

La física y la evolución de los videojuegos

Physics and the evolution of video games

Iván Cuevas García, Natalia Galván Cámara, Felix R. Saucedo Zendejo

Universidad Autónoma de Coahuila, Centro de Investigación en Matemáticas
Aplicadas, Edificio "S", Unidad Camporredondo s/n, C. P. 25020, Saltillo, Coahuila,
México

Correspondencia para autor: Félix R. Saucedo Zendejo

Universidad Autónoma de Coahuila

Correo electrónico: fesaucedoz@uadec.edu.mx

Resumen

Los videojuegos a pesar de ser un medio de entretenimiento, donde frecuentemente se representan situaciones fantásticas, utilizan simulaciones de física basadas en lo que se observa en el mundo real, además de cálculos matemáticos tanto para el aspecto técnico como para el virtual. En este artículo se presenta un recorrido por la evolución técnica del hardware utilizado en los videojuegos, la que dio pie a un avance significativo en la manera de simular los distintos escenarios presentados en ellos. Lo anterior permitió finalmente llegar hasta las técnicas más utilizadas en la actualidad para simular de forma acertada la física dentro de los videojuegos.

Palabras clave: física, matemáticas aplicadas, video juegos, simulación numérica, modelado numérico.

Abstract

Video games, despite being an entertainment medium, where fantastic situations are frequently represented, they use physical simulations based on what it is observed in the real world, as well as mathematical computations for both the technical and virtual aspects. This article presents a tour on the technical evolution of the hardware used in videogames, which gave rise to a significant advance in the way of simulating the different scenarios presented in them. The foregoing finally allowed them to reach the techniques most used today to accurately simulate physics within video games.

Keywords: physics, applied mathematics, video games, numerical simulation, numerical modeling

Introducción

Desde su presentación, los videojuegos han estado relacionados con la física y las matemáticas, ya sea por su construcción, desarrollo, o más recientemente, por la calidad de los gráficos y la fidelidad de las simulaciones presentados en ellos. Algunos incluso utilizan estas herramientas de la ciencia para enriquecer el gameplay en inglés o la experiencia de juego en español. En este artículo se presentara brevemente como es que se ha dado la evolución de los videojuegos a lo largo del tiempo, desde su creación hasta las consolas de generación actual, dando los aspectos más importantes de cada generación, presentando la importancia de las tarjetas gráficas para el desarrollo visual, así como la física dentro de los videojuegos, para finalmente presentar los esquemas de simulación más comunes que suelen utilizarse para reproducir fielmente algunos fenómenos físicos.

Antecedentes

Videojuegos. Antes de que existiera el primer videojuego existieron los “prototipos” de estos llamados juegos electrónicos, como lo son OXO (Gato en Latinoamérica) desarrollado en 1952 por Alexander Douglas como un trabajo doctoral de Cambridge (Kirriemuir, 2006). Siguiendo esta línea, en 1951 Christopher Strachey simuló el juego draughts/checkers (Damas en Latinoamérica) en el Laboratorio Nacional de Física Inglés en Londres (Campbell-Kelly, 2007). El motivo por el cual no se considera a ninguno de estos como el primer videojuego se debe a que estos no cuentan con una interfaz gráfica móvil. Se pueden mencionar otros hitos en la historia de los videojuegos como, por ejemplo, el juego palillos Nim o simplemente Nim, para el cual se desarrolló una computadora que usaba una serie de luces como interfaz y que fue presentado por la firma de ingeniería Ferrati (Baker, 2010). También Alan Turing, quien sería una pieza clave durante la segunda guerra mundial, trabajando junto a Dietrich Prinz, crearon una simulación de Ajedrez que no tenía interfaz gráfica, la cual sería luego programada por Prinz en 1951 (Copeland y Proudfoot, 2000). William Higinbotham, quien trabajó en el equipo que desarrollo la bomba atómica, creó “Tenis for two” en 1958 al estar trabajando en el Laboratorio Nacional de Brookhaven debido a que sus descubrimientos no eran impresionantes para los visitantes, a pesar de que los mismos eran de gran

importancia para la época. Para ello, utilizó una computadora análoga diseñada para rastrear trayectorias de misiles y pantallas de osciloscopio (Sullivan, 1994) como se muestra en la Figura 1. Esta máquina se volvió muy popular entre los visitantes de su laboratorio.



Figura 1. Tennis for Two en un Osciloscopio DuMont Lab Type 304-A (BLN, 2013).

“Space Wars”, que se muestra en la Figura 2, es considerado el primer videojuego de la historia, el cual fue creado por tres estudiantes del MIT (Massachusetts Institute of Technology) en el año 1962. Este juego permitía que dos jugadores tomaran el mando de naves espaciales que orbitaban un hoyo negro mientras se disparaban entre sí. Lo que le valió el título de ser el primer videojuego es que utilizaba tecnología digital, en lugar de tecnología analógica, además de ser el primero adaptado para comercialización y para poder utilizarse en más de un equipo (Ivory, 2016).



Figura 2. Spacewar en el museo de historia de la computación (Lu, 2007).

Es importante mencionar que los prototipos de “video juegos” hacen énfasis en la simulación de actividades competitivas como el deporte, combates o incluso más estratégicos, como lo son los juegos de mesa.

Hardware. Como se mencionó previamente, la historia de los videojuegos comienza de la mano de querer hacer simulaciones de actividades competitivas. Sin embargo, tuvo que pasar un tiempo para que la primera consola de videojuegos casera viera la luz en 1972 de la mano del Magnavox Odyssey. Desde entonces el hardware ha ido evolucionando continuamente dando pie a las generaciones de consolas que siguen la ley de Moore, la cual dice que cada 18 meses el poder de procesamiento se duplica, o bien se multiplica por 10 cada 5 años, por lo que, generalmente una generación de consolas dura 5 años, como se muestra en la gráfica mostrada en la Figura 3 (Babb y col., 2013; Conley y col., 2004).

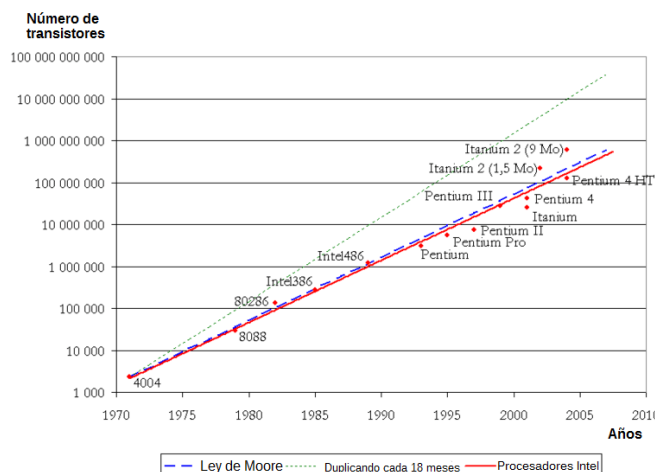


Figura 3. Gráfica de la ley de Moore (Seofilo, 2016).

Utilizar el concepto de bit, o el tamaño de una palabra individual en el procesador de la consola, en las primeras generaciones de videojuegos se debe a que los fabricantes utilizaban este término de conteo de bits para describir la potencia de sus consolas (Therrien y Picard, 2015). Esto duró hasta la quinta generación de estas. Con el paso de las generaciones se fueron utilizando longitudes de palabra más grandes, lo que al final favoreció el uso de conceptos como gameplay, gráficos y audio (IGN, 2012). Esto condujo a que las últimas generaciones de consolas se agrupen por fechas de liberación, en lugar de por el tipo de hardware o características que comparten.

Es importante mencionar que la generación termina cuando se deja de fabricar alguna de las consolas que se desarrolló durante la generación. Por esta razón, las generaciones de consolas generalmente se traslapan entre sí, a pesar de tener como base la ley de Moore, como se puede observar en la Figura 4, en donde también se muestran las características principales de estas. Para poder hablar de cómo es que la física y las matemáticas son utilizadas y aplicadas en los videojuegos, primero se tiene que dar un rápido recorrido por las generaciones de consolas, y ver brevemente como es que se dio su evolución técnica.

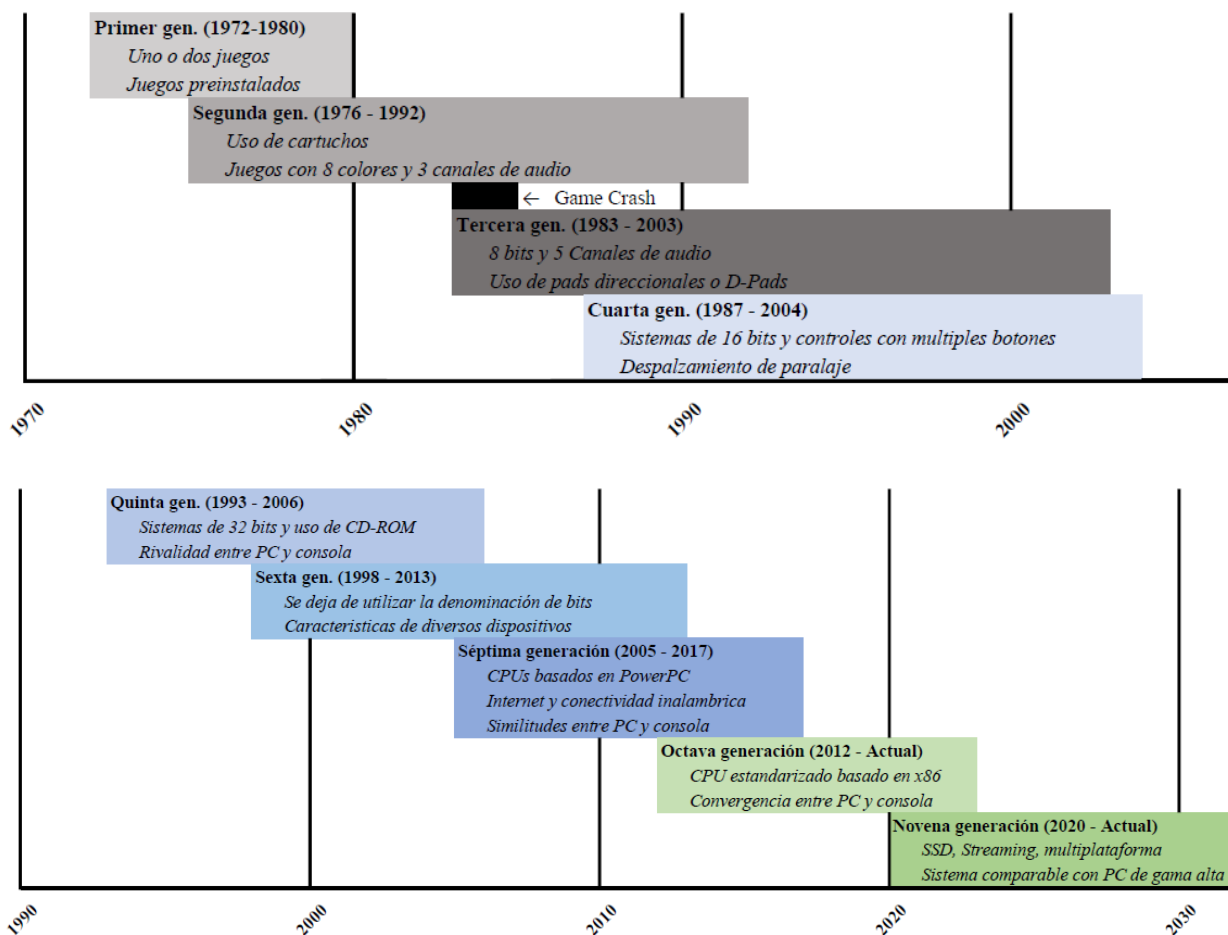


Figura 4. Línea temporal de la duración de cada generación de videojuegos con sus principales características.

- *Primera generación (1972 - 1980)*

Dentro de esta primera generación se encontraban las consolas dedicadas con uno o dos juegos. Esto quiere decir que este tipo de consola no estaba equipada para poder utilizar algún otro juego, más que los que traían preinstalados de fábrica. Una de estas consolas es la Magnavox Odyssey que se muestra en la Figura 5 junto a su empaque original (Waldron, 2020a).



Figura 5. Magnavox Odyssey, Smithsonian, Museo Nacional de Historia Americana (Smithsonian, 2013).

- *Segunda generación (1976 - 1992)*

En esta generación se empezaron a utilizar los cartuchos. De hecho, esta generación está marcada por la introducción de estos, ya que, al conectar un cartucho a la consola, las conexiones eléctricas hacían que el procesador de la consola pudiera leer la información almacenada en la ROM del cartucho. Además de esto, la tecnología dentro de los cartuchos consiguió hacer que los juegos soportaran 8 colores y 3 canales de audio (Waldron, 2020b). En la Figura 6 se muestra una consola Atari 2600 de esta generación, en funcionamiento con un cartucho de un videojuego de baseball.



Figura 6. Consola Atari del año 1978 (Universidad de Salamanca, 2022).

- *Game crash*

Entre la segunda y tercera generación se dio el llamado “Game crash” dentro de los videojuegos, que prácticamente fue una saturación del mercado en cuanto a videoconsolas y cartuchos de videojuegos, ocasionando pérdidas millonarias para los fabricantes, junto con la pérdida de muchos empleos. La razón de ello se debió a una notoria falta de innovación y a que muchos de los juegos en esta generación tenían una baja calidad, lo cual resultaba aburrido para el público (Kleinfield, 1983). Tal es el caso notable de Atari quien, con la salida de la película de E.T., desarrollo el videojuego dedicado a la misma en tan solo un mes para su consola Atari 2600. Como era de esperarse, este juego tenía una pésima calidad, malos controles y era extremadamente básico. Por esta razón, los consumidores se quejaron y comenzaron a regresar los cartuchos comprados, dejando a Atari con una pérdida millonaria, y orillándolos a decidir que la mejor opción para deshacerse de este fracaso comercial era enterrar los cartuchos de este videojuego. Lo anterior se creía una leyenda urbana hasta que, en 2014 Microsoft, Lightbox y Fuel Entertainment organizaron una excavación en el desierto de Alamogordo en Nuevo México, donde descubrieron que no era solo una leyenda urbana, si no que realmente estaban

enterrados los cartuchos de este videojuego y de otro llamado Centipede para la misma consola, como se observa en la Figura 7 (González y Bracero, 2017; Teknautas, 2014).



Figura 7. Empaques y cartuchos encontrados durante una excavación en Nuevo México (Hatmaker, 2016).

- *Tercera generación (1983 - 2003)*

Esta es la llamada generación de los 8 bits en donde las especificaciones técnicas lograron hacer que las consolas utilizaran procesadores de 8 bits, 5 canales de audio y una capacidad avanzada de procesamiento gráfico, lo que llevó a que los videojuegos utilizaran sprites y tiles en lugar de los gráficos basados en bloques que dominaron la segunda generación. Las capacidades técnicas del hardware permitían moverse en diferentes direcciones dando paso a los “Directional Pads” o simplemente “D-pads” y la resolución subiendo a 256X240 pixeles lo que generó que los videojuegos fueran más complejos, como se observa en las Figuras 8 y 9 (Waldron, 2020c).

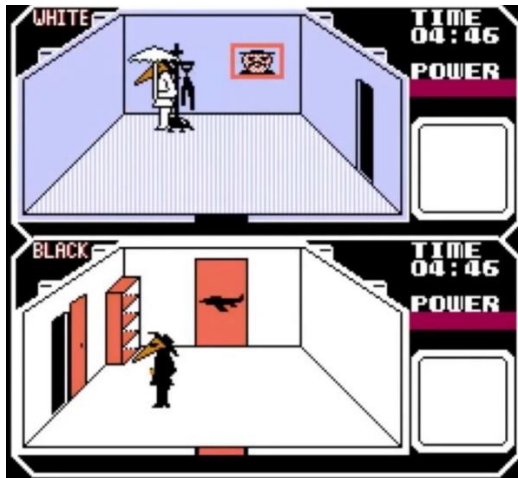


Figura 8. Spy vs. Spy (Commodore 64) (Vida Extra, 2020a).



Figura 9. Excitebike (NES) (Vida Extra, 2020a).

- Cuarta generación (1987 - 2004)

En esta generación se da el paso al uso de los 16 bits que tenía ventajas sobre los 8 bits, cómo lo son los múltiples botones en los controles (3-8 botones), desplazamiento de paralaje (las imágenes de fondo pasan más lentamente en la pantalla en comparación con las imágenes del primer plano, creando una ilusión de profundidad como se observa en la Figura 10), colores más elaborados (pasando de 512 a 65,536), audio estéreo con múltiples canales y reproducción de audio digital (Waldron, 2020d; Davis, 1996).



Figura 10. Batman the videogame (NES) (Vida Extra., 2020b).

Durante esta generación el costo de uso de discos ópticos (CD-ROM) disminuyó, por lo que se dio la oportunidad de utilizarlos, ya que ofrecían mayor espacio de almacenamiento, video full-motion, así como detallados trabajos de audio y video que podían ser utilizados en los videojuegos. Por estos motivos algunos fabricantes de consolas optaron por desarrollar módulos para utilizar estos CD-ROMs, pero seguían siendo de un costo elevado. Esto hizo que no ganaran mucha popularidad y al salir al mercado la quinta generación basada en CD-ROMs, estos módulos salieron del mercado (Gallagher y Park, 2002). En la Figura 11 se puede observar la consola Super Nintendo que fuera una de las consolas dominantes de su generación.



Figura 11. Imagen de la consola Super Nintendo en su 30 aniversario por Nintendo of America vía Twitter (Nintendo of America, 2021).

- *Quinta generación (1993 - 2006)*

A pesar de que en esta generación las computadoras empezaron a verse como un rival para las consolas para jugar videojuegos, estas últimas seguían siendo las preferidas debido a diferentes razones como lo son su menor costo, portabilidad, hardware dedicado específicamente a ser utilizado en los videojuegos, etc. (Next Generation, 1996). En esta generación se empezaron a utilizar los procesadores de 32 bits, así como el formato óptico en lugar de cartuchos en la mayoría de las consolas, aminorando el costo de producción e incrementando la capacidad de almacenamiento (Waldron, 2020e).

En las Figuras 12, 13 y 14 podemos ver las diferencias características de 2 consolas de la quinta generación en donde una utiliza el formato de CD y la otra de cartucho.



Figura 12. Consola PlayStation abierta para apreciar el lector de discos (Game Trog, 2020).



Figura 13. Consola y accesorios de PlayStation (Game Trog, 2020).



Figura 14. Consola Nintendo 64 que utilizaba juegos en formato de cartucho (Scullion, 2021).

- Sexta generación (1998 - 2013)

Durante esta generación se dio un salto en potencia para las consolas de modo que empezaron a competir en rendimiento con las computadoras personales. En esta generación también se dejó de utilizar el término de bits. Del mismo modo los fabricantes empezaron a utilizar el formato de DVD, ya que este contaba con una capacidad aún mayor al CD-ROM, crearon tarjetas de memoria externas, y agregaron aditamentos a las consolas para que pudieran tener conexión a Internet. De este modo las consolas comenzaron a obtener características de diversos dispositivos electrónicos y dejaron de ser sistemas que solo podían ser utilizados para jugar videojuegos (Waldron, 2020f; Finn, 2002). Para este punto se puede apreciar la evolución que han tenido las consolas, contando inclusive con controles más sofisticados, como se puede observar en las Figuras 15 y 16, en donde se muestran las consolas de Microsoft (XBOX) y Sony (PlayStation 2 o PS2).



Figura 15. Consola XBOX desarrollada por Microsoft (Amos, 2018).



Figura 16. Consola PlayStation 2 (versión original y slim) sucesora del PlayStation (Amos, 2016).

- Séptima Generación (2005-2017)

Para el año 2007 las consolas de videojuegos representaban el 25% de la potencia computacional en el mundo (Hilbert y López, 2011). Las características clave de esta generación fueron la conexión a internet, la conectividad inalámbrica, tiendas en línea, soporte para almacenamiento interno y externo. Dentro de esta generación se trazó el camino hacia la era del HD, de modo que los discos utilizados por los fabricantes empezaron a ser Blu-ray y HD-DVD debido a las características de estos. Es importante mencionar que las consolas de esta generación, ver Figura 17, comenzaron a utilizar CPUs basados en las instrucciones del PowerPC (Performance Optimization With Enhanced RISC – Performance Computing), que es un grupo reducido de instrucciones para computadoras que sirve para simplificar las instrucciones individuales que se le dan a una computadora, para completar tareas y cuya finalidad es compensar la necesidad de procesar más instrucciones aumentando la velocidad de cada instrucción mediante canales de instrucciones, simplificando las mismas (Chen y col., 2014). Poco a poco empezaron a compartir

más similitudes con las computadoras personales, hablando en el desarrollo de videojuegos.



Figura 17. Consolas de la séptima generación (Wii, PS3, XBOX 360) (Arcos, 2008).

- *Octava Generación (2012 - presente)*

En esta generación se opta por que las consolas tengan una mayor integración con otro tipo de media para una mejor conectividad, ya para esta generación se tiene estandarizado el uso de CPUs utilizando el set de instrucciones x86, que es una familia de arquitecturas de grupos de instrucciones de computadora de conjunto de instrucciones complejas. En otras palabras, los CPUs basados en esta arquitectura pueden procesar instrucciones más complejas al igual que lo hacen las computadoras personales. Para este punto se dio la convergencia entre las consolas y las computadoras lo cual hizo que se diera la transferencia entre ellos

de una forma más sencilla (Hruska, 2020). En la Figura 18, se observa la evolución de las consolas de la octava generación.



Figura 18. Principales consolas de la octava generación (PS4, XBOX One, Nintendo WIIU) (Rodríguez, 2014).

- *Novena Generación (2020 - presente)*

Las consolas lanzadas para esta generación, debido a las características que tienen son comparables con computadoras personales de gama alta, ya que cuentan con almacenamiento mediante disco duro de estado sólido, tasas de actualización variable, streaming de videojuegos, por mencionar algunas de las características. Debido a esto, el desarrollo de videojuegos multiplataforma se fue haciendo más fácil y la línea entre consolas de videojuegos y computadoras se hace cada vez más delgada (Jewitt y Morris, 2020; Williams, 2020a; 2020b). En la Figura 19, se muestran las consolas de última generación.



Figura 19. Consolas de última generación (Vida Extra, 2020c).

Tarjetas gráficas. Una vez que se conoce la evolución de las consolas de videojuegos con el paso del tiempo se puede hablar de un componente de suma importancia para las mismas y que aportó en gran medida para que el poder de procesamiento de juegos fuera el necesario. Ésta es la tarjeta gráfica. La historia de las tarjetas gráficas se remonta a finales de los 60's cuando estaban integradas en la placa base de las computadoras y daban salida a imagen o texto en este caso. Para los 80's con el auge de los videojuegos, las tarjetas gráficas también vieron su oportunidad de evolucionar y la primera tarjeta gráfica llegaría con características de RAM de 4 kilobytes y capacidad de representar 25 líneas de 80 caracteres en pantalla (Echavarría, 2008).

En estos años dado que los colores y gráficos llegaron al mundo, IBM desarrolló la tarjeta CGA (Color Graphic Adapter) que podía manejar 16 kibibytes (1 KiB = 1.024 KB), por lo que podía mostrar 4 colores de forma simultánea. En 1990 IBM de nueva cuenta mostró al mundo la VGA (Video Graphics Array) con un poder de procesamiento de 2MB y 256 colores. Para finales de la década de los 90's, Nvidia crea el GPU (Graphic Processing Unit), que es un procesador incorporado en las tarjetas gráficas dedicado a las tareas del mismo (Echavarría, 2008).



Figura 20. Tarjeta gráfica (Geektopia, 2023).

Las Figuras 20 y 21 muestran lo que sería una tarjeta gráfica actual y los componentes de otro modelo de tarjeta gráfica, respectivamente. Es importante notar que en la Figura 20 se observa un GPU de Nvidia.



Figura 21. Componentes de la tarjeta gráfica expuestos (Geektopia, 2023).

Al seguir avanzando en el tiempo y a partir de la generación del CPU Intel Pentium 4 y AMD Athlon 64 surgió el problema del sobrecalentamiento debido a la frecuencia de operación, lo que llevo a los fabricantes a crear los llamados núcleos del procesador que podían multiplicar el poder de procesamiento, lo cual también se puede lograr al utilizar clústeres que hacen procesamiento en paralelo. Otra de las alternativas que fue concebida debido a que los videojuegos necesitan de un poder de procesamiento bastante elevado para manejar las operaciones complejas que requieren los gráficos 3D fue utilizar tarjetas gráficas para realizar cálculos avanzados en paralelo. Por mostrar un ejemplo, solo tomando en cuenta las frecuencias de operación y la cantidad de núcleos, un procesador Intel Core i9 con

24 núcleos puede tener frecuencias de operación de 6 GHz, mientras que una tarjeta gráfica Nvidia RTX4090, a pesar de que cuenta con frecuencias de 2235 MHz, tiene 16384 núcleos. Nvidia está al tanto de esto y por esta razón tiene un apartado en su sitio web en dónde muestra las aplicaciones que pueden tener sus GPUs, así como las diferentes alternativas o soluciones como ellos lo llaman (Echavarría, 2008; Intel, 2022, TechPowerUp, 2022; NVIDIA, 2021).

Simulaciones físicas. La física tiene el objetivo de explicar las reglas que rigen nuestro universo, existen varios campos de ésta que se encargan de describir distintos aspectos del mundo real que interactúan entre sí. La física dentro de los videojuegos no refleja fielmente el comportamiento de sistemas físicos reales debido a las complicaciones que conlleva renderizar escenas en tiempo real y considerar iteraciones con el jugador. Históricamente los videojuegos han utilizado la mecánica clásica para crear la sensación de objetos sólidos, sin embargo, los avances tecnológicos que vienen con el paso de las generaciones de consolas han hecho que se pase de considerar los objetos dentro de los videojuegos como objetos sólidos, donde se ignoraban ciertas leyes físicas, a empezar a verlos como objetos con movimientos más suaves y reales. Este cambio tuvo la implicación de que en lugar de simular un efecto físico programando directamente la ecuación para situaciones específicas (inhibiendo la habilidad de considerar interacciones entre fenómenos físicos), se crearon motores de física, que son piezas de código en donde se tiene una generalización de los fenómenos físicos y ésta se aplica a los objetos del videojuego dependiendo de sus propiedades, permitiendo así interacciones entre distintos efectos, como se puede ver en la Figura 22 (Millington, 2007).



Figura 22. Videojuego CONTROL en donde se puede ver la manipulación del entorno (Borger, 2020).

Algunas de las ventajas de usar los motores de física es que son menos complejos de utilizar que programar las ecuaciones, se tiene una mayor exactitud en cuanto a las simulaciones y la interacción entre fuerzas, reusabilidad por mencionar algunos (Hu y col., 2012). Estas simulaciones no solo se utilizan para el aspecto gráfico de los videojuegos, sino que en una gran cantidad de los títulos producidos estas forman parte importante de la jugabilidad en sí. Desde las carreras F1, o los acertijos de The Legend of Zelda: Breath of the Wild, como se observa en la Figura 23, y hasta la experimentación de Noita.



Figura 23. Interacción con el entorno en el videojuego Zelda: Breath of the wild
 (Tach, 2017).

A continuación, se describirán algunas técnicas de simulación inspiradas en la física utilizadas en videojuegos para emular diferentes fenómenos.

Métodos de simulación

Iluminación general

- *Radiosidad*

La radiosidad es un método para renderizar luz en situaciones donde hay reflexión difusa. Esto se computa calculando la intensidad de luz de cada píxel sumando la luz emitida por el objeto (en caso de que tenga brillo propio) y la reflejada. Se hacen los cálculos a nivel de mallas y después se aplica alguna técnica de interpolación (como la Gouraud o Phong) (Gilles, 2010).

Esta técnica toma en consideración el efecto que las superficies de los objetos tienen entre sí (como se puede apreciar en la Figura 24), además de las fuentes de luz hacia los objetos. Esto lo hace calculando el impacto que cada elemento de la malla tiene hacia los otros, a esto se le llama factor de forma. El factor de forma toma en cuenta la ley del cuadrado inverso (es decir que la intensidad de la luz

disminuye de acuerdo con el cuadrado de la distancia entre elementos) y la orientación de los elementos (si son paralelos habrá mucha reflexión entre ellos, y si son perpendiculares poca) (Gilles, 2010). El cálculo de este factor de forma puede ser computacionalmente intensivo, por lo que existen aproximaciones (como el método del hemicubo) que eficientizan los cálculos a cambio de soluciones menos realistas (Jin, 2000).

Este método suele tener buenos resultados para reflexiones difusas y es capaz de producir imágenes con alto nivel de realismo, pero tiende a presentar problemas para reflexiones especulares (donde hay poca dispersión de rayos) y a ser computacionalmente caro.

Algunos ejemplos de videojuegos que han utilizado este método de renderización de iluminación son NieR: Automata, Pro Evolution Soccer 2019, Hellblade: Senua's Sacrifice y Street Fighter V Arcade Edition (Enlighten, 2019).

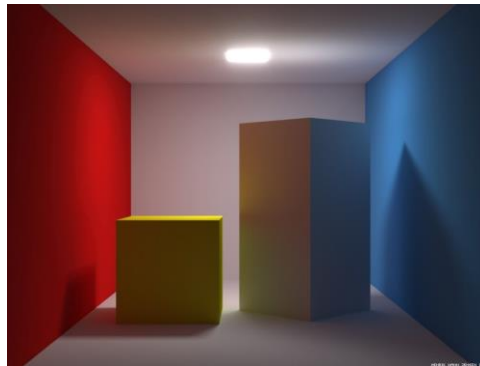


Figura 24. Simulación de iluminación usando radiosidad (Jensen, 2001).

- *Trazado de rayos*

Este método renderiza imágenes creando rayos que van del ojo del observador virtual al centro de cada píxel de la pantalla. Luego estos rayos siguen esa trayectoria hasta encontrarse con un objeto que cambie la dirección o intensidad de

la luz dependiendo de las propiedades de este (Glassner, 1989). Naturalmente, esta técnica consume mucho tiempo al tener que hacer los cálculos de las trayectorias píxel por píxel, sin embargo, existen variaciones de la técnica donde se encuentran las sombras sólidas proyectadas por los objetos y estas se omiten el cómputo de rayos (Apper, 1968).

El trazado de rayos al no requerir división en mallas de las superficies, y, por lo tanto, no necesitar interpolaciones, produce simulaciones fieles a la física de la escena, como se observa en la Figura 25, donde se simula de forma convincente las reflexiones especulares y difusas, además de los reflejos y sombras.

Esta técnica de simulación, capaz de producir imágenes fotorealistas, históricamente ha sido prohibitivamente cara para su uso en videojuegos. Sin embargo, recientemente se han desarrollado tarjetas gráficas (como las Nvidia RTX) que permiten procesar trazado de rayos en tiempo real, además de las consolas de última generación (PlayStation 5 y Xbox Series X) que tienen títulos que usan este método de simulación (Matrindale, 2022) como Assassin's Creed Valhalla, Cyberpunk 2077, DOOM Eternal, Star Wars Jedi: Fallen Order, entre otros (tvfindr, 2022). Aunque cabe recalcar que el trazado de rayos en videojuegos requiere de técnicas mixtas para obtener el rendimiento necesario.

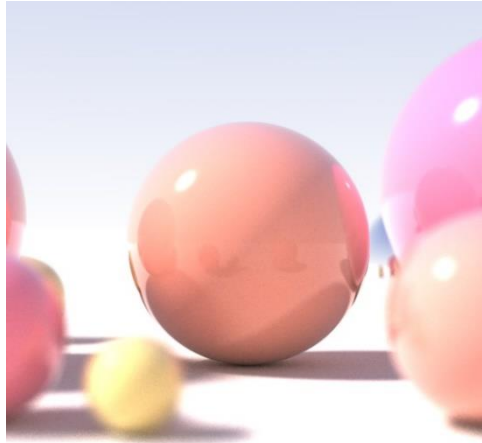


Figura 25. Simulación de iluminación usando trazado de rayos (Babb, 2008).

Olas

- Ola de Grestner

Es un método para formar ondas basadas en superficies con forma trocoide. Las formas trocoidales se obtienen de trazar la línea que se forma al seguir un punto situado en un círculo que es rodado por una línea recta.

La forma de trocoide coincide con la solución analítica de la ecuación de Euler para olas de baja amplitud en aguas profundas (Fournier y Reeves, 1986), por lo que este método está inspirado en dinámica de fluidos. Sin embargo, para poder renderizar escenas más generales se modifica la ecuación original para mejorar el aspecto de las olas (Figura 26). Esto hace que la simulación ya no sea física.

Algunas modificaciones simples que se pueden realizar variando parámetros de la función que genera la superficie son: cambiar la fase como proporción a la altura para generar un pico en la punta de la ola para olas grandes, cambiar la frecuencia de la ola en proporción a la profundidad del agua (si la profundidad es variable se requiere hacer un mallado del fluido para computar las reflexiones de las olas) y hacer que cuando las olas se rompan en la orilla se vuelvan más elípticas.

Este método de generación de olas fue la base para el motor de juego desarrollado para Killzone 3, producido por Guerrilla Games, Ben Schrijvers (artista de efectos visuales) quien discute los detalles en su artículo Guerrilla Games - Killzone 3 (SideFX, 2011).

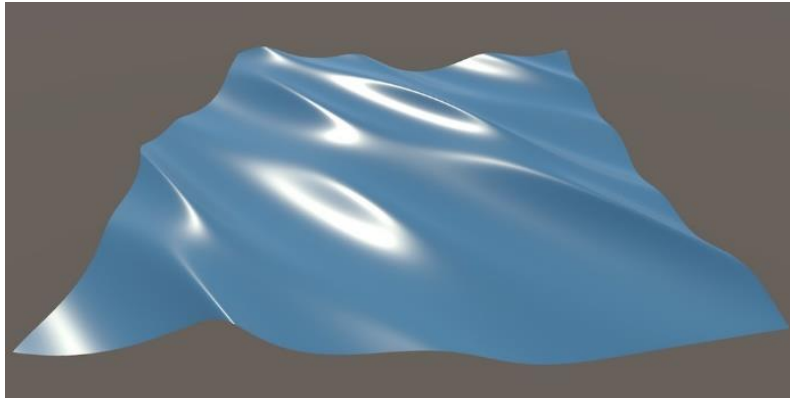


Figura 26. Simulación de olas de Grestner (Flick, 2018).

- *Transformada rápida de Fourier*

En esta técnica se ve a la altura de cada punto en la superficie del agua como una función que resulta de la suma de varias funciones sinusoidales, esa suma se computa por medio de la transformada rápida de Fourier (Tessendorf, 2004). La transformada rápida de Fourier requiere conocer parámetros de las ondas como número de onda, frecuencia y amplitud. El número de onda y la frecuencia están conectados entre sí por medio de la llamada relación de dispersión (Pensionerov, 2020). Esta ecuación depende de la profundidad del agua y la gravedad. La amplitud por otra parte tiende a tener comportamiento estocástico debido a la complejidad del fenómeno, sin embargo, siguen ciertas distribuciones de probabilidad dependiendo de los parámetros de la escena a simular. En el artículo titulado "Fourier Synthesis of Ocean Scenes" se propone tomar la amplitud en el espectro de Pierson-Moskowitz (Mastin y col., 1987), éste tiene forma similar a una campana,

con un sólo pico de frecuencia, atenuándose rápidamente para frecuencias bajas y de forma más lenta para frecuencias altas.

Este método genera ondas complejas en cuanto a que puede generar ondas comprendidas por la suma de varias funciones sinusoidales, lo que le hace que luzca realista, pero ignora la interacción que tienen las ondas entre sí debido a reflexiones (Hinsinger y col., 2002). Lo anterior se puede apreciar contrastando la Figura 26 con la Figura 27.

La transformada rápida de Fourier se utilizó para simular el océano de Sea of Thieves, donde el propósito era generar un océano estilizado que pudiera correr en una gama amplia de tarjetas gráficas (Ang y col., 2018).

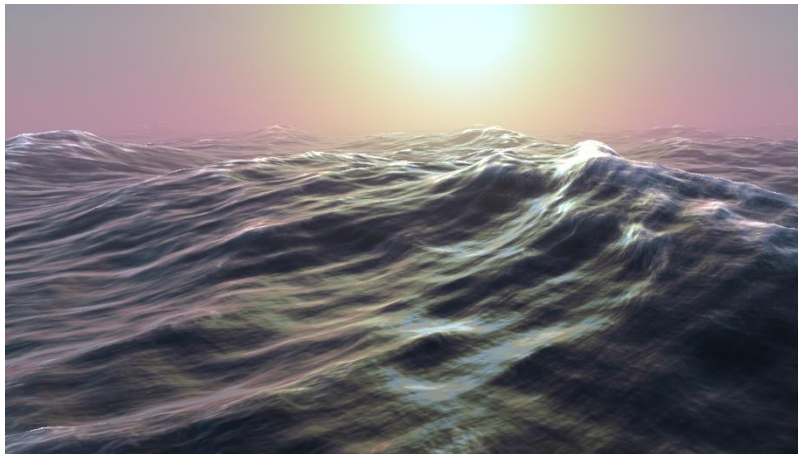


Figura 27. Simulación de olas usando la transformada rápida de Fourier (ARMMALI, 2020).

Partículas

- Sin estado

Las partículas sin estado se computan por medio de fórmulas (que se desprenden de las leyes del movimiento de Newton), en estas solo se requiere la información de las condiciones iniciales (usualmente elegidas de forma aleatoria dentro de ciertos rangos por partícula) y el tiempo para calcular las posiciones en cualquier momento,

además de ciertos parámetros como el número de partículas, valor de la aceleración, distancia a la que desaparecen, etc. Esto naturalmente crea un entorno cerrado donde no se puede interactuar con las partículas creadas, por lo que su uso está limitado a animaciones pequeñas como chispas (Latta, 2004).

Los sistemas de partículas se pueden usar para crear fuego, humo, lluvia, nieve cayendo, chispas, escombros, efectos mágicos, etc. Para generar estos efectos solo se varían parámetros como el tamaño de la partícula, su textura, su transparencia, la aceleración que lleva, el rango de velocidades iniciales, su tiempo de vida y la tasa de nacimiento. En la Figura 28, se aprecian partículas con distintas variaciones estéticas.

Un ejemplo de esta técnica se encuentra en las animaciones de Jan Orzulik para el videojuego en desarrollo Precursor (Orszulik, 2023), donde una nave espacial causa destrucción con rayos láser.

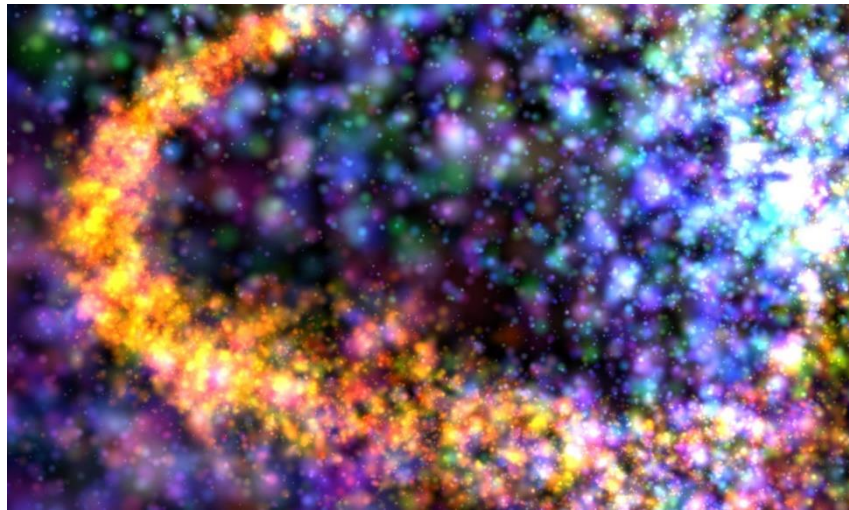


Figura 28. Simulación de partículas sin estado (Volnov, 2021).

- *Integración iterada*

Los métodos de integración iterada resuelven la posición de las partículas integrando ecuaciones de física Newtoniana por métodos numéricos como el de Euler o Verlet (Latta, 2007). Estos son esquemas de integración iterativos y requieren información sobre la diferencia de tiempo entre los estados de cada partícula, además de datos de sus posiciones y velocidades anteriores. Esta naturaleza iterativa permite introducir cambios repentinos en las fórmulas fácilmente, lo que hace este tipo de partículas sean interactivas. Las partículas pueden tener colisiones entre ellas y con el ambiente, aunque calcular todos los choques partícula-partícula suele ser computacionalmente caro y se limita a un subconjunto de éstas.

Al igual que las partículas sin estado, esta técnica se puede utilizar para crear una gran variedad de efectos gráficos dependiendo de ajustes en los parámetros. La Figura 29 muestra un remolino usando esta técnica de simulación.

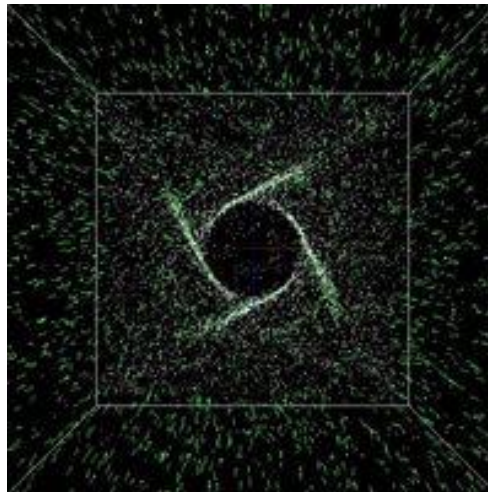


Figura 29. Simulación de tornado con partículas sin entorno (Seeber, 2007).

Conclusiones

Desde el inicio de la industria de los videojuegos éstos han requerido de la física para propósitos estéticos y de gameplay. El reto de agregar interactividad y renderización en tiempo real a animaciones de objetos informa la manera en que se diseñan los algoritmos de simulación física y como se procesan en los componentes del hardware. Avances en estas dos áreas permite la existencia de videojuegos cada vez más realistas y menos inhibidos artísticamente por restricciones de costo computacional, la animación en tiempo real sigue siendo un área de investigación muy activa dentro de la física computacional y matemáticas numéricas, que siguen buscando mayor realismo, más interacciones entre fenómenos físicos y más interactividad con el jugador.

Referencias

Amos, E. (2016). PS2-Versions.jpg California, Estados Unidos, en *Wikimedia Commons*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/rox0n>. Fecha de consulta: 13 de agosto de 2023.

Amos, E. (2018). Xbox-Console-wDuke-L.jpg California, Estados Unidos, en *Wikimedia Commons*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/e8we7>. Fecha de consulta: 13 de agosto de 2023.

Ang, N., Catling, A., Ciardi, F. C. & Kozin, V. (2018). The Technical Art of Sea of Thieves. En *SIGGRAPH '18: ACM SIGGRAPH 2018 Talks* (pp. 1-2). DOI:10.1145/3214745.3214820.

Apper, A. (1968). Some techniques for shading machine renderings of solids. En *Proceedings of the April 30-May 2, 1968, Spring joint computer conference* (pp. 37-45). DOI: 10.1145/1468075.1468082.

Arcos, E. (2008). ¿Qué consola de videojuegos comprarás en 2008?. Madrid, España, en *Hipertextual*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/tqvha>. Fecha de consulta: 10 de agosto de 2023.

ARMMALI (2020). Ocean Rendering with Fast Fourier Transform California, Estados Unidos, en *arm*. [En línea]. Disponible en: https://arm-software.github.io/opengl-es-sdk-for-android/ocean_f_f_t.html. Fecha de consulta: 3 de agosto de 2023.

Babb, J., Terry, N. & Dana, K. (2013). The Impact of Platform On Global Video Game Sales. *International Business & Economics Research Journal*. 12(10):1273–1288. DOI:10.19030/iber.v12i10.8136.

Baker, C. (2010). Nimrod, the world's first gaming computer California, Estados Unidos, en *Wired*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/tpymqt>. Fecha de consulta: 6 de junio de 2023.

BLN, Brookhaven National Laboratory (2013). The First Video Game? Nueva York, Estados Unidos, en *Brookhaven Science Associates*. [En línea]. Disponible en: <https://www.bnl.gov/about/history/firstvideo.php>. Fecha de consulta: 9 de agosto de 2023.

Borger, W. (2020). Control AWE Expansion Review – It's Not a Lake. It's an Ocean California, Estados Unidos, en *Gaming Bolt*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/dpk76g>. Fecha de consulta: 20 de julio de 2023.

Campbell-Kelly, M. (2007). The history of the history of software. *IEEE Annals of the History of Computing*. 29(4):40–51. DOI:10.1109/MAHC.2007.67.

Chen, C., Novick, G. & Shimano, K. (2014). What is RISC?. RISC Architecture California, Estados Unidos, en *Stanford Computer Science*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/mj4y3>. Fecha de consulta: 14 de agosto de 2023.

Conley, J., Andros, E., Chinai, P., Lipkowitz, E. & Perez, D. (2004). Use of a Game Over: Emulation and the Video Game Industry, A White Paper. *Northwestern Journal of Technology and Intellectual Property*. 2(2):261.

Copeland, J. & Proudfoot, D. (2000). What Turing did after he invented the Universal Turing Machine. *Journal of Logic Language and Information*. 9(4):491–509. DOI:10.1023/A:1008371426608.

Davis, Z. (1996). 16-Bit's Final Hurrah, en *Electronic Gaming Monthly*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/onxi7>. Fecha de consulta: 17 de agosto de 2023.

Echavarría, J. (2008). Tarjetas gráficas para acelerar el cómputo complejo. *C&T - Universidad de Palermo*. 1:45-50.

Enlighten. (2019). Case Studies Tokyo, Japón, en *Silicon Studio*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/3qujf>. Fecha de consulta: 2 de agosto de 2023.

Finn, M. (2002). Console Games in the Age of Convergence. En *Proceedings of the Computer Games and Digital Cultures Conference* (pp. 45- 58). Tampere: Tampere University Press.

Flick, J. (2018). Waves Moving Vértices Amsterdam, Países Bajos, en *Catlike Coding*. [En línea]. Disponible en: <https://catlikecoding.com/unity/tutorials/flow/waves/>. Fecha de consulta: 10 de agosto de 2023.

Fournier, A. & Reeves, W. T. (1986). A simple model of ocean waves. *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*. 20(4):75-84. DOI:10.1145/15886.15894.

Gallagher, S., & Park, S. H. (2002). Innovation and Competition in Standard-Based Industries: A Historical Analysis of the U.S. Home Video Game Market. *IEEE Transactions on Engineering Management*. 49 (1):67–82. DOI:10.1109/17.985749.

Game Trog (2020). SONY PlayStation Florida, Estados Unidos, en *Game Trog*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/bnxxa>. Fecha de consulta: 8 de agosto de 2023.

Geektopia (2023). Las mejores tarjetas gráficas del momento por rango de precio (Nvidia, AMD, agosto 2023) Madrid, España, en *Geektopia*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/eu2cz>. Fecha de consulta: 5 de agosto de 2023.

Gilles, F. G. (2010). Lecture 13: Radiosity – Principles. London, Inglaterra, en *Imperial College London*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/caq1m>. Fecha de consulta: 2 de agosto de 2023.

Glassner, A. S. (1989). *An introduction to ray tracing*. (Primera edición). London: ACADEMIC PRESS LIMITED. 329 Pp.

González, S. & Bracero, A. (2017). Se descubren los cartuchos de E.T. enterrados en el desierto de Nuevo Mexico Madrid, España, en *MeriStation*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/vy5ly>. Fecha: 8 de agosto de 2023.

Hatmaker, T. (2016). Atari E.T. Dig- Alamogordo, New Mexico California, Estados Unidos, en *Flickr*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/gju2x>. Fecha de consulta: 5 de agosto de 2023.

Hilbert, M. & López, P. (2011). The World's Technological Capacity to Store, Communicate, and Compute Information. *Science*. 332(6025):60-65. DOI: 10.1126/science.1200970.

Hinsinger, D., Neyret, F. & Cani, M.-P. (2002). Interactive animation of ocean waves. En *SCA '02: Proceedings of the 2002 ACM SIGGRAPH/Eurographics symposium on Computer animation* (pp. 161-166). DOI:10.1145/545261.545288.

Hruska, J. (2020). How the Inside of Your Game Console Works Nueva York, Estados Unidos, en *Extreme Tech*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/ola8l>. Fecha de consulta: 10 de agosto de 2023.

Hu, W., Zhouqing, Q. & Xiaoyuan, Z. (2012). A New Approach of Mechanics Simulation Based on Game Engine. En *2012 Fifth International Joint Conference on Computational Sciences and Optimization* (pp. 619-622). DOI: 10.1109/CSO.2012.141.

IGN (2012). Interview: IBM Details Gekko (Part II) California, Estados Unidos, en *IGN*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/zqjw8>. Fecha de consulta: 15 de agosto de 2023.

Intel (2022). Intel Product Specifications California, Estados Unidos, en *Intel*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/26yx5>. Fecha de consulta: 23 de julio de 2023.

Ivory, J. (2016). A Brief History of Video Games. En Rachel Kowert and Thorsten Quandt (Eds.), *The Video Game Debate: Unravelling the physical, social, and psychological effects of digital games* (pp. 1-4). Virginia: Routledge, Taylor & Francis Group, Estados Unidos.

Jensen, H. (2001). Cornell box images California, Estados Unidos, en *Stanford University*. [En línea]. Disponible en: <https://graphics.stanford.edu/~henrik/images/cbox.html>. Fecha de consulta: 8 de agosto de 2023.

Jewitt, D. & Morris C. (2020). Why Ray Tracing Matters for PS5, Xbox Series X|S, And PC California, Estados Unidos, en *Game Spot*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/0b71o>. Fecha de consulta: 12 de agosto de 2023.

Jin, G. (2000). *A Survey of Radiosity and Ray-tracing Methods in Global Illumination. Technical Report Final Project of CS368*, Institute for Computer Graphics, The George Washington University.

Kirriemuir, J. (2006). A history of digital games. In J. Rutter and J. Bryce (Eds.), *Understanding Digital Games* (pp. 21–35). Worcester: Sage, England.

Kleinfield N. R. (1983). Video Games Industry Comes Down To Earth Nueva York, Estados Unidos, en *New York Times*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/nd0g0>. Fecha de consulta: 5 de septiembre de 2023.

Latta, L. (2004). Building a Million Particle System. En *Game Developers Conference 2004*. [En línea]. Disponible en: https://kocca.kr/knowledge/abroad/ind/_icsFiles/afieldfile/2010/05/02/72218.pdf. Fecha de consulta: 2 de agosto 2023.

Latta, L. (2007). Everything about Particle Effect. En *Game Developers Conference 2007*. [En línea]. Disponible en: <https://www.gamedevs.org/uploads/everything-about-particle-effects.pdf>. Fecha de consulta: 2 de agosto 2023.

Lu, K. (2007). Spacewar! California, Estados Unidos, en *Flickr*. [En línea]. Disponible en: <https://www.flickr.com/photos/toasty/364960084/>. Fecha de consulta: 10 de agosto de 2023.

Mastin, G. A., Watterberg, P. A. & Mareda, J. F. (1987). Fourier Synthesis of Ocean Scenes. *IEEE Computer Graphics and Applications*. 7(3):16-23. DOI:10.1109/MCG.1987.276961.

Matrindale, J. (2022). What is ray tracing, and how will it change games? Oregon, Estados Unidos, en *digitaltrends*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/vxa60>. Fecha de consulta: 2 de agosto de 2023.

Millington, I. (2007). *Game Physics Engine Development*. (Primera edición). Estados Unidos: Elsevier 456 Pp.

Next Generation (1996). What the hell does Bill Gates know about games, anyway?. PCs Versus Consoles, en *Imagine Publishing*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/jy5wa>. Fecha de consulta: 17 de agosto de 2023.

Nintendo of America. [@NintendoAmerica] (2021). On this day 30 years ago, the Super Nintendo Entertainment System launched in North America! What are some of your [Tweet] San Francisco, Estados Unidos, en *Twitter*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/cc9d0>. Fecha de consulta: 12 de agosto de 2023.

NVIDIA. (2021). Diseño y Simulación California, Estados Unidos, en *NVIDIA*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/f10v6>. Fecha de consulta: 1 de agosto de 2023.

Orszulik, J. (2023). @JanOrszulik: Loot Tables hooked up (I am pretty happy with how they work). Also added loot highlights by category. Containers in the interior are placeholders Renania del Norte-Westfalia, Alemania, en *Mastodon*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/5q1kr>. Fecha de consulta: 2 de agosto de 2023.

Pensionerov, I. (2020). Ocean waves simulation with Fast Fourier transform, en *YouTube*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/6tbuk>. Fecha de consulta: 2 de agosto de 2023.

Rodríguez, B. (2014). Conoce qué consola vendió más en España durante 2013 Las Palmas, España, en *El chapuzas informático*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/o09eq>. Fecha de consulta: 11 de agosto de 2023.

Scullion, C. (2021). The 25 best N64 games you need to revisit Surrey, Inglaterra, en *Video Games Chronicle*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/roibz>. Fecha de consulta: 9 de agosto de 2023.

Seofilo (2016). ¿Qué es la Ley de Moore? Valencia, España, en *Seofilo*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/2tycq>. Fecha de consulta: 23 de agosto de 2023.

SideFX (2011). Guerrilla Games - Killzone 3 Toronto, Canadá, en *SideFX*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/bpntk>. Fecha de consulta: 2 de agosto de 2023.

Smithsonian (2013). Magnavox Odyssey Video Game Unit, 1972 Washington D. C., Estados Unidos, en *National Museum of American History*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/hkg2x>. Fecha de consulta: 10 de agosto de 2023.

Sullivan, R. (1994). William A. Higinbotham, 84; Helped build first atomic bomb Nueva York, Estados Unidos, en *New York Times*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/gd0u9>. Fecha de consulta: 9 de agosto de 2023.

Tach. D. (2017). Zelda: Breath of the Wild guide: A Test of Will shrine quest walkthrough (Joloo Nah shrine) California, Estados Unidos, en *Polygon*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/lojxo>. Fecha de consulta: 24 de julio de 2023.

TechPowerUp. (2022). NVIDIA GeForce RTX 4090 Specs California, Estados Unidos, en *TechPowerUp*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/sw3en>. Fecha de consulta: 24 de julio de 2023.

Teknautas. (2014). La increíble historia de los juegos de ET que se enterraron en el desierto Madrid, España, en *El confidencial*. Disponible en: <https://n9.cl/ux5gk>. Fecha de consulta: 8 de agosto de 2023.

Tessendorf, J. (2004). Simulating Ocean Water Carolina del Sur, Estados Unidos, en *Clemson University*. [En línea]. Disponible en: https://people.computing.clemson.edu/~jtessen/reports/papers_files/coursenotes2004.pdf. Fecha de consulta: 2 de agosto de 2023.

Therrien, C. & Picard, M. (2015). Enter the bit wars: A study of video game marketing and platform crafting in the wake of the TurboGrafx-16 launch. *New Media & Society*. 18(10):2323–2339. DOI:10.1177/1461444815584333.

tvfindr (2022). PS5 Raytracing games: A comprehensive overview and what effect it provides! Westfalia, Alemania, en *tvfindr*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/tngbby>. Fecha de consulta: 2 de agosto de 2023.

Universidad de Salamanca (2022). Consola Atari Salamanca, España, en *Universidad de Salamanca*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/0qroy>. Fecha de consulta: 17 de agosto de 2023.

Vida Extra (2020a). ¿A qué jugábamos en 1984? Estos son los 15 mejores videojuegos clásicos de aquel año Madrid, España, en *Vida Extra*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/11fki2>. Fecha de consulta: 10 de agosto de 2023.

Vida Extra. (2020b). ¿A qué jugábamos en 1989? Estos son los 23 mejores videojuegos clásicos de aquel año Madrid, España, en *Vida Extra*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/chd5z>. Fecha de consulta: 10 de agosto de 2023.

Vida Extra. (2020c). Ahora que ya conocemos los diseños de PS5 y Xbox Series X, hablemos del tema Madrid, España, en *Vida Extra*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/gu7b8>. Fecha de consulta: 10 de agosto de 2023.

Waldron, V. (2020a). First generation (1972-1977) Míchigan, Estados Unidos, en *University of Michigan Library*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/ooq8b>. Fecha de consulta: 15 de agosto de 2023.

Waldron, V. (2020b). Second generation (1976-1984) Míchigan, Estados Unidos, en *University of Michigan Library*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/z1rws>. Fecha de consulta: 15 de agosto de 2023.

Waldron, V. (2020c). Third generation (1983-1990) Míchigan, Estados Unidos, en *University of Michigan Library*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/2m4xu>. Fecha de consulta: 15 de agosto de 2023.

Waldron, V. (2020d). Fourth generation (1988-1999) Míchigan, Estados Unidos, en *University of Michigan Library*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/l6ouk>. Fecha de consulta: 15 de agosto de 2023.

Waldron, V. (2020e). Fifth generation (1993-2001). Míchigan, Estados Unidos, en *University of Michigan Library*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/s3ahz>. Fecha de consulta: 15 de agosto de 2023.

Waldron, V. (2020f). Sixth generation (1998-2009). Míchigan, Estados Unidos, en *University of Michigan Library*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/g7rpn>. Fecha de consulta: 15 de agosto de 2023.

Williams, A. (2020a). What is frame rate? And how will it change for next-gen consoles? Somerset, Inglaterra, en *Games Radar+*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/r09so>. Fecha de consulta: 13 de agosto de 2023.

Williams, A. (2020b). SSD vs HDD - What does switching to SDD mean for next-gen gaming?. Somerset, Inglaterra, en *Games Radar+*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/vqglo>. Fecha de consulta: 13 de agosto de 2023.