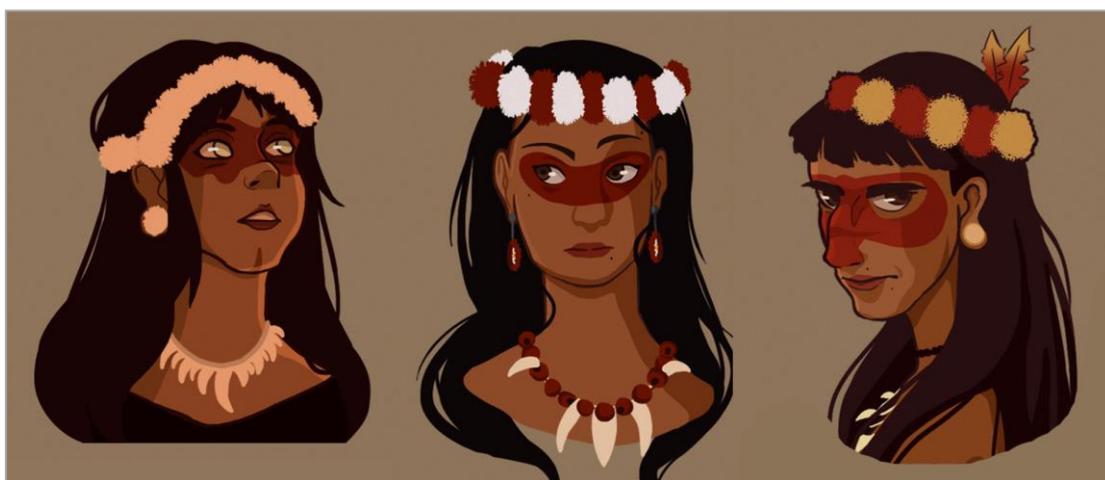
<sup>279</sup> Según el Diccionario histórico de la lengua española [<https://www.rae.es/dhle/huaorani>], huaorani es un adjetivo relativo a esa etnia amazónica. La Confederación de Nacionalidades Indígenas del Ecuador [<https://conaie.org>]

También fue revisada la documentación fotográfica para entender la vestimenta huaorani. Se halló que las mujeres presentan telas color ocre cruzadas en pecho, sencillas faldas y collares. Los hombres carecen de prendas durante la cacería, pero cubren parcialmente cabeza y cuerpo durante ritos. Una característica general es la franja ceremonial roja que cubre cejas, párpados y pómulos, tanto en hombres como mujeres, hecha a base de semillas de achiote trituradas, un condimento usual en alimentos.



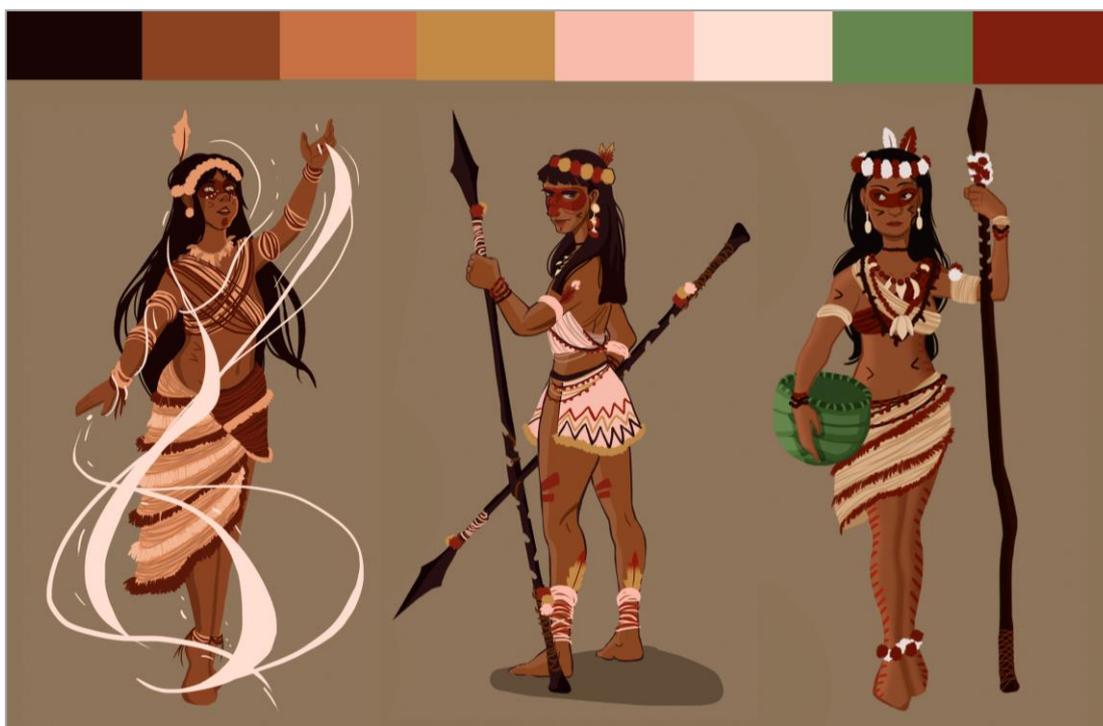
Figura 165. Miembros del pueblo huaorani Mujeres huaorani junto con sabios de la comunidad. Fuente: 'La comunidad huaorani enfrenta la pandemia con su medicina ancestral en la Amazonía ecuatoriana', agosto 11 del 2020. Foto de Nicolás Kingman <https://www.nationalgeographic.com>.

Con todo lo revisado se procedió a bocetar las ideas iniciales del rostro, gestos y apariencia de un personaje femenino joven perteneciente al pueblo amazónico huaorani y con los rasgos de vestimenta ya mencionados.



nombra a esa misma etnia como waoranis o huaoranis. En este documento usaremos el adjetivo huaorani, dado por la RAE para identificar a esa comunidad.

*Figura 166. Bocetos para rostro, accesorios y maquillaje*



*Figura 167. Bocetos para vestimenta y utensilios*

Para la paleta de colores se usó colores cuaternarios (combinación entre sí de colores terciarios como naranjas, verdosos o violetas) con una escala de luminosidad de mayor a menor. Esa paleta refiere a los matices terrosos de las cortezas de árboles y cerros. Se resalta que el diseño del personaje presenta collares y ropajes que deberán ser modelados para que mantengan su comportamiento físico durante la locomoción del personaje.

Luego de la preproducción inician los siguientes procesos: modelado, pintura y textura.

#### **4.3.2 Producción: creación del personaje huaorani**

Para el personaje huaorani se decidió usar una anatomía precisa, no simplificada. Eso permite mostrar mayor fidelidad con el referente y mayor desafío en el uso de las herramientas y en los resultados para este proyecto.



Figura 168. Diseño final de personaje huaorani. Concepto gráfico final para personaje femenino basado en vestimenta del pueblo huaorani. Elaboración propia.

### 4.3.3 Modelado y base de *rigging*

Aquí se definió el modelado anatómico en sus rasgos generales. También la obtención de una base para la articulación animada o *rigging*, todo desde el *software* Metahuman.

Metahuman admite ajustes en morfología, color de piel, rasgos faciales y cabello humano. En este caso, el cuerpo 3D a obtener debe presentar similitud con una mujer de entre los 25 a 35 años de edad, perteneciente a la amazonía sudamericana. Otros *softwares* como *iClone 8* (Reallusion) también permiten 3D de anatomías. Pero las diferencias entre Metahuman y *iClone* se las detallará más adelante, al explicar la creación de la articulación (o *rigging*) del personaje.



*Figura 169. Creación de modelo anatómico femenino 3D en Metahuman. Los rasgos faciales, tonos de piel y morfología son seleccionados desde Metahuman. Luego, el modelo es exportado para su elaboración al detalle hacia otro software para 3D. Elaboración propia.*

La siguiente fase es el modelado 3D y el texturizado de accesorios y prendas. Primero se duplicó el cuerpo en 3D. Luego, fue usado desde Maya como base para modelar ropa y accesorios. Y en el tercer proceso se lo pintó y texturizó desde el *software* Substance 3D Painter, de Adobe.

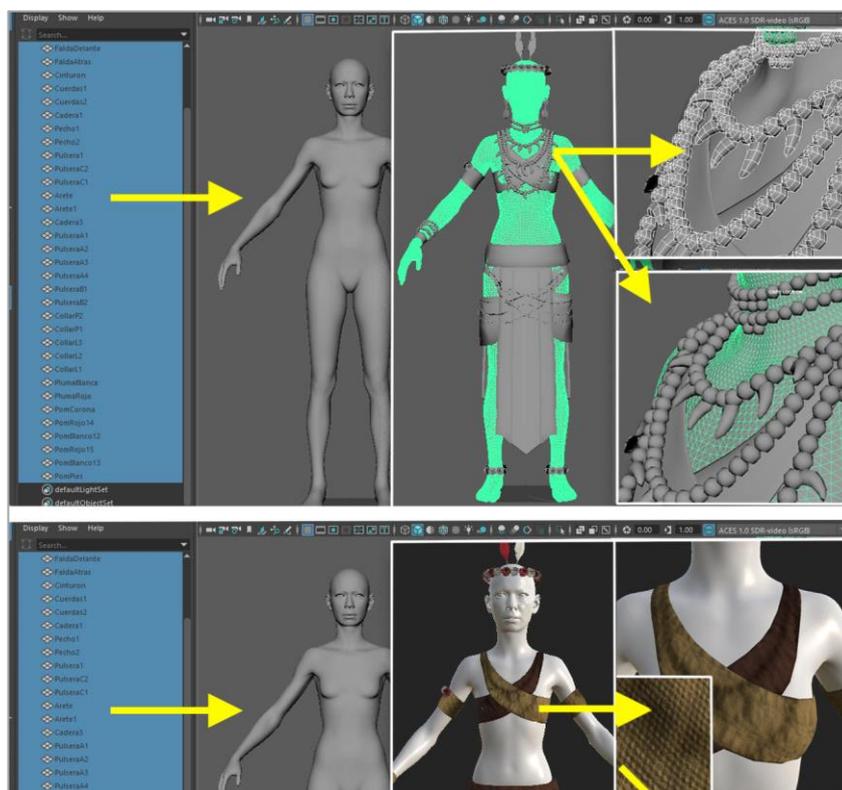


Figura 170. Maya y Substance 3D para modelado y de texturizado. Primer gran recuadro superior: desde Maya insertamos una copia del cuerpo para ubicar y modelar vestimenta y accesorios. Segundo gran recuadro inferior: Substance 3D Painter. Allí cada elemento lo coloreamos y texturizamos. Fuente: Elaboración propia.

Hasta aquí fue usado Metahuman para modelar la anatomía de un personaje 3D complejo (no es apto para modelar polígonos ni objetos 3D). También fue aprovechado Maya solo para el modelado de polígonos rígidos (elaborar allí anatomía 3D tomaría más tiempo). Todas estas etapas de trabajo son fusionadas según será explicado en el siguiente apartado.

#### 4.3.4 Producción: fusión de modelado, *rigging*, texturas y color

En esta fase se fusionarán la anatomía 3D del personaje huarani, su esqueleto articulado, su ropa y accesorios. Esa unión será recreada en un motor de videojuego o *game engine*, ya reseñados anteriormente<sup>280</sup>. Los motores de videojuegos iniciaron en 1990 como *software* de uso libre, compartido entre programadores y artistas digitales para crear, alterar, producir y distribuir productos interactivos. El *game engine* usado aquí será Unreal (Epic Games) y permitirá escenificar todos los elementos en una sola gran composición interactiva.

<sup>280</sup> Para una amplia reseña de *game engines* y su evolución técnica revisar el capítulo II.



Figura 171. Fusión de anatomía, accesorios, pintura y textura. Fusión de modelado anatómico, rigging y prendas de vestir en Unreal.

Fuente: Elaboración propia.

El resultado de la fusión mencionada es el cuerpo de la mujer huaorani *ya vestida con prendas, texturas y articulación interna*. Se lo efectuó montando cada capa de elementos, uno sobre otro, vinculando los miembros del cuerpo con cada prenda y accesorio. Esa vinculación permitirá activar el *rigging* para darle al personaje su capacidad de locomoción.

#### 4.3.5 Producción: articulación del personaje huaorani 3D

Ya se ha señalado que las articulaciones en un objeto 3D ocurren gracias a varios puntos de unión y flexión que permiten movimiento entre sus partes. El *rigging*<sup>281</sup> es la versión digital de la articulación mecánica real.

Se aclara que la estructura articulable del personaje huaorani ya había sido generada mediante el *software* Metahuman. Este facilita construir anatomía ajustable en morfología, cabello, rasgos faciales y estructura. Otras tecnologías como iClone 8 también contienen herramientas para igual fin. Sin embargo, iClone presenta menos complejidad en los puntos de articulación y flexión en el esqueleto, cuello y cabeza; muy útil para personajes *cartoon*. Mientras que Metahuman admite articulación para morfologías más intrincadas, como

---

<sup>281</sup> Para ampliar el concepto, revisar también el capítulo II.

animales fantásticos o seres antropomorfos que requieren de locomoción realista. Se presentan dos ejemplos de lo mencionado.

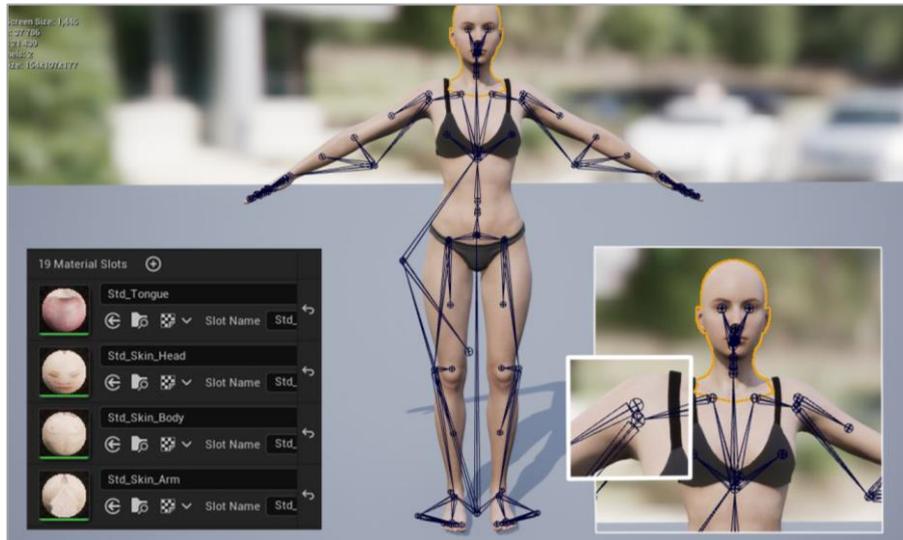


Figura 172. Estructura de rigging desde iClone. Los nodos articulados en personaje desde el software iClone. Imagen tomada directamente de la interfaz del software.

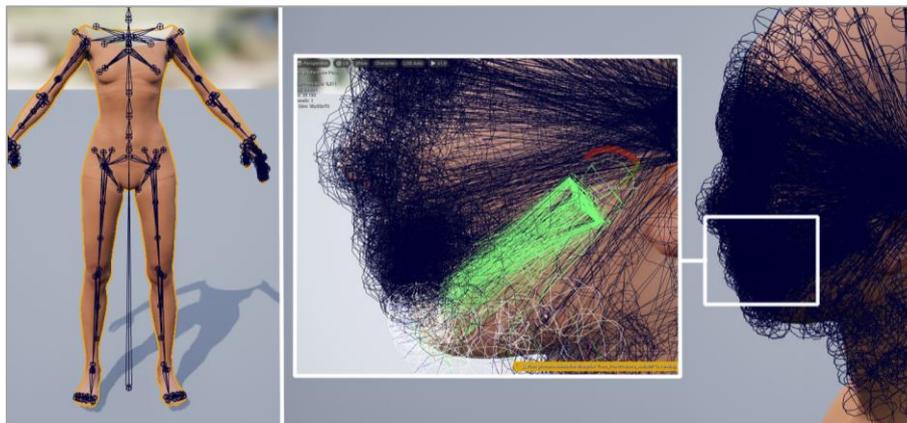


Figura 173. Estructura de rigging desde Metahuman. Los nodos de la estructura articulada son abundantes debido a que permiten mayor control de articulación. Fuente: Imagen tomada directamente del interfaz del software.

#### 4.3.6 Producción de personajes complementarios

En literatura y también en narrativa audiovisual los personajes complementarios al protagonista tienen una de dos funciones principales: ayudar a resolver y anular un conflicto; o bien, en el caso de los oponentes, fortalecerlo y mantenerlo.

A esta producción fue añadido un personaje oponente que justifica el objetivo narrativo de la mujer huaorani. Según el relato de ficción ensayado para este proyecto, la Gran Naturaleza se niega a seguir soportando la extracción de recursos naturales por parte de una humanidad inconsciente del daño. La imagen de un cóndor andino dará forma a esa furia liberada que solo desea venganza violenta. El objetivo de la mujer huaorani será aplacar a la Naturaleza y devolver el respeto humano hacia la selva amazónica.



*Figura 174. Mujer huaorani y cóndor en ambiente*

Para elaborar el cóndor se generó simulación 3D desde texturas de materiales digitales que simulen naturaleza, como rocas candentes y corteza de árboles; y en la morfología del ave 3D se insertó una esfera que, para el relato interactivo, contendrá poder y energía.

Como primer paso se usaron referencias visuales de un cóndor andino. Luego se inició con un modelado 3D preliminar del ave desde el *software* Maya. Se trabajó ese modelo 3D con el *software* ZBrush para añadir una textura rocosa realista que respete la morfología del cóndor. También se añadió a la textura rocosa del ave algunos efectos lumínicos que simulen incandescencia de lava volcánica y textura dorada pulida.

Finalmente, la articulación o *rigging* para la acción de vuelo del cóndor es nuevamente agregada desde Maya. Allí existen articulaciones 3D genéricas que pueden ser agregadas automáticamente al modelado del ave para simular, por ejemplo, su vuelo.

En los siguientes párrafos se detallará la automatización de efectos 3D mediante tres tecnologías: *blueprints*, grafos de eventos y nodos.

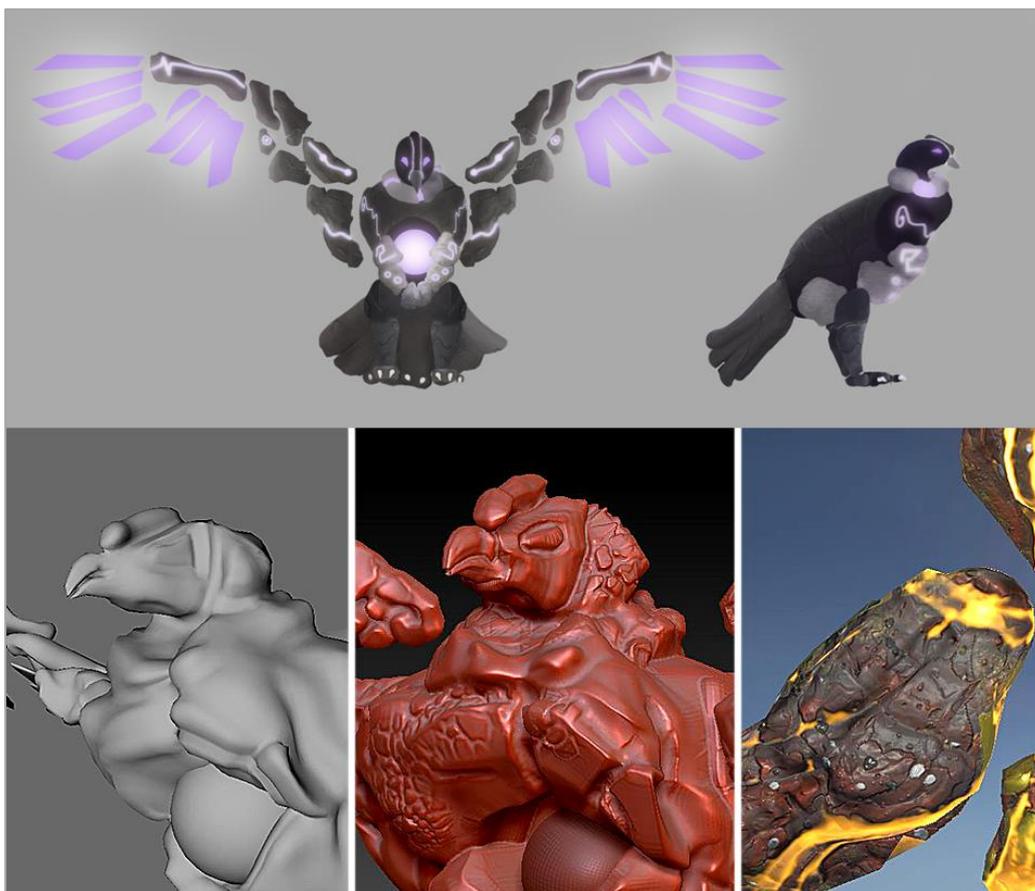


Figura 175. Modelado, texturizado y color del cóndor. Arriba, concepto para el cóndor. Abajo, modelado, textura y efectos. Elaboración propia

#### 4.3.7 Algoritmos predefinidos: *blueprints*, grafos de eventos y nodos

Si los algoritmos son operaciones matemáticas en secuencia lógica para lograr un resultado de cómputo, los algoritmos predefinidos son operaciones previamente creadas, ya establecidas y ordenadas de antemano para solo recibir nuevos datos y generar resultados. En *software* 3D esos algoritmos predefinidos se concretan en los *blueprints*, los nodos y los grafos<sup>282</sup> de eventos.

Un *blueprint* es un modo visual de mostrar vínculos entre propiedades y valores, un nodo es una propiedad que puede funcionar aislada o complementada con otros nodos y un grafo puede agrupar un conjunto de nodos conectados, es decir, que intercambian valores entre sí.

En el contexto de *software* para 3D, los *blueprints*, los nodos y los grafos tienen en común lo siguiente: son tecnologías en forma de unidades visuales en pantalla que contienen procesos preinstalados, junto con datos seleccionables y conectables entre sí. Difieren en su jerarquía: los *blueprints* contienen uno o más grafos

<sup>282</sup> Término matemático que define un orden de coordenadas conectadas entre sí mediante puntos de intersección (nodos) y líneas. Similar a un conjunto de calles en una ciudad, con nodos y un flujo constante sin bloqueos.

y a su vez estos contienen uno o más nodos. Son usados para modelar texturas con patrones repetitivos, como rocas, césped o copos de árboles. También para adjudicar en figuras articuladas 3D ciertas acciones de locomoción, como el caminar y saltar.

Usar *blueprints*, grafos y nodos evita que los artistas digitales modelen varias geometrías complejas 3D, una a una. El 3D automatizado facilita insertar pocos ajustes y valores numéricos desde el interfaz para, por ejemplo, reproducir una cantidad ilimitada de rocas 3D de aspecto realista.

La base técnica de esa automatización ha sido llamada inicialmente como generación procedural 3D. Fue ensayada para representar texturas, o para adaptar un solo modelo de articulación humana (*rigging*) hacia varias morfologías de personajes 3D.

En los siguientes párrafos se explicará cómo los *blueprints*, los grafos y los nodos son aprovechados desde el motor Unreal para producir 3D realista y con efectos especiales diversos.

#### 4.3.8 *Blueprints*, grafos de eventos y nodos

Los *blueprints* en el motor de videojuegos Unreal son elementos de la interfaz de computador que pueden ser seleccionados y conectados entre sí por el usuario. Dentro de cada *blueprint* serán guardados grafos y nodos, además de propiedades (por ejemplo, la densidad de un material), sus valores (los niveles de mayor o menor densidad) y otras condiciones (como el determinar que la densidad de un material será mayor o menor según la iluminación presente). En cada proyecto podrá haber más de un *blueprint*.

Así mismo, cada *blueprint* determina qué datos son accedidos desde otros *blueprints*. Por ejemplo, es posible definir que la textura de una roca sea generada solo con rocas grandes, pero no con rocas pequeñas.

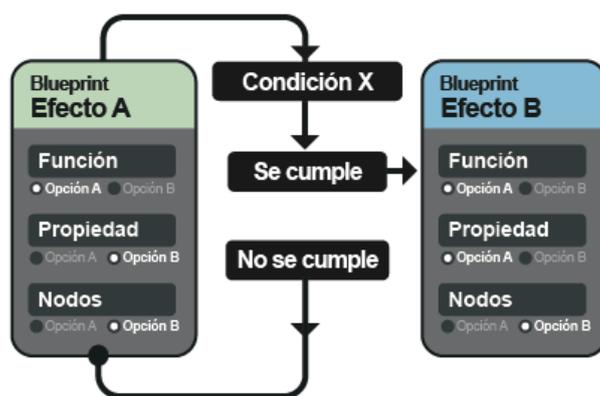


Figura 176. Concepto de los *blueprints* en Unreal. La función A conectará con la B solo si la condición es cumplida.

Basado en *Blueprint Functions: What you need to know*. <https://www.unrealdirective.com>

Por otro lado, un grafo de eventos (*EventGraph*) agrupa conjuntos de *blueprints* conectados entre sí para generar respuestas interactivas, como texturas realistas en objetos 3D según unas condiciones dadas. Por ejemplo, un grafo puede configurarse para que, en ciertos objetos 3D, sean intercambiadas texturas por otras que simulen un daño cuando ese objeto reciba un impacto (Unreal Engine, 2023e).

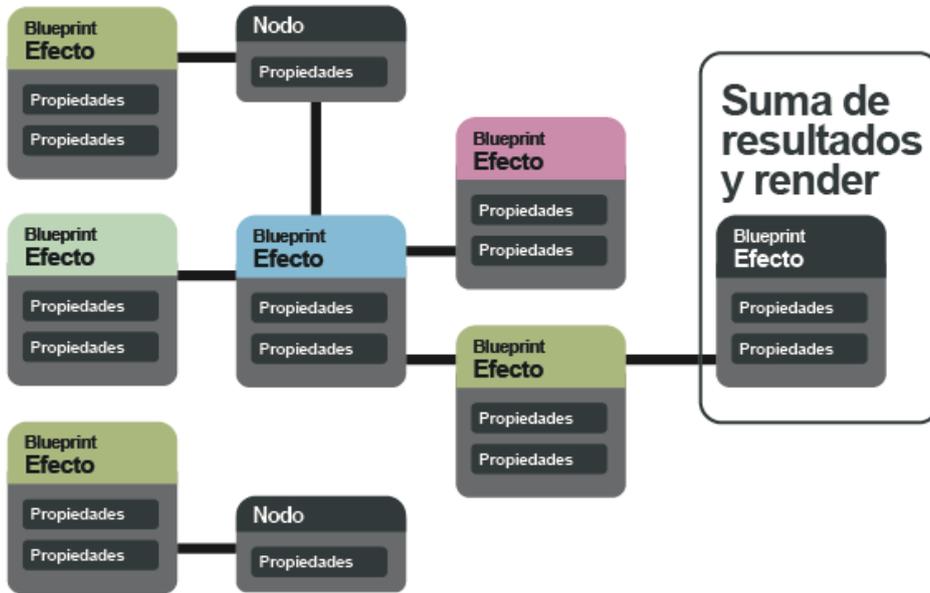


Figura 177. Concepto de los grafos de eventos. Basado en *Graphs*, Unreal Engine, 2023e

Finalmente, los nodos también son unidades visuales en pantalla que contienen funciones. Uno o más nodos *viven* dentro de los *blueprints* y solo ejecutan una sola función y un solo evento a la vez (Unreal Engine, 2023d). Cada nodo contiene más propiedades y valores ya fijados en fábrica y que abarcan desde representación de materiales, texturas, geometrías, iluminación y efectos especiales varios.

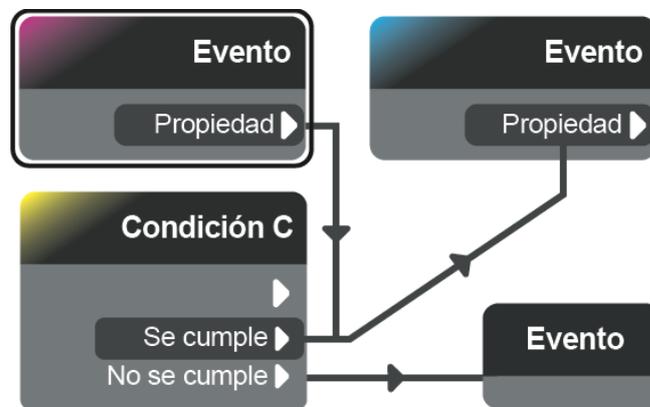


Figura 178. Concepto de los nodos en Unreal. Basado en *Nodes*, Unreal Engine, 2023d

Un recurso final y externo a los *blueprints*, a los grafos y a los nodos son los paquetes de generación de contenido procedural (*Procedural Content Generation* o PCG). Estos son recursos que complementan a las tres tecnologías ya mencionadas. En el sistema de venta en línea para creación 3D de Unreal (*unrealengine marketplace*) el usuario puede comprar paquetes especializados para un tipo específico de producción o efecto. Cada categoría de paquetes permite un tipo de producción, por ejemplo, para generar bosques y vegetación 3D.

Dicho lo anterior, se explicará el uso de esos recursos en proyectos de creación 3D desde el motor de videojuegos Unreal.

#### 4.3.9 Interacción con el *rigging* desde *blueprints* en Unreal

Se aplicó *blueprints* para insertar animación realista en la articulación del personaje huaorani. Es decir, el personaje responderá a la pulsación de una tecla desde un teclado externo.

Gracias a los *blueprints* solo bastará combinar funciones específicas con la ejecución de un dispositivo externo, como un teclado.

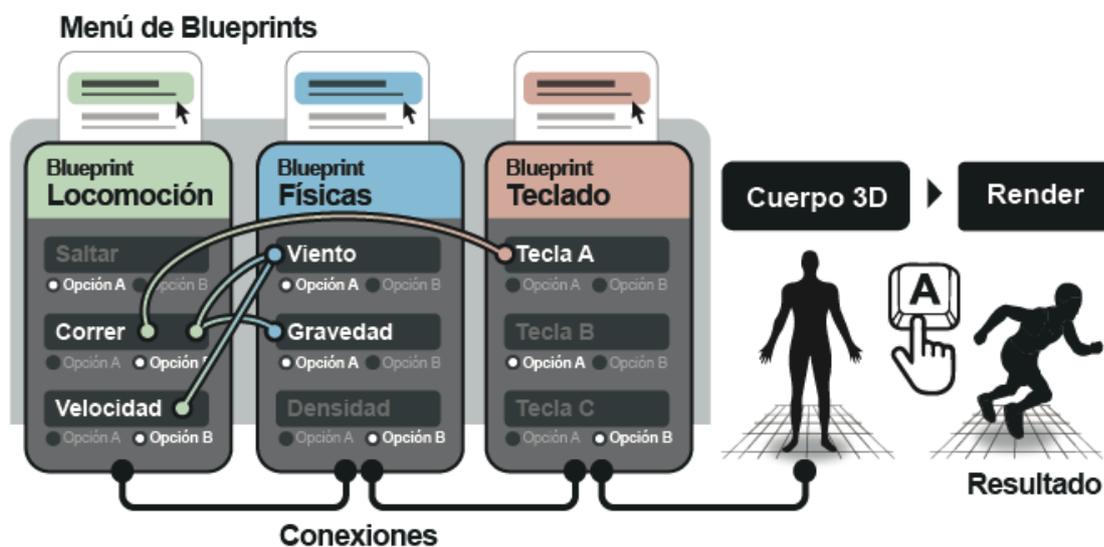


Figura 179. Concepto del uso de blueprints para la locomoción. Cada blueprint puede acceder (o no) a los datos de otro blueprint (líneas blancas sobre negro), y así alimentar los eventos con nuevas variables y datos. El resultado será visualizado después del render. Elaboración propia basada en Blueprint

Functions: What you need to know. <https://www.unrealdirective.com>



Figura 180. Render con acciones de locomoción en personaje huaorani. Acciones activadas desde teclado. El comportamiento de la vestimenta y cabello se derivan de blueprints para físicas de materiales y colisiones en Unreal. Fuente: Elaboración propia.

#### 4.3.10 Simular físicas en polígonos 3D

La gravedad, la densidad de la materia o la velocidad son fuerzas físicas que nos influyen a todos los seres vivos y a los objetos inanimados.

Simularlas fue la obsesión de creadores cinematográficos en los inicios del cine, como en las animaciones con la técnica de *stop motion* de Georges Méliès en 1895 y de Stuart Blackton<sup>283</sup>, en 1906, o en las primeras geometrías lineales 3D, elaboradas a partir de código de programación por Lawrence Gilman Roberts, en 1963.

En la producción de la mujer huaorani se usó el motor Unreal para simular la influencia de la fuerza de gravedad y de una brisa sobre los ropajes de la mujer mediante la propiedad *Clothing* (Unreal Engine, 2023b).

<sup>283</sup> Para ampliar la historia técnica del *stop motion*, revisar el capítulo I.

*Clothing* permite alterar el movimiento de los pliegues del ropaje al ser colisionados o movidos por el cuerpo 3D. También el grado de rigidez de la tela, su ilusión de humedad, su peso y su límite de elevación a causa de una brisa virtual, entre otros.

Una subpropiedad de *Clothing* es una brocha digital que pinta la porción de la tela 3D en la que se desea tener un comportamiento único, por ejemplo, cuando el personaje salta o corre. Omitir esas alteraciones resultaría en una extrema rigidez de las telas, especialmente durante la locomoción.

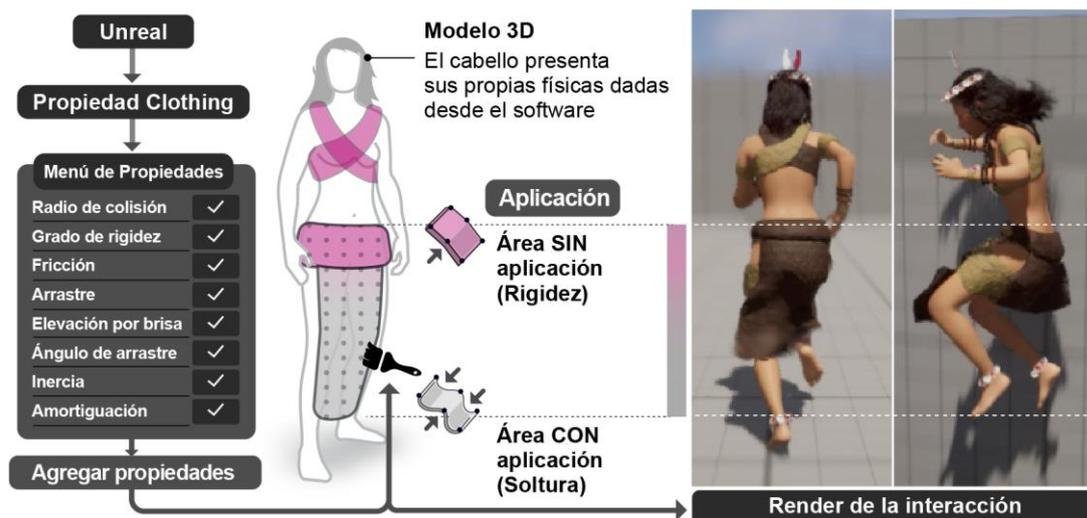


Figura 181. Simulación de física por afectación de nodos en Unreal. Las propiedades de colisión, rigidez o inercia son agregadas a los nodos del ropaje 3D mediante el color rosado. Fuente: Unreal Engine (2023a), Unreal Engine (2023b) y Unreal Engine (2023c)

#### 4.3.11 Ambiente selvático 3D

Antes de insertar al personaje huaorani se usará *blueprints* para representar un ambiente de selva amazónica. En los hechos esta es una inmensa región en forma de rombo, compartido por 8 países, con 6.7 millones de km<sup>2</sup>. La Amazonía presenta lluvias, temperaturas de no más de 25°C, pisos con abundantes restos orgánicos, bosques cercanos a la línea ecuatorial (tropicales) y cielos casi siempre despejados (WWF, 2023).



Figura 182. Área real de bosque amazónico. Los siguientes países sudamericanos contienen porción amazónica: Ecuador, Perú, Bolivia, Brasil, Guyana Francesa, Surinam, Guyana, Venezuela y Colombia. Fuente: WWF, 2023. Foto de Juan Pratgínestos

Para crear el bosque entero se aprovechó el paquete *PCG Forest Blueprint*, obtenido de la tienda en línea de Unreal, a un costo de \$9.99 (agosto del 2023). El paquete contiene *blueprints*, grafos de eventos y nodos ya configurados para ese tipo de ambientes.

Para los árboles y el piso vegetal se usó *blueprints* de texturas. Se ajustaron valores como el tamaño de rocas, la iluminación solar, la densidad de la niebla, la temperatura de la luz o la alta o baja sensibilidad de exposición lumínica, entre otros.

Luego, con los grafos de eventos preconfigurados se generaron modelos 3D aleatorios de texturas comunes de un bosque; y mediante los nodos se añadieron propiedades como la densidad y el tamaño de nubes. Luego se insertó cada modelo 3D sobre un plano digital limpio.

<b>PROPIEDADES DE NODOS Y EFECTOS PCG FOREST BLUEPRINT</b>	
<b>Propiedad</b>	<b>Efecto</b>
Directional light	Intensidad en la luz ambiental, ángulo y posición del sol.
Exponential fog	Densidad de simulación de niebla, partículas y presencia.
Sky Atmosphere	Comportamiento de la luz solar según hora del día.
Sky light	Efecto de iluminación indirecta y difusa.
Volumetric cloud	Densidad y escala de las nubes en el cielo.
PostProcess	Rebotes de luz desde diversas fuentes.
Exposition	Calcula la sensibilidad del lente según la escena.
Dirty mask intensity	Efecto similar a las partículas adheridas al lente de una cámara. El diseño y color de esas partículas pueden ser personalizadas y agregadas al efecto.

*Tabla 1. Propiedades y efectos de PCG Forest Blueprint, 2024. Fuente: unrealengine.com, 2023f*

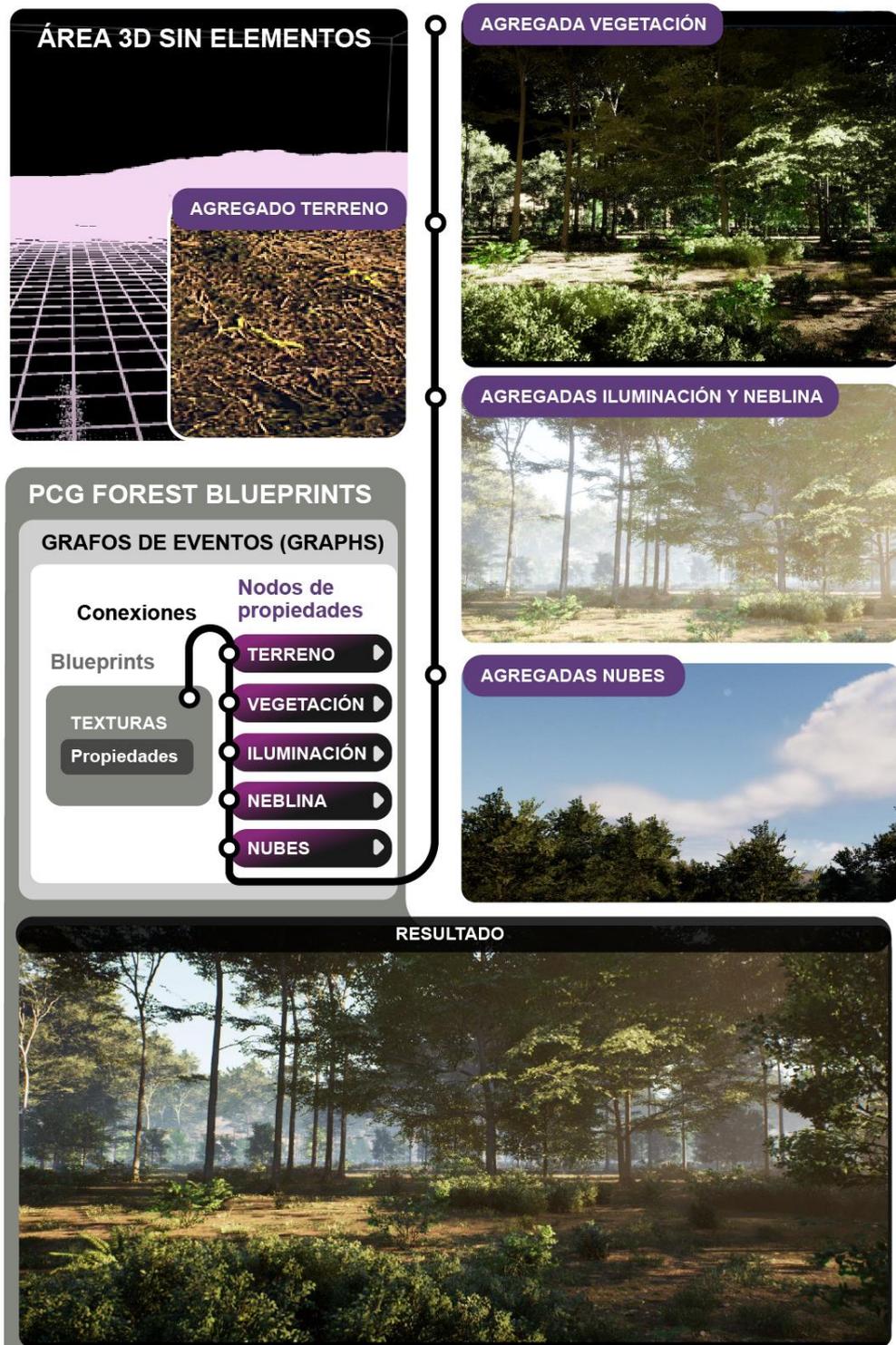


Figura 183. Creación de entorno 3D desde Unreal



*Figura 184. Personaje y entorno 3D desde Unreal. Arriba: construcción del entorno selvático 3D. Abajo, el entorno finalizado y el personaje insertado.*

*Fuente: elaboración propia.*

Después, al ambiente 3D se conectaron *blueprints* que generan por sí mismos elementos naturales ubicados aleatoriamente, como rocas, arbustos, maleza y tierra. Los valores ingresados a esos *blueprints* calculan la cantidad de material, ubicación, textura y tamaño.



*Figura 185. Ambiente sin y con filtros de dispersión de objetos. Izquierda: el ambiente 3D sin generación de malezas y rocas. A la derecha, la generación activada. Fuente: elaboración propia.*

#### 4.3.12 Prueba

Fueron evaluados tres aspectos: que la interacción y las colisiones sean fieles a lo establecido en el *rigging*; que la simulación de físicas sea convincente en el modelado 3D total; y que el ambiente haya sido correctamente interpretado por el *software* desde las texturas e iluminación. En caso de nuevas correcciones, se deberá ajustar los valores o propiedades desde los *blueprints* y así generar un nuevo *render*. Las secuencias de este prototipo interactivo muestran escenas a 30 fotogramas por segundo. Eso es la mitad de fotogramas usados para videojuegos en consolas de gama alta hoy en día.



Figura 186. Escenas tomadas del render final, del ambiente y personaje huaorani. Fuente: elaboración propia.

A continuación, se detalla todo el proceso de creación del personaje huaorani. Usar más de un *software* para elaborar 3D permite repartir la carga de trabajo entre artistas digitales cuando el proyecto es extenso, o cuando los artistas no están en un mismo lugar.

JORNADAS DE PRODUCCIÓN PARA PERSONAJE Y AMBIENTE 3D Con jornada de 8 horas. Un solo modelador 3D		
Fase y tarea	Jornadas	Software
Preproducción		
Documentación	4	
Boceto digital, dibujos a mano, pintura digital	3	Adobe Photoshop (edición de imágenes y pintura digital 2D)
Producción		
Proceso paralelo 1: Modelado de personaje femenino. <i>Rigging</i> inicial	3	Metahuman (creación de modelado 3D del cuerpo humano)
Proceso paralelo 2: Modelado de vestimenta y accesorios	4	Maya (modelado 3D)
Ajuste de <i>rigging</i>	3	Maya
Proceso paralelo 3: Texturizado de vestimenta y accesorios	4	Adobe Substance Painter (pintura para texturas digitales)
Fusión de elementos (cuerpo, <i>rigging</i> , ropaje y accesorios)	2	Metahuman y Unreal
Creación de escenario 3D (incluye <i>render</i> )	3	Unreal (motor de videojuegos)
Prueba		
Inserción de personaje y entorno 3D y prueba de interacción y <i>rigging</i>	1	Unreal
	Total: 27 jornadas	

Tabla 2. Jornadas para producción de personaje y ambiente 3D, 2024. Elaboración propia.

#### 4.3.13 Hardware y software

La tecnología actualizada para producción 3D exige equipo que soporte manipular cálculos y píxeles para un *render* en alta definición, de hasta 2060 píxeles de ancho en pantalla y 60 fotogramas por segundo. En la siguiente lista se detalla el *hardware* aprovechado para el proyecto huaorani.

<b>CARACTERÍSTICAS DEL HARDWARE Y COSTO*</b>		
Para computador personal (PC), con sistema operativo Windows; o computador Apple, con sistema operativo MacOS.		
* Costos en EE.UU. revisados en <i>www.amazon.com</i> a mayo 30 del 2023. A cada costo de pieza debe añadirse tasas por importación, aduana y otros impuestos según el país.		
* No se detallan accesorios como teclado, regulador de voltaje, <i>mouse</i> o pantallas.		
<b>Pieza</b>	<b>Marca</b>	<b>Costo aproximado</b>
Placa de procesador y memoria RAM, B550 DS3H AC, ranuras para tarjetas PCIe 4.0 y memoria DDR4	Gygabyte	\$ 110
Chip procesador 7-5700X, 8 núcleos, 4.6 Ghz	AMD, modelo Ryzen	\$ 210
Enfriador de procesador Gale Forc 240	Azza	\$ 75
Tarjeta de video Gforce 3080 RTX, 10GB 320-bit para cuatro monitores	Gygabyte	\$ 785
RAM, 16Gb	Kingston	\$ 37
Sistema operativo Windows 11	Windows	Licencia por cada PC, \$ 90
		Total: \$ 1.307,00

Tabla 3. Características del hardware y costo, 2024. Elaboración propia.

Los *softwares* usados para este proyecto reúnen herramientas de pintura digital, modelado 3D, texturizado y *render*. Estos son Photoshop y Substance Painter (Adobe), Metahuman (Unreal Engine), Maya (Autodesk) y el motor de videojuegos Unreal.

A julio del 2023 solo tres de ellos exigen pago por uso: Adobe Photoshop tiene un cobro mensual de \$ 9; y Substance Painter de \$ 50 mensuales. Maya ofrece una suscripción de \$ 1.875 anuales (o \$ 235 mensuales). Metahuman y Unreal pueden obtenerse gratis desde internet, pero exigirán pago en caso de usarlos

a mayor escala de producción. En otras palabras, los costos por *software* para producir 3D pueden variar según su acceso o amplitud del trabajo.

#### **4.3.14 Análisis estético del prototipo 3D interactivo: personaje huaorani y ambiente de selva**

En los párrafos anteriores fue detallado todo el flujo de trabajo y tecnologías usadas para crear un personaje interactivo que representa a una mujer de la cultura amazónica huaorani y su ambiente selvático.

El resultado final es una secuencia en la que un único personaje femenino se halla en el centro de un ambiente selvático 3D, con texturas e iluminación realista, típica de un bosque con cielo despejado. Esa sensación de realismo se debe a lo siguiente: los millones de matices de todo el verdor vegetal se muestran uniformes cuando el encuadre es alterado por la perspectiva digital. Los tonos mantienen su matiz en los planos más cercanos, pero se desaturan cuando los elementos están más alejados del encuadre. Ese efecto sucede en la vida real porque los rayos de luz (especialmente los del rango azul) se dispersan por la presencia de polvo o microgotas de agua, haciendo que la luz sea menos percibida por nuestras retinas cuando los objetos están lejanos. Es decir, la simulación de percepción real entre los elementos de la escena y el encuadre también funciona para agregar valor de realismo (Wikayanto et al., p. 400).

En el modelado humano, los tonos de piel suavizados en sus gradaciones, los movimientos corporales al trotar o saltar, la reacción del cabello y el choque de las prendas sobre la piel durante locomoción acelerada le agregan realismo, pero desde una imperfección física, en la cual los objetos pueden tener más de una reacción impredecible cuando interactúan entre ellos. Esa sensación ocurre en las prendas y cabello de la mujer. Allí los algoritmos determinan movimientos aleatorios (que parecen no repetirse) según el impacto de las prendas con el cuerpo. Sin embargo, el espectador podría bien intuir que la melena o las prendas de una mujer tienen esa misma reacción cuando un fuerte viento está presente. Es decir, hay una muy cercana relación entre los movimientos dados en el mundo ficticio en comparación con los experimentados por el espectador en el mundo real (Wikayanto et al., p. 411).

Las sombras también juegan un papel importante para la simulación de realismo en esta escena, especialmente en la luz insertada entre los espacios de las hojas y cuyo haz apunta hacia el piso vegetal. En la vida real las hojas de los árboles son impulsadas por el cambiante viento. Ese efecto podría pasar desapercibido para un videojugador concentrado en los desafíos del juego, pero suma a lo que Wikayanto et al., (p. 411) denominan realismo social, donde todos los elementos, detalles y comportamientos de los elementos están creados de tal manera que el espectador acepta que ese mundo ficticio es tan igual, “complejo y diverso” como el mundo material real.

El trabajo de las texturas fue en gran parte facilitado por las herramientas de automatización. Los patrones en la superficie de las rocas, cortezas de árboles, nubes y en la frondosidad de árboles y arbustos fueron generados con ajustes que controlan la iteración y ubicación automática de esos patrones sobre una

superficie determinada. Las tecnologías usadas allí fueron obtenidas desde el *software* Unreal, este es hoy en día un completo paquete para efectos realistas en audiovisuales.

La simulación de reacción corporal en el personaje femenino también fue generada y ajustada gracias a la preconfiguración. Esto es, que el *software* facilita genéricas interacciones de cuerpos y otros efectos que el artista 3D puede añadir en sus modelados y reajustar para adaptarlos a sus necesidades propias. Sin embargo, se aclara que es necesaria constante práctica para conocer los resultados de docenas de variables, inserciones de efectos y conexiones entre propiedades y variables. Por ejemplo, gracias a los ajustes de esas preconfiguraciones es posible reajustar la virtual densidad de la tela y la velocidad de caída de esta para así recrear efectos físicos realistas. Lo mismo ocurre con la ejecución de interacción por parte del usuario. *Softwares* como Unreal facilitan determinar el tipo de dispositivo de entrada (como un teclado o un mando externo) que permita al videojugador controlar las acciones del personaje. En este caso, se definió a ciertas teclas de un teclado externo común para generar saltos y trote en el personaje.

Finalmente, en la escena detallada aún pueden ser integrados otros personajes, sitios y ambientes. Casi todos esos elementos pueden ser creados con las mismas herramientas de modelado, interacción y automatización dadas por más de un *software* actual. Pero se resalta que, para un proyecto de mediana a gran escala, es necesaria la planificación de los recursos y del flujo de trabajo (aportado aquí para este proyecto interactivo) para así obtener los mejores resultados y tiempo de correctivos y reajustes.

#### **4.3.15 Conclusiones de este proyecto**

Podemos resumir que la producción 3D contemporánea contrasta en sus soportes y técnicas con respecto a los inicios de la animación en el siglo XIX. Ese proceso tomó cerca de 100 años; pero seguirá siendo idéntico el deseo artístico de comunicar y emocionar.

La documentación y referencias visuales ayudan a tener recursos de respaldo y a encontrar una verdadera guía para el trabajo artístico, especialmente cuando el producto final debe respetar forma y fondo cultural.

La planificación previa y el orden de ejecución es clave, puesto que la cantidad de propiedades de cada *software* para producción 3D es amplia y debe mantener un orden que permita no solo la producción, sino también ahorro de tiempo al ajustar (o revertir) ajustes.

El flujo de trabajo para este proyecto evidencia lo siguiente: que los objetos de creación 3D ya deben estar definidos en sus características visuales; y que importantes fases de producción (como el modelado, pintura y textura de los objetos 3D) pueden realizarse por separado. En otras palabras, pueden estar bajo la responsabilidad de otros artistas digitales para acelerar la producción.

Contar con el tema y el objeto de modelado ya definido permite unificar criterios artísticos y ahorro de tiempo al encauzar el trabajo de arte según la documentación gráfica ya revisada. Por ejemplo, los bocetos del personaje huaorani solo estuvieron derivados según la vestimenta original usada por los miembros de esa comunidad. Eso ahorró tiempo al evitar explorar otras posibilidades que no estaban enmarcadas en la tribu amazónica.

Así mismo, el orden de elaboración para este proyecto (es decir, idea, modelado, pintura, articulación y finalmente animación, en paralelo al modelado del ambiente) permitió revertir ajustes sin afectar el resto. Por ejemplo, haber juntado el ambiente y el personaje sin antes haberle agregado la articulación (que permite animarlo) hubiera complicado un posible ajuste de movimientos dentro del mismo ambiente selvático 3D, generando carga al sistema al tener que leer y procesar todos esos polígonos a causa de, por ejemplo, evaluar un mínimo cambio de gesto corporal.

Por otro lado, la complejidad en las herramientas del *software* para 3D podrían intimidar al artista poco experimentado, como en el uso de *blueprints* de Unreal, o en *rigging* automatizado en Maya. Es necesario entender a profundidad las propiedades de cada tecnología, ya sea para ganar experiencia, aprovechar su potencia o para anticipar sus limitaciones.

Si bien los *softwares* actuales para modelado, texturizado o animación 3D son potentes en la producción, estos requieren de una inversión económica inicialmente alta para el equipo de cómputo que los alojará. El *hardware* para 3D todavía exige características que no están presentes en computadores de gama baja. Por ejemplo, a junio del 2023 el *software Blender* (gratuito para modelado 3D) recomienda usar un computador con mínimo 32Gb de memoria RAM y una tarjeta de 8Gb<sup>284</sup> (Blender, 2023). Sin embargo, esa necesaria condición (la de un computador que soporte nuevas tecnologías 3D) no debería limitar iniciativas para la producción creativa en 3D.

Un computador junto con un monitor con capacidades para videojuegos 3D (un producto muy comercializado desde almacenes) suele tener el mismo precio que un equipo apto para producir imágenes 3D profesionales. Incluso, en comunidades educativas más formales como escuelas y colegios, sí es posible un esfuerzo económico para obtener computadores potentes para gráficos.

Prueba de eso es que en Ecuador han existido iniciativas para que jóvenes estudiantes conozcan y elaboren proyectos 3D. Por ejemplo, la Unidad Educativa Fiscomisional Calasanz, en la provincia de Loja (al sur de Ecuador) participó en el "5to Campeonato Internacional de Modelado 3D, organizado por la Universidad Santiago de Compostela de España" (MEE, 2017). Allí concursaron "1.476 estudiantes de 268

---

<sup>284</sup> A octubre del 2023 en Ecuador, un computador PC con esas características tiene un rango de costo que va desde los \$900 a los \$1200. Y un computador similar en la marca Apple, modelo iMac, va desde los \$1400 a \$1900.

centros educativos del mundo de 44 países". El que Ecuador logró el subcampeonato por sobre una institución educativa de Turquía (USC, 2017).

Una iniciativa más reciente viene desde colegios privados ecuatorianos. En 2021 la Academia Naval Almirante Illingworth, en la ciudad portuaria de Guayaquil (provincia del Guayas), elaboró en vinculación con la Universidad Politécnica Salesiana de Guayaquil cursos de diseño 3D para sus estudiantes de bachillerato, como complemento a su p $\acute{e}$ nsum educativo en tecnolog $\acute{ı}$ as (Academia Naval Almirante Illingworth, 2021).

A diciembre del 2023 no se hallan documentadas desde centros educativos<sup>285</sup> en Ecuador m $\acute{a}$ s iniciativas como las dos anteriores. Pero se entiende que combinar educaci $\acute{o}$ n innovadora con producci $\acute{o}$ n 3D en j $\acute{o}$ venes estudiantes, junto con el logro y el reconocimiento t $\acute{e}$ cnic $\acute{o}$  a los propios j $\acute{o}$ venes, son causa suficiente para adquirir equipos adecuados para gr $\acute{a}$ ficos 3D en instituciones que deseen el 3D como un extra pedag $\acute{o}$ gico innovador.

#### 4.4 Estudio de caso: creaci $\acute{o}$ n y animaci $\acute{o}$ n 3D de personaje rob $\acute{o}$ tico Eva

El proyecto y el flujo de trabajo mostrado a continuaci $\acute{o}$ n combina ambiente y personaje robot animado en 3D, elaborados con pol $\acute{i}$ gonos premodelados, de uso gratuito.

Personaje y ambiente derivan de la serie animada *Neon G $\acute{e}$ nesis Evangel $\acute{i}$ on* (*Shinseiki Evangelion*<sup>286</sup>). Esta serie contiene una trama que relata la lucha de la humanidad contra violentos seres no terrestres. En la serie, los robots Eva (una contracci $\acute{o}$ n del griego *evangelos*, o buenas nuevas) ser $\acute{a}$ n construidos para combatir contra los invasores y evitar nuevos ataques (Cadet, 2022). En este proyecto (detallado en los siguientes p $\acute{a}$ rrafos) se explicar $\acute{a}$  paso a paso el modelado y la animaci $\acute{o}$ n del robot junto con otras t $\acute{e}$ cnicas.

El resultado del *render* final ser $\acute{a}$  un video no interactivo 3D. Los videos cortos suelen ser usados como estrategia de marketing para crear expectativa en la audiencia. El objetivo es crear inter $\acute{e}$ s en la comunidad y generar ventas (Dunning, 2016, p. 47), (Sanc $\acute{a}$ n y Sanc $\acute{a}$ n, 2023, p. 12).

En la siguiente imagen se expone el flujo de trabajo usado para este proyecto. Difiere del anterior (personaje 3D huaorani) en la morfolog $\acute{ı}$ a y en su forma de producci $\acute{o}$ n, puesto que el robot no ser $\acute{a}$  interactivo, pero s $\acute{i}$  modelado, texturizado, pintado y animado de inicio a fin

---

<sup>285</sup> Posiblemente a causa de la pandemia del COVID-19, a inicios del 2020. El 5 de mayo del 2023 la Organizaci $\acute{o}$ n Mundial de la Salud (OMS) decret $\acute{o}$  el fin de la emergencia del COVID-19 a nivel mundial.

<sup>286</sup> Relato 2D animado para tv, configurado en 26 cap $\acute{i$ tulos, creado por el cineasta japon $\acute{e}$ s Hideaki Anno y producida por la compa $\acute{n$ ia Gainax en 1995. En agosto del 2023 a $\acute{u}$ n es posible verla completa desde la plataforma Netflix.

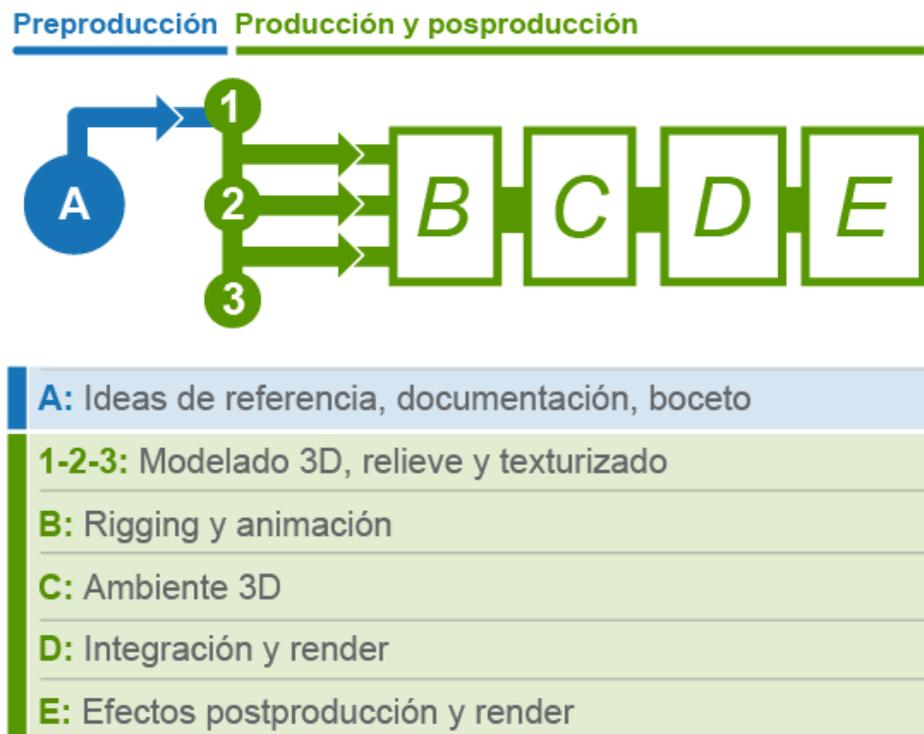


Figura 187. Flujo de trabajo para la producción de personaje robot Eva. Fuente: Elaboración propia.

Los *softwares* usados para crear el personaje robot Eva, su ambiente de acción y su respectivo *render* serán los que siguen:

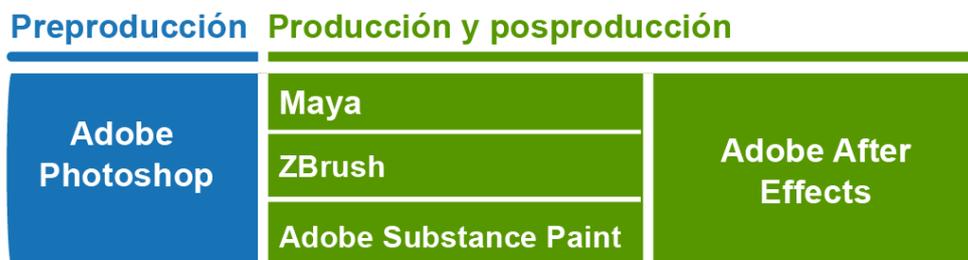


Figura 188. Flujo de trabajo mediante tecnologías 3D. Fuente: Elaboración propia.

#### 4.4.1 Preproducción: imágenes de referencia del Eva

Para este proyecto se aprovechó una figura de acción del robot, ya articulada, comprada en un almacén. Luego fueron medidas y ubicadas con exactitud sus proporciones y la ubicación de sus articulaciones. Con esa información se inició el modelado en el *software* de modelado 3D Maya.

#### 4.4.2 Producción: modelado del Eva

El *software* de modelado 3D Maya sirvió para simular la carcasa rígida del robot y gran parte del cuerpo, cuidando las proporciones en el anverso, reverso y laterales de la figura. La técnica usada es conocida como *model box*. Esto es, iniciar el modelado desde una forma geométrica básica, como un cubo o una esfera. En complemento a eso se manipularán los vértices de esas geometrías para ir creando las formas básicas y luego añadir micro volúmenes, curvas, bajos y altos relieves. Otra técnica que lo permite fue propuesta en 1978, cuando los investigadores Edwin Catmull y Jim Clark crearon algoritmos de subdivisión de polígonos. Esto facilita halar y empujar (desde el interfaz del *software*) puntos de control de cada geometría y así crear 3D más complejo.

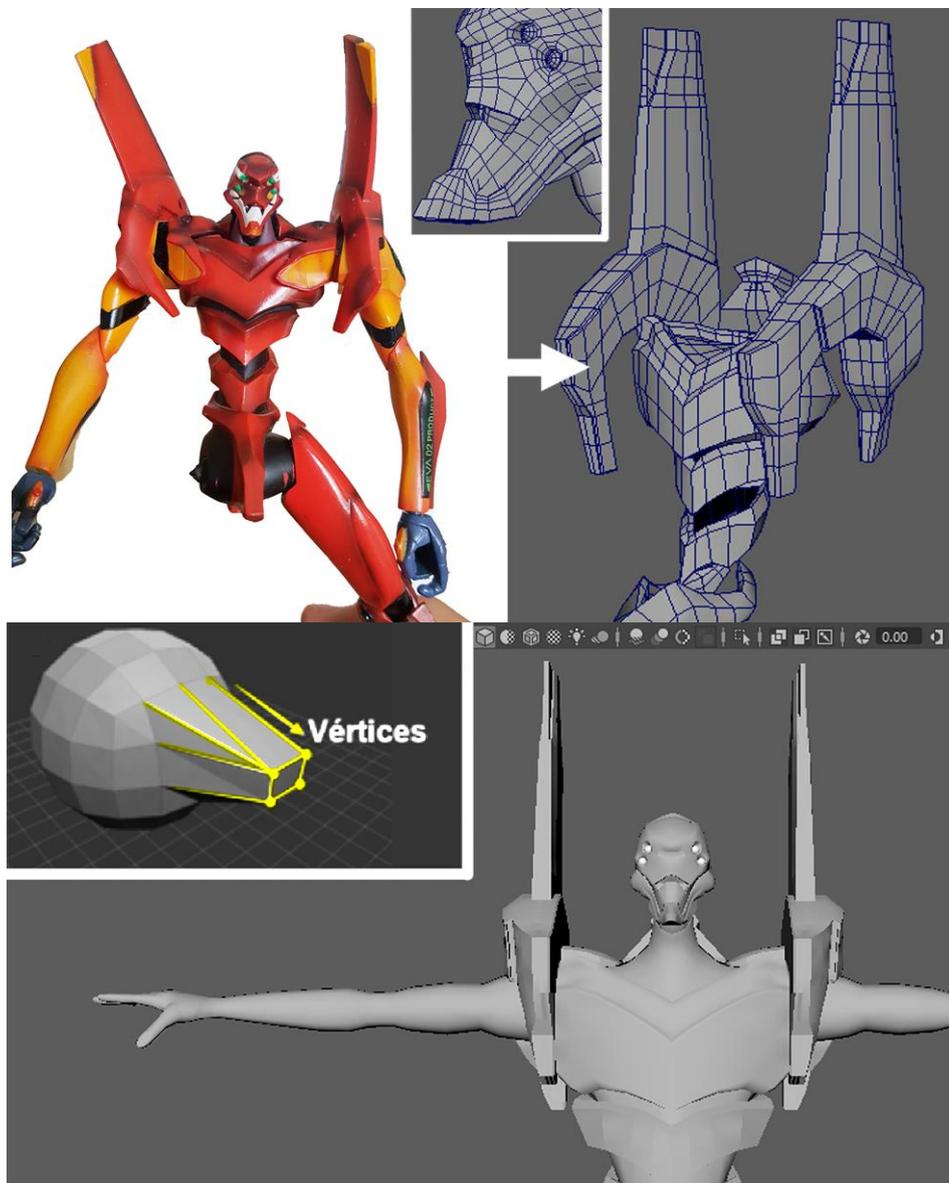
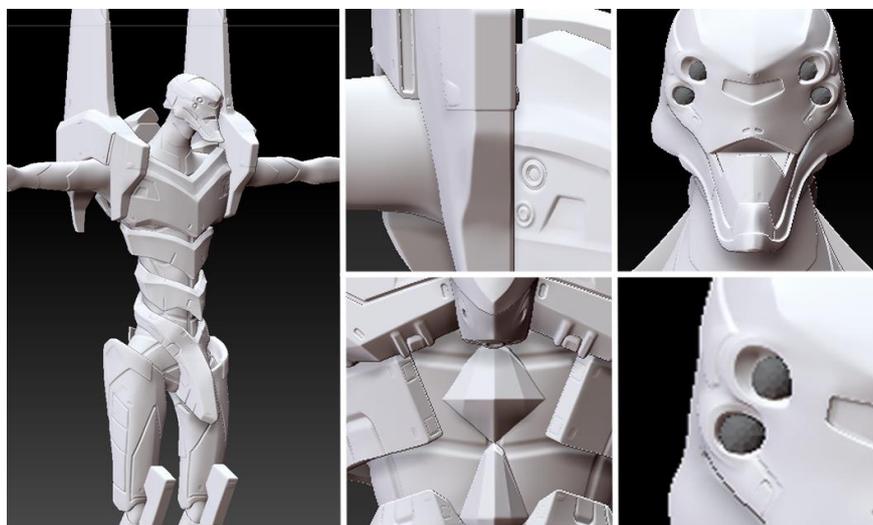


Figura 189. Arriba, imagen de referencia (muñeco de acción, articulado). Al lado y abajo, modelado del Eva. Fuente: Elaboración propia

El siguiente *software* a usar fue ZBrush (Pixologic) para recrear repujados y perforaciones sobre la carcasa ya modelada. ZBrush no suma más polígonos sobre el elemento modelado en cada nueva intervención, por lo que resulta con mínimo proceso de cómputo.



*Figura 190. Añadido de repujados en el Eva. Fuente: Elaboración propia*

#### **4.4.3 Producción, proceso de texturizado del Eva**

El siguiente recurso fue usar Adobe Substance Paint para crear texturas que simulen daño y óxido sobre el modelado 3D mediante la técnica de texturizado UV Maps. Esta técnica es similar a empapelar con texturas (mediante el interfaz del *software*) las superficies de los volúmenes 3D. Eso ahorra tiempo de trabajo al insertar alteraciones que en el polígono original no existen.



*Figura 191. Añadido de texturas y color en el modelado del Eva. Fuente: Elaboración propia*

#### 4.4.4 Producción, *rigging* y animación

Hoy en día es estándar que *softwares* como Maya permitan la construcción de un esqueleto articulado y personalizable para simular todo tipo de locomoción. Maya permite usar el HumanIK character structure, su propio método para repositionar vértices articulados (que sirven como bisagras) en todo tipo de volumen que se desee animar (Maya, 2023a).

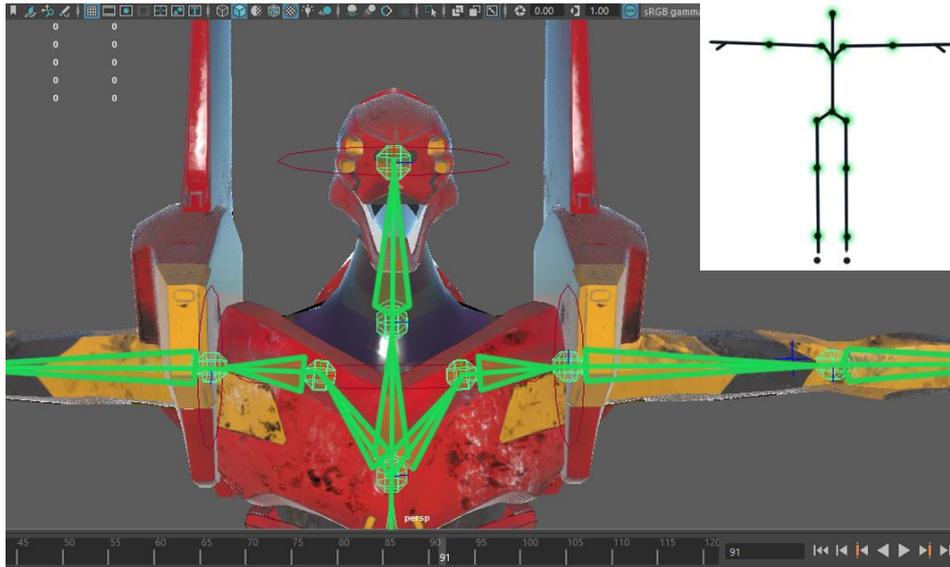


Figura 192. Rigging en el Eva desde Maya. Fuente: Elaboración propia

Luego del *rigging* se generará la animación pose a pose, tomando como referencia un caminar humano. Gracias a un conjunto horizontal de *keyframes* mostrado en la interfaz de todo *software* de animación actual, cada pose será guardada en un casillero para luego reproducirla en forma continua y generar así la locomoción del robot.

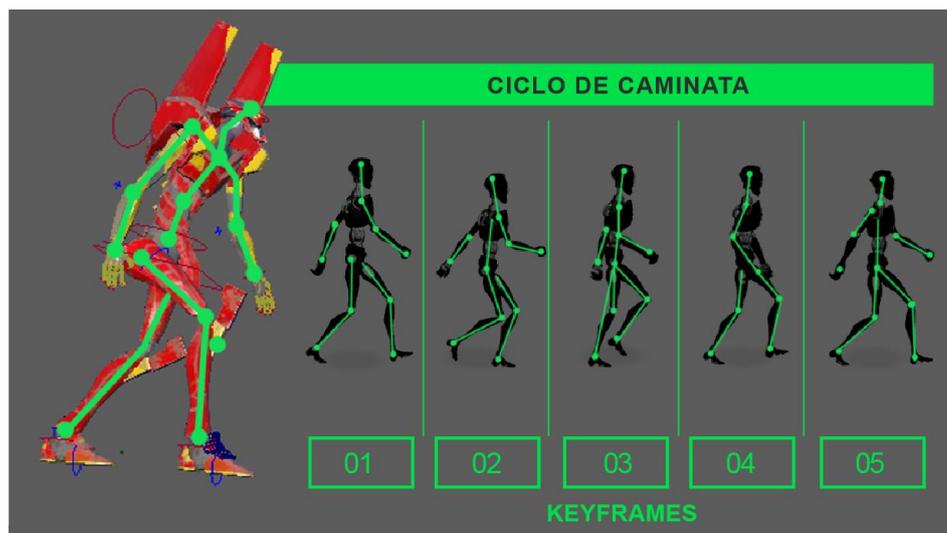


Figura 193. Añadido de animación desde Maya. Fuente: Elaboración propia

#### 4.4.5 Producción de ambiente 3D para el personaje Eva

Aquí se iniciará la construcción del ambiente 3D para ubicar al personaje robot. El entorno mostrará pistas visuales de un ficticio conflicto bélico gracias a texturas irregulares que simulen destrucción. Aquí fueron usados objetos 3D premodelados (*assets*) descargables gratis<sup>287</sup> desde internet.

Para el cielo fue usada una imagen digital en forma de domo, con 360 grados de cobertura. Imágenes de ese tipo son útiles para simular desde cielos abiertos hasta ambientes cerrados, como salas de oficina, salones de castillos antiguos, entre muchos otros. Su formato es conocido como HDRI<sup>288</sup> (High Dynamic Range Images). Al insertarlos en el *software* 3D envuelven un gran entorno, parecido a cubrir con una sábana una esfera. Así mismo, en internet existen sitios para descarga gratuita (o de pago) de archivos HDRI.

<sup>287</sup> Existen en internet decenas de sitios web que permiten descargas gratuitas de modelados 3D de todo tipo. Entre esos sitios están [www.free3d.com](http://www.free3d.com), [www.sketchfab.com](http://www.sketchfab.com), [www.turbosquid.com](http://www.turbosquid.com), [www.polyground.ai](http://www.polyground.ai); [www.open3dmodel.com](http://www.open3dmodel.com), entre muchos otros.

<sup>288</sup> Sitios web para descargas gratuitas de imágenes HDRI son [www.polyhaven.com](http://www.polyhaven.com), [www.hdri-hub.com](http://www.hdri-hub.com), [www.textures.com](http://www.textures.com), [www.hdri-skies.com](http://www.hdri-skies.com), entre muchos otros.



Figura 194. Creación de ambiente 3D mediante assets y texturas. Fuente: Elaboración propia

#### 4.4.6 Integración y *render*

Los elementos generados hasta ahora son el robot Eva y el ambiente 3D. La integración, realizada en el *software* Maya une todo eso en un solo conjunto, pero en capas separadas donde aún es posible realizar más ajustes en formas, efectos y texturas.

El *software* Maya usa dos procesos propios para esa integración: el motor de *render* V-Ray y el *render* por fases (*legacy render passes*). El V-Ray permite ajustar valores de luces y texturas previo al *render*. Y el *render* por fases permite el control de la difusión de la luz reflejada según el material o textura presente en el objeto 3D (también conocida como luz especulada) (Maya, 2023b).



Figura 195. Integración y render desde Maya. Arriba: detalle de la ambientación 3D modelada, sin render. Abajo: render final. Fuente: Elaboración propia

En cuanto a costos, el paquete de V-Ray está disponible gratis en modo de prueba. A junio del 2023 exige un costo anual de \$418 para uso profesional. Otro motor de *render* es Marmoset Toolbag4, a junio del 2023 exigió un precio de \$16 mensuales o \$319 para la licencia total, previo a la descarga e instalación en sistemas operativos Windows o MacOS.

#### 4.4.7 Posproducción de ambiente y robot EVA

El proceso de *render* de una escena 3D con pocos elementos requiere de una sola ejecución. Pero en escenas con más de una docena de elementos podría ser útil un *render* por capas. Un *render* de ese tipo procesa solo ciertas capas (según la decisión del artista 3D) obviando otras. Esto puede ser necesario para evaluar el resultado de efectos por cada tipo de elemento, o para no cargar al sistema con un *render* general mientras el proyecto aún está en evaluación.

Para la posproducción del robot Eva se habilitará un *render* en capas, generado primero en Maya y luego retocado en Adobe After Effects. Trabajar en capas significa que cada elemento elegido podría tener un *render* por separado, pero cuyo resultado será mostrado en la misma escena.

Desde 1993 After Effects facilita editar imágenes mediante capas y máscaras cuando es necesario alterar ciertos elementos sin afectar a otros. Su uso recuerda al artesanal *cel-animation*<sup>289</sup>, ideado por John R. Bray y Earl Hurd en 1913, una innovación en esos años al permitir dibujar, pintar y animar cada dibujo sin afectar a otros durante el trabajo de producción.

#### 4.4.8 Uso de *render* por capas, máscaras y canal alfa

En After Effects el *render* por capas facilitó añadir la simulación de profundidad de campo mediante un tipo de capa llamada alfa. ¿Por qué no hacerlo desde *Maya*? Puesto que *Maya* procesa polígono a polígono, alterar los encuadres generaría mayor carga de proceso a toda la escena. Esto es innecesario si el video solo requiere de un efecto visual de profundidad.

El trabajo por capas y el uso de máscaras es usado de la siguiente forma: una escena con elementos independientes, creada desde *Maya*, será exportada (enviada) hacia After Effects. Una vez allí, cada elemento será agregado a un canal alfa (*alpha channel*) (Imagen 196, abajo). Ese canal permitirá cubrir áreas que requieran ser alteradas y al mismo tiempo aislará áreas para mantenerlas intactas. Es decir, el artista digital podrá elegir si afecta al elemento en sí, o solamente al área que rodea a ese elemento. También decidirá la intensidad de la afectación gracias a una escala de grises: el color blanco indica afectación total y el negro indicará ninguna afectación.

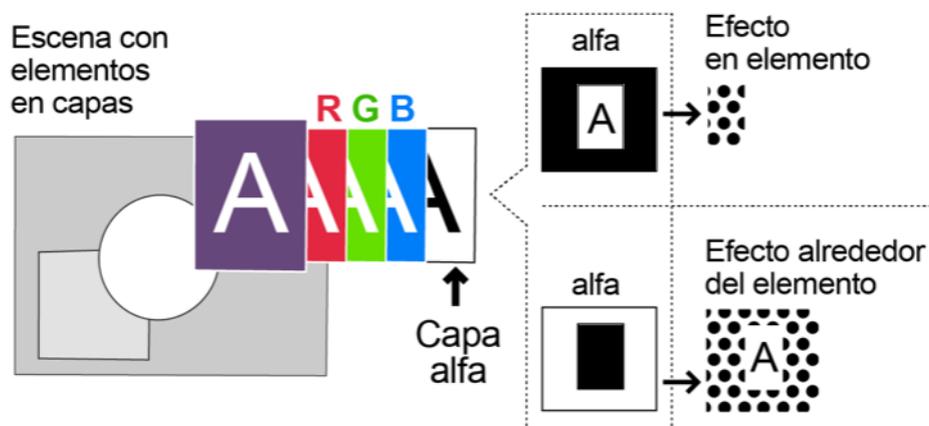
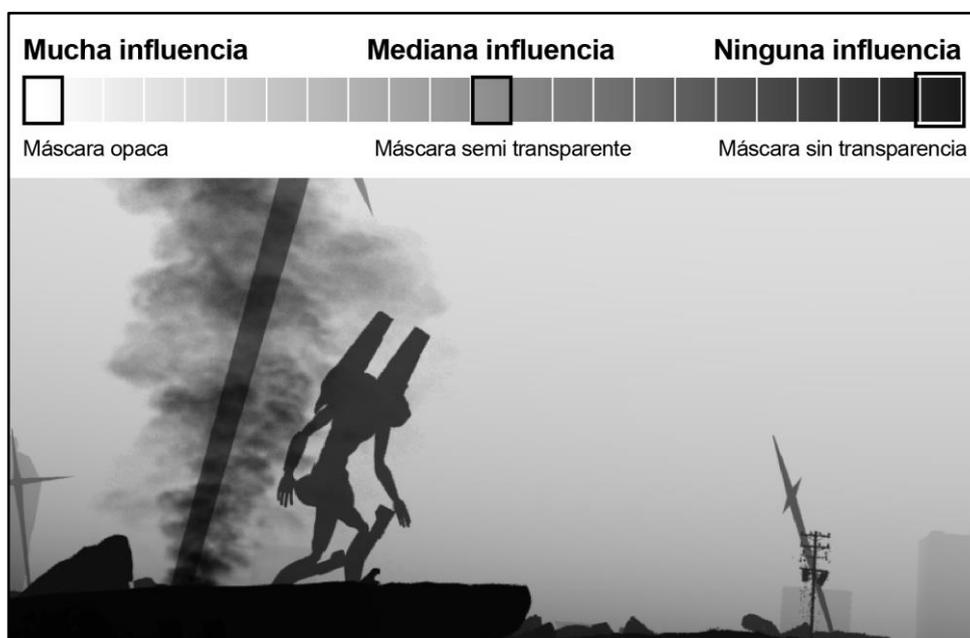


Figura 196. Aplicación de efecto en elemento con máscara y canal alfa. Fuente: Elaboración propia

Esta técnica permitirá, por ejemplo, crear profundidad de campo (el desenfocado dado según la distancia de los objetos en escena). Gracias al canal alfa el desenfocado solo afectará al ambiente (áreas con

<sup>289</sup> Para ampliar ese concepto revisar, capítulo I

tonos más claros indican afectación total) y no al Eva ni al terreno (áreas con tonos grises oscuros hacia negro no serán afectados).



*Figura 197. Capas y máscaras mediante canal alfa. Fuente: Elaboración propia*

Así mismo, para insistir en la tensión visual se volverá a agregar más profundidad de campo desde After Effects. Esta estrategia exagerará la distancia de los objetos, creando la ilusión de ser un terreno extenso e infinito donde el daño ocasionado por el ficticio conflicto bélico abarca todo el territorio, al igual que resaltará las texturas cercanas al encuadre (y al robot), su volumen y su irregular apariencia. El *render* por capas ayuda a esa exageración al procesar solo en los elementos de fondo, lo que ahorra tiempo de evaluación y evita constante *render* en toda la escena.

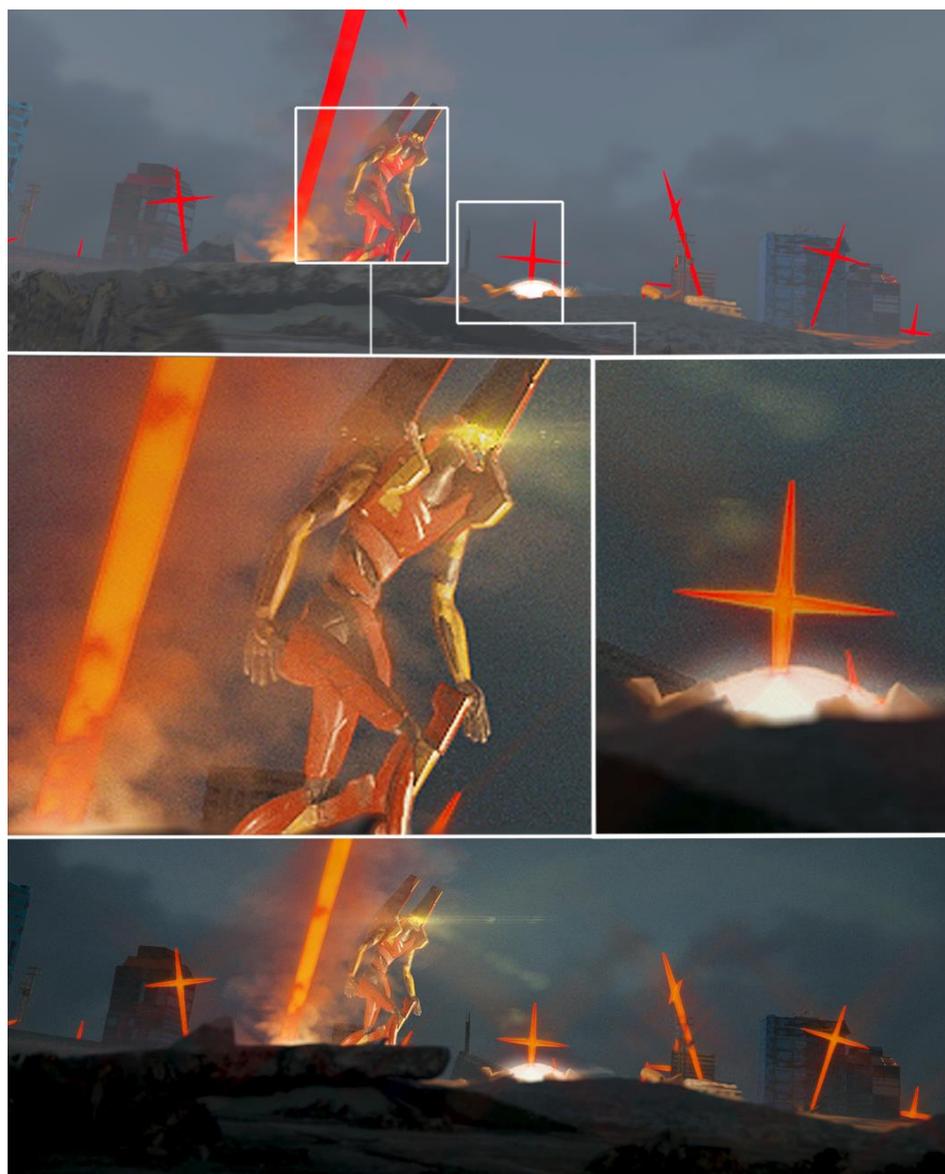


Figura 198. Efectos en iluminación en *After Effects* previo al render final, Primer recuadro: render desde el software *Maya*. Recuadros centrales: luego del render fue agregado incandescencia en las cruces y en el rostro del EVA. Abajo, render final. *Elaboración propia*.

Para constatar el resultado de los efectos visuales es necesario tiempo de evaluación con mucha autocritica y objetividad. Luego de eso, será útil decidir qué efectos sonoros y de ambiente aportarán a la narrativa de conflicto en la escena. Finalmente se generó un *render* final desde *AfterEffects* a 1920 x 1080 píxeles de densidad para trece segundos de video. Esa calidad será suficiente en un video que podrá ser cargado a cualquier red social o sitio web que admita esa resolución.

Como contexto de las jornadas usadas para este proyecto se adjunta una tabla con las fases, *software* y tiempo usado.

<b>SEMANAS DE PRODUCCIÓN PARA PERSONAJE ROBOT EVA</b> Un solo artista modelador 3D.		
<b>Fases</b>	<b>Semanas</b>	<b>Software</b>
<b>Preproducción</b>		
Documentación, referencias de imágenes	1	
<b>Producción</b>		
Proceso paralelo 1: Modelado de personaje. <i>Rigging</i>	3	Maya
Proceso paralelo 2: Repujados en carcasa	2	ZBrush
Proceso paralelo 3: Texturizado y color	2	Adobe Substance Painter
Creación de escenario 3D (incluye <i>render</i> )	3	Maya
Integración de personaje robot y ambiente 3D	2	Maya
Postproducción (ambiente y robot)	4	Adobe After Effects
<i>Render</i> y ajustes	1	Adobe After Effects
<b>Total</b>	18 semanas (cerca de cuatro meses).	

Tabla 4. Jornadas para producción de personaje robot Eva, 2024. Elaboración propia.

#### 4.4.9 Análisis estético del video animado con el personaje Eva

El resultado de todo el proceso anterior es una breve toma de un escenario con dos rangos de tonos bien diferenciados en sus elementos: primero, cielo, horizonte y terreno con tonos grisáceos azulados, cuyas masas más oscuras están ubicadas en el primer plano del encuadre y repartidas en el horizonte en forma de edificios inclinados, semidestruídos. El segundo rango de tonos va desde el amarillo hasta los naranjas rojizos, expresados en el único personaje (un robot), en su carcasa y en las explosiones que ocurren alrededor del

robot. Ambos rangos de color están en lados contrarios del espectro emotivo: los tonos grises evocan tristeza y debilidad emocional (desaturación a causa de la penumbra), mientras que los rojos emulan la vivacidad y energía de lo vivo.

Un primer vistazo permite inferir que la narración visual es posterior a un enfrentamiento entre oponentes máquinas. Eso es deducido gracias a que, a los dos segundos, ocurre el primer acercamiento hacia el personaje para despejar la duda: no es un humano. Las explosiones de los segundos posteriores muestran elementos que evocan daño material; por ejemplo, las diagonales puntiagudas e incandescentes de las cruces y sus colores vinculados a las explosiones, todo eso entre columnas humeantes.

El plano principal es una secuencia de izquierda a derecha que intercala dos tipos de dinámicas: un par de rápidos acercamientos hacia el rostro del robot; y un conjunto vibraciones que, coordinadas con las explosiones y con el pisar del robot, acercan su efecto hasta el encuadre de la cámara, enviando el retumbar perceptible gracias a la reacción vibratoria del encuadre. Esa es una técnica vinculada a lo que los teóricos del cine han llamado percepción antropomórfica (Aumont, 1990, p. 232; Grodal, 1999, p. 90; citados por Lachat, 2012, p. 96). Esto es, generar la sensación de que la escena observable a través de la pantalla es extensa, continua, que existe (y que nos influencia) más allá del encuadre.

#### 4.4.10 Conclusiones del segundo proyecto

El flujo de trabajo creado para este proyecto encauza toda la elaboración gracias a las referencias visuales específicas (un popular robot de animé japonés). Luego, el proceso de modelado, el añadido de texturas y relieves permiten compartir el trabajo de producción (y ahorrar tiempo) al no necesitar ser elaboradas dentro de una sola escena (o desde un solo artista modelador).

Esa unificación de los elementos debe ocurrir (para beneficio del proyecto) cuando todos los elementos cuenten con sus características visuales ya construidas, incluso con el articulado y animación del personaje principal. Solo así será posible evaluar desde un *render* global, especialmente cuando la secuencia no dependa de la interacción de un usuario externo (como sí ocurre con el proyecto del personaje huaroani).

Una secuencia más lineal, no interactiva, debe mantener coordinación con elementos que muchas veces no están explícitos en la escena, como la ubicación de cámaras y fuentes de iluminación fuera del encuadre.

Por otro lado, el agregado de texturas, colores y *rigging* ocurre desde *softwares* especializados en agregar mayor control sin sobrecargar el rendimiento del computador, facilitando el trabajo por separado; es decir, con la intervención de otros profesionales cuyo trabajo luego será fusionado en una sola escena.

Un recurso útil es el uso de elementos 3D obtenidos gratis desde la web<sup>290</sup>. Hace una década eran ofrecidos en mediana calidad, o debían ser rebuscados en foros especializados en línea. Ahora es posible obtener desde ciudades hasta vehículos de época, gratuitos o de pago, generando ahorro en tiempo y dinero.

De lo mostrado en este proyecto se resaltan dos requerimientos: la adecuada potencia de cómputo y un constante aprendizaje individual. Debido justamente al mejoramiento de las técnicas (como los canales alfa o la pintura digital 3D) nuevos *softwares* usarán mayor conversión de datos y algoritmos. Y el profesional deberá estar actualizado en conocimiento y práctica para convertir innovación de *software* en imágenes que emocionen desde cualquier soporte audiovisual.

Se debe recordar que la industria ya alcanza la veteranía tecnológica: Pixar tiene 44 años de producción (fue fundada en 1978), Adobe y Autodesk, 41 años (fundadas por separado en 1982); 3D StudioMax, 27 años (fundada en 1996); Unreal, 25 años (fundada en 1998); Zbrush, 24 años (fundada en 1999). Las más recientes, como iClone (fundada en 2019) han retomado esas tecnologías, mejorándolas al agregarles interfaces modernas o usando el internet como nuevo soporte de trabajo. Esa experiencia acumulada es una causa del momento técnico en la animación 3D actual.

---

<sup>290</sup> [www.free3d.com](http://www.free3d.com), [www.sketchfab.com](http://www.sketchfab.com), [www.turbosquid.com](http://www.turbosquid.com), [www.polyground.ai](http://www.polyground.ai); [www.open3dmodel.com](http://www.open3dmodel.com), entre muchos otros.

## CONCLUSIONES GENERALES

El arte de lo tridimensional como práctica funcional-artística evolucionó desde los trazos dibujados a la simulación electrónica del volumen y texturas de las formas. Todo eso motivado por el deseo humano de someter la materia y hacerla maleable para representar objetos que reflejen su modo de vivir o su cultura.

Primero fueron los trazos para representar lo vivo (animales, personas) sobre soportes rígidos. Luego llegó la necesidad de representar los efectos de luz y sombras mediante el alto y bajo relieve y el uso de colores para simular volumen en murales planos. Después, las necesidades narrativas para expresar estados de ánimo mediante el movimiento exigieron recrear la energía humana mediante la articulación de objetos (con muñecos, por ejemplo) para usarlos en ritos o para recrear un modo de vivir. Siglos más adelante la indagación en la naturaleza y sus secretos resultarán en las teorías en óptica y percepción visual que darían paso al cine. Finalmente, todas esas capacidades y herramientas se traspolarán en código de programación, ecuaciones matemáticas y *software* hacia los primeros fundamentos de la simulación tridimensional digital.

La evolución técnica de la imagen tridimensional no ocurrió solamente por la aparición de los primeros equipos filmicos desde finales del siglo XVIII en Europa y EE.UU. Esa evolución fue realmente posible gracias a los métodos de observación y comprobación científica que ayudaron a tantear mejores respuestas acerca de cómo es posible percibir movimiento en objetos que no cuentan con esa capacidad. Gracias a la ciencia y a la divulgación de esos resultados mediante publicaciones formales desde mediados del siglo XVIII en adelante, ámbitos como la óptica, la mecánica, la electrónica, el arte, las matemáticas y la ingeniería llevaron al 3D a ser la técnica narrativa y artística que es hoy en día.

Otra causa de la evolución del 3D fue la incesante exigencia de la alteración artística de la imagen sobre lo logrado por la ciencia. En el siglo XX el 3D en pantallas evolucionó porque entre los surcos de los rígidos algoritmos el arte estiraba los resortes narrativos de las imágenes digitales. Cuando los científicos creaban códigos para simples líneas y planos, los artistas exigían volúmenes y color. Cuando los científicos lograban tímidas formas curvilíneas, los artistas exigían movimiento y texturas. Luego terminaron intercambiando papeles. Hoy en día los artistas-científicos son muy comunes (y necesarios) en el desarrollo de tecnologías 3D, realidad virtual, videojuegos o efectos visuales para cine.

A lo anterior se suma que la estética del 3D digital fue reforzada a medida que las necesidades narrativas eran exigidas por la industria de la televisión, del cine y de los videojuegos. Es decir, si los primeros ensayos en 3D (creados por expertos científicos y matemáticos) solo pretendían comprobar que era posible agregar giros y perspectiva en un conjunto de píxeles, fueron las diversas necesidades creativas de empresarios, artistas y de programadores con deseo artístico quienes comprobaron que esos algoritmos tenían potencial fuera de los laboratorios. Eso permitió finalmente comprobar que el 3D sería una nueva herramienta de expresión. De no ser así, es posible que sus fundamentos técnicos (como las geometrías lineales, el sombreado

y la textura, ni qué decir del *software* y *hardware*) se hayan quedado enclaustrados bajo los techos de la academia, únicamente para ejercicio científico-militar y no como ejemplos expandibles a nuevos usos en forma y estilo.

En medio de esa exigencia, el píxel no llegó como el primer soporte de expresión tridimensional. Siglos y décadas antes del píxel, los artistas motivados por recrear el mundo usaron técnicas pictóricas (como la perspectiva), o combinaron pintura con escultura, o articularon muñecos con forma humana, o construyeron geometrías sólidas básicas para, luego de filmarlas, alterar los fotogramas para agregar texturas y mostrarlas en pantallas blanco y negro de tubos catódicos. El píxel recién aparecía en la década de 1960 como nuevo soporte de expresión de las técnicas de imagen que ya se habían concebido y practicado mucho antes de la electrónica.

Lo anterior tuvo lugar gracias al valor del antecedente histórico-técnico en la evolución del 3D. Como fue evidenciado en los capítulos anteriores, cada práctica o tecnología se alimentó de una nueva habilidad o técnica. Desde la perspectiva en la Europa Renacentista, pasando por los juguetes ópticos del siglo XVIII, el modelado 3D o el *rigging*, Ninguna técnica nació o existió por sí misma. Fue sumada, corregida e insertada en una siguiente para mejorarla y establecerla como un estándar. Cada antecedente técnico ha funcionado como un catalizador para determinar qué se ha logrado y qué falta aún por alcanzar.

La producción de gráficos 3D digitales para cine o videojuegos tampoco inició únicamente con la amplia oferta de software libre, accesible a artistas, programadores y entusiastas desde finales de 1980. La apertura del 3D digital fue mucho más intrincada. Empezó a ser viable gracias al financiamiento estatal estadounidense que promovió la investigación desde universidades y empresas para crear tecnología en defensa, que a su vez incluía gráficos para simulación de entrenamiento. Después, gracias a los lenguajes de programación que permitieron transferir cálculos aritméticos hacia computadores. Seguido a eso, por los primeros algoritmos de dibujo lineal tridimensional en pantallas. Posteriormente, por los primeros algoritmos de sombreado en polígonos digitales; y de allí, gracias el crecimiento de la capacidad de cálculo y de gráficos en computadores para finalmente, combinar exigencia artística y narrativa para expresar relatos y personajes. Eso último fue lo que llevó a expertos colectivos técnicos y artísticos a crear software de uso libre para producción 3D que, finalmente, serían convertidas en empresas de desarrollo de renombre mundial.

Es así que, según la evolución revisada, cada hito que permitió estudiar o producir imágenes en 3D se apalancó en tres fundamentos: representar el movimiento de seres vivos, alterar el plano como soporte de registro artístico y, finalmente, divulgar hacia el público general o especializado los resultados técnicos o artísticos logrados.

El máximo logro de la evolución técnica del 3D es el control total de las herramientas electrónicas para crear o revertir lo elaborado durante la producción de paisajes, objetos, texturas o personajes 3D, con o sin realismo y sin afectar el acabado final. Hasta antes de la electrónica y las computadoras, ninguna técnica manual o artesana permitía la acción reversible de la imagen terminada. Una vez pintados los murales, creados

los artefactos ópticos o filmadas las secuencias era muy difícil recomponerlas en su totalidad para provocar nuevos efectos; a menos, por supuesto, que se crearan nuevas imágenes, lo que significaba generar un nuevo trabajo desde cero. La manipulación en tiempo real de esas simulaciones solo fue posible gracias a los lenguajes de programación, a las computadoras, al uso de *software* libre o de pago y sus recursos de reducción de proceso y tiempo de producción, y por supuesto al ser humano que les dio uso artístico.

En cuanto el desarrollo y la práctica de creación 3D, un concepto importante hoy en día es el de flujo de trabajo. En los primeros años de la imagen animada de dibujo, papel y cámara (inicios del siglo XX) el paso a paso para producir animación o 3D nacía del ensayo-corrección-error, casi intuitivo. Eran pocos los referentes y los canales de divulgación de esas técnicas que, muchas veces, eran consideradas pasatiempos artísticos poco serios. Solo la masificación de las producciones, el ojo ambicioso de entusiastas y empresarios dieron con métodos más eficaces que ahorraron recursos, lograron rapidez, permitían correctivos y daban resultados que aún hoy mantienen al espectador enganchado a la pantalla.

Crear y mejorar flujos de trabajo requiere muchas pruebas y ensayos, hasta dar con uno que logre la calidad de uso en tiempo y modelado 3D. También se debe tener claro que cada proceso de trabajo tendrá una mejor relación según el resultado deseado, puesto que elaborar anatomía humana precisa, junto con detalles de vestimenta que reflejen una cultura única (como en la producción del personaje waorani) necesitará de *softwares* y técnicas diferentes en comparación con crear superficies naturales rocosas, vegetación o personajes con una apariencia no realista. El primer beneficiado de todos esos criterios deberá ser la audiencia, en quién recaerá finalmente el disfrute (o la desidia) al presenciar nuestro intento de convertir un soporte plano en mundos con personajes creíbles.

Los dos proyectos prácticos enunciados y desarrollados en esta investigación evidencian también lo siguiente: el artista modelador o el productor debe contar con una profunda documentación de los *softwares* y de las técnicas disponibles para imagen digital 3D. Mucho del *software* dedicado a esas producciones es una abstracción de lo que en otras décadas significaba producir 3D mediante un extenso código de programación. Por lo que las nuevas interfaces contienen herramientas y micro herramientas que deben ser conocidas a exactitud.

Otro hecho es que la ficción, junto con lo cultural, pueden convivir y generar nuevos resultados narrativos. El profesional audiovisual de hoy en día debe tener apertura a la cultura y la historia. Esto es útil en instituciones de enseñanza que ambicionan usar tecnología en sus mallas curriculares; y al mismo tiempo crear interés en sus valores ancestrales para afianzar sus orígenes y extraer de ellos nuevas perspectivas ante un futuro que se vislumbra gris a causa de la explotación de la naturaleza. La pausa ocasionada por la crisis sanitaria de finales del 2019 (y dada por terminada a inicios del 2023) pudo afectar a cientos de iniciativas que vinculaban arte 3D y educación. Además, muchas políticas estatales en educación formal, que definen lo que debe enseñarse, pueden demorar años en innovar desde las tecnologías. Por lo tanto, tal y como ocurrió a

inicios de 1950 en Norteamérica, son la ciencia, las universidades y los profesionales los que deben proponer cómo debe ocurrir esa vinculación. Los proyectos 3D como *1814: La Rebelión del Cusco*, en Perú; *Mulaka*, en México; y en Ecuador, con *El gran viaje*, *el Paso del niño Rey*; y el proyecto interactivo basado en la cultura waorani (detallado desde lo técnico en el capítulo IV de este documento) pudieran ser ejemplos de aquello.

Una industria de producción 3D digital regional, más sostenida, sí es necesaria porque favorecería la inversión hacia nuevos proyectos y los promovería fuera de los laboratorios académicos. Aún así, los dos proyectos mostrados en el capítulo final de este documento deben servir como evidencia de lo siguiente: que en el Ecuador hay investigación en el ámbito de las imágenes 3D y que los procesos y las técnicas explicadas aquí, especialmente desde el *software* de uso libre, también pueden ser aprovechadas por creadores que no siempre contarán con un amplio presupuesto. Es clave saber que, aprovechando los recursos disponibles (como el uso de modelados 3D prefabricados, o los motores gratuitos para creación de videojuegos) es posible lograr, con reducido presupuesto, estándares mínimos y replicables. Por lo tanto, es obligación conocer cómo optimizar la producción local 3D para crear experticia, exponer los proyectos, recibir críticas, generar interés y no desanimar a otros creadores que sí desean crear en Latinoamérica un mercado para la imagen 3D digital desde la cultura o la educación.

Hoy en día, los recursos para el autoaprendizaje en producción de imágenes animadas y 3D son amplios y muchas veces gratuitos. Sin embargo, el futuro profesional en 3D debe ser crítico para detectar cuando esos recursos dan información incorrecta, especialmente al explicar flujos de trabajo. Por lo tanto, muchas de las técnicas, conceptos, *softwares* y otras herramientas referenciadas y explicadas en este documento deben servir como guía de conocimiento práctico. La cantidad de recursos actuales conlleva a una nueva obligación si lo que se desea es que nuestros productos destaquen, estimulen la atención en las audiencias y en la industria especializada: los artistas deben también innovar y crear nuevas fórmulas para la apariencia, el relato, la personalidad y la identidad memorable de nuestros personajes. Así como los primeros escultores del Valle del Indo no se limitaron a recrear dibujos planos sobre superficies rígidas, la avanzada tecnología actual no debería limitar la fortaleza imaginativa ni reemplazar el esfuerzo creativo. El profesional o el investigador en tecnologías para animación digital debe seguir el ejemplo de los hombres y mujeres que participaron en la evolución descrita en este documento: fueron indagadores más que elaboradores pasivos, curiosos más que repetidores de reglas, estudiosos para generar sus propios métodos más que resignados a lo ya conocido; y colaboradores más que individualistas técnicos.

## **RECOMENDACIONES**

Se propone que nuevas investigaciones estén centradas en lo regional. Las tecnologías 3D ahora son más accesibles y el internet es una vitrina de aprendizaje libre, pero sigue existiendo una brecha de producción entre países; lo que también significa la presencia de contrastes entre el conocimiento y la práctica profesional de una región a otra. Eso se notó, por ejemplo, en la reducida bibliografía especializada y actualizada en tecnología 3D en habla hispana. Revisar las causas económicas, políticas o de acceso al conocimiento permitiría dar nuevos aportes para detectar los obstáculos y reducir esa brecha.

Desde esta investigación se halló la existencia de una tríada de fundamentos (representar el movimiento, alterar el plano y divulgar mediante ciencia esos resultados) común en toda la historia de la animación 3D artística y digital. Es necesario confirmar si nuestras instituciones de enseñanza en animación o en tecnología 3D de habla hispana están aprovechando todo ese legado; y si están preparadas para tomar la posta y generar nuevos resultados desde lo técnico.

Finalmente, futuras investigaciones podrían actualizar el papel de la mujer en cuanto a los primeros ensayos con imagen, animación o 3D digital; o de los fundamentos de esas tecnologías.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Academia Naval Almirante Illingworth [ANAI] (22 de marzo de 2021) *Nuestros cadetes se encuentran realizando el Curso de Diseño 3D y Arduino en la Universidad Politécnica Salesiana de Guayaquil con el facilitador Ing. Marcos Millán Traverso.* #ANAI, #soyANAI [Imagen] Facebook.  
<https://www.facebook.com/217109408464623/posts/1998407397001473/?locale=es>. [Accedido en diciembre 27 del 2023]
- Acune, K. (2014) *How 4 Minutes of CGI Dinosaurs In 'Jurassic Park' Took A Year to Make.* Business Insider. Recuperado de <https://www.businessinsider.com/how-cgi-works-in-jurassic-park-2014-7>
- Araneda, P. M. (2021) *Crónicas de una incursión desastrosa: La llegada incaica a tierras cañaris, y la posterior ayuda de los cañaris a los españoles (1460-1572).* Pontificia Universidad Católica de Perú. Escuela de posgrado.  
[https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/19722/ARANEDA\\_MALDONADO\\_PEDRO\\_SEBASTIÁN.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/19722/ARANEDA_MALDONADO_PEDRO_SEBASTIÁN.pdf?sequence=4&isAllowed=y)
- Arlazarov, V. L., et al. (2022) *Nikolai Nikolaevich Konstantinov (obituary)*, Uspekhi Mat. Nauk, 77:3 (465) , 161–170; Russian Math. Surveys, 77:3 (2022), 531–541  
[https://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=rm&paperid=10052&option\\_lang=eng](https://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=rm&paperid=10052&option_lang=eng)
- alvyray.com (2023) *Curriculum vitae.* <http://alvyray.com/Bio/BioCV.htm>
- Andrade, K. M. (2022) *La industria cultural audiovisual en las plataformas de streaming: Una muestra de las series de ciencia ficción en Netflix, Amazon Prime Video y Disney+.* URU: Revista de Comunicación y Cultura. No. 5, enero-junio 2022, páginas 31-48.
- Andréolle, D. S., Molinari, V. (Eds.) (2011) *Women and Science, 17th Century to Present: Pioneers, Activists and Protagonists.* Cambridge Scholars Publishing. <https://www.cambridgescholars.com/resources/pdfs/978-1-4438-2918-2-sample.pdf>
- Anderson, J., Anderson, B. (1993). *The myth of persistence of vision revisited.* Journal of Film and Video, 45(1), 3–12.  
<http://www.jstor.org/stable/20687993>
- Apodaca, A., Gritz, L. (2000) *Advanced Renderman. Creating CGI for Motion Pictures.* Morgan Kaufmann publishers.  
Recuperado de [https://books.google.com.ec/books?id=6\\_4VqJiOx7EC&printsec=frontcover&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=6_4VqJiOx7EC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Appel, A. (1967). *The notion of quantitative invisibility and the machine rendering of solids.* IBM. In Proc. ACM National Conf., <https://ohiostate.pressbooks.pub/app/uploads/sites/45/2017/09/appel-hidden.pdf>
- Arnold (2018) *Standard Hair.* Recuperado de <https://docs.arnoldrenderer.com/display/A5AFMUG/Standard+Hair>

- Arsenault, D. (2008) *System Profile: Sony PlayStation. The Video Game Explosion: A History from Pong to PlayStation and Beyond*. Recuperado de [https://www.academia.edu/224762/2008\\_System\\_Profile\\_Sony\\_PlayStation\\_The\\_Video\\_Game\\_Explosion](https://www.academia.edu/224762/2008_System_Profile_Sony_PlayStation_The_Video_Game_Explosion)
- 
- Ayton, D. (2023) *Chapter 5: Qualitative descriptive research*. Open Educational Resources Collective. A Council of Australian University Librarians Initiative. Tomado de [https://oercollective.caul.edu.au/qualitative-research/chapter/\\_unknown\\_-5/](https://oercollective.caul.edu.au/qualitative-research/chapter/_unknown_-5/)
- Akenine-Möller, et al. (2018) *Real-Time Rendering*, Fourth Edition. CRC Press. EE.UU. Recuperado de [https://www.amazon.com/Real-Time-Rendering-Fourth-Tomas-Akenine-M%C3%B6ller/dp/1138627003/ref=dp\\_ob\\_title\\_bk](https://www.amazon.com/Real-Time-Rendering-Fourth-Tomas-Akenine-M%C3%B6ller/dp/1138627003/ref=dp_ob_title_bk)
- Aldridge, M. (2012) *The Birth of British Television: A History*. Palgrave Macmillan. EE.UU.
- AT&T Archives (2019) *4-D Hypermovie/Hypercube*. AT&T Archives and History Center. Recuperado de <http://techchannel.att.com/play-video.cfm/2012/8/17/AT&T-Archives-4D-Hypermovie>
- Avgerakis, G. (2004) *Digital animation bible. Creating Professional Animation with 3D Studio max, LightWave, and Maya*. McGraw-Hill.
- Auty, J., Chazot, M., Hernández, R., Romeo, M. (2016) *Rapid, High Quality Dailies with RenderFlow for The Jungle Book*. MPC. SIGGRAPH 2016 Talks, July 24-28, 2016. Recuperado de <https://www.mpc-rnd.com/wp-content/uploads/2018/04/a70-auty.pdf>
- Autodesk Arnold (2024) *Standard Hair - Arnold User Guide*. Tomado de [https://help.autodesk.com/view/ARNOL/ENU/?guid=arnold\\_core\\_ac\\_standard\\_hair\\_html](https://help.autodesk.com/view/ARNOL/ENU/?guid=arnold_core_ac_standard_hair_html) [Junio 20 del 2024]
- Azéma, M. (2015) *Animation and Graphic Narration in the Aurignacian*. Palethnologie, Archéologie et sciences humaines, 2015. Recuperado de: <http://journals.openedition.org/palethnologie/861>; DOI: <https://doi.org/10.4000/palethnologie.861>
- Azéma, M., & Rivère, F. (2012). *Animation in Palaeolithic art: A pre-echo of cinema*. *Antiquity*, 86(332), 316-324. doi:10.1017/S0003598X00062785
- Aumont, Jacques. (1990) *L'image. Paris: Édition Nathan*. [Citado por la traducción española de Antonio López Ruiz: La imagen. Barcelona: Paidós, 1992.]
- Bachmann, T. (2016) *Perception of Pixelated Images*. Elsevier. Inglaterra.
- Barr, C. (2012) *CG Evolution/Film Revolution: A Q+A with Steve "Spaz" Williams*. THE MUDROOM, Autodesk, Area. Recuperado de <https://area.autodesk.com/blogs/craig/steve-spaz-williams/>

- Baran, I., Popovic, J. (2007) *Automatic rigging and animation of 3D characters*. ACM Transactions on Graphics. Recuperado de <https://dl.acm.org/doi/10.1145/1276377.1276467>
- Beane, A. (2012) *3D Animation Essentials*. John Wiley & Sons, Inc. EE.UU.
- Benet, J. V. (2012) *El cine español, una historia cultural*. Paidós Ibérica.
- Belcour, L. (2018) *Efficient Rendering of Layered Materials using an Atomic Decomposition with Statistical Operators*. ACM Transactions on Graphics, Association for Computing Machinery, 2018. Recuperado de <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01785457/document>
- Beltrán, C. (2013) *La imagen en movimiento: El juguete óptico como instrumento crítico*. Maestría. Universitat Politècnica de València Facultat de Belles Arts. Recuperado de: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/35319/TFM%2CLa%20imagen%20en%20movimiento%2Celp%20juguete%20%20C3%B3ptico%20como%20instrumento%20cr%20%20C3%ADtico.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bethke, E. (2003) *Game development and production*. Wordware publishing, Inc. Texas, EE. UU.
- Blender (2023) *Hardware Requirements*. <https://www.blender.org/download/requirements/>
- Birn, J. (2000) *Digital Lighting & Rendering*. New Riders. EE.UU.
- Biroc, J. (2020) Hollywood Launches 3-D Film Production: Bwana Devil. The American Society of Cinematographers. Revisado en <https://theasc.com/articles/hollywood-launches-3-d-bwana-devil> [Junio 20 del]
- Blanco, D. (2023) *Imagen por imagen. Teoría y crítica cinematográfica*. Acta Semiótica III, 5, 2023. DOI 10.23925/2763-700X.2023n5.62450 A la mémoire de Desiderio Blanco.
- Blinn, J., Newell, M. (1976) *Texture and Reflection in Computer Generated Images*. Graphics and Image processing. Association for Computing Machinery. Revisado en <https://papers.cumincad.org/data/works/att/186e.content.pdf>
- Brecoulaki, H. (2014) "Precious colours" in *Ancient Greek polychromy and painting: material aspects and symbolic values*. Dans Revue archéologique 2014/1 (n° 57), pages 3 à 35. <https://www.cairn.info/revue-archeologique-2014-1-page-3.htm>
- Britannica, T. Editors of Encyclopaedia. *Charles Babbage*. Encyclopedia Britannica (2023). <https://www.britannica.com/biography/Charles-Babbage>.
- British Library (2019) *Medieval manuscripts blog. Leonardo da Vinci: from manuscript to print*. <https://blogs.bl.uk/digitisedmanuscripts/leonardo/>
- Brooks, K. (2017) *Depth Perception and the History of Three-Dimensional Art: Who Produced the First Stereoscopic Images?*. [Iperception](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5298491/). 2017 Jan-Feb; 8(1): 2041669516680114. Published online 2017 Jan 1. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5298491/>

- Bonvillian, W. (Ed.) (2019) *The DARPA Model for Transformative Technologies. Perspectives on the U.S. Defense Advanced Research Projects Agency*. OpenBook publishers.
- Brown, N. (2017) *Vaguely Disreputable: Ray Harryhausen and the Kidult Film*. Liverpool Hope University. Messengers from the Stars: On Science Fiction and Fantasy, No. 2 - 2017. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/315378828\\_'Vaguely\\_Disreputable'\\_Ray\\_Harryhausen\\_and\\_the\\_'Kidult'\\_Film/link/58cdac834585157b6dae697d/download](https://www.researchgate.net/publication/315378828_'Vaguely_Disreputable'_Ray_Harryhausen_and_the_'Kidult'_Film/link/58cdac834585157b6dae697d/download)
- Buckley, A. (2011) *Pixar*. ABDO Publishing Company. Recuperado de [https://www.academia.edu/11306132/The\\_Pixar](https://www.academia.edu/11306132/The_Pixar)
- Burley, B. et al. (2018) *The Design and Evolution of Disney's Hyperion Renderer*. Walt Disney Animation Studios. ACM Trans. Graph. 37, 3, Article 33 (July 2018), 22 pages. Recuperado de <https://www.yiningkarli.com/projects/hyperiondesign/hyperiondesign.pdf>
- Burke, P. (1998) *El renacimiento europeo*. Editorial Crítica. Barcelona.
- Bush, V. (1945) *Science, the Endless Frontier. A Report to the President by Vannevar Bush*. Director of the Office of Scientific Research and Development. <https://www.nsf.gov/od/lpa/nsf50/vbush1945.htm>
- Caelli, K., Ray, L., Mill, J. (2003) *Clear as mud: towards greater clarity in generic qualitative research*. International Journal of Qualitative Methods. vol. 2(2), pp. 1-13, 2003.
- Cadet Fernández, L. (2022). *Prosopo-grafía del Otro: Un análisis filosófico de Evangelion*. (Trabajo Fin de Grado Inédito). Universidad de Sevilla, Sevilla.
- Cabrera Balbuena, I. (2019) *Proto stop-motion: Análisis de las primeras apariciones del stop motion en el cine de acción real*. V Congreso internacional de investigación en artes visuales ANIAV, 2019, Imagen [N] Visible] <http://dx.doi.org/10.4995/ANIAV.2019.8931>
- Calvert, A. (2015) *Palette of King Narmer*. Smarthistory, August 8, 2015, accessed April 21, 2024, <https://smarthistory.org/palette-of-king-narmer/>
- Cameron, S. (2011) *Handbook on the Economics of Leisure*. Edgar Elgar. EE.UU. Recuperado de [https://books.google.com.ec/books?id=gWuMYKzvnOEC&pg=PA411&lpq=PA411&dq=Nintendo+Wii%2Brender+characteristics&source=bl&ots=RHd2qR7vFh&sig=ACfU3U392we7rrT65ThBQ22MGknZeUe0\\_Q&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwi9663duJbiAhXO1FkKHW3uChsQ6AEwCXoECAGQAQ#v=onepage&q=Nintendo%20Wii%20render%20characteristics&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=gWuMYKzvnOEC&pg=PA411&lpq=PA411&dq=Nintendo+Wii%2Brender+characteristics&source=bl&ots=RHd2qR7vFh&sig=ACfU3U392we7rrT65ThBQ22MGknZeUe0_Q&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwi9663duJbiAhXO1FkKHW3uChsQ6AEwCXoECAGQAQ#v=onepage&q=Nintendo%20Wii%20render%20characteristics&f=false).
- Cannon-Brown, W. (Molefi Asante edit.) (2006) *Nefer, The Aesthetic Ideal in Classical Egypt*. Routledge, Nueva York.
- Carlson, W. (2017a) *Computer Graphics and Computer Animation: A Retrospective Overview*. The Ohio State University. PressBooks. EE.UU. Recuperado de <https://ohiostate.pressbooks.pub/graphicshistory/>

- Carlson, W. (2017b) *List of Movies and Videos and Image Galleries*. Movies and Videos (External and Embedded). Recuperado de <https://ohiostate.pressbooks.pub/graphicshistory/back-matter/list-of-movies-and-videos/>
- Catmull, E., Clark, J. (1978) *Recursive generated B-spline surfaces on arbitrary topological meshes*. Computer -aided design. IPC Press. Recuperado de [https://people.eecs.berkeley.edu/~sequin/CS284/PAPERS/CatmullClark\\_SDSurf.pdf](https://people.eecs.berkeley.edu/~sequin/CS284/PAPERS/CatmullClark_SDSurf.pdf)
- Crafton, D. (1993) *Before Mickey. The animated film*. The University of Chicago Press. EE.UU. Recuperado de [https://books.google.com.ec/books?id=yaeJFVTedysC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=yaeJFVTedysC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Centre for computing history (2019) *Sony Playstation*. Recuperado de <http://www.computinghistory.org.uk/det/4032/Sony-Playstation/>
- Century, M. (2022) *Northern Sparks: Innovation, Technology Policy, and the Arts in Canada from Expo 67 to the Internet Age*. The MIT Press. <https://direct.mit.edu/books/oa-monograph/5349/Northern-SparksInnovation-Technology-Policy-and>.
- Cook, R., Carpenter, L., Catmull, E. (1987) *The Reyes Image Rendering Architecture*. Pixar. SIGGRAPH'87. Computer Graphics, Volume 21, Number 4.
- Cogburn, J., Silcox, M. (2009) *Philosophy Through Video Games*. Routledge. EE.UU.
- Confederación de Nacionalidades Indígenas del Ecuador, Conaie (2014) *HUAOARANI*. <https://conaie.org/2014/07/19/waorani/>
- Coss, R. (2017) *Drawings of Representational Images by Upper Paleolithic Humans and their Absence in Neanderthals Reflect Historical Differences in Hunting Wary Game*. Evolutionary Studies in Imaginative Culture. DOI:10.26613/esic/1.2.46
- Chisaguano, S. (2006) *La población indígena del Ecuador. Análisis de estadísticas socio-demográficas*. Instituto Nacional de Estadística y Censos INEC.
- Chiyong, E., Navarro, I., Vega, R., & Nakano, V. (2016). *Uso de un videojuego educativo como herramienta para aprender historia del Perú*. RIED, 46.
- Christensen, P., Jarosz, W. (2014) *The Path to Path-Traced Movies. Foundations and Trends in Computer Graphics and Vision*. Recuperado de <https://graphics.pixar.com/library/PathTracedMovies/paper.pdf>
- Chiang, M., Bitterli, B., Tappan, C., Burley, B. (2016) *A Practical and Controllable Hair and Fur Model for Production Path Tracing*. EUROGRAPHICS 2016. Volume 35 (2016), Number 2. Recuperado de <https://benedikt-bitterli.me/pchfm/pchfm.pdf>
- ComputerWorld (1987). *CCI unfurls supermini*. No.44. Recuperado de <https://books.google.com.ec/books?id=mUSIMiurpFYC&pg=PP59&lpg=PP59&dq=CCI+6/32%2BCPU%2B1987&source=bl&ots=b1H56vvAss&sig=ACfU3U1Rch9Ky6K2QVEY9Rq7OITfSg2RwA&hl=es->

[419&sa=X&ved=2ahUKEwjmmqzNkMHhAhXqx1kKHflpBVkQ6AEwDHoECAgQAQ#v=onepage&q=CCI&f=false](#)

- ComputerWorld (1987). *Larger and medium scale systems*. Recuperado de <https://books.google.com.ec/books?id=ldk7z4Q-WWYC&pg=RA12-PA15&lp=RA12-PA15&dq=VAX8700+system&source=bl&ots=wt0yhsxcAX&sig=ACfU3U01In-DbTv1iGh1YqBT3iPBpt9cEw&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiFgIDXjrLhAhULnFkKHZQGAAkQ6AEwA3oECAUQAQ#v=onepage&q=VAX8700&f=false>
- CryEngine (2019) *Features. Visuals*. Recuperado de <https://www.cryengine.com/features/visuals#features/voxel-based-global-illumination-svogi>
- Cosmin, B. (2013) *3D mesh morphing. Economics and finances*. Institut National des Télécommunications, 2012. Recuperado de [https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00836048/file/ThA\\_se\\_MocanuBogdan.pdf](https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00836048/file/ThA_se_MocanuBogdan.pdf)
- Courrèges, A. (2015) *Deus Ex: Human Revolution - Graphics Study*. Recuperado de <http://www.adriancourreges.com/blog/2015/03/10/deus-ex-human-revolution-graphics-study/>
- Cruz, A. (2022) *Animando a Colombia. Hacia una historia cultural de la animación colombiana (1950 – 2000)*. Universidad de Salamanca. Departamento de Historia del Arte / Bellas Artes. Programa de Doctorado en Historia del Arte y Musicología. <https://gredos.usal.es/bitstream/handle/10366/152259/Cruz%20Niño%2c%20Andrés%20Esteban.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Culture.pl (2018) *The Bug Trainer-The Story of Władysław Starewicz*. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=RkClkIxZLDI>
- Daneshfard1, B., Dalfardi, B., Mahmoudinezhad, G. (2016) *Ibn al-Haytham (965–1039 AD), the original portrayal of the modern theory of vision*. Journal of Medical Biography 24(2) 227–231. Tomado de [https://www.researchgate.net/publication/261744073\\_Ibn\\_al-Haytham\\_965-1039\\_AD\\_The\\_original\\_portrayal\\_of\\_the\\_modern\\_theory\\_of\\_vision/link/58981ae54585158bf6f5a058/download](https://www.researchgate.net/publication/261744073_Ibn_al-Haytham_965-1039_AD_The_original_portrayal_of_the_modern_theory_of_vision/link/58981ae54585158bf6f5a058/download) [Accedido mayo 29, 2022]
- De las Heras, C., Montes, R., Lasheras, J. A., Rasines, P., Fatás, P. Monforte (2007) *Dos rodetes paleolíticos procedentes de las cuevas del Línar y Las Aguas, Alfoz de Lloredo*. Revista VELEIA, 2007-2008, ISSN 0213 2095. Universidad del País Vasco. <https://ojs.ehu.es/index.php/Veleia/article/view/1987>
- De Smedt, M. (2012) *Deus Ex is in the Details. Augmenting the PC graphics of Deus Ex: Human Revolution using DirectX 11 technology*. Recuperado de [http://twvideo01.ubm-net.o1/vault/gdc2012/slides/Programming%20Track/DeSmedt\\_Matthijs\\_Deus%20Ex%20Is.pdf](http://twvideo01.ubm-net.o1/vault/gdc2012/slides/Programming%20Track/DeSmedt_Matthijs_Deus%20Ex%20Is.pdf)
- Di Lollo, V., Clark, C., Hogben, J. (1988) *Separating visible persistence from retinal afterimages Perception & Psychophysics*. 1988. 44 (4), 363-368. <https://link.springer.com/content/pdf/10.3758/BF03210418.pdf>

- Dillon, R. (2011) *The Golden Age of Video Games: The Birth of a Multibillion Dollar Industry*. CRC Press. EE.UU.  
Recuperado de <https://books.google.co.uk/books?id=YVTNBQAAQBAJ&pg=PA59#v=onepage&q=sprites&f=false>
- Digital Games Conference Middle East & Africa, DGCMEA (2020) *The Game Development Pipeline*. Explicación dada por Ahmad Jadallah, director del estudio Semaphore. <https://www.youtube.com/watch?v=hKfV3YtK6Hc>
- Dinsdale, A. (1926) *Television*. Londres. Pitman.
- Dreher, T. (2012) *History of Computer Art*. IASL online.
- Disney's Hyperion Renderer (2019) *Walt Disney Technology Innovations*. Recuperado de <https://www.disneyanimation.com/technology/innovations/hyperion>
- Dunietz, J. (2016) *The Most Important Object in Computer Graphics History Is This Teapot*. Nautilus magazine. Facts so romantic on culture. Recuperado de <http://nautil.us/blog/the-most-important-object-in-computer-graphics-history-is-this-teapot>
- Dunning, B. (2016) *Video games: an introduction to the industry*. Bloomsbury Publishing.
- Dowidar, H., Salim, A. (2015) *How an ancient Muslim scientist cast his light into the 21st century*. Elsevier Connect. Elsevier.  
Tomado de <https://www.elsevier.com/connect/how-an-ancient-muslim-scientist-cast-his-light-into-the-21st-century> [Accedido en mayo 29 del 2022]
- Dyer, A. (2016) *PC Game Mods - From Smurfs to Counter-Strike and Beyond!*. Nvidia news. <https://www.nvidia.com/en-us/geforce/news/history-of-pc-game-mods/>
- Eckhardt, R. (1987) *Stan Ulam, John Von Neumann, and the Monte Carlo Method*. Los Alamos Science, magazine.  
[http://www-star.st-and.ac.uk/~kw25/teaching/mcrt/MC\\_history\\_3.pdf](http://www-star.st-and.ac.uk/~kw25/teaching/mcrt/MC_history_3.pdf)
- Edwards, R. (2012) *The Game Production Pipeline: Concept to Completion. What goes into making a game?* ING.  
<https://www.ign.com/articles/2006/03/16/the-game-production-pipeline-concept-to-completion> [Accedido en julio 3 del 2022]
- Eisenacher, C., Nichols G., Selle A., Burley B. (2013) *Sorted Deferred Shading for Production Path Tracing*. Eurographics Symposium on Rendering. Volume 32 (2013), Number 4. Recuperado de <http://www.andyselle.com/papers/20/sorting-shading.pdf>
- Engel, W., LaMothe, A. (2003) *Beginning Direct3D® Game Programming 2nd Edition*. Premier Press. EE.UU.
- EHM. Cine y Animación (2020) *El Apóstol (1917) Película Perdida. Primer largometraje de animación hecho en el mundo. Argentina*. Tomado de <https://www.youtube.com/watch?v=O5m9RXw0RBs> [Accedido en abril del 2024].
- Ezra, E. (2024) *Witchcraft and the Uncanny Origins of Cinema*. Gothic Studies 26.1 (2024): 1–17 Edinburgh University Press  
DOI: 10.3366/gothic.2024.0182

- Farin, G., Hoschek, J., Kim, S. (2002) *Handbook of Computer Aided Geometric Design*. Elsevier Science. Recuperado de [https://books.google.com.ec/books?id=0SV5G8fgxLoC&printsec=frontcover&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=0SV5G8fgxLoC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Forrester Consulting (2018) *Real-Time Rendering Solutions: Unlocking The Power Of Now*. Recuperado de [https://cdn2.unrealengine.com/Unreal+Engine%2Fresources%2FEpic-Games-Real-Time-Rendering-TLP\\_post-production\\_R3-2f4769b9b2adfca45af876c2f701f65ec6ef1228.pdf](https://cdn2.unrealengine.com/Unreal+Engine%2Fresources%2FEpic-Games-Real-Time-Rendering-TLP_post-production_R3-2f4769b9b2adfca45af876c2f701f65ec6ef1228.pdf)
- Fracalanci, E. (Trad. Francisco Campillo) (2010). *Estética de los objetos*. Editorial A. Machado Libros S. A.
- Figueroa, L. (2006) *Retro Game Programming*. Braincode. Recuperado de [http://www.brainycode.com/downloads/RetroGameProgramming\\_v\\_12.pdf](http://www.brainycode.com/downloads/RetroGameProgramming_v_12.pdf)  
EDITOR'S PICK9,505 views. Nov 25, 2017, 08:00am
- French, R. (2023) *The cameras that brought photography to the people*. Museums Victoria.  
<https://museums victoria.com.au/article/the-cameras-that-brought-photography-to-the-people/>
- Feng, A., Casas, D., Shapiro, A. (2015) *Avatar reshaping and automatic rigging using a deformable model*. MIG '15: Proceedings of the 8th ACM SIGGRAPH Conference on Motion in Games. Recuperado de <https://dl.acm.org/doi/10.1145/2822013.2822017>
- Gannon, J. (2009) *HSA Heritage Auctions Rare Books Auction Catalog #6030*. Heritage auction galleries. EE.UU, Dallas, Texas.
- Galluzzi, Paolo (1974) *The strange vicissitudes of Leonardo's manuscripts*. Unesco Courier.  
<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000074877>
- García, E. (2017) *Playstation Vita: todas sus características técnicas*. MeriStation. Recuperado de [https://as.com/meristation/2011/08/18/noticias/1313660880\\_093950.html](https://as.com/meristation/2011/08/18/noticias/1313660880_093950.html)
- Gerring, J. (2004) *What is a case study and what is it good for?* *American Political Science Review*, 98, 341-354.
- Geertz, C. (2017) *La interpretación de las culturas*. Editorial Gedisa. 3ra edición. (Original publicado en 1973).
- George, A., Bennett, A. (2004). *Case studies and theory development in the social sciences*. Cambridge: MIT Press.
- Gibson, James (1947). *Motion Pictures Testing and Research*. Army Air Forces Aviation. Psychology program research reports. Reporte 7. Revisado en [https://books.google.com.ec/books?id=BmUaAAAAIAAJ&printsec=frontcover&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=BmUaAAAAIAAJ&printsec=frontcover&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)
- Gibson, J. (1950) *The perception of the visual world*. The Riverside Press, Cambridge. EE.UU.
- Gibson, J. (1979) *The ecological approach to visual perception*. Psychology press, Taylor & Francis group, NY, EE.UU.

- Griggs, L. (2018) *Arnold for 3ds Max User Guide*. 2018 Solid Angle S.L. Recuperado de <https://docs.arnoldrenderer.com/pages/viewpage.action?pageId=40665584>
- Greene, E., Morrison, J. (2023) *Evaluating the Talbot-Plateau law*. *Front Neurosci*. 2023; 17: 1169162. Published online 2023 Apr 27. doi: 10.3389/fnins.2023.1169162
- Grioliopoulos, D. (2011). *A history of Id Tech*. www.ign.com. Articles. Recuperado de <https://www.ign.com/articles/2011/04/28/a-history-of-id-tech>
- Godwin, A. (2024) *A Guide to Abstract Art*. Artland magazine. <https://magazine.artland.com/what-is-abstract-art/> [Accedido en abril del 2024]
- Goodrich, J. (2024) *The Story Behind Pixar's RenderMan CGI Software Used to create Toy Story, the tools revolutionized animation*. IEEE Spectrum. <https://spectrum.ieee.org/story-behind-pixars-cgi-software>
- Gombrich, E. H. (1960) *Historia del Arte*. Editorial Diana, México. 10ma edición traducida de la primera edición, 1950.
- Gómez da Silva, G. (2009). *Breve diccionario etimológico de la lengua española*. Colección Lengua y estudios literarios. Fondo de Cultura Económica. México.
- Gómez, J. (1985) *TWIXT: A 3D animation system*. Computers & Graphics, Volume 9, Issue 3, 1985, Pages 291-298. Recuperado en <https://archive.computerhistory.org/resources/access/text/2023/06/102724883-05-10-acc.pdf>
- Google Arts & culture, (2023a) *Paris on Mount Ida*. Museo Archeologico Nazionale di Napoli. Revisado en <https://artsandculture.google.com/asset/paris-on-mount-ida/5gFtdrlWcapi4g>
- Google Arts & culture, (2023b) *Polychrome stucco*. Revisado en <https://artsandculture.google.com/asset/polychrome-stucco/2wFFYDNwJmvZeA>
- Google Arts & culture (2023c). Étienne-Jules Marey. The Cinémathèque française. <https://artsandculture.google.com/story/XgVBQF9O786SKg> [Accedido en marzo 22 del 2024].
- Google Arts & culture (2023d) *Muybridge's Pioneering Motion Pictures*. Kingston Museum. <https://artsandculture.google.com/partner/kingston-museum> [Accedido en marzo del 2024].
- Gouraud, H. (1971) *Computer display of curved surfaces*. Department of computer science, University of Utah. Accedido en <https://collections.lib.utah.edu/details?id=706615> [Revisado en abril del 2024]
- Gregory, J. (2015) *Game Engine Architecture*. CRC Press. Taylor & Francis Group.
- Grodal, T. (1999) *Moving pictures: A new theory of film genres, feelings, and cognition*. Oxford: Oxford University Press
- gnu.org (2023) *What is Free Software?*. Philosophy. <https://www.gnu.org/philosophy/free-sw.html>

- Haensel, S., Romero, E. (2019) *Aplicación para Oculus Go basada en fósil de megafauna prehistórica como soporte a la divulgación del patrimonio paleontológico ecuatoriano*. Universidad Católica Santiago de Guayaquil. Facultad de Artes y Humanidades. Tesis de ingeniería en Multimedia. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/12549>
- Han, B. Ch. (2005) *Hiperculturalidad. Cultura y globalización*. Editorial Herder.
- Hall, T. (1992) *DOOM Bible*. The Tom Hall Press, Inc. Recuperado de <https://5years.doomworld.com/doombible/>
- Hankin, M. (2008) *Ray Harryhausen. Master of the Majicks Vol. 2: The American Films*. Archive Editions LLC, EE.UU. Recuperado de <https://books.google.com.ec/books?id=1voGbBwpB9sC&pg=PA185&lpg=PA185&dq=Animal+World%2Bwillis+o%27brien&source=bl&ots=kH9cSTf80K&sig=ACfU3U1dnVXs2IkgXUJCnjJakL9GBNVx4g&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiuxpr2rMjpAhUonOAKHWPZDSgQ6AEwBXoECAoQAQ#v=onepage&q=Animal%20World%2Bwillis%20o'brien&f=false>
- Harari, Y. (2023) Versión Completa. *La historia de los imparables*. Yuval Noah Harari, historiador y escritor. Aprendemos juntos 2030, canal de YouTube. [https://www.youtube.com/watch?v=\\_TbJU3MgA\\_E](https://www.youtube.com/watch?v=_TbJU3MgA_E) [Minuto 59:14]
- Headrick R., Daniel (2009) *Technology: A World History*. Oxford University Press. Nueva York.
- Harryhausen, Ray., Dalton, Tony. (2008). *A century of stop motion animation: From Méliès to Aardman* (1a ed.). Estados Unidos: Watson-Guptill.
- Hemovich, V. (2017) *Charlie Oscar Delta: an exploration of militarism and the Call of Duty franchise*. Responding to Call of Duty: Critical Essays on the Game Franchise. Recuperado de <https://books.google.com.ec/books?id=3Ng5DwAAQBAJ&pg=PT22&lpg=PT22&dq=Battlezone%2Bgame%2Bpdf&source=bl&ots=o4Mer-Y0QE&sig=ACfU3U2uYawMgCOChJ2-JnmORILxun8Y6Q&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjd95SattfhAhXN1FkKHU5AAGg4ChDoATAPegQIBxAB#v=onepage&q=Battlezone&f=false>
- Henne, M., Hickel, H., Johnson, E., Konishi, S. (1996) *The Making of Toy Story*. Pixar Animation Studios. Recuperado de <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.526.9956&rep=rep1&type=pdf>
- Henón, P. (2018) *Une histoire française de l'animation numérique*. Conservatoire national des arts et métiers. Francia. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=Y1aeRFklyCQ>
- Henkel, T. (1984) *Demand for 32-bit workstations outgrowing supply*. Recuperado [https://books.google.com.ec/books?id=VQhbdDusHcsC&pg=PA16&lpg=PA16&dq=Apollo+DN+3000,+DN+660,+Ridge&source=bl&ots=1W1KdGHRda&sig=ACfU3U0Bu0\\_cQkicPkSf34Ykk1ob8Sgydw&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiin4Wgl7rhAhVSvFkKHUw2A1YQ6AEwBXoECAcQAQ#v=onepage&q=Apollo%20DN%203000%2C%20DN%20660%2C%20Ridge&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=VQhbdDusHcsC&pg=PA16&lpg=PA16&dq=Apollo+DN+3000,+DN+660,+Ridge&source=bl&ots=1W1KdGHRda&sig=ACfU3U0Bu0_cQkicPkSf34Ykk1ob8Sgydw&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiin4Wgl7rhAhVSvFkKHUw2A1YQ6AEwBXoECAcQAQ#v=onepage&q=Apollo%20DN%203000%2C%20DN%20660%2C%20Ridge&f=false)

- Heussner, T., Finley, T. K., Hepler, J., Lemay, A. (2015) *The Game Narrative Toolbox*. Focal press. Taylor & Francis. Massachusetts.
- Hunter, D., McCallum, J., Howes, D. (2019) *Defining Exploratory-Descriptive Qualitative (EDQ) research and considering its application to healthcare*. Journal of Nursing and Health Care, 4(1). Tomado de <https://eprints.gla.ac.uk/180272/7/180272.pdf>
- Hughes, J. et al. (2014) *Computer Graphics. Principles and practice*. 3a edición. Addison-Wesley. Recuperado de <http://ptgmedia.pearsoncmg.com/images/9780321399526/samplepages/0321399528.pdf>
- Hodes, L. (1961) *Machine Processing of line drawings*. Lincoln Lab, MIT. Group Report 54 G00 28.
- Horak, J. (1995) *Lovers of Cinema: The First American Film Avant-garde, 1919-1945*. University of Wisconsin Press.
- Holliday, Ch., Pallant, Ch. (2021). *The depth deception: Landscape, technology and the manipulation of Disney's multi-plane camera in Snow White and the Seven Dwarfs (1937)* en Pallant y Holliday (Eds.), *Snow White and the Seven Dwarfs New Perspectives on Production, Reception, Legacy* (2021). Bloomsbury Publishing, New York.
- IGN (2003) *PSP SPECS REVEALED*. Processing speed, polygon rate and lots more. Recuperado de <https://www.ign.com/articles/2003/07/29/psp-specs-revealed>
- Hosch, W. (2023) *Richard Stallman*. Encyclopaedia Britannica. <https://www.britannica.com/biography/Richard-Stallman>
- Isaacson, W. (2014) *Los innovadores*. Editorial Debate.
- Laguna, R. (2022) *Quirino Cristiani, el pionero cuádruple*. LatAm Cinema.com. Suplemento especial. Accedido en <https://www.latamcinema.com/archivos/Suplemento-especial-Premios-Quirino.pdf>
- Lutz, F. (2018) *Illustrating Edwin. A bio of Edwin G. Lutz*. Sitio web. <https://eglutz.com/author/>
- Lutz, E. G. (1920) *Animated cartoons; how they are made, their origin and development*. Charles Scribner's sons. Nueva York. (El libro impreso original está en la librería de la Universidad de Cornell (Nueva York, EE.UU.). Pero se puede revisar una copia digital en <https://archive.org/details/cu31924075701304/page/n9/mode/2up>).
- Lutz, E. G. (1935) *Drawing made easy*. A helpful book for young artists. Charles Scribners's sons
- Kalos, M., Whitlock, P. (2008) *Monte Carlo methods*. Segunda edición. Wiley-VCH. Recuperado de [https://books.google.com.ec/books?id=b8Xb4rBkygUC&printsec=frontcover&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=b8Xb4rBkygUC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Khan, A. (2018) *Globalization and the Challenges of Public Administration. Governance, Human Resources Management, Leadership, Ethics, E-Governance and Sustainability in the 21st Century*. Palgrave Macmillan, EE.UU.
- Kapil, D., Manfred, L., Ligang, L. (2016) *A Perceptual Aesthetics Measure for 3D Shapes*. Faculty of Science and Technology > School of Computing & Communications. <https://eprints.lancs.ac.uk/id/eprint/85171>

- Kaplan, I. (2016) *If You Don't Understand Conceptual Art, It's Not Your Fault*. www.artsy.net. Recuperado de <https://www.artsy.net/article/artsy-editorial-if-you-don-t-understand-conceptual-art-it-s-not-your-fault>
- Kelly, G. (2016) *PS4 Pro Vs PS4 Slim: What's The Difference?* Forbes. Recuperado de <https://www.forbes.com/sites/gordonkelly/2016/11/09/ps4-pro-vs-ps4-slim-vs-ps4-whats-the-difference/#3f735f707a8a>
- Kongyijie, L., Hyunsuk, K. (2023) *Research and analysis on the development of 2D-3D animation fusion based on the development of technology fusion*. S. A. Qalati et al. (eds.), Proceedings of the 2023 3rd International Conference on Social Development and Media Communication (SDMC 2023), Advances in Social Science, Education and Humanities Research 807, [https://doi.org/10.2991/978-2-38476-178-4\\_40](https://doi.org/10.2991/978-2-38476-178-4_40)
- Kivistö (2012) *Real-Time Muscle Animation*. Kajaanin ammattikorkeakoulu. Finlandia. Recuperado de <https://pdfs.semanticscholar.org/07e2/65e738150d6fe86a8045d1154bf2275915bc.pdf>
- Kuang, J., et al. (2006) *Evaluating HDR Rendering Algorithms*. Munsell Color Science Laboratory, Rochester Institute of Technology, Rochester, New York. Recuperado de <http://www.rit-mcsl.org/fairchild/PDFs/PAP24.pdf>
- Kluckhohn, C. (2017) *Mirror for Man: The Relation of Anthropology to Modern Life*. Editorial Routledge. (Original publicado en 1949).
- Lachat, C. (2012) *Percepción visual y traducción audionvisual: la mirada dirigida*. MonTI 4 (2012: 87-102). ISSN 1889-4178. Tomado de [https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/26941/1/MonTI\\_04\\_05.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/26941/1/MonTI_04_05.pdf)
- Landreth, C. (1999) *The Making of Bingo: Concepts and Techniques*. Alias I Wavefront Toronto, Canada Submission to Prix Ars Electrónica 99. Recuperado de <http://archive.aec.at/media/assets/f17e68099803c30f829fcf430391eab9.pdf>
- Langlands, A. (2014) *Physically Based Shader Design in Arnold*. Autodesk, Arnold. [https://arnoldrenderer.com/research/physically\\_based\\_shader\\_design\\_in\\_arnold.pdf](https://arnoldrenderer.com/research/physically_based_shader_design_in_arnold.pdf)
- Leadbetter, R. (2010). *Revelado el chip gráfico de Nintendo 3DS*. Nintendo opta por el PICA200 de DMP. Recuperado de <https://www.eurogamer.es/articles/digitalfoundry-revelada-la-gpu-de-nintendo-3ds>
- Lee, K. (1973) *Computer Aided Architectural Design: 16 ARK-2*. Figura 2.
- Len Lye Foundation (2019) *Len Lye*. Recuperado de <http://www.lenlyefoundation.com/page/len-lye/3/87/>
- Lewis, M. (2020). *The 50s in the third dimension*. Australian Centre for the Moving Image, ACMI. Revisado en <https://www.acmi.net.au/stories-and-ideas/50s-third-dimension/>
- Ling-An W., Gui Lu Long, Qihuang Gong & Guang-Can Guo (2015) *Optics in Ancient China*. News y European physical society. Tomado de <http://www.epsnews.eu/2015/10/optics-in-ancient-china/> (Accedido en abril 28 del 2022).

- Lin, S. (2023) *The history of 3D animation: a deep dive*. Blog. InFocus Film School. Accedido en septiembre del 2023.  
<https://infocusfilmschool.com/history-of-3d-animation/>
- Lipton, L. (2021) *The Cinema in Flux: The Evolution of Motion Picture Technology from the Magic Lantern to the Digital Era*. Editorial Springer. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-0716-0951-4?page=5#toc>
- Linton, P. (2023). *Minimal theory of 3D vision: new approach to visual scale and visual shape*. Phil. Trans. R. Soc. B37820210455. 20210455. <http://doi.org/10.1098/rstb.2021.0455>
- Lyon, R., F. (2006) *A Brief History of 'Pixel' Reprint* — Paper EI 6069-1 Digital Photography II — Invited Paper IS&T/SPIE Symposium on Electronic Imaging 15–19 January 2006, San Jose, California, USA. Revisado en <http://www.dicklyon.com/tech/Photography/Pixel-SPIE06-Lyon.pdf> (Accedido el 28 de abril del 2022)
- Madhav, S. (2014) *Game Programming Algorithms and Techniques*. Addison-Wesley. Pearson Education, Inc. EE.UU.
- Malthête-Méliès, M. (2022) *Magnificent Méliès. The Authorized Biography*. University of Michigan Press.
- McCabe, P. (2018) *Create computer games*. Design and build you own game. Wiley, Nueva Jersey.
- Martínez, S., G (2018) *Evolución de los efectos visuales en la historia del cine y su influencia sobre la industria del video musical*. Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias de la Información. Departamento de Comunicación Audiovisual y Publicidad 1. Recuperado de <https://eprints.ucm.es/44259/1/T39933.pdf>
- Maxwell, H. (2020) *The game production toolbox*. CRC Press. Florida, EE.UU.
- McLaughlin, T., Cutler, L., Coleman, D. (2011) *Character Rigging, Deformations, and Simulations in Film and Game Production*. SIGGRAPH '11 ACM SIGGRAPH 2011 Courses. Article No. 5. Recuperado de <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.474.9719&rep=rep1&type=pdf>
- McShaffry, M., Graham, D. (2013) *Game Coding Complete*. 4ta edición. Course Technology. Recuperado de <http://canvas.projekti.info/ebooks/Game%20Coding%20Complete%20-%204th%20Edition.pdf>
- MGM Film Co. (1981) *Ray Harryhausen: special effects*. Moma, Nueva York. Recuperado de [https://www.moma.org/documents/moma\\_catalogue\\_2266\\_300062649.pdf](https://www.moma.org/documents/moma_catalogue_2266_300062649.pdf)
- Mannoni, L. (2024) *Films chronophotographiques*. Sitio web de La Cinémathèque française.  
<https://www.cinematheque.fr/henri/film/113597-films-chrono-photographiques-etienne-jules-marey-1889-1904/> [Accedido en marzo del 2024].
- Maselli, V. (2018). *The Evolution of Stop-motion Animation Technique Through 120 Years of Technological Innovations*. International Journal of Literature and Arts 2018; 6(3): 54-62  
<http://www.sciencepublishinggroup.com/j/ijldoi:10.11648/j.ijla.20180603.12> Maya (2023a) *HumanIK character structure*. Autodesk Maya. <https://help.autodesk.com/view/MAYAUL/2023/ENU/?guid=GUID-5DEFC6E5-033C-45D5-9A0E-224E7A35131B>

- Maya (2023b) *Appendix: Work with legacy render passes*. Autodesk Maya.  
<https://help.autodesk.com/view/MAYAUL/2023/ENU/?guid=GUID-FA411DD5-E54D-45EB-ADAD-BD638342FC6C>
- Martin, A. (1999) *Radiosity. Curso de Advanced Topics in Computer Graphics*. Worcester Polytechnic Institute.  
<https://web.cs.wpi.edu/~matt/courses/cs563/talks/radiosity.html>
- Eldridge, A. (2020) *Ray Harryhausen, american filmmaker*. Enciclopedia Britannica. Recuperado
- MET Museum (2023) *Stamp seal: buffalo with incense burner (?)*. Galería 234.  
<https://www.metmuseum.org/art/collection/search/324063>
- Ministerio de Educación del Ecuador (MEE) (12 de septiembre del 2017). *Unidad Educativa Fiscomisional Calasanz de Loja alcanzó el subcampeonato en Mundial de Diseño 3D*. Noticias del MEE. Recuperado de  
<https://educacion.gob.ec/unidad-educativa-fiscomisional-calasanz-de-loja-alcanzo-el-subcampeonato-en-mundial-de-diseno-3d/> [Accedido el 27 de diciembre del 2023]
- Mortensen, J. (2014) *Global Illumination in Unity 5*. Unity Technologies. Recuperado de  
[https://japan.unity3d.com/unite/unite2015/files/DAY1\\_1400\\_room1\\_Jesper.pdf](https://japan.unity3d.com/unite/unite2015/files/DAY1_1400_room1_Jesper.pdf)
- Mortensen, K. (2017) *Gustaf Tenggren*. Scandinavian Review, Summer 2017. [https://www.amscan.org/wp-content/uploads/2017/07/Pages-from-Summer\\_17-full-issue-with-cover.pdf](https://www.amscan.org/wp-content/uploads/2017/07/Pages-from-Summer_17-full-issue-with-cover.pdf)Tenggren.
- Munro, T. (1943). *Form in the Arts: An Outline for Descriptive Analysis*. The Journal of Aesthetics and Art Criticism, 2(8), 5. <https://doi.org/10.2307/425941>
- Munro, T. (1970). *Form and style in the arts: An introduction to aesthetic morphology*. Cleveland: Press of Case Western Reserve University.
- Müller, A., P., H. (2022) *Computer Aided Geometric Design*. Paul de Casteljau obituary.  
<https://www.journals.elsevier.com/computer-aided-geometric-design/announcements/paul-de-casteljau-obituary>
- Muren, D. (2021) *Dennis Muren on 'Stained Glass Man' in 'Young Sherlock Holmes'* - VIEW Conference. Tomado del canal de YouTube before & afters. <https://www.youtube.com/watch?v=nTsBOLDfphU>
- Museo Nacional del Prado, (2017). [video]. Conferencia *La historia de la belleza. De Fidias a Picasso*, por Miguel Ángel Elvira, catedrático de Historia del Arte de la Universidad Complutense de Madrid. Curso Fundación Amigos del Museo del Prado. Revisado en [https://www.youtube.com/watch?v=vcgPhxaiJ3ANaumann,S.\(s/f\)MaryEllenBute1906-1983](https://www.youtube.com/watch?v=vcgPhxaiJ3ANaumann,S.(s/f)MaryEllenBute1906-1983). IMA Institut für Medienarchäologie. Recuperado de  
<https://maryellenbute.ima.or.at/p27.html>
- Newell, M. (1975) *The Utilization of Procedure Models in Digital Image Synthesis*, de 1975. Universidad de Utah. Recuperado de <https://pdfs.semanticscholar.org/6e7d/327a7dc9e8ca9751988e78a068562ceee1c1.pdf>

- Noll, A. M. (1994). *The Beginnings of Computer Art in the United States: A Memoir*. Leonardo, 27(1), 39–44.  
<https://doi.org/10.2307/1575947>
- Norman, J. (2019) *Lee Harrison's Scanimate: The First Widely Applied Analog Computer Animation System*. Sitio web [www.historyofinformation.com](http://www.historyofinformation.com). Recuperado de <http://www.historyofinformation.com/detail.php?id=4009>
- Noor, F. (2013) *An Overview Study of Game Engines*. Journal of Engineering Research and Applications. ISSN: 2248-9622, Vol. 3, Issue 5, Sep-Oct 2013, pp.1673-1693. Recuperado de <https://pdfs.semanticscholar.org/19de/cc71f2f14a1a4bb56106c0b06bd6e2e8b843.pdf>
- Nvidia (2019) *GeForce*. Hardware. Technology DirectX 11. Recuperado de <https://www.geforce.com/hardware/technology/dx11/technology>
- National Library of Scotland (2009) *John Logie Baird (1888-1946)*. Hall of fame. Recuperado de <https://digital.nls.uk/scientists/biographies/john-logie-baird/index.html>
- Nicolaou, C. (2019) *Qualitative Methods Research Through the Internet Applications and Services: The Contribution of Audiovisual Media Technology as Technology-Enhanced Research*. Sciedu Press, <https://doi.org/10.5430/irhe.v6n1p1>.
- Nintendo Store. (2018). *Embark on the journey of a Tarahumara shaman!* Obtenido de <https://www.nintendo.com/games/detail/mulaka-switch/>
- O'Neill, R. (2016) *Digital Character Development: Theory and Practice*, Second Edition. CRC Press. Recuperado de [https://books.google.com.ec/books?id=vR2vCgAAQBAJ&pg=PA27&lpg=PA27&dq=Insektors%2BStudio+Fantome&source=bl&ots=17Tj\\_KDofN&sig=ACfU3U0FnaehbHIYxQ3BnR55ROtGmNQ21w&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwj\\_5ZLm27rhAhVMwVvkKHURfCsUQ6AEwC3oECAcQAQ#v=onepage&q=Insektors&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=vR2vCgAAQBAJ&pg=PA27&lpg=PA27&dq=Insektors%2BStudio+Fantome&source=bl&ots=17Tj_KDofN&sig=ACfU3U0FnaehbHIYxQ3BnR55ROtGmNQ21w&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwj_5ZLm27rhAhVMwVvkKHURfCsUQ6AEwC3oECAcQAQ#v=onepage&q=Insektors&f=false)
- O'Hailey, T. (2010) *Hybrid Animation. Integrating 2D and 3D Assets*. Focal Press, EE.UU. Recuperado de <https://books.google.com.ec/books?id=HvvpAwAAQBAJ&pg=PA274&lpg=PA274&dq=3D%2BIron+Giant%2Bbrender&source=bl&ots=G3zhU0XBjo&sig=ACfU3U2N57HcXh8R466EtfTJ-PC3jpBPEA&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiO08DvicPhAhWno1kKHe2DD6IQ6AEwDnoECAgQAQ#v=onepage&q=iron%20giant&f=false>
- Ohio Technology Consortium (2019) *History of OSC and OARnet (1963-1986)*. Recuperado de [https://www.oh-tech.org/content/history\\_osc\\_and\\_oarnet\\_1963\\_1986](https://www.oh-tech.org/content/history_osc_and_oarnet_1963_1986)
- Padda, S., Gupta, S., Arora, A., Sharma, P. (2014) *Different Shading Algorithms for Image Processing*. International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering. Volume 4, Issue 5, May 2014. Recuperado de [http://ijarcsse.com/Before\\_August\\_2017/docs/papers/Volume\\_4/5\\_May2014/V4I5-0472.pdf](http://ijarcsse.com/Before_August_2017/docs/papers/Volume_4/5_May2014/V4I5-0472.pdf)
- Pappas, N. (2020) *Plato's Aesthetics*. The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Fall 2020 Edition), Edward N. Zalta (ed.). Revisado en <https://plato.stanford.edu/archives/fall2020/entries/plato-aesthetics/>

- Parkes, G. (2023) *Japanese Aesthetics*. Stanford Encyclopedia of Philosophy. (Spring 2024 Edition), Edward N. Zalta & Uri Nodelman (eds. Revisado en <https://plato.stanford.edu/archives/spr2024/entries/japanese-aesthetics/>) [Accedido en abril del 2024]
- Parent, R. (2002) *Computer Animation, Algorithms and Techniques*. Morgan Kaufmann Publishers, EE.UU.
- Parent, R. (2012) *Computer Animation Algorithms and Techniques*. 3ra edición. Ohio State University. Editorial Morgan Kaufmann.
- Pash, A. (2016) *Raycasting*. Recuperado de <http://augustuspash.com/blog/2016/2/28/raycasting>
- Pasquinelli, M. (2022) *From algorism to algorithm: A brief history of calculation from the Middle Ages to the present day*. Electra, n. 15 “The Numbers”, Winter 2021-22
- Pegoraro, V. (2017) *Handbook. Digital image synthesis. Scientific foundations of rendering*. CRC Press. Recuperado de <https://books.google.com.ec/books?id=GIOzDQAAQBAJ&pg=PA799&lpg=PA799&dq=Scott+Roth%2BRay+Casting%2BModeling+Solids%2Bcolor+images&source=bl&ots=FaVsEben65&sig=ACfU3U1RD3S-UlnPBAaRMAtpJZYxLM44mg&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwj3hueU8bHhAhWruFkKHRuWDagQ6AEwCnoECAgQAQ#v=onepage&q=S cott%20Roth%2BRay%20Casting%2BModeling%20Solids%2Bcolor%20images&f=false>
- Phong, B. (1975) *Illumination for Computer Generated Pictures*. Universidad de Utah. Graphics and Image Processing. Association for Computing Machinery. Tomado de [https://users.cs.northwestern.edu/~ago820/cs395/Papers/Phong\\_1975.pdf](https://users.cs.northwestern.edu/~ago820/cs395/Papers/Phong_1975.pdf) [Accedido en abril del 2024]
- Photiadis, T., Zaphiris, P. (2014). *The Formulation and Visualization of 3D Avatar Design, Including Three Basic Theoretical Elements: Aesthetic, User Experience and Psychology*. Department of Multimedia and Graphic Arts, Cyprus Interaction Lab, Cyprus University of Technology. M. Kurosu (Ed.): Human-Computer Interaction, Part I, HCII 2014, LNCS 8510, pp. 134–144, 2014. Editorial Springer.
- Pekelis, L., Hery, C., Villemin, R., Ling, J. (2015) *A Data-Driven Light Scattering Model for Hair*. Pixar Technical Memo #15-02. Recuperado de <http://graphics.pixar.com/library/DataDrivenHairScattering/paper.pdf>
- Pérez, Y., A. (2008) *La televisión mecánica*. Foro histórico de las telecomunicaciones. Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado de [http://oa.upm.es/4637/1/INVE\\_MEM\\_2008\\_53688.pdf](http://oa.upm.es/4637/1/INVE_MEM_2008_53688.pdf)
- piercefilm productions (2022) *Young Sherlock Holmes stop motion animation*. Tomado del canal de YouTube piercefilm productions. <https://www.youtube.com/watch?v=bxcupDBBOFQ&t=126s>
- Prieto, G. A. (2008) *História da animação brasileira*. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. <https://www.cena.ufscar.br/wp-content/uploads/historia-da-animacao-brasileira1.pdf>
- Pointer, R. (2017) *The Art and Inventions of Max Fleischer: American Animation Pioneer*. McFarland editores, Carolinda del norte.

[https://books.google.com.ec/books?id=ghluDgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=ghluDgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

puppetoon.net (2023) *The Puppetoon Movie*. <https://puppetoon.net/products/vol3>

Purves, B. (2008) *Stop motion, passion, process and performance*. Focal Press

Reeves, N. (2015) *A Rare Mechanical Figure from Ancient Egypt*. University of Chicago Press. Metropolitan Museum Journal 2015 50:, 42-61. <https://doi.org/10.1086/685672>

Ritcher, I. A. (2008) *Leonardo da Vinci, Notebooks*. Oxford University Press. Gran Bretaña.

Pixar (2019) *Our Story*, 1984. Recuperado de <https://www.pixar.com/our-story-1>

Ratkovic, J. (2017) *Physically based rendering*. University of Zagreb Faculty of Electrical Engineering and Computing. Recuperado de [https://bib.irb.hr/datoteka/890912.Final\\_0036473349\\_56.pdf](https://bib.irb.hr/datoteka/890912.Final_0036473349_56.pdf)

Robertson, B. (1999) *TEN-TON TOON*. Computer Graphics World. Recuperado de <http://www.cgw.com/Publications/CGW/1999/Volume-22-Issue-11-November1999-/TEN-TON-TOON.aspx>

Robertson, E. (2023) *Dennis Muren: "There's A Magic To It"*. *The Talks*. <https://the-talks.com/interview/dennis-muren/> [Accedido en abril del 2024]

Roberts, G. (1963) *Machine Perception of Three-Dimensional Solids*. MIT. Junio de 1963. Recuperado de <https://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/11589/33959125-MIT.pdf?sequence=2>

Röber, N., Masuch, M. (2005) *Game Graphics Beyond Realism: Then, Now, and Tomorrow*. Otto-von-Guericke University Magdeburg. Games and Graphics Research Group Institute for Simulation and Computer Graphics. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/252486461\\_Game\\_Graphics\\_Beyond\\_Realism\\_Then\\_Now\\_and\\_Tomorrow](https://www.researchgate.net/publication/252486461_Game_Graphics_Beyond_Realism_Then_Now_and_Tomorrow)

Roget, P. Mark (1825) *V. Explanation of an optical deception in the appearance of the spokes of a wheel seen through vertical apertures*, Phil. Trans. R. Soc. 115:131–140. Tomado de <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rstl.1825.0007> [Accedido en mayo 29 del 2022]

Rogers, S. (2014) *LevelUp*. Wiley editores.

Roussot, A. (1984) *La rondelle aux chamois de Lauerie-Basse, in Elements de pre et protohistoire europeenne. Hommages a Jacques-Pierre Millotte* (Annales Litteraires de l'Universite de Besanc, on 299): 219–31. Paris: Les Belles Lettres.

RGME (2017). *Retro Game Mechanics Explained*. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=uRjf8ZP6rs8>

Romero, J. (2018) *DOOM's Development: A Year of Madness*. WeAreDevelopers Conference. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=eBU34NZhW7I&t=2174s>

- Romeo, M. (2016) *Rapid, High Quality Dailies for The Jungle Book*. Siggraph Talk 2016. Recuperado de <https://www.mpc-rnd.com/rapid-high-quality-dailies-with-renderflow-for-the-jungle-book/>
- Rao, N. (2019). *Indus Valley Civilization*. In: Jain, P., Sherma, R., Khanna, M. (eds) *Hinduism and Tribal Religions. Encyclopedia of Indian Religions*. Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-94-024-1036-5\\_251-1](https://doi.org/10.1007/978-94-024-1036-5_251-1)
- Roth, S. (1982) *Ray Casting for Modeling Solids*. Unimation Inc. Recuperado de <https://kundoc.com/pdf-ray-casting-for-modeling-solids-.html>
- Schawndt, T., Gates, E. (2018) *The SAGE handbook of qualitative research*. Denzin, N., Lincoln, Y. (Eds.), 5ta edición. SAGE Publicaciones, EE.UU.
- Salvadori, M., Sbroli, C. (2021) *Wall paintings through the ages: the roman period—Republic and early Empire*. *Archaeol Anthropol Sci* 13, 187. <https://doi.org/10.1007/s12520-021-01411-3>
- Sánchez-Salas, D. (2022) *De Chaumont a Chomón, el lugar de Segundo de Chomón en la historiografía del cine*. Turia. Revista Cultural. No. 140. Instituto de Estudios Turolenses de la Diputación Provincial de Teruel.
- Sancán, M. (2020) *Análisis del equilibrio gráfico-narrativo presente en la experiencia interactiva de los videojuegos*. Revista Con A de animación. Universidad Politécnica de Valencia. DOI: <https://doi.org/10.4995/caa.2020.13278>Análisis
- Sancán L., M. E., & Sancán Lapo, B. A. (2023). *Narrativa, Mecánicas de Videojuegos y Animación como Fortalezas Interactivas para Videojuegos en Móviles*. *Revista Politécnica*, 51(1), 7–18. <https://doi.org/10.33333/rp.vol51.n1.01>
- Sanglard, F. (2019) *The Story of the 3dfx Voodoo1*. Fabien Sanglard's Website. Recuperado de [http://fabiansanglard.net/3dfx\\_sst1/index.html](http://fabiansanglard.net/3dfx_sst1/index.html)
- Santos, L. E. (2018) *El arte de E gran viaje*. Universidad de Cuenca. Artes y Humanidades. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/34155>
- Saz, L. A. (2018) *Segundo de Chomón Ruiz*. Real Academia de Historia. <https://dbe.rah.es/biografias/14147/segundo-de-chomon-ruiz> [Accedido el 12 de octubre del 2023]
- Savage, Ch. (2011) *Reflections on the Optics of Time*. Muslim heritage. Tomado de <https://muslimheritage.com/reflections-optics-time/> [Accedido en mayo 29 del 2022]
- Shubert, A. (2019) *Virtual Realism: Victorian Fiction as Optical Technology*. The University of Chicago. Department of English Language And Literature. Recuperado de <https://knowledge.uchicago.edu/record/1850>
- Selfridge, O. G., Neisser, U. (1960) *Pattern recognition by machine*. *Scientific American*, Vol. 203, No. 3, pp. 60-68.
- Seymour, M. (2012) *The Art of Rendering (updated)*. Arnold – Solid Angle. <http://www.fxguide.com/fxfeatured/the-art-of-rendering/>
- Seymour, M. (2017) *Pixar's RenderMan & Marschner Hair*. Fx Guide. Recuperado de <https://www.fxguide.com/featured/pixars-renderman-marschner-hair/>

- Schell, J. (2015) *The Art of Game Design, A Book of Lenses*. Segunda edición. CRC Press. Florida, EE.UU.
- Schertenleib, S. (2013) *Unlocking the potential of Playstation®4: an in-depth developer guide*. Scee Research and Development. Recuperado de <http://rdwest.playstation.com/wp-content/uploads/2014/11/ParisGC2013Final.pdf>
- Schiffman, H. R. (2001) *Sensación y percepción, un enfoque integrador*. 5ta edición. Editorial Manual Moderno. México.
- SculptGL (2023), *SculptGL*. Stéphane Ginier. <https://stephaneginier.com>
- Shiers, George (1997) *Early Television: A Bibliographic Guide to 1940* (Garland Reference Library of Social Science). Routledge. Recuperado de [https://www.amazon.com/Early-Television-Bibliographic-Garland-Reference/dp/0824077822?ref=nav\\_em\\_hd\\_re\\_signin&](https://www.amazon.com/Early-Television-Bibliographic-Garland-Reference/dp/0824077822?ref=nav_em_hd_re_signin&)
- Seastrom, L. (2019). *How Walt Disney Went From Ambitious Cartoonist to Running His Own Studio*. [waltdisney.org](http://www.waltdisney.org). <https://www.waltdisney.org/blog/how-walt-started-in-animation> [Accedido en agosto 29 del 2023]
- SIGGRAPH ASIA (2018) *Art and Technology at Pixar*. SIGGRAPH ASIA 2018 Course Notes. Recuperado de <http://graphics.pixar.com/library/sigAsia2018Course/paper.pdf>
- SIGGRAPH (2019) Art Show Archives. Resources from SIGGRAPH, SIGGRAPH Asia, and Digital Arts Community Exhibitions. Recuperado de <https://digitalartarchive.siggraph.org/artwork/joseph-j-banchero-jr-deltoid-a-drinking-man/>
- Siju Wu, Amine Chellali, Samir Otmane, Guillaume Moreau (2015) *TouchSketch: a touch-based interface for 3D object manipulation and editing*. 21st ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST 2015). <https://hal.science/hal-01222203/document>
- Smith, A. R. (1995) *Alpha and the History of Digital Compositing*. Microsoft Tech Memo 7. CiteSeerX, Penn State University. <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download;jsessionid=D857DFEA638B38DFFE6E46E419166590?doi=10.1.1.27.2025&rep=rep1&type=pdf>
- Solomon, M. (Ed.). (2011). *Fantastic Voyages of the Cinematic Imagination. Georges Méliès's Trip to the Moon*. State University of New York Press, Albany.
- Sfetcu, N. (2014) *Game Preview*. Recuperado de <https://books.google.com.ec/books?id=J1aAAwAAQBAJ&pg=PT835&dq=GameCube&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjX09Kw2YniAhUO2FkKHWKEDTUQ6AEILjAB#v=onepage&q=GameCube&f=false>
- Sherrod, A. (2008) *Game Graphics Programming*. Course Technology. EE.UU. Recuperado de <http://160592857366.free.fr/joe/ebooks/ShareData/Game%20Graphics%20Programming%20By%20Allen%20Sherrod.pdf>
- Schröter, J. (2014). *3D: History, Theory and Aesthetics of the Transplane Image*. Volume 6. Editorial Bloomsbury.

- Shoard, C. (2016) *Burpy, baldy, deafy... auctioned artwork reveals rejected Snow White dwarves*. The Guardian. Sitio web. Accedido en julio 27 del 2023.
- Sito, T. (2013). *Moving Innovation. A History of Computer Animation*. MIT Press. Londres. Revisado en <https://archive.org/details/tomsitomovinginnovationahistoryofcomputeranimationthemitpress2013/page/n3/mode/2up?view=theater>
- Sutherland, I. (2003) *Sketchpad: A man-machine graphical communication system*. Technical Report, #574. Universidad de Cambridge. Recuperado de <https://www.cl.cam.ac.uk/techreports/UCAM-CL-TR-574.pdf>
- Sutherland, I. (1963) *Sketchpad: A Man-Machine Graphical Communication System*. Technical Report, #296. Departamento de Ingeniería Eléctrica del MIT.
- Stefyn, N. (2022) *How video games are made: the game development process*. CG Spectrum. Tomado de <https://www.cgspectrum.com/blog/game-development-process> [Accedido en junio 19 del 2022]
- Tajchman, E.J. (1977) *The Incredible Electronic Animation Machine: A Computer System Called CAESAR Is Conquering New World for Video Graphics*, Videographics Magazine, Nov 1977, pp 22-24.
- Talbot, H. F. (1834). *Experiments in light*. Phil. Mag. J. Sci. 5, 321–334. <http://dx.doi.org/10.1080/14786443408648474>
- Tatarchuk, N. (2015) *Applied graphics research for videogames*. 3dSymposium. Recuperado de [http://i3dsymposium.github.io/2015/I3D\\_Tatarchuk\\_keynote\\_2015\\_for\\_web.pdf](http://i3dsymposium.github.io/2015/I3D_Tatarchuk_keynote_2015_for_web.pdf)
- Tbakhi, A., & Amr, S. S. (2007). *Ibn Al-Haytham: father of modern optics*. Annals of Saudi medicine, 27(6), 464–467. <https://doi.org/10.5144/0256-4947.2007.464>
- The Walt Disney Family Museum (2013) *Snow White and seven dwarfs*. Educator and family guide. [http://www.nrm.org/pdfs/WDFM\\_NRM\\_SnowWhiteGuide\\_150dpi.pdf](http://www.nrm.org/pdfs/WDFM_NRM_SnowWhiteGuide_150dpi.pdf)
- Tyson, J. (2000) *How N64 Works. HowStuffWorks*. Recuperado de <https://electronics.howstuffworks.com/n64.htm>
- Unesco (2014) *Decorated Cave of Pont d'Arc, known as Grotte Chauvet-Pont d'Arc, Ardèche*. World Heritage List. Recuperado de <https://whc.unesco.org/en/list/1426/>
- Universidad Santiago de Compostela (USC) (2017) *A maxia matemática do artista Escher inspira a escolares de Guadix para gañar a V D3Mobile do Campus Terra da USC*. Recuperado de <https://www.usc.gal/gl/xornal/novas/maxia-matematica-artista-escher-inspira-escolares-guadix-ganar-d3mobile-campus-terra> [Accedido el 27 de diciembre del 2023]
- Unity Documentation (2019) *Standard Shader*. Terminology. Recuperado de <https://docs.unity3d.com/2018.3/Documentation/Manual/shader-StandardShader.html>
- Unity (2019) *Graphics. Everything for Lighting and Rendering in Unity*. Introduction to Lighting and Rendering. Recuperado de <https://unity3d.com/es/learn/tutorials/s/graphics>

- Unreal Engine (2023a) *Skin Weight Profiles* (Perfil de peso de la piel) para versión versión 4.27.  
<https://docs.unrealengine.com/4.27/en-US/AnimatingObjects/SkeletalMeshAnimation/SkinWeightProfiles/>
- Unreal Engine (2023b) *Clothing Tool para versión 5.1*. <https://docs.unrealengine.com/5.1/en-US/clothing-tool-in-unreal-engine/>
- Unreal Engine (2023c) *Hair Physics Overview para versión 5.1*. <https://docs.unrealengine.com/5.1/en-US/clothing-tool-in-unreal-engine/> Ultimate History of CGI (2019) Adventures of Andre and Wally B. CGI making of, 1984. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=LT3c0ZYvBCY>
- Unreal Engine (2023d) *Working with Nodes*. UserGuide. <https://docs.unrealengine.com/4.26/en-US/ProgrammingAndScripting/Blueprints/UserGuide/Nodes/>
- Unreal Engine (2023e) *Graphs*. <https://docs.unrealengine.com/4.27/en-US/ProgrammingAndScripting/Blueprints/UserGuide/Graphs/>
- Unreal Engine (2023f) *PCG Forest Blueprint*. <https://www.unrealengine.com/marketplace/en-US/product/pcg-forest-blueprint>
- Ultimate History of CGI (2019) *TRON - CGI making of (1982)*. Entrevista a Bill Kroyer. Canal de YouTube. Revisado en <https://www.youtube.com/watch?v=Tm4i6D3XXBQ>
- van den Oever, A. M. A. (2012). *The Aesthetics and Viewing Regimes of Cinema and Television, and Their Dialectics*. In I. Christie (Ed.), *Audiences. Defining and Researching Screen Entertainment Reception* (pp.113-127; 257-261). (The Key Debates - Mutations and Appropriations in European Film Studies; No. Vol.III). Amsterdam: Amsterdam University Press.
- Valient, M. (2011) *Deferred Rendering in Killzone 2. Guerrilla Develop Conference*. 2007. Recuperado de <https://www.slideshare.net/guerrillagames/deferred-rendering-in-killzone-2-9691589>
- Veras, C. (2022) *Reanimating the History and the Forgotten Characteristics of the Zoetrope*. SAGE Journals. <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/17468477221085412>
- Voica, A. (2016) *Five most iconic devices to use MIPS CPUs*. MIPS technology. Recuperado de <https://www.mips.com/blog/five-most-iconic-devices-to-use-mips-cpus/>
- Villacrés, M. L., Duque, M. A., Barba, R., Santillán, P. (2023) *Modeling of traditional characters using 3D software that identifies and enhances the cultural heritage of Riobamba*. Russian Law Journal, Volume XI (2023) Issue 3S. <https://www.russianlawjournal.org/index.php/journal/article/view/776/428>
- Villalón, R. F. (2018). *El mundo animal y las Silly Symphonies (1929-1939)*. Máster Estudios Avanzados en Historia del Arte. Universidad de Barcelona. [https://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/125623/1/TFM\\_Villalón\\_Flores\\_Ruth.pdf](https://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/125623/1/TFM_Villalón_Flores_Ruth.pdf)

- Viñolo, L. (2017) *El modelo de producción industrial de animación 3D estadounidense*. Programa de doctorado: Formación del Profesorado: Práctica Educativa y Comunicación. Universidad de Barcelona.  
<https://diposit.ub.edu/dspace/handle/2445/115650>
- V&A (2019) *Human Figures, Boeing Computer Graphics*. Fetter, William. Computer Arts Society, supported by System Simulation Ltd, London. Recuperado de <http://collections.vam.ac.uk/item/O1321915/human-figures-boeing-computer-graphics-print-fetter-william/>
- Wautier, K., Jonckheere, A., Segers, D. (2012) *The Life and Work of Joseph Plateau: Father of Film and Discoverer of Surface Tension*. Phys. Perspect. 14 (2012) 258–278. DOI 10.1007/s00016-012-0087-8. Recuperado de <https://www.vaticanobservatory.org/wp-content/uploads/2019/10/Joseph-Plateau-PiP-Excerpt.pdf>
- Watkins, A. (2011) *Creating games with Unity and Maya: how to develop fun and marketable 3D games*. Focal press. Elsevier. EE.UU.
- Wein, M., Burtnyk, N. (1975) *Computer animation of free form images*. National Research Council of Canada Ottawa, Ontario. <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/964963.563743>
- Weiss, R. (1966) *Be Vision, a package of IBM 7090 Fortran Programs to draw Orthographic views of combination of plane and quadratic surfaces*. Bell Labs. <https://ohiostate.pressbooks.pub/app/uploads/sites/45/2017/09/bevision-weiss.pdf>
- Wessler, B. (1973) *Computer-Assisted Visual Communication*. University of Utah Computer Science Division. Tomado de <http://content-animation.org.uk/htmls/wessler.htm>
- Whole Earth Catalog (1970) Portola Institute, California, p. 68. <https://wholeearth.info/p/whole-earth-catalog-spring-1970?format=pages&index=2>
- Wolf, M. (2009) *Z-axis development in the Video Game*. The Video Game Theory Reader 2. Recuperado de <https://books.google.com.ec/books?id=ckKTAgaAAQBAJ&pg=PA163&lpg=PA163&dq=render%2Bbattlezone%2B1980&source=bl&ots=xNxwpWVvHV&sig=ACfU3U1XzjknSaRxPo7h9mlqdyBuuTH1Dg&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwixhJDEutfhAhUPrIkKHfinDmUQ6AEwDXoECAwQAQ#v=onepage&q=render%2Bbattlezone%2B1980&f=false>
- Wolf, M. (2012) *Before the Crash: Early Video Game History*. Wayne State University Press. Recuperado de [https://books.google.com.ec/books?id=oK3D4i5ldKgc&pg=PA171&lpg=PA171&dq=6809+microprocessor%2BI+Robot&source=bl&ots=kDFLLgZ2J5&sig=ACfU3U3vW\\_Ae9pjprtl\\_na-0WM3AytMK4A&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiB7ICJ2u\\_hAhWQq1kKHdYJDIEQ6AEwCnoECAyQAQ#v=onepage&q=Atari&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=oK3D4i5ldKgc&pg=PA171&lpg=PA171&dq=6809+microprocessor%2BI+Robot&source=bl&ots=kDFLLgZ2J5&sig=ACfU3U3vW_Ae9pjprtl_na-0WM3AytMK4A&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiB7ICJ2u_hAhWQq1kKHdYJDIEQ6AEwCnoECAyQAQ#v=onepage&q=Atari&f=false)
- Wolter, K. (2017) *Water Effects for Pirates of the Caribbean*. Siggraph Talk 2017. Recuperado de <https://www.mpc-rnd.com/the-water-effects-of-pirates-of-the-caribbean-dead-men-tell-no-tales/>

- Whitted, T. (1980) *An Improved Illumination Model for Shaded Display*. Graphics and Image processing. Bell Laboratories. Communications of the ACM. Junio de 1980, vol. 23, n. 6.  
<https://dl.acm.org/doi/epdf/10.1145/358876.358882>
- Whitted, T. (2018a) *A Ray-Tracing Pioneer Explains How He Stumbled into Global Illumination*. NVidia research. Adding Shadows, Refraction. Recuperado de <https://blogs.nvidia.com/blog/2018/08/01/ray-tracing-global-illumination-turner-whitted/>
- White, T. (2006) *Animation from pencils to pixels*. Classical Techniques for Digital Animators. Elsevier. Inglaterra.
- Whitted, T. (1978b) *A Scan Line Algorithm for Computer Display of Curved Surfaces*. Department of Electrical Engineering North Carolina State University. Recuperado de <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.108.7055&rep=rep1&type=pdf>
- Wilson, W. (2013) *Computer Animation Across the Iron Curtain: Early Digital Character Design In Kitty*. Animation Journal, Volume 21, 2013. Recuperado de [https://www.academia.edu/5154005/Computer\\_Animation\\_Across\\_the\\_Iron\\_Curtain\\_Digital\\_Character\\_Design\\_in\\_Kitty\\_1968?auto=download](https://www.academia.edu/5154005/Computer_Animation_Across_the_Iron_Curtain_Digital_Character_Design_in_Kitty_1968?auto=download)
- Windham, P., Van Atta, R. (2019) *DARPA's Historical Mission and Organization*. Bonvillian, W. (Ed.) *The DARPA Model for Transformative Technologies Perspectives on the U.S. Defense Advanced Research Projects Agency*. OpenBook publishers.
- Wikayanto, A., Damayanti, N. Y., Grahita, B., & Ahmad, H. A. (2023). *Aesthetic Morphology of Animation*. Harmonia: Journal of Arts Research and Education, 23(2), 396-414
- Wilkinson, Ch., Hill, M. (1979). *Egyptian wall paintings: the Metropolitan Museum of Art's collection of facsimiles*. New York, The Metropolitan Museum of Art. Tomado de <https://libmma.contentdm.oclc.org/digital/collection/p15324coll10/id/124836>
- World Wild Foundation, WWF (2023) *El Bioma amazónico*. Los ecosistemas. (Accedido en agosto 10 del 2023) [https://wwf.panda.org/es/sobre\\_la\\_amazonia/ecosistemas/](https://wwf.panda.org/es/sobre_la_amazonia/ecosistemas/)
- Xenko (2018) *Rendering pipeline*. Open-source C# Game Engine. Recuperado de <https://doc.xenko.com/latest/en/manual/graphics/rendering-pipeline/index.html>
- Yang, Tzong-Jer, Ouhyoung, M. (1997) *Rendering Hair with Back-lighting*. Communications & Multimedia Laboratory. Dept. of Computer Science and Information Engineering. Universidad Nacional de Taiwan. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/2391920\\_Rendering\\_Hair\\_with\\_Back-lighting](https://www.researchgate.net/publication/2391920_Rendering_Hair_with_Back-lighting)
- Yin-Poole, W. (2012) *EA: Frostbite 2 built for the next generation*. Eurogamer news. <https://www.eurogamer.net/ea-frostbite-2-built-for-the-next-generation>
- Yin, R. (2003) *Case study research* (5th ed.) Thousands Oaks, CA: Sage.

Zorthian, J. (2015) *How Toy Story Changed Movie History*. Time Magazine. Recuperado de <http://time.com/4118006/20-years-toy-story-pixar/>

Zone, R. (2012) *3-D Revolution: The History of Modern Stereoscopic Cinema*. The University Press of Kentucky.

3dfx (1995) SST-1 Voodoo Graphics™ *High performance graphics engine for 3d game acceleration*. 3dfx Interactive, Inc. Recuperado de [http://www.o3one.org/hwdocs/video/voodoo\\_graphics.pdf](http://www.o3one.org/hwdocs/video/voodoo_graphics.pdf)

## PELÍCULAS Y CORTOS ANIMADOS

Abel & Associates (Estudio). (1985). Brilliance. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=7OGILKzqHHk>

Adamson, A., Jenson, V. (Directores). (2001). Shrek.

Bird, B. (Director). (1988). Iron Giant.

Blackton, S. (Director). (Entre 1906 a 1907). Humorous Phases of Funny Faces. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=wGh6maN4l2I>

Blackton, S. (Director). (Entre 1906 a 1907). L' Hotel hanté. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=idzaSKaltOA>

Bray, J., Hurd, E. (Directores). (1920). A False Alarm. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=HJyoWtte51A>

Burton, T. (Director). (2010). Alice in Wonderland.

Bute, E (Directora). (1935). Rhythm in Light. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=850AmGWL-Ko>

Cameron, J. (Director). (1989). The Abyss.

Cameron, J. (Director). (1991). Terminator 2: el juicio final.

Catmull, E., Parke, F. (Animadores). (1972). A computer animated hand. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=naGntYNTSQM>

Caulfield, T., Sandoval, S. (Director). (2017). Tangled.

Chomón, Segundo (Director). (1903). L'hereu de Can Pruna (Los guapos del parque). Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=IDIADoKjPpY&t=100s>

Chomón, Segundo (Director). (1908). The Electric Hotel. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=cCzru63JBSE>

Clements, R., Musker, J. (Director). (1000). 2016.

- Cohl, Emile (Director). (1908). Fantasmagorie . Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=o1d28X0lkJ4>
- Cook, B. (Director). (1992). Off His Rockers.
- Csuri, Ch. (Animador). (1967). Hummingbird. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=awwQp1TdBqc>
- Csuri, Ch. (Animador). (1967). Sine Curve Man. Obtenido de [https://www.youtube.com/watch?v=l5rh43r\\_AJ4](https://www.youtube.com/watch?v=l5rh43r_AJ4)
- Docter, P. (Director). (2001). Monsters, Inc.
- Docter, P. (Director). (2009). Up.
- Edison, T. (Animador tipográfico). (1905). How Jones Lost His Roll. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=2wt4V6j1EsI>
- Favreau, J. (Director). (2008). Iron Man.
- Favreau, J. (Director). (2016). El libro de la selva.
- Favreau, J. (Director). (2019). The Lion King
- Fee, B. (Director). (2017). Cars 3.
- Fetter, W. (Animador). (1965). Carrier Landing. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=biKPSOI5fPI>
- Foldes, P. (Animador y director). (1974). Hunger. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=U625vX0E4N4>
- Harryhausen, R. (Animador de personaje). (1950). Puppotoons. Obtenido de [https://www.youtube.com/watch?v=0I8p0CYWIXo&list=PLeD\\_epa2UKjvtW7a5fe\\_OaVjSh5cBxXLJ](https://www.youtube.com/watch?v=0I8p0CYWIXo&list=PLeD_epa2UKjvtW7a5fe_OaVjSh5cBxXLJ)
- Harryhausen, R. (Animador de personaje). (1958). The 7th Voyage of Sinbad. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=rCYfrAPEz38>
- Heffron, R. (Director). (1976). Futureworld. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=ybVoFwmb70s>
- Hitchcock, A. (Director). (1950). Whitney, J., Bass, S. (Animadores). Vértigo. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=4CZfSc6nJ8U>
- Hidalgo, J. (2022) La evolución de la personalidad del personaje en el videojuego de última generación a través de la aplicación acting en la animación. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Bellas Artes. <https://docta.ucm.es/entities/publication/38d45ff3-dab1-4aa6-9e74-96e7c1df6dd7>
- Jackson, W. (Director). (1935). Mickey's Garden.
- Kenan, G. (Director). (2006). Monster House.
- Kerrick H., D. (Director). (1941 ). Snow White and the Seven Dwarfs.
- Knight, T. (Director). (2016). Kubo and the Two Strings.

- Kroyer, B. (Director). (1000). Technological Threat.
- Laposky, B. (Director). (1950). Oscillon 7. Obtenido de <https://courses.ideate.cmu.edu/15-104/f2022/2022/10/01/lo-05-oscillon-by-benjamin-francis-laposky-1950/>
- Lasseter, J. (Director). (1986). Luxo Jr.
- Lasseter, J. (Director). (1988). Tiny Toy.
- Lasseter, J. (Director). (1995). Toy Story.
- Le Prince, L. (Creador). (1888). Roundhay Garden Scene. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=F1i40rnpOsA>
- Lee, J., Buck, C. (Director). (2013). Frozen.
- Levinson, B. (Director). (1985). Young Sherlock Holmes. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=iB9Koj79tGY> XXX, M. (Dirección). (1000). NombrePeli [película]. Obtenido de <https://xxxxxx>
- Lisberger, S. (Director). (1982). Tron.
- Lucas, G. (Director). (1977). Star Wars: episodio IV - una nueva esperanza.
- Lumière, Augusto y Louis. (Creadores). (1895). Les ouvriers quittent l'usine (Los trabajadores salen de la fábrica). Obtenido de [https://www.youtube.com/watch?v=xxLGDF\\_121U](https://www.youtube.com/watch?v=xxLGDF_121U)
- Lye, L. (Director y animador). (1939). Swinging the Lambeth Walk. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=2DboSrBmFYE>
- McCay, W. (Director). (1911). Little Nemo. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=K8qow7jTyoM>
- McGrath, T., Darnell, E. (Directores). (2005). Madagascar.
- Méliès, G. (Director). (1896). The Vanishing Lady. <https://www.youtube.com/watch?v=s3JraYOB1P4>
- Moore, R., Howard, R. (Director). (2016). Zootopia.
- Nikolaevich K., N. (Programador). (1967 y 1968). Koshechka. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=DYxbovw7PbU>
- Noll, M. (Programador y animador). (1939). El ballet computarizado. Obtenido de [https://www.youtube.com/watch?v=phVN\\_HS5Fy8&t=85s](https://www.youtube.com/watch?v=phVN_HS5Fy8&t=85s)
- O'Brien, W. (Animador de personaje). (1917). The dinosaur and the missing link. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=BOD8ZS4drWU>

- Pal, G. (Creador). (1950). Puppertoons. Obtenido de [https://www.youtube.com/watch?v=0I8p0CYWIXo&list=PLeD\\_epa2UKjvtW7a5fe\\_OaVjSh5cBxXLJ](https://www.youtube.com/watch?v=0I8p0CYWIXo&list=PLeD_epa2UKjvtW7a5fe_OaVjSh5cBxXLJ)
- Parke, F. (Animador). (1974). Talking Face. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=PAQIX5juu4>
- Reiniger, R. (Director). (1926). The Adventures of Prince Achmed. [https://www.youtube.com/watch?v=G\\_9L7r8NIBc](https://www.youtube.com/watch?v=G_9L7r8NIBc)
- Scott, R. (Director). (1979). Aliens.
- Siegel, E. (Programador). (1968). Einstine. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=vKHV-Z6PiiA>
- Smith, A. (Director). (1984). The Adventures of André and Wally B.
- Spielberg, S. (Director). (2013). Jurassic Park.
- Stanton, A. (Director). (2016). Finding Dory.
- Starevich, Ladislav (Director). (1911). The DragonFly and the Ant. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=AmlElb1mr0E>
- Starevich, L. (Director). (1934). La Mascota. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=1HLwzTKyjkw>
- Verbinski, G. (Director). (2006). Pirates of the Caribbean: Dead Man's Chest.
- Vitagraph Company Of America & Afi/Blackton. (1906) *Humorous Phases of Funny Faces*. Blackton, J. S., prod United States: Vitagraph. [Video] Retrieved from the Library of Congress, <https://www.loc.gov/item/00694006/>.
- Watkins, G. (1970) *A real time visible surface algorithm*. Universidad de Utah, Advanced Research Projects Agency, EE.UU. Accedido en <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/AD0762004.pdf>
- Williams, C., Hall, D. (Director). (2014). Big Hero.
- Zelazko, A. (2023, May 4). *Eadweard Muybridge*. Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/biography/Eadweard-Muybridge>. Enciclopedia Britannica. [Revisado en línea en marzo 22 del 2024].

## RELACIÓN DE IMÁGENES

- Figura 1. Secuencia de tres fotogramas filmada antes de un aterrizaje. Fuente: Gibson (1947, p. 7) ..... 17
- Figura 2. Izquierda, la cámara usada por los directores para el filme Power of love (1922). Derecha, un fotograma de la película. Fuente: Lewis, 2020..... 19
- Figura 3. Arriba, izquierda. La cámara Natural Vision, contruida por los hermanos Gunzburg, Baker y Worth. Abajo, póster de promoción para la película Bwana Devil. Imagen grande, derecha, registro de un día de filmación. Fuente: Zone, 2012, p. 6, 10, 13). ..... 20

Figura 4. Ubicación de la investigación y ámbitos hallados según bibliografía revisada. Elaboración propia .....	27
Figura 5. Basado en Wikayanto, et al., 2023, p. 412 .....	30
Figura 6. Sello del valle del Indo, esquila egipcia y fresco romano. Fuente: Rao, 2019; MET Museum, 2023; Brooks, 2017 .....	34
Figura 7. Fresco con combinación de moldeados y pintura. Fuente: Google Arts & culture, 2023b.....	35
Figura 8. Dibujos rupestres del paleolítico europeo. Arriba: Copia tomada del dibujo rupestre de un bisonte en la cueva de Chauvet-Pont d'Arc, Francia. Centro, medallón de hueso hallado en la cueva de Laugerie Basse. Fuente: Azéma, 2015.....	40
Figura 9. Mujer con brazo articulado. Figurilla de madera. Derecha, abajo: mecanismo interno articulado. The Metropolitan Museum of Art, Nueva York, EE.UU. Fuente: Reeves (2015).....	43
Figura 10. Muñecos articulables:, siglos XIX y XVI. Derecha, siglo XIX. The Metropolitan Museum of Art, Nueva York, EE.UU. Izquierda, muñeco, fechado entre 1520 a 1530. Fuentes: Reeves (2015), Google Art Project (2023), Staatliche Museen zu Berlin, colección Skulpturensammlung.....	44
Figura 11. Diagrama del sistema visual humano, 1011 d.C. Tomado del Libro de la óptica, por Ibn al-Haytham, escrito entre 1011 y 1021 d.C. Fuente: Daneshfard, et al., 2016, p. 229 .....	45
Figura 12. Arriba, izq.: Discos de taumatropo giratorio. Abajo, izq: fenaquistoscopio con disco de imágenes y soporte. Arriba, derecha: zoótropo. Abajo, derecha: praxinoscopio, ilustración de Louis Poyet para Philosophical Magazine, 1882. Fuentes: Phenakistoscope, The Trustees of Princeton University, (Herbert, 2013).....	52
Figura 13. Arriba. Humorous Phases of Funny Faces (Vitagraph, 1906), stop-motion en dibujos sobre pizarra. Abajo. Detalles de escenas en The Haunted Hotel (Vitagraph, 1907) Fuente: Crafton, 1993, pp. 16, 25.....	56
Figura 14. Stop motion en cine, 1905 y 1911. Arriba, primera franja: Animación tipográfica en How Jones Lost His Roll, por T. Edison en 1905. Segunda franja: Fantasmagorie, por Emile Cohl, de 1908. Tercera y cuarta franja; Proceso de dibujo animado y coloreado en el corto The Little Nemo, por Winsor McCay, en 1911. Fuente: Parent, 2002, p. 6.....	57
Figura 15. La Mascota (1934), de Ladislav Starevich. Fuente: Cuenta de YouTube weirdlingwolf.....	58
Figura 16. Figura articulada y personajes de El Apóstol (1917). Imagen tomada de EHM. Cine y Animación (2020). .....	59
Figura 17. Animación mediante capas traslúcidas. Corto A False Alarm, 1920, de John R. Bray y Earl Hurd, de Bray Studios. Fuente: O'Flynn, 2015, p. 13. Fotograma tomado de video en YouTube, canal cartoonsonfilm. ....	60
Figura 18. Personajes articulados de Willis O'Brien. Arriba, personaje para The dinosaur and the missing link (1917). Abajo, estructura diseñada por Willis O 'Brian y Ray Harryhausen para Mighty Joe Young, de 1940, Colección de Jim Danforth. Fuente: Hankin, 2008, p. 28 .....	61
Figura 19. Secuencia de Shoe Shine Jasper, Puppetons, 1946. La técnica de animación por reemplazo se evidencia en los tres diferentes gestos de la boca en el personaje. Fuente: Canal de Puppetoon Productions en YouTube. ....	62
Figura 20. Personajes creados por Ray Harryhausen. Personajes articulados y texturas realistas para el filme The 7th Voyage of Sinbad, de 1958. Fuente: Hankin, 2008, p. 270.....	63
Figura 21. Funcionamiento de cámara multiplano Fuente: Parent. R. (2012, p. 8), Hellerman, J., 2020, nofilmschool.com .....	64
Figura 22. Kubo & the two Strings Izquierda: Dean Holmes, jefe de iluminación y cámaras para el filme Kubo and the Two Strings (2016), ajustando al personaje articulado Simio. Derecha: Simio, en una escena totalmente 3D digital. Fuente: Kubo and the Two Strings, behind scenes (BBC, 2016). Video de YouTube. ....	65
Figura 23. Fotograma Mickey's Garden, 1935. Walt Disney Productions .....	66

Figura 24. Secuencias del corto <i>Rhythm in Light</i> , de Ellen Bute (1935); y de <i>Synchromy No. 4: Escape</i> , de 1938. Fuentes: Naumann, s/f. Dreher, 2012, p. 87, 88; canal de YouTube <i>glangorous</i> , 2008.....	69
Figura 25. Animación en osciloscopio, de B. Laposky, de 1950. Detalle de la animación <i>Oscillon 7</i> . Ondas mostradas en la pantalla de un osciloscopio. A la derecha, B. Laposky junto al aparato, en 1950. Fuente: Franke, H. (1971, p.96).....	70
Figura 26. Gráficos en computadora, 1950 a 1962. Arriba: créditos para <i>Vértigo</i> , de 1950. Mitad: humanos para estudios de ergonomía, de W. Fetter, 1960; <i>Space Wars</i> , de 1962. Fuente: V&A (2019); (Beane, 2012, p. 11, 12); <i>Computer Artist</i> (2013).....	73
Figura 27. Software para ocultamiento de líneas en polígonos 3D, 1963. Arriba, gráficos de G. Roberts en 1963. Abajo, Ivan Sutherland y el sistema <i>Sketchpad</i> , en el que G. Roberts ensayó sus algoritmos. A la derecha, dibujo creado en el <i>Sketchpad</i> . Fuente: Roberts, 1963, p.70; Sutherland, 2003, p. 109. ....	75
Figura 28. Gráficos dibujados mediante software <i>Be Vision</i> . Fuente: Weiss, R. (1966) .....	77
Figura 29. Animaciones de Charles A. Csuri, 1967. Arriba, <i>Hummingbird</i> , dibujo y animación creada mediante código en lenguaje <i>Fortran</i> en 1967. Abajo, secuencia de <i>Sine Curve Man</i> , del mismo año y autor. Fuente: Dreher, 2012, p.128. ....	78
Figura 30. <i>Morphing</i> con preservación y sin preservación de topología. Arriba, secuencias de <i>Terminator 2</i> (1991). Abajo, transformación sin preservación de topología. En los dos casos existe fluidez ( <i>Smoothness</i> ) y unidad ( <i>Monotonicity</i> ). Fuente: Cosmin, 2013, pp. 19, 20, 150.....	79
Figura 31. Gráficos computarizados y hardware: 1963 y 1968. <i>El Ballet</i> de M. Noll, de 1968 y <i>Satélite</i> , de E. Zajac. Abajo, uno de los modelos del computador <i>IBM 7090</i> . Fuentes: <i>ACM Siggraph 1986: A Retrospective</i> ; Lawrence Livermore National Laboratory, cuenta en Flickr.....	80
Figura 32. Sección de monitor y lápiz óptico del <i>PDP-1</i> (1961). Fuente: Lawrence Livermore National Laboratory, cuenta en Flickr. ....	81
Figura 33. Sistema <i>Scanimate</i> . Fuente: Norman, 2019. Imagen tomada del video <i>Scanimate Dvd 1</i> , del sitio web <a href="http://www.archive.org">www.archive.org</a> . <i>Mínuto 50</i> .....	83
Figura 34. <i>Koshechka</i> , de N. Konstantinov, de 1968. Fuente: Wilson, 2013, p. 5, 6.....	84
Figura 35. Secuencia de <i>Swinging the Lambeth Walk</i> (1940), y <i>Einstine</i> , de 1968. Fuentes: British Council Film, Video Data Bank. ....	84
Figura 36. Percepción visual con píxeles, de 1966. Derecha, <i>Nude</i> , de Ken Knowlton y Leon Harmon de los laboratorios Bell, 1966. Izquierda, rostro de Abraham Lincoln. Fuentes: Bachmann, 2016, p. 39. <i>Media Art Net</i> ( <a href="http://www.medienkunstnetz.de">http://www.medienkunstnetz.de</a> ).....	86
Figura 37. Hitos técnicos para el modelado 3D y render. Elaboración propia. ....	87
Figura 38. Efecto de banda ( <i>band effect</i> ) en algoritmos de sombreado 3D, previo a los trabajos de Gouraud. Fuente: Watkins, 1970, p.51 .....	88
Figura 39. Digitalización 3D de un VW, en 1971. Fuente: Artículo <i>Displays on Displays, The origin of the Teapot</i> , de Frank Crow. <i>Revista IEEE Computer Graphics&amp;Arts</i> , 1987, p. 8. ....	89
Figura 40. <i>A computer animated hand</i> , de Catmull y Parke, de 1972. Modelo en plástico con una malla de polígonos dibujada y su posterior digitalización en el sistema <i>PDP</i> . Fuente: Carlson, 2017a, p. 93. Imágenes tomadas del video en Youtube.....	90
Figura 41. Arriba: sombreado facetado, sombreado de Gouraud y sombreado de Phong. Centro: polígonos por Ivan Sutherland. Abajo, sombreado isotrópico. Fuente: Padda, Gupta, Arora, Sharma, 2014, p. 886; Carlson, 2017a, p. 93; Birn, 2000, p. 199. ....	91
Figura 42. Muestras del sombreado para 3D, de Newell, 1975. Fuentes: Dunietz, J. (2016), <i>Association for Computing Machinery, Inc.</i> , 1976; Newell, 1975, p. 94.....	92

Figura 43. Imágenes 3D, 1973-1974. No just Reality, de Barry Wessler, 1973, (Wessler, 1973). Talking face, rostros 3D de Fred Parke, de 1974. Fuente: Parent, 2002, p. 22. Imágenes tomadas de <a href="https://www.youtube.com/watch?v=SPMFhcC4SvQ">https://www.youtube.com/watch?v=SPMFhcC4SvQ</a> .....	93
Figura 44. Sistema Computeek y animación Hunger, de P. Foldès, 1974. Fuente: Lee, 1973; Dreher, 2012, p.130. Imagen del corto animado tomado de YouTube. ....	95
Figura 45. On and off at the Circus y Pong Man, de 1978. Dura tres minutos. Pong Man, de veinte segundos, fue creado por T. VanHook para demostrar el uso del sistema Anima II. Fuente: Carlson, 2017b, p. 106 (video 4.21).....	95
Figura 46. Extracto de la demostración del dibujo 3D usado en la película Star Wars, A new hope, de 1977, junto con la interface mecánica del sistema GRASS. Tomado del canal de YouTube evltube (2007), <a href="https://www.youtube.com/watch?v=yMeSw00n3Ac">https://www.youtube.com/watch?v=yMeSw00n3Ac</a> .....	96
Figura 47. Primeros gráficos 3D lineales en filmes, 1977 y 1979. Arriba, Aliens, y The Black Hole, ambos de 1979. Abajo, en Star Wars, de 1977. Fuente: Beane, 2012, p. 14. Ohio Technology Consortium, 2019. ....	96
Figura 48. Arriba. 3D del personaje animado en la película Young Sherlock Holmes, 1985. Izquierda, prueba con un actor junto a Dennis Muren, director de ILM. Abajo, secuencia de la acción. Fuentes: Carlson, 2017a, p. 424. Film 86, min 2:15. piercefilm productions, 2022, min. 2:00.....	97
Figura 49. Taller de escultura e imagen de una interfaz gráfica para 3D. Fuentes: Imagen del artista, obtenida del sitio web de Sergei Isupov e Imagen de la interfaz de ZBrush tomada de CGMeetUp, en línea.....	98
Figura 50. Estado prerender y posrender. Fuentes: Elaboración propia.....	99
Figura 51. Ejemplo de poligonaje. Malla de triangulación en conejo y en esfera. Y poligonaje con cuadriláteros. Fuentes: Luebke, et al., 2003, p. 76. Chopine, 2011, p. 57. ....	100
Figura 52. Polígonos básicos, planar y no planar. El polígono planar tiene los vértices alineados horizontalmente, como una hoja de papel en reposo. El polígono no planar carece de esa alineación. Fuente: Beane, 2012, p. 147. ....	100
Figura 53. Suavizado de objetos 3D. La suma progresiva de vértices se concreta al añadir más ángulos. Fuente: Tomado de Beane, 2012, p. 140.....	101
Figura 54. Ejemplos de box modeling y modelado booleano. Arriba, inicio y fin de un modelado usando un cubo digital. Imágenes centrales: cuatro vértices con desplazamiento. Abajo, modelado booleano. En algunos casos la geometría uniforme deja de coincidir en sus acoplamientos. Fuente: Adaptado de Beane, 2012, p. 156, 157. Imagen central de elaboración propia desde SculptGL, de uso gratuito en línea. ....	101
Figura 55. Esculpido digital 3D y retopología. Arriba, de izquierda a derecha. Una esfera 3D es progresivamente manipulada para crear un rostro mediante SculptGL, disponible gratis en línea. Abajo, ejemplo de modelado final en alta resolución (A) e imagen con retopología (B). Fuente: Beane, 2012,158; elaboración propia. ....	102
Figura 56. Concepto del spline. A la izquierda, splines. A la derecha, el concepto visual 3D de un trazo spline. Fuente: Chopine, 2011, p. 47.....	103
Figura 57. B-Splines, curvas Bézier y NURBS. La utilidad de los Splines es el ahorro de esfuerzo al crear modelados más uniformes y detallados en objetos de alto poligonaje. Evitando un uso extenso únicamente de vértices. Fuente: Elaboración propia, basado en Chopine, 2011, 48. ....	105
Figura 58. Cambios de diámetro en la herramienta de empuje sobre material digital. Diámetro de la herramienta digital, en círculo amarillo. Área del modelado 3D afectada, en líneas punteadas. Imagen creada en <a href="https://stephaneginier.com/sculptgl/">https://stephaneginier.com/sculptgl/</a> (disponible gratis en la web).....	117

Figura 59. Generación automática de volumen y textura 3D a partir de una imagen Elaborado en <a href="https://monstermash.zone">https://monstermash.zone</a> (2023)	118
Figura 60. Pantalla inicial de Mixamo. Cada selección de maniquí 3D (panel izquierdo) permite una visualización y ajustes en los desplazamientos de las extremidades (panel derecho con deslizadores). Fuente: <a href="https://www.mixamo.com">https://www.mixamo.com</a>	119
Figura 61. Pantalla inicial de Metahuman. Alteración en piel y cabello 3D. Fuente: MetaHuman Creator: High-Fidelity Digital Humans Made Easy   Unreal Engine, canal de YouTube de Unreal Engine	120
Figura 62. Dynamic Wrinkles en iClone 8. Arriba y centro: Dynamic Wrinkles. Rectángulo inferior: puntero para simulación. Fuente: iClone 8.2: Realistic Look-At   Dynamic Wrinkles   Progressive Loading, canal de YouTube de Reallusion	121
Figura 63. B- Ejemplo de modelado procedural. Arriba, modelo 3D de terreno rocoso del artista Freek Hoekstra creado en el software 3D Houdini. Abajo, diseño de una valla creada mediante patrones procedurales de repetición. Fuente: Imágenes tomadas del sitio web <a href="https://80.lv">https://80.lv</a> "Procedural Modeling for Gamedev"	122
Figura 64. Ejemplo de modelado por nodos. Arriba, resultado de modelado por nodos. Abajo, diagrama de jerarquías. Fuente: Chopine, 2011, p. 234.	123
Figura 65. Ejemplo de modelado a partir de variaciones. Desde cuatro edificios (flechas verdes) se generaron iteraciones para crear 400 edificios. Fuente: Lienhard, 2017, p. 7	123
Figura 66. Ejemplos de estrujado 3D básico. Fuente: Tomado de Beane, 2012, p. 141	124
Figura 67. Ejemplo de modelado por polígonos desde realidad virtual. Dos mandos de realidad virtual manipulando un plano 3D. Fuente: Mindesk, 2019.	124
Figura 68. Ejemplos de teselación de polígonos. Izquierda, teselado con triángulos. A la derecha, teselado dinámico con tres versiones: (A) 5.000 triángulos, (B), 450; y C, 200 triángulos). Fuente: Gregory, 2015, p. 448.	127
Figura 69. Ejemplos de dimensionalidad en videojuegos. Derecha, Space Invaders, (1978). Centro, Broken Sword (1996). Izquierda. Quake 3D (1999). Fuentes: Röber, Masuch, 2005, p. 4	128
Figura 70. Ejemplos de representación de referentes en videojuegos. Derecha, Super Mario Bros (1985). Izquierda, Wolfenstein II: The New Colossus (2017), Electronic Arts.	129
Figura 71. Ejemplos de videojuegos 3D, entre 1978 y 1983. Derecha: Speedfreak (1978). Centro: Battlezone (1980). Izquierda: I Robot (1983). Fuentes: Hemovich, 2017, p. 6.	130
Figura 72. Ejemplos de axonometría y prerrenderizado en videojuegos, 1982 y 1983. Izquierda, Zaxxon (Atari, 1982), con axonometría. A la derecha, Astron Belt (Sega, 1983), con nubes prerrenderizadas. Fuente: Wolf, 2009, p. 161.	130
Figura 73. Ejemplos de sprites. Arriba, animación en sprites monocromos, común en consolas como Atari. Derecha, sprites para el personaje de Mario Bros. para Nintendo. Fuente: Gregory, 2015, p. 544.	131
Figura 74. A la izquierda, imagen del videojuego Castle Wolfenstein, de la empresa Muse Software. A la derecha, la modificación con la referencia a Los Pitufos. Fuentes Dyer, 2016, 'The first 'Official' Castle Smurfenstein Home Page, <a href="https://www.evluic.edu/aej/smurf.html">https://www.evluic.edu/aej/smurf.html</a>	132
Figura 75. Videojuegos generados desde el motor de videojuegos id Tech, 1990. Arriba, izquierda: videojuego HoverTank 3D. Derecha: Catacomb 3D, ambos de 1991. Abajo: Wolfenstein 3D, de 1992 y Rise of the Triad 3D de 1995. Todos videojuegos para computadores PC. Fuente: Griliopoulos, 2011.	133
Figura 76. Tridimensionalidad mediante capas de profundidad en videojuegos. Capas de fondos, encuadre y efecto mosaico en fondos para NES. Fuente: Basado en RGME, 2017. Elaboración propia.	134

Figura 77. Antialiasing y efecto 3D de evaporaciones. Golden Eye (1997), para N64. Izquierda. el antialiasing activado (A) añade más píxeles para eliminar la irregularidad del contorno, pero consume más procesos. En recuadro B, el efecto desactivado. A la izquierda, el efecto de humo después de un disparo (flecha) y el efecto de sombreado Gouraud en la mano del personaje. Fuente: Cuadro de la imagen tomada de internet. Elaboración propia. .... 135

Figura 78. Tecnología Nvidia para render de texturas en videojuegos. Secuencia del videojuego Call of Duty: Ghosts (2013). Izquierda, antes de aplicar HairWorks. Derecha, después de aplicarlos. Fuente: Nvidia, 2019. .... 137

Figura 79. Uso de sprites y aplicación de volumen desde texturas. Arriba, esquema de los planos 2D para aplicar sprites. Abajo, secuencia del videojuego Doom. Fuente: Imágenes tomadas de internet. Elaboración propia. .... 138

Figura 80. Dos productos creados por el motor IdTech 3. Medal of Honor: Allied Assault y Star Wars Jedi Knight II. Fuente: Griliopoulos, 2011. .... 139

Figura 81. Partículas, antialiasing y sombras dinámicas en videojuegos. Derecha, Hexen II (1997) de Raven Software. Izquierda, Ultimate RacePro (Kalisto E., 1998). Fuentes: Imágenes tomadas de YouTube, 3Dfx\_Aslinger (2018), 3dfxhistory (2014). Elaboración propia. .... 139

Figura 82. Gráficos de videojuegos 3D a inicios de 1990. Arriba, Mario 64, para Nintendo 64 y Tomb Raider, para PC y PlayStation 1 (Sony). Abajo, videojuegos Quake y Duke Nukem para PC, 1996. Fuente: Sitios web con contenidos de videojuegos varios. .... 140

Figura 83. Videojuegos para GameCube entre 2002 y 2003. Arriba, izquierda, Mario Kart Double Dash (2003), derecha, Soul Calibur 2 (2002), abajo, izquierda, Burnout 2 (2002), derecha, Metroid (2002). Fuentes: Sfetcu, 2014. Nintendo Life, 2018. .... 141

Figura 84. Videojuegos para GameCube entre 2002 y 2003. Arriba. Emissive texture map en tiempo real en Luigi's Mansion, de Nintendo Wii. Los cáusticos funcionan al simular material traslúcido e iluminado dentro del cuerpo de los fantasmas. Abajo, Wii Sports. Nintendo apostó a la interacción y control por sobre complejos gráficos de personajes. Fuentes: Gregory, 2015, p. 478. .... 142

Figura 85. Ejemplo de interacción de luces y sombras con la técnica radiosity. Fuentes: Gregory, 2015, p. 530 y elaboración propia. .... 144

Figura 86. Render en motor CryEngine, 2019. Arriba, oclusión de ambiente y detalles presentes durante escasa iluminación (flechas). Centro, reflejos cáusticos en superficies acuosas y reflejos (flecha). Abajo, reproducción iluminación de ambientes con neblina (flechas). Fuentes: CryEngine, 2019. .... 146

Figura 87. Resultado de render en videojuego AnvilNext. Diferentes ambientaciones para el videojuego Assassin's Creed. Fuente: Noor, 2013, p. 1682. .... 147

Figura 88. Efecto de render de destrucción en DICE FrostBite. Fuente: Canal de Electronic Arts en YouTube. Battlefield: Bad Company - Frostbite Engine Trailer. (2008) <https://www.youtube.com/watch?v=iey04xp2Uc>. .... 148

Figura 89. Ejemplos de resultados de render en tiempo real para videojuegos Derecha, CryEngine. Centro, Vray. Izquierda, Ogre. Imágenes tomadas de los sitios web de las empresas desarrolladoras. Fuentes: Avgerakis, 2004, p. 276. Gregory, 2015, p. 32, 293. .... 149

Figura 90. Aplicación de luz en texturas con Unity Izquierda, Enlighten activado. Derecha, desactivado. Fuente: Mortensen, 2014. .... 150

Figura 91. Motor Unreal Engine: ejemplos de renderizado Arriba, derecha, Subsurface Shading. Arriba, izquierda, Lit Translucency. Abajo, Tone mapping (izquierda, desactivado. Derecha, activado). Fuente: Unreal Engine, 2019. .... 151

Figura 92. Técnica de malla poligonal Nanite, de Unreal 5. Izquierda, imagen renderizada. Centro, la estructura poligonal de Nanite sin textura aplicada. Derecha, resultado del render desde el máximo acercamiento. Fuente: Tomado de Nanite in UE5: The End of Polycounts?. Canal de YouTube de Unreal Engine. Tomado de <https://www.youtube.com/watch?v=xUUSsXswyZM> [Accedido en mayo del 2022] .... 152

Figura 93. Lumen Global Illumination y Reflections en 3D. Par vertical izquierdo: Lumen desactivado. Par vertical derecho: Lumen activado. Fuente: Unreal Engine 5.0 Release Notes (Unreal Engine 5(b), 2022).....	153
Figura 94. Ejemplo de bump map. Fuente: Elaboración propia desde el sitio web <a href="https://cpetry.github.io">https://cpetry.github.io</a> .....	154
Figura 95. Texturizado para videojuegos mediante bump map, normal map. Fuente: Beane, 2012, p. 165; Beane, 2012, p. 173.....	155
Figura 96. Secuencia de proceso de renderizado en tiempo real. Render en escena de Deus Ex: Mankind. Fuente: Courrégés, 2015. .....	157
Figura 97. Animación de celdas en pantalla LCD. Arriba, izquierda: pantalla del Nintendo Game&Watch (1981). Abajo izquierda, PlayStation Vita. Abajo, derecha, Nintendo Switch. Fuente: Imágenes de videojuegos, tomado de internet. Elaboración propia. ....	159
Figura 98. Estado prerender y posrender. Fuentes: Elaboración propia.....	167
Figura 99. Polígonos tridimensionales en pantalla, de Lawrence G. Roberts. Los polígonos podían rotarse desde la pantalla. Fuente: Roberts, G. (1963, p. 55) .....	169
Figura 100. Ray tracing e iluminación global en imágenes tridimensionales. Escena del render The Compleat Angler Fuente: Whitted (2018a).....	171
Figura 101. Subdivisión de Catmull y Clark. Cada subdivisión de superficie crea nuevos parches y vértices. Abajo, render progresivo de un modelo 3D. Fuentes: Catmull, Clark, 1978, p. 352, 353. Chopine, 2011, p. 63.....	172
Figura 102. Renderizado con scan-line. Dos resultados de renderizado con la técnica de scan-line, propuesto por Turner Whitted en 1979. Fuentes: Whitted, 1978b, p.11.....	173
Figura 103. Ensayo técnico y posterior aplicación de la técnica ray cast. Arriba, renderizado ray casting usando el lenguaje de programación Java. Abajo, detalle del videojuego Wolfenstein 3D, de 1992, el cual aplicó el raycast debido a la rapidez del procesamiento. Fuente: Pash, A. (2016).....	174
Figura 104. Render mediante sistema MAGI. Película TRON (1982). Escena del game grid mediante el sistema MAGI. Fuentes: Carlson, 2017, p. 169, imagen tomada de YouTube.....	175
Figura 105. Render mediante sistema MAGI. Arriba, Humanonon, de Michel Francois, 1982. Abajo, corto Snoot and Muttly, creado por Susan Van Baerle y Doug Kingsbury en 1984. Fuentes: Carlson, 2017b (video 4.23), Carlson, 2017, p. 110. Henón, 2018, min. 35:46.....	176
Figura 106. Ejemplos de animación 3D entre 1983 y 1987. Fuentes: Carlson, 2017a, p. 433. Carlson, 2017a, p. 169. Henón, 2018, min. 26:30, (Ohio Technology Consortium, 2019).....	177
Figura 107. Ejemplos de animación 3D entre 1983 y 1992. Maru, Sankaku, Shikaku (1983). Deltoid... A Drinking Man (1988). LIPS, 1992. Fuentes: SIGGRAPH (2019) Art Show Archives.....	178
Figura 108. Adventures of André and Wally, 1986. Polígonos lineales de Wally y render final. Fuentes: Ultimate History of CGI, 2019, min. 1:59; SIGGRAPH, 2019, Art Show Archives.....	180
Figura 109. Vol Libre, 1980, de Loren C. Carpenter. Fuente: Documental The Pixar Story, 2007 .....	181
Figura 110. Micropolígonos en sólido 3D. Esquema para insertar micropolígonos en sólido 3D digitales. Fuentes: Gráfico tomado de Cook, Carpenter, Catmull, 1987, pp. 99.....	182
Figura 111. Luxo Jr., de 1986. Fuente: Cook, Carpenter, Catmull, 1987, pp. 100, 101. ....	183
Figura 112. Ejemplos de render mediante el sistema REYES, de Pixar. Fuentes: Cook, Carpenter, Catmull, 1987, pp.100, 101.....	184

Figura 113. Render mediante técnica radiosity, 1980. Izquierda, la Caja Cornell. Derecha, The Radiosity Factory, resultado de las investigaciones en iluminación y renderización en la Universidad de Cornell a finales de 1980. Fuente: Carlson, 2017a, p. 2, 131, 133.....	184
Figura 114. Render para gestos faciales en 3D. Desde arriba, Data Driven: The Story of Franz K., de 1993; The End, 1996 y Bingo, 1998. Fuente: Carlson, 2017a, pp. 605, 606, 607. Videos tomados de YouTube. ....	185
Figura 115. Animaciones 3D con captura de movimiento, entre 1985 y 1990. Secuencia de Young Sherlock Holmes (1985). Fuentes: Carlson, 2017a, p. 424. Escena de programa del canal de YouTube Film 86, min 2:15 .....	186
Figura 116. Series para niños con animación 3D, 1993 y 1994. Izquierda Izquierda, serie Insektors, dirigida por Renato G. LaCroix, 1993. Derecha, serie ReBoot, MainFrame Studios, 1994. Fuente: (O'Neill, 2016, p. 27) .....	187
Figura 117. Toy Story, 1995. Arriba, un primer modelado del personaje Woody, de ToyStory, para una evaluación técnica en 1989. Centro, evaluación de personajes (1992). Abajo, escena de la película original. Fuente: Fotogramas obtenidos de videos en Youtube. Documental The Pixar Story (2007), minuto 35:55.....	188
Figura 118. Ejemplos de animación híbrida (2D y 3D). Derecha, The Iron Giant (1999). Izquierda, los cortos Technological Threat (1988), y Off His Rockers (1992). Fuente: (O'Hailey, 2010, p. 5).....	189
Figura 119. Render con el software Houdini. Arriba, renderizado de nubes para Cars 3 (2018). Abajo, Izquierda, renderizado híbrido (Scan-line y ray trace) en Toy Story (1995). Derecha, renderizado con path-tracing en Finding Dory (2016). Fuente: SIGGRAPH ASIA, 2018, p. 6; Christensen, Jarosz, 2014, p. 105. ....	190
Figura 120. Monster house (2006). Fuente: Amblin Entertainment, canal de YouTube.....	191
Figura 121. Explicación de render con Path-tracing Los rayos que calcularán el comportamiento de la luz nacen desde el plano de la cámara, y no desde la fuente lumínica. Fuente: Basado en Christensen, Jarosz, 2014, p. 111. Elaboración propia. ....	192
Figura 122. Filmes 3D con render raytrace Fuentes: Christensen, Jarosz, 2014, p. 120. ....	193
Imagen 123. Renderizado mediante photo mapping. Arriba, Tangled (Disney, 2017), y Frozen (2013). Abajo, render con photo mapping en Moana (Disney, 2016). Fuentes: Christensen, Jarosz, 2014, p. 121. Burley, et al., 2018, p. 1.....	194
Figura 124. Ejemplo de point-based global illumination. Arriba, (A), render con keylight; (B), render con fill lights. Abajo, Up (Pixar, 2009) y Pirates of the Caribbean 2: Dead Man's Chest, (ILM, 2006). Fuentes: Christensen, Jarosz, 2014, p. 124.....	195
Figura 125. Path-tracing para simulación de pelaje. Arriba, renderizado con path-tracing. Abajo, el conejo en Alice in Wonderland (2010) renderizado en Arnold. Izquierda, escena de Zootopia (2016) renderizada en Hyperion. Fuentes: Christensen, Jarosz, (2014, p. 140); Chiang, Bitterli, Tappan, Burley, (2016, p. 2, 6).....	196
Figura 126. Ray reordering and sorting en filme 3D. Secuencia de la ciudad de San Francisco en el filme Big Hero (Disney, 2014). Fuentes: Christensen, Jarosz, 2014, p. 136.....	197
Figura 127. Texturas para filmes desde motor de render Hyperion. Render de texturas en motor Hyperion. Zootopia (2016) requirió, entre otros, múltiples luces difusas (no luces directas) y corrección intuitiva de color para las representaciones de pelaje. Fuente: Burley, et al., 2018, p. 7.....	198
Figura 128. Motor de render Arnold y ejemplo de dispersión de luz. Derecha, ambiente acuático con neblina. Izquierda, el mismo ambiente con simulación de rayos de luz y dispersión. Fuente: Griggs, 2018, p. 93. ....	199
Figura 129. Motor de render Arnold para aplicar texturas de cabello. Ejemplos de control de luz indirecta difusa (arriba) y de cantidad de melanina (abajo). Fuentes: Arnold (2018).....	200

Figura 130. Render de iluminación de alto rango dinámico. Filme Iron Man (2008), con materiales iluminados en HDR. Fuentes: Christensen, Jarosz, 2014, p. 148.....	201
Figura 131. Aplicación de RenderFlow en el filme 3D El libro de la Selva. Fuente: Auty, Chazot, Hernández, Romeo, 2016, p.1; Romeo, 2016.....	202
Figura 132. Aplicación del Marschner Hair Shading. Arriba, The King Lion (2019). Abajo: altas luces primarias, secundarias. En los últimos cuadros se muestran las combinaciones. Fuente: Seymour, 2017; Pekelis, Hery, Villemin, Ling, 2015, p. 3. ....	203
Figura 133. Escenas de Pirates of the Caribbean Escenas de Dead Men Tell No Tales (Disney, 2017). Fuente: Wolter, 2017. ....	205
Figura 134. Aplicación de UV maps en 3D. Arriba, a la izquierda, cuadrícula usada como patrón de ubicación. Luego, la textura ya se ha proyectado en el sólido. Fuente: Birn, 2000, p. 218. ....	206
Figura 135. Render con descomposición atómica de luz. Fuentes: Belcour, 2018 .....	207
Figura 136. Interfaz del motor de videojuegos Godot Engine. Herramienta 2D Skeletons. Fuentes: <a href="https://godotengine.org">https://godotengine.org</a> .....	207
Figura 137. Izquierda, fotogramas de hombre corriendo, de E. Muybridge, entre 1884 y 1886. Fuente: Google Arts & culture (2023d). Derecha: fotogramas de Marey, tomadas alrededor de 1882. Fuente: (Google Arts & culture, 2023c) .....	209
Figura 138. Secuencia de The Dragonfly and the Ant, de L. Starevich. Fuente: Rosebush, 1990, p. 10. Video del sitio web <a href="http://www.openculture.com">www.openculture.com</a> : "Watch the Amazing 1912 Animation of Stop-Motion Pioneer Ladislav Starevich, Starring Dead Bugs", 2013.....	210
Figura 139. Papel articulado en The Adventures of Prince Achmed. Fuentes: Rosebush, 1992, p. 13. Video de YouTube del canal Leading North.....	210
Figura 140. Dibujo en Scanimate, 1970. Fuente: tomada del video Scanimate DVD 1, del sitio web <a href="http://www.archive.org">www.archive.org</a> . Minuto 14:52 y Min. 30. ....	211
Figura 141. Harrison, el Animac y el uso del arnés, 1970. Harrison manipulando las perillas del Animac, mientras otro creaba movimientos con el arnés para ser captados en el sistema. Fuente: Whole Earth Catalog, 1970, p. 68.....	212
Figura 142. Sensores de movimiento en tiempo real de L. Harrison, 1962. Izquierda, Animac, imagen publicitaria del sistema de Harrison. Centro, resultado en la pantalla del Animac. Derecha, esquema del sistema en cinco sensores usados en el Animac. Fuente: Vasulka, 1992, p. 93. Badlerm, Hollick, Granieri, 1993, p. 6.....	212
Figura 143. Secuencia del filme The Abyss, y uso de curvas B-Spline. Pseudópodo de The Abyss (1989) animado con curvas B-Spline. Fuentes: Barr, 2012. "The Abyss - CGI making of (1989)" tomadas del canal de "Ultimate History of CGI" en YouTube. ....	214
Figura 144. Producción y animación de T-Rex. Esquema dibujado a mano por Williams para calcular los puntos de control en el modelado 3D (flechas rojas) para animar el T-Rex. Fuentes: Acune, 2014, Barr, 2012.....	215
Figura 145. Sistema de rigging para StudioMax CAT Detalle de interfaz del sistema CAT (Character Animation Toolkit) del software de animación 3D StudioMax. Fuentes: Mils Cerny Animation, canal en YouTube .....	215
Figura 146. Esquema del rotoscopio de Fleisher. Las flechas negras no están en el original. Fuente: Pointer, 2017, p. 27 .....	217
Figura 147. Animaciones 3D con captura de movimiento, entre 1985 y 1990. Arriba, izquierda; Brilliance, de 1985, creado por el estudio Abel & Associates. Arriba, derecha, el personaje Waldo C. Abajo, izquierda, Dozo. Abajo, derecha, animación para la Lotería de Pennsylvania.....	218
Figura 148. Tipos de cinemática en articulaciones. En la cinemática hacia delante (forward kinematic), cada articulación (A, B, C, D) se manipula sin influenciar al resto. Con la inversa (inverse kinematic), una articulación primaria o padre (A) influenciará en el resto de las articulaciones secundarias. Fuente: Basado en White, 2006, p. 434. Elaboración propia.....	218

Figura 149. Pesos sobre vértices de la malla 3D. Mayor intensidad del color, mayor la influencia del joint o unión sobre la deformación de los vértices. Fuente: Basado en Vaughan, 2012, p. 105.....	219
Figura 150. Rigging para músculos 3D. Imagen izquierda y central muestra una mecánica simple de relajación (A) y contracción (B). A la derecha, un abultamiento de piel. Fuente: Fotocomposición modificada basada en Kivistö, 2012, p. 19, 21. McLaughlin, Cutler, Coleman, 2011, p. 12.....	220
Figura 151. Ejemplo de rigging genérico, 2007. Fuente: Baran, Popovic, 2007, p. 72-6. ....	221
Figura 152. Ensayos con rigging automatizado, de Feng, et al., 2015. Arriba, modelado a partir de una forma 3D y mediante descomposición de sus partes. Abajo, rigging automatizado según variación de modelos. Fuente: Feng, Casas y Shapiro, 2015, pp. 4, 6.....	222
Figura 153. Resultado de deformadores en sistema ChopRig. Fuentes: Chopine, 2011, p. 75. Lima, 2018. ....	223
Figura 154. Software Presto y funcionalidad de rigging facial. Arriba, deformadores sobre un personaje del filme Monster Inc. (Pixar, 2001). Fuente: Dirk Van Gelder, de Pixar. Conferencia Nvidia GPU Technology (Amid, 2014). ....	224
Figura 155. Sistema FACS de Dreamworks. Animación de expresiones en Shrek (Dreamworks, 2001). Fuente: McLaughlin, Cutler, Coleman, 2011, p. 16.....	225
Figura 156. Doble postura para rigging, Doble rigging en Madagascar (Dreamworks, 2005). Fuente: McLaughlin, Cutler, Coleman, 2011, p. 15, 16.....	225
Figura 157. Diferentes interfaces para rigging en software 3D. Arriba, AutoRig en 3DStudio Max. Centro, Maya. Abajo, Auto Rig de Maya. Fuentes: Canal Rigger, "What's New in Rigger 2.2 for Autodesk Maya" en YouTube. ....	226
Figura 158. Rigging con realidad virtual. Fuente: AWN, 2019. Masterpiece Motion, 2019. ....	227
Figura 159. Algunas configuraciones para personajes, de Lutz. Fuente: Lutz (1926, p. 183, 235-239).....	234
Figura 160. Bocetos para los personajes de la película Blancanieves, de Disney. Arriba, izquierda: dibujo de Carl Barks. Arriba, derecha, boceto de Ferdinand Horvath. Abajo, izquierda, boceto de Albert Hurte; centro, boceto de Gustaf Tenggren. Abajo, derecha: Dibujos de Albert Hurte y Gustaf Tenggren. Todos realizados entre 1934 y 1937. Fuentes: Mortensen, 2017; Shoard, 2016; The Walt Disney Family Museum (2013). ....	236
Figura 161. Hoja de estilo para el personaje Dormilón, en Blancanieves Fuente: The Walt Disney Family Museum (2013, p. 20). ...	237
Figura 162. Cuatro ejemplos de proyectos de videojuegos. Imágenes parciales de videojuegos culturales o históricos. Arriba, izquierda, 1814: La Rebelión del Cusco. Arriba, derecha, Mulaka. Abajo, izquierda, El gran viaje; y finalmente, el curiquingue, imagen 3D basada en la fiesta religiosa del Paso del niño Rey. ....	239
Figura 163. Flujo de trabajo para producción de personaje interactivo. Fuente: Elaboración propia. ....	240
Figura 164. Softwares usados para elaboración de personaje huaorani. Fuente: Elaboración propia. ....	241
Figura 165. Miembros del pueblo huaorani Mujeres huaorani junto con sabios de la comunidad. Fuente: 'La comunidad huaorani enfrenta la pandemia con su medicina ancestral en la Amazonía ecuatoriana', agosto 11 del 2020. Foto de Nicolás Kingman <a href="https://www.nationalgeographicla.com">https://www.nationalgeographicla.com</a> .....	242
Figura 166. Bocetos para rostro, accesorios y maquillaje .....	243
Figura 167. Bocetos para vestimenta y utensilios.....	243
Figura 168. Diseño final de personaje huaorani. Concepto gráfico final para personaje femenino basado en vestimenta del pueblo huaorani. Elaboración propia.....	244

Figura 169. Creación de modelo anatómico femenino 3D en Metahuman. Los rasgos faciales, tonos de piel y morfología son seleccionados desde Metahuman. Luego, el modelo es exportado para su elaboración al detalle hacia otro software para 3D. Elaboración propia. ....245

Figura 170. Maya y Substance 3D para modelado y de texturizado. Primer gran recuadro superior: desde Maya insertamos una copia del cuerpo para ubicar y modelar vestimenta y accesorios. Segundo gran recuadro inferior: Substance 3D Painter. Allí cada elemento lo coloreamos y texturizamos. Fuente: Elaboración propia. ....246

Figura 171. Fusión de anatomía, accesorios, pintura y textura. Fusión de modelado anatómico, rigging y prendas de vestir en Unreal. Fuente: Elaboración propia. ....247

Figura 172. Estructura de rigging desde iClone. Los nodos articulados en personaje desde el software iClone. Imagen tomada directamente de la interfaz del software. ....248

Figura 173. Estructura de rigging desde Metahuman. Los nodos de la estructura articulada son abundantes debido a que permiten mayor control de articulación. Fuente: Imagen tomada directamente del interfaz del software. ....248

Figura 174. Mujer huaorani y cóndor en ambiente. ....249

Figura 175. Modelado, texturizado y color del cóndor. Arriba, concepto para el cóndor. Abajo, modelado, textura y efectos. Elaboración propia. ....250

Figura 176. Concepto de los blueprints en Unreal. La función A conectará con la B solo si la condición es cumplida. Basado en Blueprint Functions: What you need to know. <https://www.unrealdirective.com> .....251

Figura 177. Concepto de los grafos de eventos. Basado en Graphs, Unreal Engine, 2023e. ....252

Figura 178. Concepto de los nodos en Unreal. Basado en Nodes, Unreal Engine, 2023d .....252

Figura 179. Concepto del uso de blueprints para la locomoción. Cada blueprint puede acceder (o no) a los datos de otro blueprint (líneas blancas sobre negro), y así alimentar los eventos con nuevas variables y datos. El resultado será visualizado después del render. Elaboración propia basada en Blueprint Functions: What you need to know. <https://www.unrealdirective.com> .....253

Figura 180. Render con acciones de locomoción en personaje huaorani. Acciones activadas desde teclado. El comportamiento de la vestimenta y cabello se derivan de blueprints para físicas de materiales y colisiones en Unreal. Fuente: Elaboración propia. ....254

Figura 181. Simulación de física por afectación de nodos en Unreal. Las propiedades de colisión, rigidez o inercia son agregadas a los nodos del ropaje 3D mediante el color rosado. Fuente: Unreal Engine (2023a), Unreal Engine (2023b) y Unreal Engine (2023c)...255

Figura 182. Área real de bosque amazónico. Los siguientes países sudamericanos contienen porción amazónica: Ecuador, Perú, Bolivia, Brasil, Guyana Francesa, Surinam, Guyana, Venezuela y Colombia. Fuente: WWF, 2023. Foto de Juan Pratginestos.....256

Figura 183. Creación de entorno 3D desde Unreal .....258

Figura 184. Personaje y entorno 3D desde Unreal. Arriba: construcción del entorno selvático 3D. Abajo, el entorno finalizado y el personaje insertado. Fuente: elaboración propia.....259

Figura 185. Ambiente sin y con filtros de dispersión de objetos. Izquierda: el ambiente 3D sin generación de malezas y rocas. A la derecha, la generación activada. Fuente: elaboración propia. ....259

Figura 186. Escenas tomadas del render final, del ambiente y personaje huaorani. Fuente: elaboración propia.....260

Figura 187. Flujo de trabajo para la producción de personaje robot Eva. Fuente: Elaboración propia.....267

Figura 188. Flujo de trabajo mediante tecnologías 3D. Fuente: Elaboración propia. ....267

Figura 189. Arriba, imagen de referencia (muñeco de acción, articulado). Al lado y abajo, modelado del Eva. Fuente: Elaboración propia.....268

Figura 190. Añadido de repujados en el Eva. Fuente: Elaboración propia.....269

Figura 191. Añadido de texturas y color en el modelado del Eva. Fuente: Elaboración propia.....269

Figura 192. Rigging en el Eva desde Maya. Fuente: Elaboración propia .....270

Figura 193. Añadido de animación desde Maya. Fuente: Elaboración propia .....271

Figura 194. Creación de ambiente 3D mediante assets y texturas. Fuente: Elaboración propia .....272

Figura 195. Integración y render desde Maya. Arriba: detalle de la ambientación 3D modelada, sin render. Abajo: render final. Fuente: Elaboración propia.....273

Figura 196. Aplicación de efecto en elemento con máscara y canal alfa. Fuente: Elaboración propia.....274

Figura 197. Capas y máscaras mediante canal alfa. Fuente: Elaboración propia.....275

Figura 198. Efectos en iluminación en After Effects previo al render final, Primer recuadro: render desde el software Maya. Recuadros centrales: luego del render fue agregado incandescencia en las cruces y en el rostro del EVA. Abajo, render final. Elaboración propia. ....276