

Creación de un entorno virtual en Houdini con animaciones y simulaciones controladas por audio

Trabajo de final de grado

Grado en Multimedia, 2021 - 2022

Autor: Noël Vincent Sánchez

Director: Salvador Bolarin Molina

Índice

| | |
|--|----|
| Resumen | 5 |
| Palabras clave | 5 |
| Enlaces | 5 |
| Índice de tablas..... | 6 |
| Índice de figuras | 6 |
| 1. Introducción | 8 |
| 1.1. Motivación | 8 |
| 1.2. Formulación del problema..... | 9 |
| 1.3. Objetivos generales | 9 |
| 1.4. Objetivos específicos | 9 |
| 1.5. Alcance del proyecto | 10 |
| 2. Estado del arte | 11 |
| 2.1. Houdini..... | 11 |
| 2.2. Estudio del mercado | 11 |
| 2.2.1. Proyectos de animación y referentes..... | 11 |
| 3. Gestión del proyecto..... | 16 |
| 3.1. Procedimiento y herramientas para el seguimiento del proyecto..... | 16 |
| 3.2. Herramientas de validación | 17 |
| 3.3. DAFO | 17 |
| 3.4. Riesgos y plan de contingencias | 18 |
| 3.5. Análisis de costes | 19 |
| 4. Información previa para la producción | 20 |
| 4.1. Música visual..... | 20 |
| 4.2. Efectos que reaccionan al audio | 20 |
| 4.3. Archivo de audio y los formatos utilizados..... | 20 |
| 4.3.1. Archivo en formato WAV..... | 21 |
| 4.3.2. Archivo en formato MIDI..... | 21 |
| 4.4. Houdini Music Toolset (HMT) | 21 |
| 4.4.1. Problemas de pérdida de información en la importación de MIDI a Houdini | 22 |
| 5. Metodología | 23 |

| | | |
|--------|--|----|
| 5.1. | Preproducción..... | 23 |
| 5.1.1. | Planificación de los efectos | 23 |
| 5.1.2. | Planificación de la música..... | 23 |
| 5.1.3. | Planificación de la pieza final..... | 24 |
| 5.2. | Producción | 24 |
| 5.2.1. | Sistemas de procesamiento de archivos de audio | 24 |
| 5.2.2. | Efectos que reaccionan al audio..... | 25 |
| 5.2.3. | Música..... | 26 |
| 5.3. | Posproducción | 26 |
| 6. | Desarrollo del proyecto..... | 28 |
| 6.1. | Sistema de procesamiento del audio en formato WAV | 28 |
| 6.2. | Sistema de procesamiento del audio en formato MIDI | 31 |
| 6.3. | Creación de las animaciones y simulaciones | 33 |
| 6.3.1. | Lámpara de partículas | 33 |
| 6.3.2. | Animación de extrusiones | 36 |
| 6.3.3. | Simulación de esfera líquida..... | 36 |
| 6.3.4. | Simulación de vaso con fluido | 37 |
| 6.3.5. | Simulación de dispensadores de partículas y fluidos..... | 38 |
| 6.4. | Producción de la música | 41 |
| 6.4.1. | Instrumentos, plugins y sonidos..... | 42 |
| 6.4.2. | Creación de melodía y armonía..... | 42 |
| 6.4.3. | Mezcla y masterización | 42 |
| 6.5. | Respuestas y resultados de las entrevistas | 43 |
| 6.5.1. | Primera entrevista | 43 |
| 6.5.2. | Segunda entrevista | 45 |
| 6.5.3. | Tercera entrevista..... | 46 |
| 6.5.4. | Resultados y conclusiones de las entrevistas..... | 48 |
| 6.6. | Preparación, render y posproducción de la escena final | 48 |
| 6.6.1. | Distribución de los elementos | 48 |
| 6.6.2. | Iluminación de la escena | 49 |
| 6.6.3. | Creación y asignación de materiales | 49 |
| 6.6.4. | Cámaras y planos..... | 50 |
| 6.6.5. | Render | 50 |

| | |
|--------------------------------|----|
| 6.6.6. Edición y montaje | 51 |
| 7. Conclusiones..... | 52 |
| 7.1. Líneas de futuro | 52 |
| 8. Webgrafía | 54 |

Resumen

El proyecto trata sobre la creación de un entorno virtual en el que se van a producir animaciones y simulaciones 3D, haciendo uso del software de Houdini, y de la creación de una canción en Cakewalk que controle el funcionamiento de los efectos.

Una parte importante del proyecto se basa en mostrar la eficacia de producir dichas animaciones y simulaciones disponiendo del archivo original de la música, ya que con este archivo se podrían exportar diferentes pistas, instrumentos o sonidos de la propia canción producida.

Poder optar a obtener archivos separados por grupos de instrumentos o sonidos es una gran ventaja, porque posibilita gestionar el procesamiento del audio dentro de Houdini y su resultado estético final. Esto se debe a que en una canción, no todos los sonidos e instrumentos tienen la misma intensidad. Clasificarlos por grupos en función de su rango dinámico y aplicarlos en diferentes animaciones mediante un proceso de gestión del audio facilita que el resultado pueda ajustarse de manera mucho más precisa. Además, esta práctica mejora el resultado final, ya que se facilita la distinción de los diferentes instrumentos y sonidos de manera visual.

Finalmente, en este proyecto se propone crear un vídeo final de alta calidad como resultado de la ejecución de los efectos y la música en el que se va a enseñar el aspecto que podría tener un entorno virtual con elementos que reaccionan al audio.

Palabras clave

Simulación, animación 3D, Houdini, punto, primitiva, geometría, Redshift, *render*, audio, WAV, MIDI.

Enlaces

Vídeo final. *Audio Toys*:

<https://vimeo.com/747959467>

Vídeo del *making-of* de *Audio Toys*:

<https://vimeo.com/750132054>

Índice de tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Tabla que contiene el plan de contingencias. | 18 |
|---|----|

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1. Fotograma del corto "Touch of Colour" de Jakub Spacek | 12 |
| Figura 2. Fotogramas del corto Visual is Wonderful de Kutuko | 12 |
| Figura 3. Fotograma de un videoclip creado por VisualMusic para The Big Outdoor ... | 13 |
| Figura 4. Fotogramas de los vídeos de visualización musical con animaciones 3D | 14 |
| Figura 5. Fotogramas de los vídeos de visualización musical con motion graphics en 2D | 14 |
| Figura 6. Fotogramas del vídeo de instagram de Simon Russell..... | 15 |
| Figura 7. Ejemplo de clasificación del proyecto en el espacio de trabajo en Monday.com..... | 16 |
| Figura 8. Diagrama de Gantt hecho en Monday.com | 16 |
| Figura 9. Captura de los puntos en Houdini representando el archivo MIDI importado | 22 |
| Figura 10. Captura 1 de la pestaña de Motion FX View | 28 |
| Figura 11. Captura 2 de la pestaña de Motion FX View | 29 |
| Figura 12. Captura 3 de la pestaña de Motion FX View | 29 |
| Figura 13. Captura del viewport donde aparecen las notas del archivo MIDI..... | 31 |
| Figura 14. Captura de la pestaña de información del nodo de HMT MIDI Input..... | 31 |
| Figura 15. Captura de un fragmento del código del sistema de gestión de MIDI | 32 |
| Figura 16. Captura de los nodos de dentro del solver | 33 |
| Figura 17. Captura que muestra cómo se ha transferido el atributo spawn | 34 |
| Figura 18. Captura de diagrama de nodos de la dopnet..... | 34 |
| Figura 19. Captura del diagrama de nodos con la distribución en grupos | 38 |
| Figura 20. Captura que muestra los grupos creados a nivel de puntos y de primitivas | 39 |
| Figura 21. Captura que muestra el código y los nodos usados previos a la simulación | 40 |
| Figura 22. Captura del viewport donde se muestra el setup de la escena | 48 |

Glosario

Punto

Un punto en Houdini es una ubicación en el espacio, sin área asociada, dimensión o conectividad. En su forma más básica, un punto almacenará su posición.

Primitiva

En Houdini, las primitivas se refieren a una unidad dentro de la geometría, de nivel inferior a un objeto, pero por encima de los puntos. Coloquialmente y en otros software 3D, se las denominan caras o *faces*.

Animación 3D

La animación 3D hace referencia al proceso de creación de gráficos generados exclusivamente en un entorno tridimensional.

Simulación

La simulación 3D es el acto de imitar el funcionamiento o comportamiento de un sistema o grupo de sistemas del mundo físico mediante una modelo digital en tres dimensiones.

Redshift renderer

Redshift es el primer renderizador acelerado por GPU que salió al mercado. Salió como respuesta a una necesidad de la industria audiovisual de acelerar el proceso de producción de alta gama.

VST plugin

VST son las siglas de *Virtual Studio Technology*, que es una interfaz estándar desarrollada por Steinberg para conectar sintetizadores de audio y plugins de efectos sonoros a los software de producción musical.

1. Introducción

El mundo del 3D es un tema muy general y amplio que abarca un gran número de materias distintas. Sin embargo, las personas como espectadoras de dicho contenido 3D, conciben una imagen, un vídeo, un entorno, unos movimientos... o cualquier aspecto del que disponga el contenido analizado. Las características que definen los estímulos que se generan en un espectador al que se le muestra un contenido digital que representa una animación 3D son puramente visuales. De hecho, teniendo en cuenta las líneas marcadas por la industria y la cultura actual, dicho espectador sentirá que falta “algo” para que funcione el contenido en cuestión.

Este “algo” es el audio. Aunque en un principio pueda parecer que es un aspecto secundario en lo que audiovisualmente respecta, audio y vídeo se conciben como una unidad tal que, en el caso de coexistir, se retroalimentan y generan estímulos más grandes y complejos.

Esto sucede en cualquier pieza de vídeo que disponga de audio. Desde la producción más barata hasta las películas más exitosas del momento, tratan el aspecto visual y auditivo desde un punto de vista unificado. Por ejemplo, en el caso de la industria del cine, se componen bandas sonoras que hagan alusión al estilo general y la dinámica de una escena. Al lograrse captar la esencia del vídeo y plasmarla en una música acorde a este, se crea una ilusión que permite concebir tanto los estímulos visuales referentes a la escena que se está viendo, como los que genera la música que la acompaña de manera conjunta.

Este concepto de unificar los estímulos visuales con los auditivos, se emplea en muchos aspectos que abarcan varios departamentos del entretenimiento digital. El aspecto principal que se va a tratar en este proyecto es el que tiene que ver directamente con la música aplicada para generar gráficos animados en 3D.

Además, se producirá desde cero el material visual, que consistirá en animaciones 3D en Houdini, y el material auditivo, que será una canción que posteriormente se usará para generar dichas animaciones. Todo este proceso se producirá recalando la importancia y la eficacia de disponer de toda la información del audio para poder aplicarla en la generación y animación de los gráficos.

1.1. Motivación

En un principio, se pensó en enfocar el proyecto en la visualización de música de discotecas y ambientes de fiesta exclusivamente porque era la propuesta con la que se había planteado el proyecto.

Sin embargo, en el transcurso del proyecto se ha cambiado de dirección, pues este propósito era muy denso y requería un conocimiento técnico bastante avanzado. En nuevo enfoque es más realista en lo que propone y deja las puertas abiertas a desarrollar el proyecto mucho más y llevarlo a otros aspectos que en este proyecto no van a tratarse.

El hecho de haber planteado el proyecto partiendo de una premisa más sencilla, ha desembocado en poder plantear unos objetivos mejor definidos y realistas, ya que este es un proyecto individual.

Además, el hecho de generar animaciones y música propias marca como precedente que el contenido que se va a crear es original, lo cual hace que el proyecto alcance más aspectos a tratar.

1.2. Formulación del problema

A pesar de que la idea de crear visualizaciones o animaciones a partir de audio o música no es algo novedoso, no es del todo común encontrarse con contenido gráfico que reaccione automáticamente a la música o audio.

El tema que involucra tratar entornos 3D en relación con el sonido es algo que está en desarrollo y que se empezará a ver mucho más en los próximos años. Además, es algo relativamente novedoso el hecho de tratar la música directamente en programas de animación 3D. Teniendo esto en cuenta y viendo cuáles son las líneas de futuro con todo lo relacionado con entornos digitales y eventos musicales, es un hecho que en unos años la industria de la música en directo optará por el mundo de los entornos virtuales.

1.3. Objetivos generales

Los objetivos generales consisten en la creación de una pieza audiovisual que muestre un entorno digital en el que se muestren animaciones 3D cuyo funcionamiento se vea regido por la música.

En este proyecto se aspira a crear uno o varios sistemas de gestión del audio que permitan crear animaciones que reaccionen a un audio o música en función del formato del archivo que se vaya a utilizar.

Asimismo, se ha planteado como objetivo que los apartados visual y auditivo del vídeo producido sean de buena calidad.

1.4. Objetivos específicos

Los objetivos específicos consisten en:

- Crear un vídeo en el que se muestran animaciones 3D que reaccionan al audio haciendo uso de un sistema de gestión de audio previamente implementado.
- Producir una canción con la que se plantea mostrar la utilidad y las ventajas del uso de música propia en relación con la generación de las animaciones automáticas y de la que se dispone del archivo original en el formato del programa de producción musical utilizado.
- Idear una manera de poder visualizar las notas individuales de un archivo en formato MIDI.

- Mostrar la importancia de tener toda la información contenida en un mismo entorno digital.

1.5. Alcance del proyecto

Con este proyecto se pretende aportar un carácter visual a la música y mostrar la importancia del uso de vídeo en su reproducción en diferentes contenidos relacionados con videoclips, música previamente grabada y eventos con música pre grabada.

El proyecto va dirigido, en un principio, a los creadores de música que quieran aportar un valor visual a la música que produzcan, ya que el entorno que se va a crear gestiona un archivo de audio que funciona como input, de manera que genera animaciones a partir de archivos de audio que determina el propio usuario.

Además, como en este proyecto se pretende generar un render y no solo generar los efectos dentro de un escenario, va a producirse un vídeo que sirve como ejemplo del tipo de visualización que se podría llegar a conseguir generando animaciones automáticas a partir de audio o música.

2. Estado del arte

2.1. Houdini

Actualmente, Houdini es la principal herramienta de creación de efectos visuales y simulaciones en las producciones cinematográficas, las películas y series de animación, la publicidad y los videojuegos.

En este proyecto, el uso que se le va a dar a Houdini se centrará en la creación de un entorno digital en el que se van a colocar diferentes animaciones y simulaciones que reaccionan al audio.

Dado que en este proyecto se va a hacer un trabajo de animación 3D en conjunto con la gestión de audio, el estudio del estado del arte se centrará, por una parte, en la animación y cómo puede usarse de manera eficaz en una visualización musical.

2.2. Estudio del mercado

2.2.1. Proyectos de animación y referentes

Touch of Colour es un corto producido por Jakub Spacek, un artista de efectos visuales. El vídeo fue presentado en mayo de 2022 y en los canales de YouTube y de Vimeo pueden verse tanto la presentación como el corto en sí.

El vídeo se utilizó como secuencia de introducción al Houdini CONNECT. En este corto se indaga en algunos aspectos de las simulaciones de fluidos desde un punto de vista abstracto.

Cabe destacar que la calidad visual del vídeo es excelente y que las dinámicas de los fluidos parecen realistas a pesar de tratarse de un efecto visual abstracto. Además, la música del vídeo tiene un estilo marcado por el carácter del corto en sí, de tal manera que el audio está totalmente integrado en el vídeo.

Aunque este audiovisual no tenga nada que ver con el tema principal tratado en este proyecto, el apartado visual de este corto es una muy buena referencia del tipo de refinamiento estético que se aspira a conseguir.

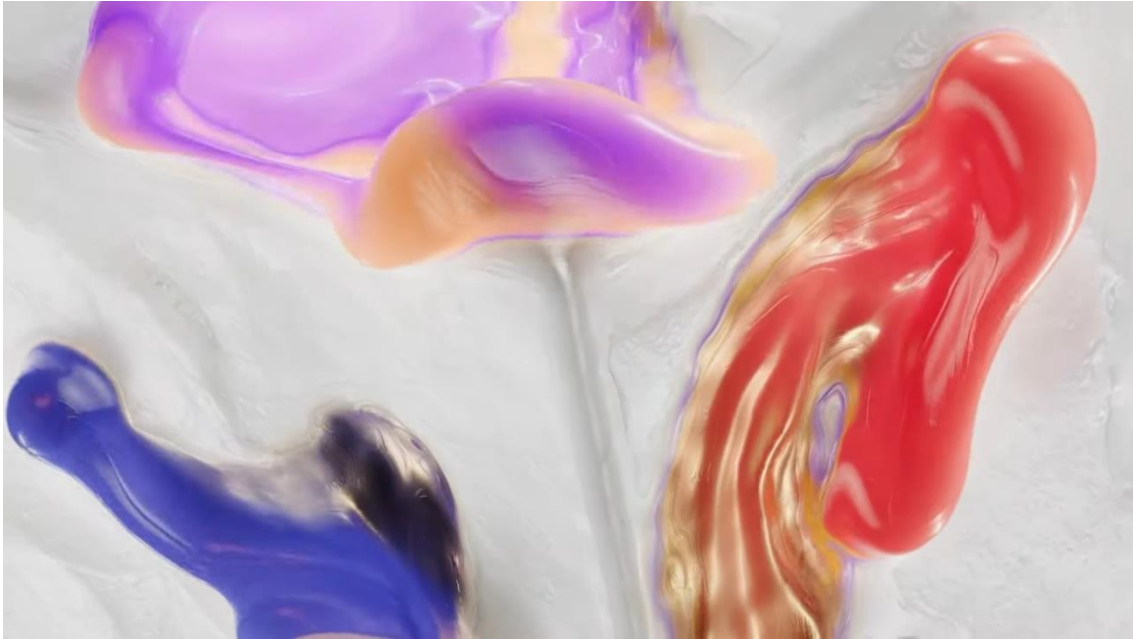


Figura 1. Fotograma del corto "Touch of Colour" de Jakub Spacek

Kutuko es una empresa española de VFX y motion graphics que suele trabajar en anuncios para otras compañías.

En uno de los posts de que hay su página oficial se comenta la importancia del diseño de audio en la producción de piezas audiovisuales. También, se comenta que antes de iniciar el proceso de diseño del contenido visual, se plantea la dinámica de cada plano y su atmósfera, de manera que queden marcadas por la música.

En uno de sus audiovisuales, *Visual is wonderful*, se puede ver cómo las dinámicas que siguen los efectos presentados están totalmente regidas por la música. De hecho, es en este corto que se utilizan diferentes tipos de efectos partiendo de una misma idea principal. De este concepto se ha sacado la idea de realizar varios tipos de simulaciones y animaciones en una misma escena en la que se distingan diferentes elementos controlados por un audio.

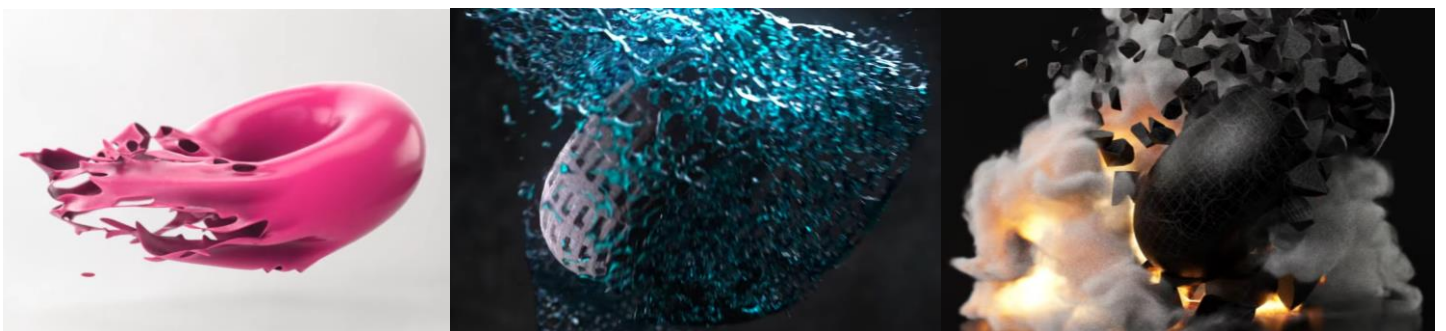


Figura 2. Fotogramas del corto *Visual is Wonderful* de Kutuko

2.2.1.1. Animaciones para visualización musical

VisualMusic es un proyecto que tiene como objetivo crear un gran estudio de animaciones 3D que sean asequibles para las PYME de la industria de la música creativa.

De hecho, en la web oficial de VisualMusic, comentan que ha surgido como respuesta a la necesidad identificada de mejorar la experiencia de la audiencia en salas de conciertos o sesiones de música, tal y como se ha propuesto en este proyecto.

Existe el problema de que la producción de estos gráficos en estos casos son costosos y requieren de mucho tiempo y planificación, por lo que, un principio, las pequeñas empresas no tendrían fácil acceso a este tipo de servicios. Por eso, VisualMusic se centra en que este material sea asequible para eventos más pequeños.

La tecnología que proporciona VisualMusic se encargaría de aumentar la competitividad de las empresas más pequeñas y estimularía la innovación este tipo de contenido a un mercado más amplio.



Figura 3. Fotograma de un videoclip creado por VisualMusic para The Big Outdoor

2.2.1.2. Visualizaciones generadas a partir de audio

El usuario Rok Knehtl tiene en su canal de YouTube tres videos en los que se muestran animaciones con motion graphics que están manejados automáticamente por la música del propio vídeo.

Estos tres vídeos han sido realizados en Blender, un software de 3D que recientemente ha ganado mucha popularidad gracias a su versatilidad en muchos aspectos del mundo del CGI y los motion graphics.

En los vídeos de *Music / Sound Frequency Visualization* y *SellSword feat. Milan. audio visualization*, que se muestran en la figura 4, el artista ha usado gráficos en 2D, que es

la forma “clásica” que tienen este tipo de visualizaciones. Sin embargo, tiene un tercer vídeo de visualización musical en el que han generado gráficos 3D.

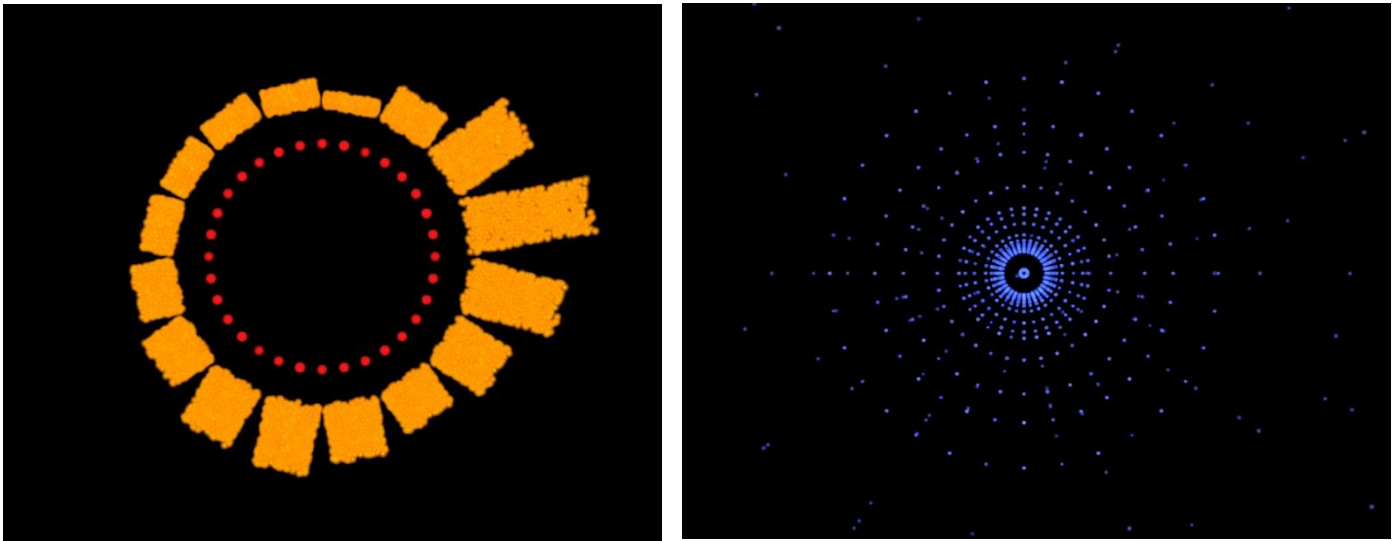


Figura 5. Fotogramas de los vídeos de visualización musical con motion graphics en 2D

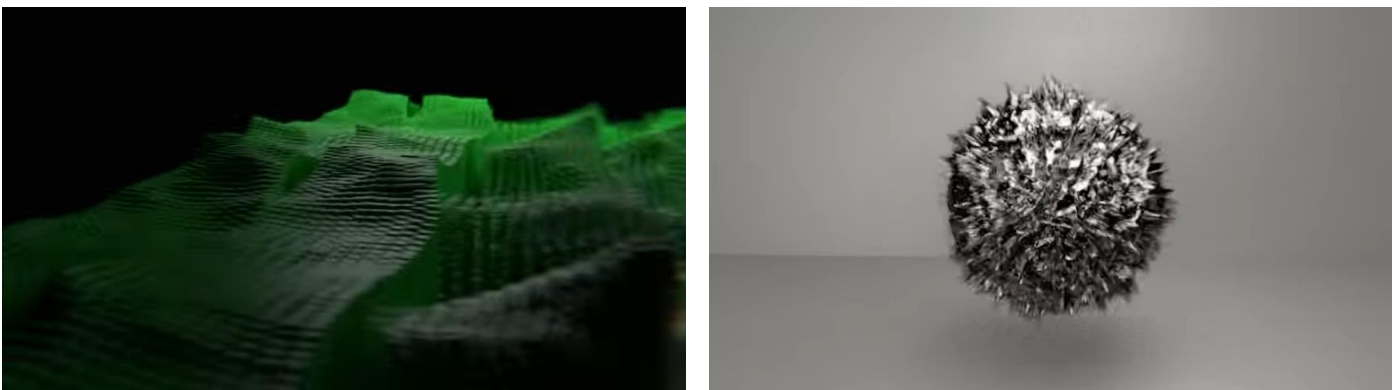


Figura 4. Fotogramas de los vídeos de visualización musical con animaciones 3D

En este vídeo, que se titula *3d Music Visualization animation – Motion Graphics*, se muestran dos escenarios que van alternándose. En el primer escenario, como se puede ver en la figura 5, hay diferentes piezas divididas en varios polígonos a las cuales se les ha aplicado una extrusión en función de la amplitud (o volumen) y la frecuencia del audio. Lo que se ha hecho en la geometría total, es decir, la que engloba todas las piezas, es repartir la frecuencia del audio que se ha usado como *input* en las diferentes divisiones de cada pieza. De esta manera ha conseguido que la extrusión que se produce en cada división de alguna pieza dependa también de la frecuencia asociada a dicha pieza.

En el segundo escenario, que se muestra en la figura 5, hay una esfera que en función de la frecuencia del audio se le aplica un ruido 3D a la misma geometría de la esfera.

Lo que ha creado este artista en estas dos escenas se parece a lo que se había propuesto en este trabajo de visualización musical y no solo por el hecho de usar gráficos en 3D, sino también en el planteamiento de los efectos ejecutados en ambas escenas.

Una parte del este proyecto consiste en crear un sistema de visualización de archivos de audio en formato MIDI. En Instagram, el usuario simunfarussell tiene una publicación en la que se muestra un vídeo que contiene motion graphics controlados por audio en MIDI. En el vídeo, se ve cómo se instancian los gráficos al sonar las notas de un piano.

Aunque en el post el usuario no ha explicado nada acerca del proceso de producción del vídeo, este ha servido de inspiración con relación al uso del sistema de visualización de MIDI que se va a crear.

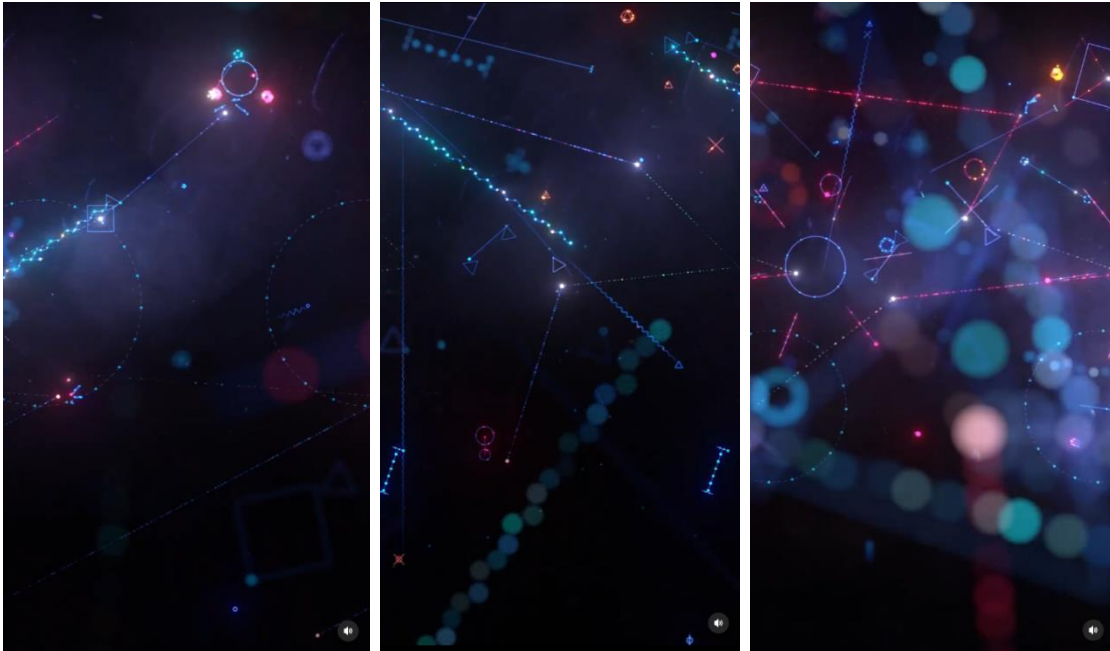


Figura 6. Fotogramas del vídeo de instagram de Simon Russell

3. Gestión del proyecto

3.1. Procedimiento y herramientas para el seguimiento del proyecto

▼ Memoria

| Elemento | Propietario | Estado | Prioridad | Cronograma | Costo |
|-------------------------|-------------|----------------|-----------|-------------------|-----------|
| Introducción | | A continuación | Mediano | sep. 1 - 14 | |
| Estado del arte | | Listo | Alta | jul. 1 - 22 | |
| Gestión del proyecto | | Listo | Mediano | jul. 1 - 22 | |
| Metodología | | Listo | Alta | jul. 23 - ago. 14 | |
| Desarrollo del proyecto | | A continuación | Alta | ago. 15 - sep. 14 | |
| + Agregar Elemento | | | | | |
| | | | | | \$0 Total |

▼ Producción y Posproducción

| Elemento | Propietario | Estado | Prioridad | Cronograma | Costo |
|----------------------------|-------------|--------------------|-----------|-------------------|--------------|
| Planificación efectos | | Listo | Mediano | jun. 20 - 27 | \$0 |
| Creación de efectos | | Trabajando en ello | Alta | jun. 28 - ago. 14 | \$500 |
| Creación de música | | Listo | Alta | ago. 3 - 10 | \$250 |
| Revisar y corregir efectos | | A continuación | Mediano | ago. 15 - 31 | \$500 |
| Render y pospo | | A continuación | Alta | sep. 1 - 13 | \$500 |
| + Agregar Elemento | | | | | |
| | | | | | \$1750 Total |

Figura 7. Ejemplo de clasificación del proyecto en el espacio de trabajo en Monday.com

En la web de Monday.com se ha creado un espacio de trabajo específico para este proyecto. Luego, se han clasificado las categorías principales del proyecto y se han definido sus subcategorías.

Como se observa en la figura 7, se han distribuido las distintas tareas en función de su tipo. Los apartados generales se clasifican en entregas, memoria, producción y revisión de resultados.

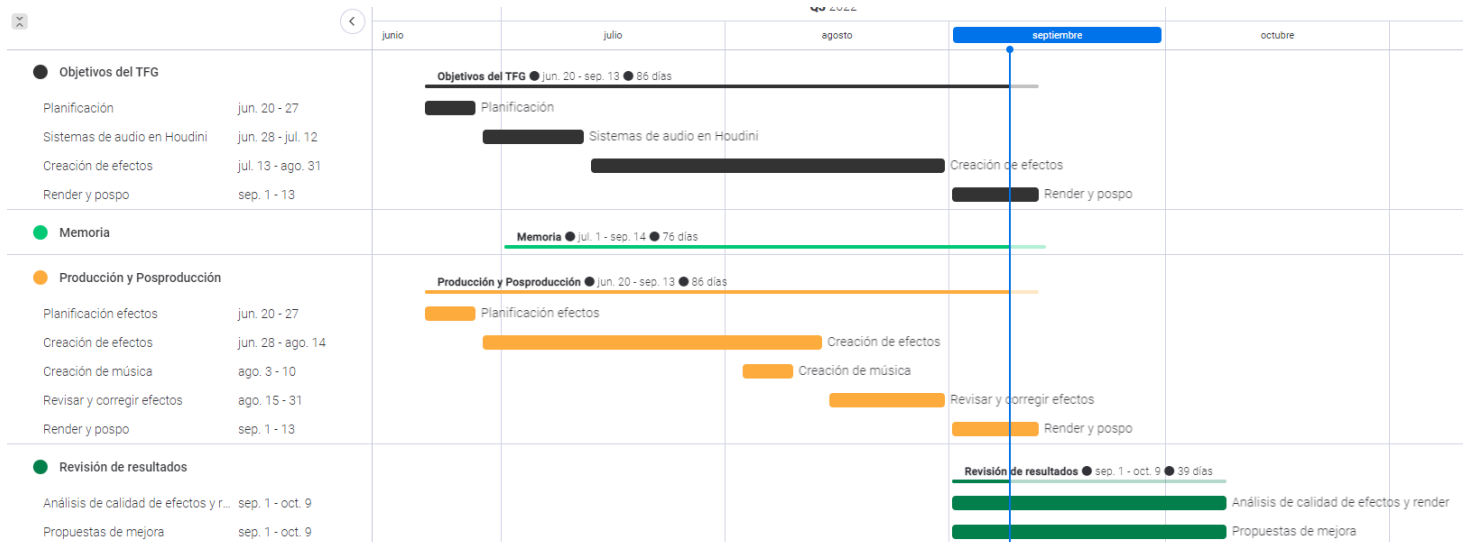


Figura 8. Diagrama de Gantt hecho en Monday.com

Además, esta herramienta de gestión de proyectos permite añadir columnas que ayudan en la gestión y organización de los proyectos. Las que se usarán en este trabajo son las que se ven en la figura 8, aunque las más útiles son la del estado, la de prioridad y la del cronograma. En la figura 8 se muestra el diagrama de Gantt que la

herramienta de Monday.com genera automáticamente después de haber introducido los datos de las fechas en la columna de cronograma de cada una de las tareas.

3.2. Herramientas de validación

Para validar el progreso de este proyecto se realizarán por separado los efectos que se podrían introducir en la pieza final renderizada.

Estos efectos se enseñarán a un total de tres personas jóvenes con diferentes perfiles académicos o profesionales con la finalidad de obtener una visión relativamente objetiva de la calidad de los efectos producidos.

A estas personas se les harán unas preguntas relacionadas con la estética de los efectos producidos. Este contenido será mostrado directamente desde Houdini y se pretenderá obtener información acerca de la calidad de cada efecto en sí, de cuáles son los más estéticos y cuáles habría que mejorar.

Adicionalmente, esta validación servirá para descartar los efectos que tengan en general las peores opiniones y optimizar los que según los entrevistados tengan un aspecto más vistoso.

Las preguntas que harán para cada uno de los efectos son:

- *¿Te produce una sensación agradable ver este efecto junto con la música?*
- *¿De qué manera crees que cumple este efecto con la estética general del vídeo?*
- *¿Te da la sensación de que este efecto está reaccionando al audio que estás oyendo?*

Al terminar las preguntas de los efectos individuales, se hará una última pregunta.

- *¿Cuál de estos efectos te ha parecido el más estético? ¿Y cuál ha sido el que menos?*

3.3. DAFO

Debilidades:

- **La falta de conocimiento previo.** A pesar de saber a utilizar los elementos básicos de Houdini y tener unas referencias adecuadas, la parte práctica del proyecto no es trivial y pueden surgir imprevistos y errores que ralenticen el proceso de trabajo.
- **El tiempo en el que se ha planeado renderizar es próximo al día de la entrega final.** A pesar de que se haya planeado dejar el suficiente tiempo para renderizar, podrían surgir inconvenientes que podrían hacer resultar en no tener suficiente tiempo para acabar la pieza principal.

Fortalezas:

- **Es un proyecto de interés general.** El tema escogido está presente en la vida cotidiana de muchas personas, especialmente de la gente joven. Esto hace que el asunto principal del proyecto llame la atención de gente que no vive ni de la música ni de la animación y los VFX.
- **Temática relativamente novedosa.** A pesar de que no es algo nuevo el hecho de crear animaciones controladas automáticamente por audio, es cierto que su introducción en eventos con música está aún en proceso.
- **Herramientas y sistemas novedosos.** El vídeo que se producirá contendrá efectos que estarán controlados tanto por archivos de audio procesado (en formato WAV) como por archivos en formato MIDI.
- **El proyecto es útil y eficiente.** Las animaciones y simulaciones producidas sirven para más canciones siempre que se corrijan bien los inputs tanto de audio como MIDI.
- **Las referencias analizadas.** El mundo del audiovisual es cada vez más grande y en consecuencia hay mucho contenido del que nutrirse. Además, se han encontrado proyectos y piezas de arte que de alguna manera han servido de referente en algún ámbito del proceso creativo del proyecto, incluso cuando el objetivo del referente difería del de este proyecto.

Otros puntos de interés:

- **No tiene ningún coste ni repercusión económicos.** Al tratarse de un trabajo de final de grado, no hace falta gastar dinero y no tiene ninguna repercusión económica el posible hecho de que el proyecto no tenga éxito.

3.4. Riesgos y plan de contingencias

Teniendo en cuenta los riesgos comentados en el DAFO, se ha planteado el siguiente plan de contingencias.

| Riesgo | Solución |
|---|---|
| Falta de conocimiento previo | Se dedicará tiempo extra en el estudio y la práctica con Houdini |
| Falta de tiempo para renderizar o tener que repetir el render | Se renderizarán las partes más importantes y estéticas del vídeo |
| Errores puntuales en los renders finales | Se corregirán en posproducción haciendo uso de After Effects y Premiere |

Tabla 1. Tabla que contiene el plan de contingencias.

3.5. Análisis de costes

La web de glassdoor.es es una página de búsqueda de empleo. Esta, además, tiene una herramienta de comparación de sueldos que se basa en muchos informes recientes de salarios para generar estadísticas con los resultados que se muestran en la misma página.

Lo que se encuentra en glassdoor.es es que el sueldo promedio de un artista de VFX es de 27.500 € al año. Evidentemente, para llegar a esta cantidad se tienen en cuenta todos los rangos que hay dentro del departamento de efectos visuales y se hace una media.

Teniendo en cuenta que el nivel del que se dispone durante el transcurso del proyecto no es el de un profesional o alguien con un mínimo de experiencia laboral, se ha concretado que el sueldo mensual rondaría los 1750 €. Se ha llegado a esta cifra buscando sueldos de artistas de VFX y animadores que han entrado recientemente en la industria.

Sin embargo, estos sueldos serían los que cobraría un artista de efectos que trabajase cuarenta horas semanales. Como no es el caso en este proyecto, se ha tenido que calcular el sueldo por hora y calcular luego las horas y el salario totales del trabajo.

Teniendo en cuenta el salario mensual anterior, se ha obtenido un precio por hora de 11 €. Luego, sabiendo que este proyecto es un trabajo de 12 créditos, este proyecto requeriría aproximadamente unas 300 horas. Teniendo estos datos, se calcula que el precio total del proyecto rondaría los 3.300 €.

4. Información previa para la producción

4.1. Música visual

La música visual es el uso de estructuras musicales en medios visuales de cualquier tipo. De hecho, también se reconocen como música visual los métodos y dispositivos que pueden reproducir el sonido o la música en representaciones visuales relacionadas.

Esto mismo es el tema principal del proyecto, ya que en este se plantea una aplicación de la música visual para espacios y eventos con música pre grabada y para vídeos en los que se quiere ofrecer un apartado visual partiendo de una música ya producida.

4.2. Efectos que reaccionan al audio

Para este proyecto se han definido dos tipos de música visual en función del orden de importancia en la producción y la finalidad del material o producto.

El primero, que es el tipo de música visual más común, es el que dispone de una música o audio a partir del cual, tomándolo como referencia y analizando sus dinámicas, se han creado unos visuales. Estos visuales se han generado basándose en la música, pero se han creado y animado de forma manual y siguiendo un proceso de producción típico de una animación. Un ejemplo de esto sería el videoclip de *Do I Wanna Know?*, de los Artic Monkeys.

El segundo, consiste en la música visual que contiene visuales generados y animados a partir del propio audio que formará parte de la pieza audiovisual. Este es el caso de este proyecto y muestra unas ventajas en cuanto a eficiencia en términos de producción con relación a los demás tipos de música visual. Un ejemplo de esto sería el vídeo de YouTube de *3d Music Visualization animation – Motion Graphics* del usuario Rok Knehtl, que es una de las referencias comentadas en el apartado del estado de arte.

4.3. Archivo de audio y los formatos utilizados

Un archivo de audio es lo que se conoce como un contenedor multimedia que guarda una grabación de audio. Desde la creación de este tipo de archivo, se han diseñado varias maneras de guardar y procesar la información en ellos. Es en esta diferencia de la forma de guardar y gestionar la información que nace el concepto de formato. Los formatos se clasifican en función de la compresión del audio. Estos son:

Formatos de audio sin comprimir. Son formatos flexibles y creados para almacenar varias combinaciones de frecuencia y diferentes tasas de bits. Su uso es adecuado para almacenar grabaciones originales.

Formatos de audio comprimido sin pérdida. Estos requieren más tiempo de procesamiento que los formatos sin comprimir, pero ocupan menos espacio, lo cual los hace más eficientes en términos de almacenaje. Lo que se procura con estos formatos es mantener al máximo la calidad del audio después de la compresión. La reducción de

peso de un archivo sin comprimir a uno comprimido sin pérdidas se produce en las partes de silencio del archivo, ya que en un archivo sin comprimir, el silencio ocupa lo mismo que el resto de partes con sonido, lo cual no sucede con los formatos comprimidos.

Formatos de audio comprimido con pérdida. Estos comprimen los datos descartando partes de ellos. Esto sucede porque se pretende minimizar la cantidad de datos que no son audibles al oído humano, de manera que no pierden tanta calidad.

4.3.1. Archivo en formato WAV

El formato WAV es un formato de audio que puede ser con compresión sin pérdidas o sin compresión. La utilidad de este formato en este proyecto reside en poder trabajar con audios con la mayor calidad posible, tanto en la gestión de la información del audio dentro de Houdini como en la presentación de las piezas creadas.

4.3.2. Archivo en formato MIDI

El formato MIDI describe un protocolo, una interfaz digital y conectores que permiten que diferentes instrumentos musicales, ordenadores y demás dispositivos se comuniquen entre sí. Este tipo de formato guarda el audio de manera que dentro de él quedan grabadas las notas, pistas e instrumentos utilizados, de manera que, con un software que permita importar archivos MIDI, se puede acceder a toda la información que se tenía antes de guardarla, como si se tratase el archivo original.

4.4. Houdini Music Toolset (HMT)

El plugin Houdini Music Tool es un paquete de herramientas gratis para la creación de música directamente en Houdini. El creador de este plugin, Andrew Lowell, explica en la página de GitHub del plugin cómo se ha creado de manera muy resumida y enseña a utilizarlo en unos tutoriales cortos clasificados por temas.

En este proyecto, el Houdini Music Tool va a utilizarse en la visualización de música a través de un archivo MIDI. A pesar de que las opciones de importar que permiten este plugin son un poco limitadas con relación a archivos MIDI que no han sido creados en Houdini y exportados haciendo uso del HMT, sí que guarda alguna información muy útil y que es la esencial para poder producir una visualización.

Esta información es, por un lado, el nombre de las notas (dentro de la escala musical) y el tiempo en el que suena la nota individualmente dentro de la canción. Gracias a que esta información se importa desde cualquier programa de creación musical (en el caso de este proyecto, Cakewalk) directamente a Houdini, haciendo uso del HMT, se pueden generar animaciones y efectos a partir de archivos MIDI. En la figura 9 se puede ver la manera en la que se muestra la información de manera visual en Houdini. Cada punto que aparece en la imagen es una nota guardada del archivo MIDI. La figura 9, aparte, muestra las notas de toda la canción importada.

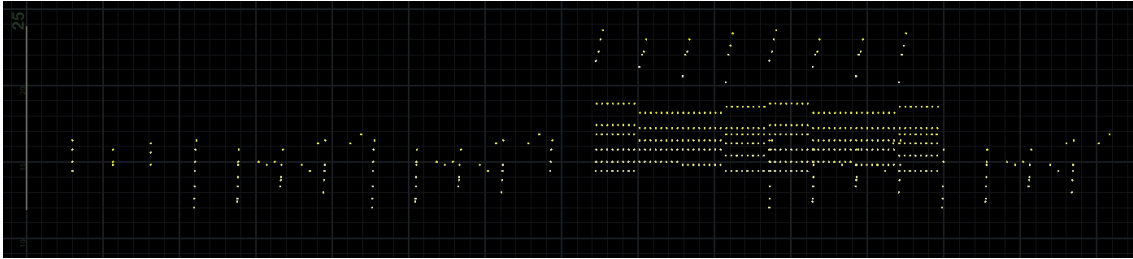


Figura 9. Captura de los puntos en Houdini representando el archivo MIDI importado

4.4.1. Problemas de pérdida de información en la importación de MIDI a Houdini

Como se ha explicado, no toda la información MIDI se procesa al importar archivos que han sido creados fuera de Houdini. Por ejemplo, el número de la pista o canal, la duración de cada nota o la velocidad de cada nota son parámetros que se pierden al importar un archivo MIDI que ha sido producido en Cakewalk. Esta información no se perdería en el proceso de importación si el archivo se hubiese generado y exportado en Houdini utilizando el HMT.

Este hecho complica y hace menos eficiente el proceso de exportación e importación, ya que si no se guarda el número del canal de cada pista en el formato MIDI, se tiene que guardar cada pista de manera individual, teniendo que importar posteriormente cada archivo MIDI que contiene cada pista.

5. Metodología

El primer paso que se ha dado ha sido plantear el tema principal que se va a tratar y definir los objetivos finales. En un principio, empezó con una idea clara de su finalidad y cómo debían afrontarse los retos tanto técnicos como artísticos que se habían planteado, pero con el paso del tiempo, y después de pasar por otro proceso de planteamiento, se decidió retocar el objetivo principal del proyecto.

El objetivo que se había pensado en un principio consistía en crear varias piezas en las que se enseñase un efecto que reaccionaba al audio. Aparte, se había planteado utilizar música producida por otros artistas que se había encontrado en algunas páginas de venta de música.

La diferencia con respecto al objetivo anterior, es que nuevo era más consistente, ya que se trataba de producir una sola pieza audiovisual de alta calidad que contuviese varios efectos que reaccionasen al audio, de manera que pudiese apreciarse un entorno virtual que en conjunto reaccionaba a la música. Adicionalmente, se propuso que la música de la pieza fuese propia y creada específicamente para este proyecto. Todo esto no solo hacía que el proyecto tuviese más personalidad, sino que además hacía que tuviese una carga motivacional que acabó desembocando en una agilización de todo el proceso de producción.

5.1. Preproducción

5.1.1. Planificación de los efectos

Partiendo de la segunda planificación que se ha comentado anteriormente, se empezará con un *brainstorming* de efectos que puedan reaccionar al audio. Como se dispone algo más de experiencia, ya que se han llevado a cabo algunas pruebas en Houdini, se tendrá en cuenta la facilidad y las complicaciones de los efectos escogidos.

Los efectos que pasen la primera selección son los que se crearán y testearán en las próximas fases del proyecto. Estos efectos son: esferas con extrusiones en sus caras, esferas de líquido, suelos y paredes con extrusiones en sus caras, vasos con líquidos, dispensadores de partículas, dispensadores de líquidos, lámparas de partículas con emisivas y fluidos abstractos.

En resumen, los efectos mencionados tienen como principio ser de tipos diferentes y, en la selección final, se escogerá únicamente un efecto con líquido, otro con extrusiones y otro con partículas. Es decir, que se evitará seleccionar dos efectos del mismo tipo.

5.1.2. Planificación de la música

Después de la planificación de los efectos, se deberá pensar en qué tipo de música se creará para ejecutar la visualización. Se ha concluido que el género de la canción que de vaya a producir debería ser conocido y popular entre la gente joven. También, se tendrán en cuenta los propios conocimientos tanto de teoría musical como de producción digital de música, ya que se busca producir una canción que, aunque pueda

ser sencilla, tenga un nivel de calidad que esté a la altura del aspecto visual de la pieza audiovisual final. Además, se ha concretado que la duración de tanto la canción como del vídeo final debería ser de entre un minuto y un minuto y medio.

5.1.3. Planificación de la pieza final

La pieza final consistirá en un vídeo en el que se muestran los diferentes efectos que reaccionan al sonido de la canción producida. Los aspectos más importantes a tratar serán los materiales de los efectos, la iluminación de la escena, los planos y movimientos de la cámara y los tiempos de cada plano.

Se ha pensado que la iluminación del escenario podría estar presente en los mismos elementos que aparecen en la escena, por ejemplo, que las fuentes de luz se tratasen de objetos de vidrio con luces en su interior y que, tanto el fondo como el suelo, no se perciban de manera que se cree una atmósfera de cercanía o intimidad.

En cuanto a la estética de los elementos que reaccionan al audio, se han descrito como juguetes que se comportan de manera abstracta. Esto aportaría una imagen interesante que incitaría al espectador a identificar qué hacen los elementos de la escena.

Adicionalmente, se ha concretado que los planos y los tiempos de cambio entre ellos estarían definidos por la música, ya que en función de esta habrá efectos que estén funcionando y otros que no, dependiendo de si los instrumentos y sonidos vinculados a una determinada geometría están reproduciéndose en la canción.

Para el render final de la pieza, se usará Redshift, que es un renderer 3D que hace uso de la GPU para generar las imágenes. La pieza entera será renderizada en el CITM haciendo uso del equipo nuevo de específico para render. Gracias al uso de Redshift y de este equipo, se ve posible la creación de esta pieza en el tiempo previsto.

5.2. Producción

El proceso de producción abarcará tanto la creación de los efectos en Houdini como la producción de la música en Cakewalk.

5.2.1. Sistemas de procesamiento de archivos de audio

Archivos WAV (con información en frecuencia)

Se creará un sistema que permita extraer la información del audio que se use como input. Se pretende que el sistema sea procedural y que actúe automáticamente sobre la geometría que se vaya a utilizar.

Además, se aspira a que este sistema detecte la frecuencia y la amplitud (o volumen) del sonido de manera que guarde unos valores que luego serán aplicados en forma de atributo en la geometría.

Archivos MIDI

De la misma manera que con los archivos en el formato anterior, que creará un sistema para visualizar audio en formato MIDI. La finalidad de la información que se obtenga de procesamiento de MIDI se usará para generar instancias de partículas y geometrías que aparezcan a la vez que suenan las notas individualmente.

La diferencia que muestra este sistema con respecto al anterior es que con este se puede saber cuándo suena una nota específica y también, que en el sistema anterior, al analizarse frecuencias en vez de notas en MIDI, se obtiene información de un sonido a lo largo del tiempo, a diferencia del sistema del procesamiento de MIDI.

5.2.2. Efectos que reaccionan al audio

Después de haber terminado proceso de planificación de los efectos, se crearán una o varias escenas en Houdini dónde se empezará el proceso de producción de los efectos.

Dado que no se sabe con detalle el resultado que se va a obtener, se pretende realizar los efectos mencionados en el apartado de preproducción y se realizarán algunas pruebas de validación para seleccionar los que tengan mejor aspecto.

Efectos con extrusiones

Se ha pensado en las geometrías de un plano y una esfera. Primero se definirá la resolución adecuada a la geometría que se va a tratar. Luego, se transferirá la información del audio en formato WAV a la geometría en forma de atributo haciendo uso de CHOP, que es el contexto en el que se trabaja el audio dentro de Houdini.

Finalmente, se emplearía un nodo de extrusión que permita generar extrusiones en la geometría en función de la información almacenada en el atributo previamente creado.

Efectos con líquidos

Se ha pensado en crear efectos en líquidos contenidos en un vaso, en una esfera líquida y en un dispensador de líquido. En estos efectos se propone que la información del audio se utilice para definir la velocidad y la dirección de las partículas que forman el líquido.

En el caso del efecto del vaso con líquido, se creará un vaso como geometría de colisión y se definirá un volumen que hará de fuente de emisión del líquido. Dentro del líquido, se añadirán varios puntos individuales a los que se les aplicará la información del audio en formato WAV procesado. Esta información pasará al líquido como tal para definir la una velocidad en el eje vertical en las zonas donde el líquido coincida con los puntos creados anteriormente, de manera que el líquido salga propulsado hacia arriba a una velocidad relativa al atributo o valor de audio que tenga el punto.

Luego, en el caso de la esfera líquida, se añadirá una esfera a la que se transferirá la información de audio en formato WAV directamente. Se modificará su geometría de manera que se deforme hacia afuera en relación con el atributo o valor de audio que

tenga cada punto de la geometría de la esfera en sí. A partir de esta geometría, se creará un volumen y se usará como fuente de emisión del líquido.

El último efecto con líquidos consiste en un dispensador de líquido. Para realizar este efecto se creará un cilindro, se definirá su número de filas y columnas y se añadirán puntos a las caras de la geometría que conforma el cilindro. A estos puntos se les transferirá la información de audio en formato WAV, de manera que emitan el líquido a una velocidad determinada por la amplitud o volumen de audio y con relación a la frecuencia.

Efectos con partículas

Igual que con los efectos de líquidos, con los efectos de partículas se pretende que el volumen del audio defina la velocidad de emisión de las partículas.

Por ejemplo, el primer efecto que se pretende crear con partículas consiste en un dispensador de partículas que tiene el mismo funcionamiento que el dispensador de líquido mencionado anteriormente, con la diferencia que las partículas flotarán hacia arriba en vez de caer hacia el suelo.

Finalmente, se ha pensado que para el efecto de la lámpara de partículas se podría usar el sistema de procesamiento de MIDI, ya que lo que se pretende hacer es que se instancien partículas en el momento que suenan las notas exactamente. Estas lámparas tendrán una cúpula de cristal y dentro aparecerían las partículas con luces emisivas.

5.2.3. Música

El género de la canción que se va a producir para la pieza audiovisual pertenece al *lo-fi*. Este es un estilo que se popularizó en los 90 y que tiene como premisa enfocar la producción en el uso de medios anticuados o de baja fidelidad (de ahí el nombre, que es una abreviación de *low fidelity* que se convirtió finalmente en lo-fi). Sin embargo, este género ha evolucionado bastante desde sus inicios y no siempre se ha enfocado de esta manera.

Se ha seleccionado este género musical porque suele estar asociado con el minimalismo y cuenta con un sonido poco cargado y con silencios. Esto facilita el proceso de producción, ya que permite producir una pieza de mejor calidad y al contar con menos instrumentos sonando a la vez, se favorece la visualización de la propia música porque de esta manera se verían mejor qué instrumentos o sonidos están vinculados a las diferentes geometrías dentro de la pieza final.

5.3. Posproducción

Este apartado comprende desde la creación de la iluminación y los materiales dentro de Houdini hasta el montaje del vídeo final con After Effects y Premiere del pack de Adobe.

Ya que se pretende utilizar Redshift para renderizar, se tienen que añadir materiales, luces y cámaras propias de Redshift en la escena de Houdini. Es por esta razón que la creación de luces y materiales se ha introducido en este apartado.

Como se ha comentado anteriormente, se pretende que la iluminación esté presente en algunos elementos dentro de la escena. Para esto se usarán objetos con materiales que refracten la luz y se colocarán luces en su interior.

En cuanto al render de las imágenes, como se aspira a tener un resultado visual de calidad, se ha concretado que la resolución de estas será de 1920x1080 píxeles. Además, estas se guardarán en formato EXR y se montarán posteriormente usando secuencias de imágenes en el proceso de montaje.

En After Effects, se importarán las imágenes y se retocarán los errores puntuales detectados, siempre que se disponga del conocimiento técnico como para poder aplicar dichas correcciones, y se hará una pequeña corrección de color.

Luego, haciendo uso también de After Effects, se crearán unos créditos usando motion graphics y se importará todo en Adobe Premiere, donde se montará el vídeo de la pieza en conjunto con el audio, se realizará cualquier corrección de audio que pueda surgir y se añadirán los créditos al final.

6. Desarrollo del proyecto

6.1. Sistema de procesamiento del audio en formato WAV

La implementación de este sistema se ha basado en tres otros sistemas vistos en YouTube que buscaban el mismo resultado o uno parecido al que se aspiraba a obtener en este proyecto. Toda la información valiosa recogida en estos vídeos se ha usado en el proceso de creación de este sistema y se ha adaptado y corregido para así conseguir un resultado más adecuado en relación con la estética planificada para los efectos y el vídeo final.

La gestión del audio en Houdini se realiza en el contexto CHOP. Hay varias herramientas y nodos dentro de CHOP que permiten gestionar y manipular la información de frecuencia y amplitud de una señal de audio.

Primero, en dentro de un nodo de geometría creado en el contexto OBJ, se crea una *chopnet* y dentro de esta se crea un nodo de *file*, que es el que se va a usar para importar el archivo de audio en formato WAV.

Al importar un archivo de audio usando este método, se crean dos canales de audio si el sonido es estéreo. Uno de estos canales, cualquiera, debe eliminarse para ahorrarse información redundante.

Lo que se obtiene en este punto es un espectro como el que se puede ver en la siguiente figura.

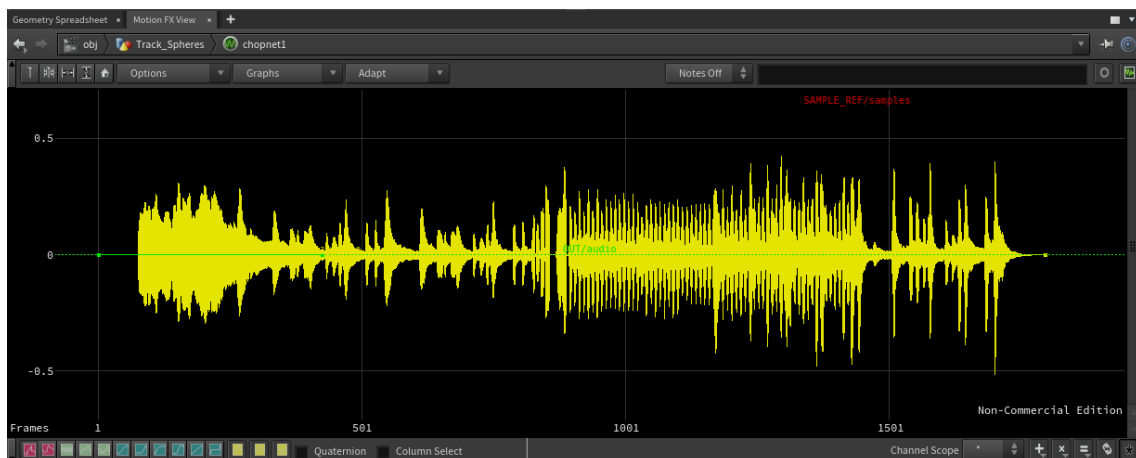


Figura 10. Captura 1 de la pestaña de Motion FX View

Este espectro puede verse en la pestaña de *Motion FX View*. Es en esta misma pestaña donde se pueden visualizar los cambios que se producen en el espectro al modificar algunos parámetros de la señal.

El siguiente paso consiste en conseguir que se procese una región pequeña del espectro y que esta porción del audio que se analice vaya avanzando en la medida que avance la canción.

Para conseguir que avance la canción se ha usado el nodo *shift* y se ha añadido la expresión $\$T$ en la opción de *Start* del nodo. $\$T$ es una expresión que hace referencia al

tiempo de la *timeline* de Houdini. De esta manera se consigue que el inicio a partir del que se va a empezar a analizar el espectro avance con el tiempo de la escena. Para definir este trozo o región de audio que se va a analizar, se ha usado el nodo *trim*, que sirve para recortar la región a analizar. En la figura 11 se muestra el espectro obtenido de la región que se ha seleccionado.

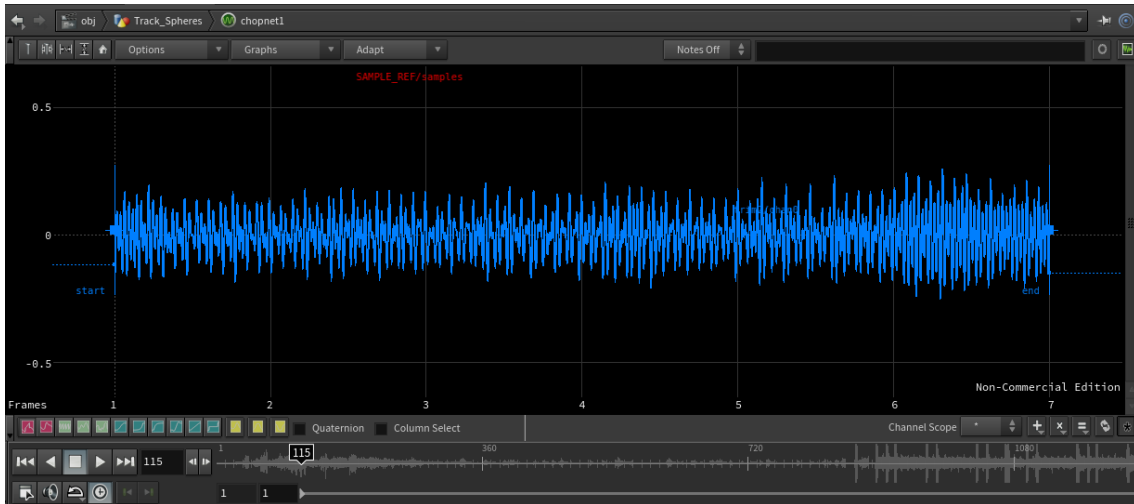


Figura 11. Captura 2 de la pestaña de Motion FX View

El siguiente paso ha sido distribuir las frecuencias que llegan desde la derecha del panel de Motion FX View. Para esto se ha usado el nodo *spectrum*, que permite analizar una señal y dividirla en sus diferentes frecuencias y amplitudes. Sin duda este nodo ha sido muy útil, ya que es el que hace que el sistema creado funcione.

Para corregir el resultado obtenido de la distribución del espectro del audio se ha usado el nodo *stretch*, que ha servido para ampliar la región definida anteriormente y retocar su inicio y su final. En la siguiente figura se puede ver el resultado de aplicar estos dos nodos.

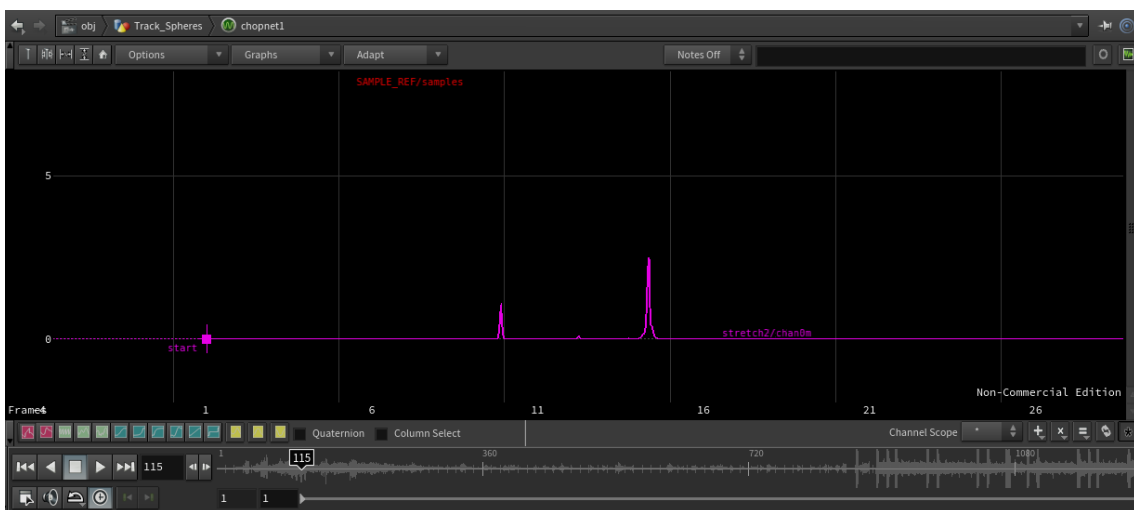


Figura 12. Captura 3 de la pestaña de Motion FX View

Posteriormente, para definir la definición de la curva que se aprecia en la figura 12, se ha usado el nodo *envelope*. Este nodo tiene una opción que funciona igual que el nodo

resample en cuanto a redefinir la resolución de una línea. La diferencia principal es que en el nodo de envelope existe una opción para determinar el número de puntos que se van a usar para aplicar el movimiento obtenido en las curvas que se pueden ver en el Motion FX View. Esta opción es el canal llamado *Sample Rate*. En este canal lo que se ha introducido es el número de puntos de la geometría que se va a alimentar con la información del audio procesado.

Este valor se tiene que pasar del contexto donde se encuentra esta geometría al contexto CHOP. Para esto se ha utilizado un *attribute_wrangle* fuera de CHOP y antes de donde se ha referenciado la *chopnet*. En este *attribute_wrangle* ha creado un atributo llamado *samples* y se ha igualado al número de puntos totales que tiene la geometría (que Houdini reconoce como *@numpt*) a la que se transferirán los valores del audio procesado. Para referenciar más fácilmente este atributo, se ha creado un nulo y se le ha dado un nombre que se reconozca para usarse dentro de CHOP.

Luego, una vez creado y renombrado el nulo, se ha creado dentro de la *chopnet* el nodo de *geometry*, con el que se ha referenciado al nodo nulo creado anteriormente. Para poder referenciar de nuevo la información obtenida en el nodo de *geometry* dentro CHOP, se ha añadido un nulo y se le ha llamado *SAMPLE_REF*, para que se reconozca que este nodo contiene la información del atributo que se ha traído desde fuera de CHOP.

Para terminar de definir el *Sample Rate* de dentro del nodo de envelope que se ha mencionado anteriormente, se introduce el valor que hace referencia al valor del atributo de *samples* que se ha contenido en el nulo llamado *SAMPLE_REF*. Para esto se ha usado la siguiente expresión: *chop("../SAMPLE_REF/samples")*. Lo que permite esto, en resumen, es que el valor del *Sample Rate* venga definido por la definición de la geometría que se va a alimentar y, de esta manera, pudiendo obtener un sistema más procedural.

El siguiente paso ha sido nombrar la información obtenida en la *chopnet* y contenerla en un nulo a que se ha nombrado *OUT*. Nombrar la información sirve para que posteriormente, al referenciarla fuera del contexto CHOP, se pueda identificar de manera clara la información. En el caso de los efectos realizados, esta información se ha llamado *audio*.

Por último, fuera de la *chopnet*, se ha creado un atributo llamado "audio" y tipo *float* a nivel de puntos. Después, se ha creado el nodo *channel*, se ha referenciado el nodo llamado *OUT* de dentro de la *chopnet* y se ha llamado a la información que se ha renombrado "audio" anteriormente. De esta manera se ha transferido la información del espectro obtenido dentro de la *chopnet* como un atributo a la geometría que se va a animar.

6.2. Sistema de procesamiento del audio en formato MIDI

Para gestionar el audio de los archivos MIDI se ha usado el pack de herramientas del Houdini Music Tool (HMT). El nodo más útil y el que ha permitido crear los efectos con este sistema ha sido el *HMT_MIDI_Input*. Este nodo permite importar un archivo MIDI y visualizar sus notas en el viewport tal y como aparece en la figura 13.

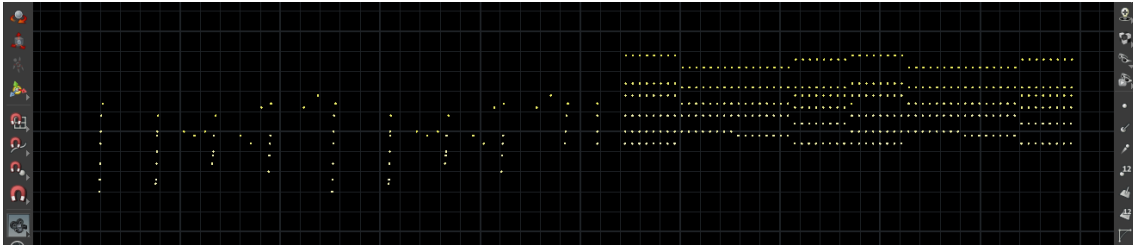


Figura 13. Captura del viewport donde aparecen las notas del archivo MIDI

Como se ha comentado anteriormente, cada punto que aparece en la imagen es una nota. La posición en el eje vertical se define por el nombre de la nota en la escala musical, es decir, su altura (o frecuencia) y la posición en el eje horizontal se define por el tiempo en el que cada nota suena en la canción.

De hecho, como se aprecia en la figura 14, el archivo MIDI importado cuenta con 426 notas. Esta información puede verse en el lado de donde pone *Points*. Esto es así porque gracias al Houdini Music Tool, Houdini reconoce cada nota del archivo MIDI como un punto. Esta función es muy útil, ya que al importar el MIDI, se obtienen atributos a nivel de punto (es decir, para cada una de las notas) como su nombre, que está guardado en el atributo *note*, o el tiempo en el que suenan, guardado en el atributo *time*.

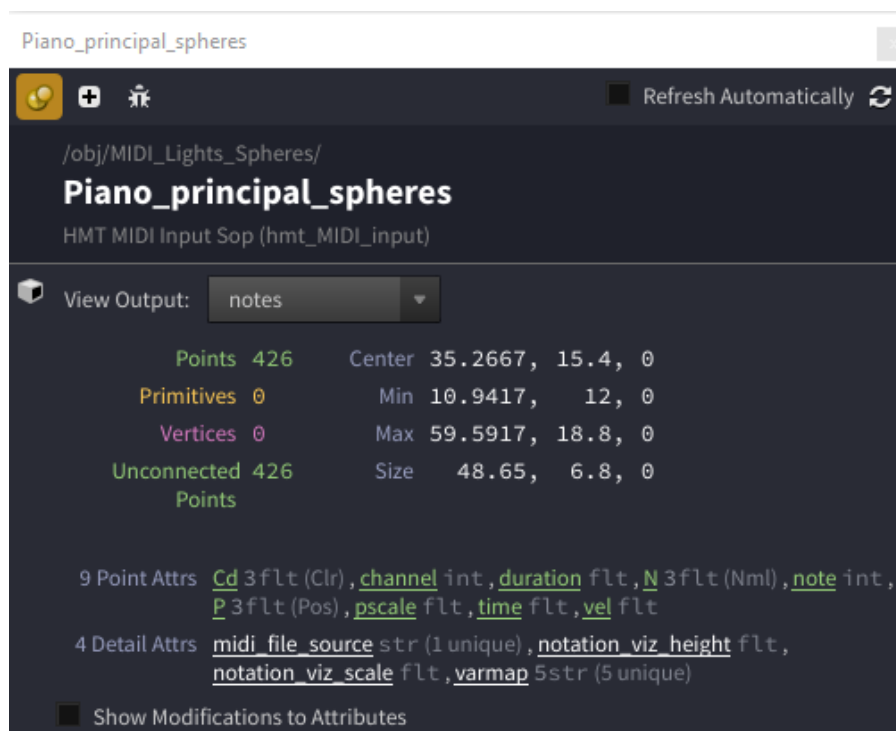
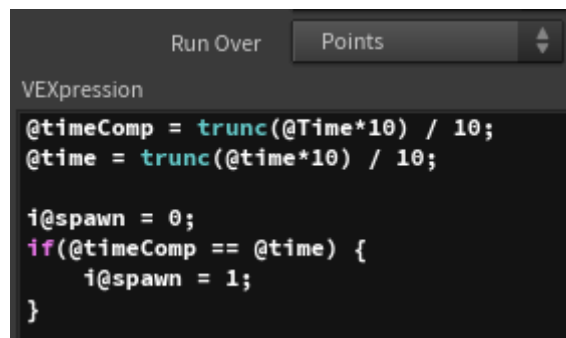


Figura 14. Captura de la pestaña de información del nodo de HMT MIDI Input

Adicionalmente, el HMT trae un nodo que crea en el viewport una guía que consiste en una barra vertical que avanza hacia la derecha a medida que transcurre el tiempo en la timeline de Houdini. Esto facilita la detección de errores y concreta de manera visual qué notas suenan en un momento determinado.

Una vez comprobado que no ha habido ningún error en el proceso de importación, se ha procedido con la creación del sistema de visualización en sí. Este sistema ha sido creado sin referencias de tutoriales, a diferencia del anterior.

Primero de todo, en un *attribute_wrangle*, se ha escrito el código que aparece en la figura 15. En este código se está llamando al atributo *time* de cada nota y se está determinando si el tiempo de la animación, que Houdini reconoce como *@Time* coincide con este tiempo. En el caso de coincidir, se ha creado un atributo tipo *int* a nivel de puntos al que he llamado *spawn* y se le ha dado el valor de 1 y el valor de 0 en el caso contrario.



```
Run Over Points
VExpression
@timeComp = trunc(@Time*10) / 10;
@time = trunc(@time*10) / 10;

i@spawn = 0;
if(@timeComp == @time) {
    i@spawn = 1;
}
```

Figura 15. Captura de un fragmento del código del sistema de gestión de MIDI

Sin embargo, como esta coincidencia entre los tiempos se ha hecho redondeando a una décima los propios valores de tiempo, sucede que estos coinciden en más de un frame después de la primera coincidencia. Esto ha sido un problema, ya que lo que se buscaba era que solo sucediese dicha coincidencia en un solo frame y no en los posteriores.

Se ha concluido que la mejor manera de solucionar el problema era usar un *solver*. Este es un nodo que permite recorrer la geometría iterativamente usando unos inputs determinados por el usuario. Lo que se ha logrado con esto es determinar si el valor a nivel de puntos del atributo *spawn* había tenido el valor 1 en los anteriores frames y, en caso de ser así, cambiarlo a 0. Esto se ha aplicado sobre la geometría en un frame anterior y de nuevo en dos frames anteriores al frame en el que se está operando. De esta manera se ha conseguido que las notas tengan el valor de *spawn* en un solo frame.

En la figura 16 se muestra el sistema creado para detectar si en el frame anterior el valor de *spawn* de los puntos era 1. El nodo conectado al segundo input del *attribute_wrangle* es un nodo que viene por definición en el *solver* y hace referencia a la misma geometría pero en el frame anterior. El que está conectado al segundo input

contiene la misma geometría referenciada con un *object_merge*, pero que hace referencia a la geometría dos frames anteriores al actual.

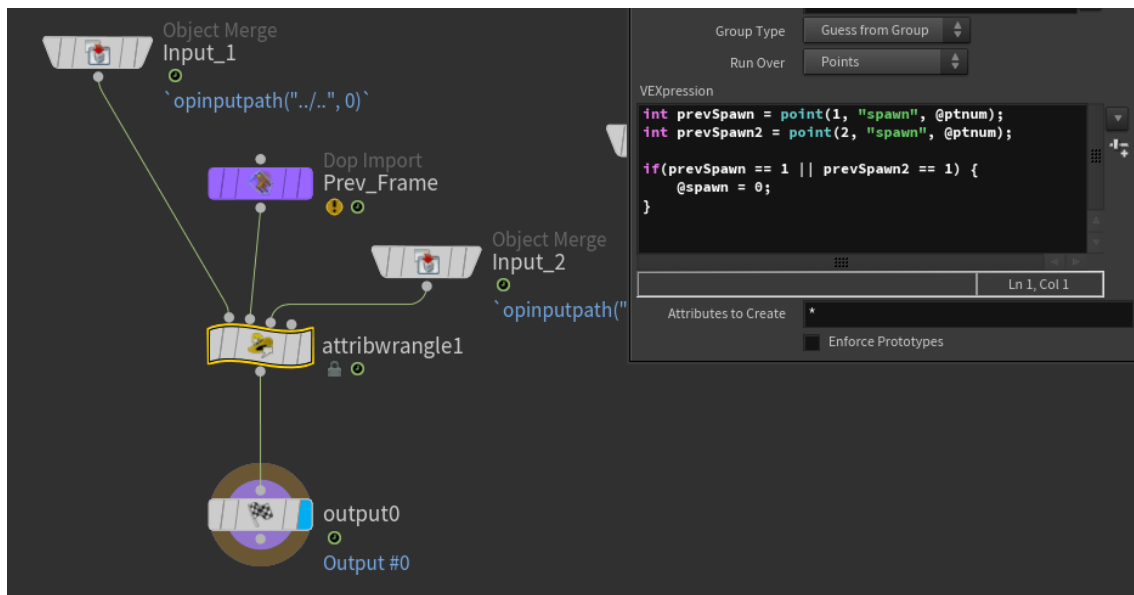


Figura 16. Captura de los nodos de dentro del solver

Debido a que con este sistema solo se va a realizar un efecto, que es el de las lámparas de partículas luminosas, los pasos que siguen el proceso de creación del sistema siguen en la explicación del proceso de desarrollo de ese efecto determinado.

6.3. Creación de las animaciones y simulaciones

6.3.1. Lámpara de partículas

Partículas

Este es el único efecto de todos que va a utilizar el sistema de procesamiento de audio en MIDI. Ya que el desarrollo de este efecto parte de lo que se ha explicado en el apartado en el que se expone el proceso de creación del sistema de gestión de MIDI, no se va a redundar en la explicación del sistema de procesamiento MIDI, sino que se va a ampliar su contenido y uso para resolver este efecto.

Se ha empezado creando una esfera, que se ha convertido a volumen, y se han creado unos puntos dentro de la misma usando el nodo de *scatter*. Lo importante de esto es que el número de puntos que se han creado es igual al número de notas que se han importado del archivo MIDI. En este caso, han sido 426 menos 4 notas que al final han acabado eliminándose manualmente por temas estéticos. Esto ha hecho que queden un total de 422 notas y que entonces en el nodo de *scatter* se hayan creado 422 puntos. A estos se les ha añadido un color aleatorio en función de una rampa de color previamente definida y se les ha otorgado unas normales.

El siguiente paso ha sido juntar la información procesada del audio MIDI con la que se tiene en la geometría que se está tratando. Para esto, se ha creado un *attribute wrangle* en el que se ha definido la orientación de los puntos utilizando un valor aleatorio, se ha definido la velocidad a nivel de punto usando el atributo de las

normales creado anteriormente y por último se ha transferido el atributo de *spawn* de las notas del archivo MIDI a los puntos creados en el nodo de *scatter*. Esta es la razón por la que se tenían que crear los mismos puntos que notas se habían importado. En la figura 17 se muestran el diagrama de nodos y el código usado para transferir esta información.

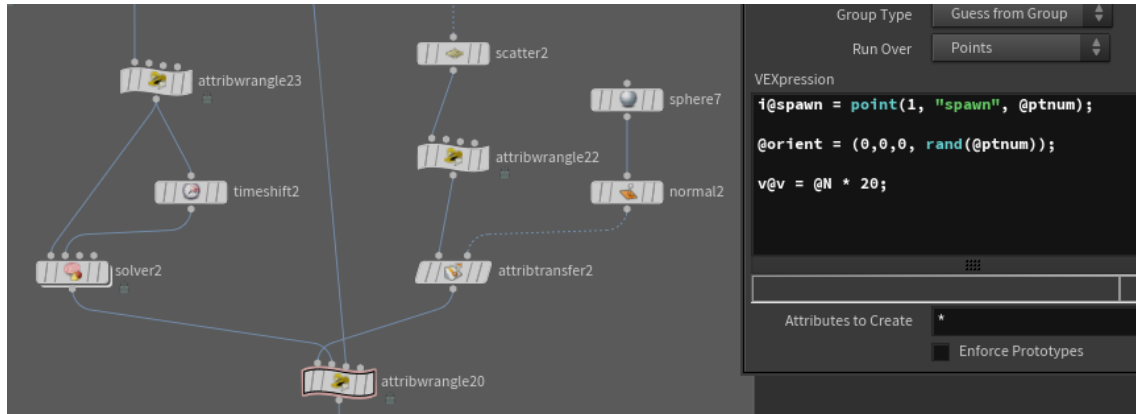


Figura 17. Captura que muestra cómo se ha transferido el atributo *spawn*

Luego, se ha atribuido un valor aleatorio a la escala de los puntos usando el nodo *attribute_randomize* y se ha creado un grupo para definir qué puntos de la geometría tienen el valor del atributo *spawn* en 1. Esto se ha hecho usando el nodo *group_expression* y usando la expresión `@spawn == 1`.

En este punto, se ha creado una *dopnet* en la que se van a instanciar las partículas de la lámpara. El contexto DOP es el que se ha definido en Houdini para instanciar partículas y una *dopnet* es el nodo que contiene este contexto. En la figura 18 se puede ver el contenido de dentro de la *dopnet*.

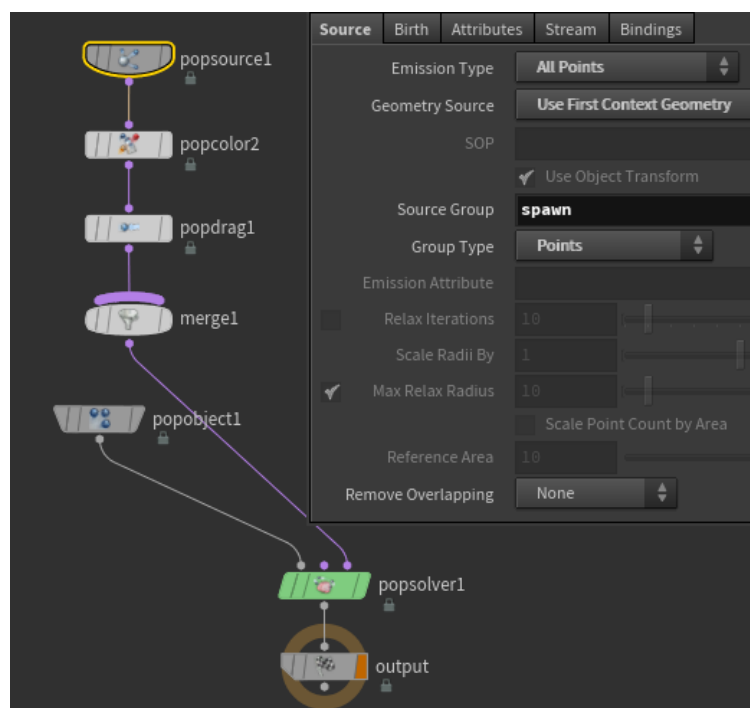


Figura 18. Captura de diagrama de nodos de la *dopnet*

En el nodo en el que se define la fuente emisora de las partículas, el nodo *pop_source*, se ha determinado que se usarán todos los puntos de la geometría y se ha añadido el grupo creado anteriormente como grupo emisor. De esta manera se instanciarán partículas desde los puntos que tengan el valor de *spawn* igual a 1 y no todas las partículas continuamente.

Con el nodo *pop_color* se ha creado el atributo *Alpha*, que es un atributo que Houdini entiende y que determina la opacidad de las partículas y se le ha añadido una “resistencia del aire” para frenar el movimiento de las partículas.

Fuera del contexto DOP, se ha creado un *attribute_wrangle* con el que se ha definido el valor de la escala de las partículas en relación con el valor de *Alpha* creado en la *dopnet* y se ha programado una función que elimina las partículas cuando su escala es igual a 0.

Para terminar el apartado de las partículas, se ha añadido el nodo *copy_to_points* con el cual se ha copiado una figura en los puntos que representan las partículas que se han instanciado en la *dopnet* y se ha cacheado la simulación entera con las figuras copiadas en dichos puntos. Se ha marcado la casilla de *Pack and Instance* del nodo de *copy_to_points* para que la geometría ocupe menos espacio. El resultado se ha contenido en un nulo.

Lámpara

Se ha empezado creando una línea en el eje vertical, cuya altura se ha definido usando la función del seno ($3.5 + 0.5 * \sin(@Time * 30)$) de manera que la línea efectúe un movimiento armónico.

Esta línea es la que ha hecho de base para el cuerpo de la lámpara. Para darle volumen a la línea se ha usado un nodo *resample*, con el que se ha definido la resolución de la línea y se ha activado el atributo *curveu*, que otorga un valor de 0, en su comienzo, hasta el 1, en el recorrido de toda la línea.

Esto ha servido para poder controlar el radio del cuerpo cónico de la lámpara que se ha generado con el nodo *poly_wire*, previamente habiendo redefinido el valor de *curveu* en un nodo *attribute_wrangle*.

Después del cuerpo, se han creado dos anillos (o toroides) en la parte inferior y superior del cuerpo de la lámpara. El inferior simplemente se ha colocado en la base del cuerpo, pero para el superior se ha tenido que crear un punto en la parte superior del cuerpo (que efectuaba un movimiento armónico) y se ha instanciado el anillo en ese punto.

Usando el mismo punto creado en la parte superior del cuerpo de la lámpara se ha instanciado la esfera que se va a usar bombilla o cúpula que va a contener las partículas luminosas. A este punto se le ha añadido un movimiento de muelle utilizando un nodo de *spring* en una *chopnet* y referenciándola con el nodo *channel*.

Posteriormente, se ha copiado la geometría de la esfera mencionada en este punto usando el nodo *copy_to_points*.

Finalmente, se ha copiado el efecto de las partículas en el mismo punto en el que se había copiado la esfera usando el mismo nodo.

6.3.2. Animación de extrusiones

Este efecto se ha aplicado tanto en una esfera como en un plano (o *grid*).

Se ha empezado definiendo la resolución de la geometría que se va a tratar. Partiendo del sistema de procesamiento del audio en formato WAV, se ha transferido la información de audio a los puntos de la geometría.

Como es este valor el que se va a usar para generar controlar la extrusión en las caras de la geometría, se ha usado el nodo *attribute_promote* para pasar estos valores desde el nivel de puntos al nivel de primitivas de la misma geometría.

El valor de audio recogido en cada primitiva se ha limitado en un *attribute_wrangle* usando la función *clamp* para así controlar el espacio que va a ocupar la geometría y su extrusión dentro de la escena.

Finalmente, se ha usado un nodo de color para pintar la geometría en función del nodo de audio en el nivel de primitivas y se ha generado la extrusión usando el nodo *poly_extrude*, en el que se ha definido la *Distance Scale* usando el atributo de *audio* en la pestaña de *Local Control*.

6.3.3. Simulación de esfera líquida

Se ha partido de una esfera a la que se ha aplicado un ruido en su posición usando el nodo *mountain*, en el que se ha animado el parámetro *offset* en el eje vertical usando la expresión *@Time*.

Posteriormente, se ha aplicado la información obtenida en el procesamiento de audio del archivo en formato WAV. Esta información se ha usado para deformar la geometría usando las normales de la propia geometría y el atributo de *audio*. Para mejorar el resultado visual en la malla de la geometría, se ha usado el nodo *sibdivide*.

Luego, se ha añadido el nodo *point_velocity* para guardar la velocidad que tienen los puntos de la geometría al deformarse para usarla posteriormente en la simulación del fluido.

Se ha preparado la fuente del líquido usando el nodo *flip_source*, al volumen resultante se le ha copiado el atributo de velocidad recogido en el nodo de *point_velocity* y se han añadido unas limitaciones a dicha velocidad usando el nodo de *attribute_wrangle* y la función *clamp*, de la misma manera que en el efecto anterior. El volumen resultante se ha contenido en un nulo.

Este volumen se ha referenciado dentro de la *dopnet* donde se va a generar la simulación del fluido. Dentro de esta *dopnet* se ha añadido el nodo *volumen_source*, que es el que se ha usado para referenciar el volumen creado. Luego, se han usado los

nodos de *pop_attract*, para generar un movimiento de las partículas que forman el líquido hacia su origen, y *pop_drag*, para crear una resistencia del aire que reduzca ligeramente la velocidad de las partículas.

Finalmente, se han usado los nodos de VDB para definir la densidad visual del líquido hasta conseguir un aspecto de fluido que resulte atractivo.

6.3.4. Simulación de vaso con fluido

Este efecto tiene un planteamiento diferente al efecto de líquido anterior, ya que en este la geometría que se va a alimentar de la información de audio que se guarde en el procesamiento del archivo en formato WAV, va a ser ajena a la geometría propia del líquido.

En este caso, se ha empezado creando un vaso que ha hecho de recipiente del fluido. En unos casos se ha usado un vaso cúbico y otro cilíndrico. No hay ningún rasgo en la ejecución del efecto que se vea afectado por la forma del vaso.

Una vez creado el vaso, se crea un cubo o cilindro dentro del mismo que ha hecho de fuente emisora de las partículas que conformarán el fluido. Para esto ha usado el nodo *flip_source*.

En este efecto, la geometría en la que se va a guardar la información de audio consiste en varios puntos creados manualmente en el nodo *add* y teniendo en cuenta las dimensiones del vaso previamente creado. En este caso se han añadido nueve puntos a los cuales se les ha atribuido un valor de velocidad en el eje vertical en función del valor del atributo *audio*.

El siguiente paso ha sido transferir el atributo de *audio* a la geometría de emisión de líquido que se ha creado anteriormente. Esto se ha hecho con el nodo *attribute_transfer*. Lo que se ha conseguido con este nodo es transferir la velocidad previamente definida en un punto a la zona de la geometría de emisión próxima a dicho punto. Por esta razón los puntos se han situado en la parte superior de la geometría de emisión.

Luego, se ha creado una *dopnet* en la que se ha simulado el fluido. En esta *dopnet* se han añadido un *flip_object* en el que se ha definido la resolución del líquido y un *volume_source* con el que se ha referenciado la fuente de emisión del líquido.

En el *flip_solver* se han modificado los márgenes del líquido a simular y se ha añadido posteriormente la geometría que hará de *collider*, es decir, la del vaso, y un nodo de *gravity*, para que la gravedad afecte al líquido.

Después, se ha atribuido el color al líquido en función de la altura de las partículas y se han usado los nodos de VBD para pasar el fluido a polígonos y acabar de definir el aspecto y la resolución del mismo usando el nodo *subdivide*. Se ha transferido el color definido anteriormente, ya que al convertirlo con los nodos de VBD se pierde este atributo y se ha cacheado la simulación del líquido entera.

Finalmente, se ha creado otro vaso igual que el creado al inicio del desarrollo del efecto, pero que se ajuste a las nuevas dimensiones de la geometría del líquido. Se han juntado el vaso y el líquido con un nodo *merge* y se ha contenido el resultado en un nulo.

6.3.5. Simulación de dispensadores de partículas y fluidos

Se va a explicar el proceso de creación de partículas y del dispensador de fluidos en el mismo apartado, ya que el proceso de creación es prácticamente el mismo.

Se ha empezado creando un cilindro y se ha definido su número de filas y columnas, es decir, la resolución de su malla. De esta geometría se han creado las normales usando el nodo *normal*. A partir de esta geometría se han creado puntos en el centro de las caras usando la función *addpoint* en un nodo *attribute_wrangle* y se han eliminado las caras.

Se han distribuido los puntos en función de la altura y clasificándolos según el conjunto de sonidos o instrumentos a partir de los que van a funcionar. Para esto se han usado tres nodos *group*, ya que la música se ha acabado dividiendo en tres grupos de sonidos e instrumentos. Los grupos creados son *pianos*, *drums* y *etc*. A cada grupo se le ha dado un color diferente a nivel de puntos.

Se ha aplicado la gestión del audio en formato WAV usando sus archivos respectivos de audio. Para esto se han exportado las diferentes pistas de la canción producida en Cakewalk por grupos, los mismos mencionados anteriormente.

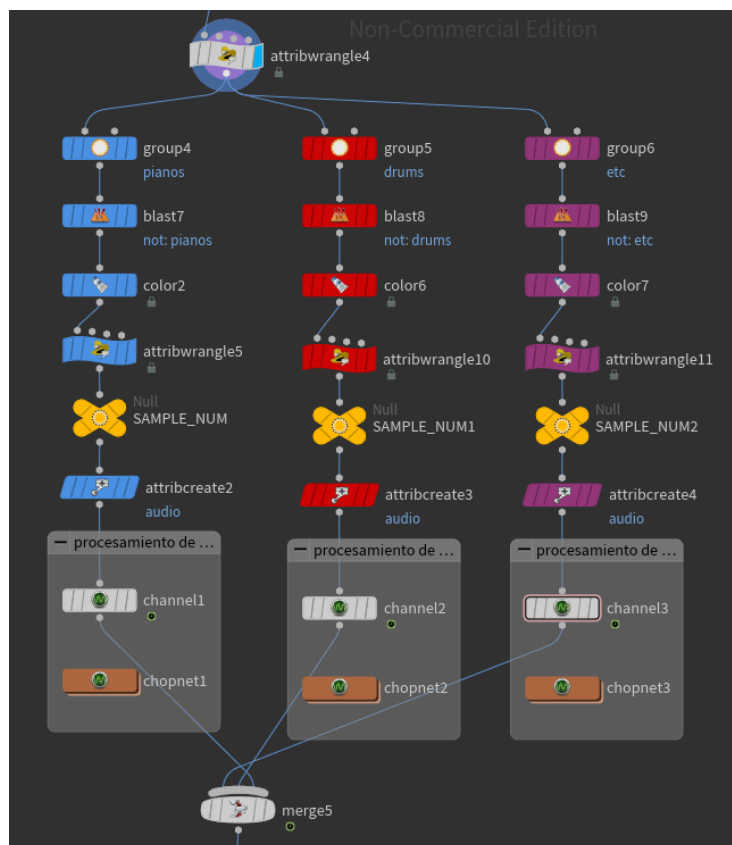


Figura 19. Captura del diagrama de nodos con la distribución en grupos

Como se ve en la figura 19, se ha aplicado el procesamiento del audio a cada uno de los grupos y se han juntado de nuevo usando el nodo *merge*.

El siguiente paso ha consistido en clasificar las filas según si su posición es par o impar. Para esto se ha activado la casilla de *Display point numbers* del viewport y se ha visto el número total de puntos que hay en cada fila de la geometría. Como se ha determinado que el número de puntos por fila es de 36, el grupo generado en el nodo *group_expression* ha cumplido la condición $(@id/36)\%2 == 1$. Esto se ha usado para definir una rotación en el eje vertical del grupo par en una dirección determinada por la expresión $@Time*8$ y una rotación en dirección contraria en el grupo impar, determinada por la expresión $-@Time*9$.

Esto mismo se ha aplicado en las primitivas (o caras) de la geometría inicial del cilindro por el que se ha empezado a crear el efecto. En la figura 20 se muestran dos grupos de nodos, el de la izquierda es el explicado a nivel de puntos y el de la derecha está ejecutado a nivel de primitivas.

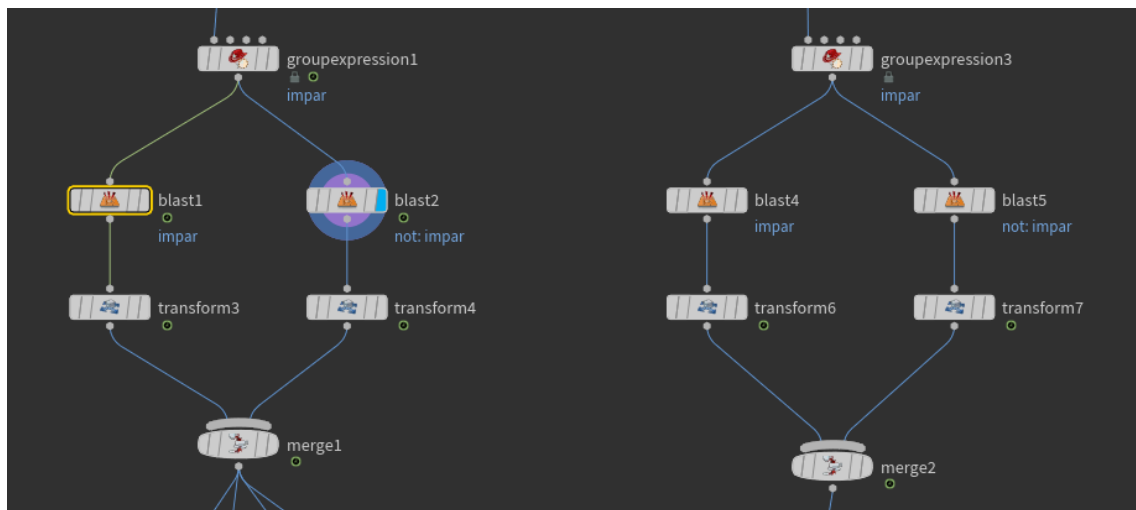


Figura 20. Captura que muestra los grupos creados a nivel de puntos y de primitivas

Una vez se ha alimentado la geometría con la información de procesamiento del audio, se ha definido un valor de *audio* a partir del cual el punto debería emitir partículas. Esto se ha hecho añadiendo otro *group_expression* en el que se ha definido un umbral con el valor de *audio* de los puntos a partir del cual pasen a formar parte del grupo emisor. La expresión utilizada ha sido $@audio > chf("valor")$ siendo el valor 0,15.

Luego, se han creado puntos adicionales para así aumentar el número de partículas emitidas y se ha recuperado el atributo de las normales a partir del nodo *normal* creado al inicio del desarrollo del efecto.

Antes de proceder con la simulación de las partículas o el líquido, se han definido las condiciones iniciales, concretando la velocidad de las partículas en su inicio. En la figura 21, se puede ver el código que se ha introducido en el nodo *attribute_wrangle* en el que se han determinado dichas condiciones iniciales.

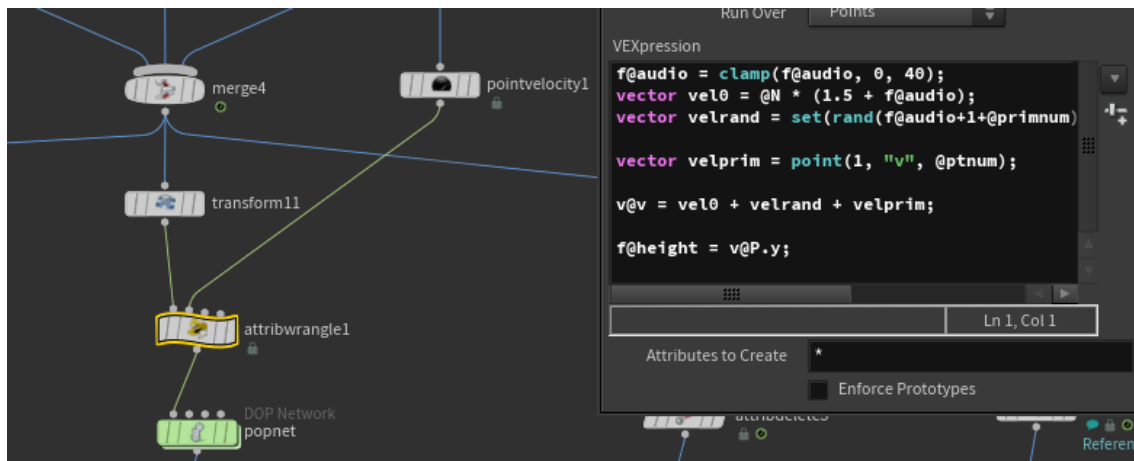


Figura 21. Captura que muestra el código y los nodos usados previos a la simulación

Lo que se ha hecho en el código que muestra la figura 21 es, primero de todo, limitar el valor de *audio* usando la función *clamp*. Luego, se ha definido una velocidad principal usando las normales y el valor de *audio* definido previamente en cada punto. Se ha definido una velocidad secundaria que se ha definido con dos números aleatorios entre 0 y 1 con tal de modificar ligeramente la dirección inicial de las partículas. Se ha definido una tercera velocidad que proviene de la velocidad que tienen los puntos de la geometría que van a hacer de fuente de emisión de las partículas. Como se ve en la figura 21, se ha usado el nodo *point_velocity* para obtener este valor. Para terminar de definir la velocidad inicial total, se han sumado las tres velocidades.

La simulación, tanto de las partículas como del fluido, se ha generado en una *dopnet*. En el contexto DOP, en el caso de la simulación de partículas se ha añadido el nodo *pop_source* que va a hacer de fuente emisora, un *pop_solver* y un *pop_object*, que son los elementos básicos de una simulación de partículas. Además, se han añadido los nodos de *pop_force* y *pop_drag* para añadir una dinámica diferente a la simulación. Se ha usado el nodo *pop_color* para retocar la transparencia de las partículas en función del atributo *age*, que hace referencia al tiempo de existencia de las partículas, y se ha usado el nodo *pop_kill* para eliminar las partículas transparentes y que de esta manera la simulación vaya más rápido y ocupe menos espacio en el disco. Posteriormente, se ha añadido el nodo *gravity* y se ha retocado el valor de la gravedad en el eje vertical.

En el caso de la simulación de FLIP, es decir, del fluido, se ha creado prácticamente el mismo sistema, pero usando un *flip_solver* y un *flip_object*, que son los nodos que definen el líquido y lo hacen funcionar. En esta simulación la gravedad no se ha retocado y el líquido cae al suelo en vez de flotar como las partículas. Además, después de la *dopnet*, se ha tratado el aspecto del fluido usando los nodos de VDB, de la misma manera que en los fluidos simulados en los efectos anteriores.

El último paso en términos de simulación de fluidos o partículas ha sido guardar la geometría en el disco usando el nodo *file_cache*.

Una vez acabada la simulación, se ha procedido a transferir la información de audio de los puntos a la geometría de las primitivas que se ha mostrado en la figura 20. Esto se

ha hecho con un *attribute_wrangle* actuando a nivel de primitivas en el que se ha introducido la siguiente línea de código $f@audio = point(1, "audio", @primnum)$. Esto funciona debido a que el número total de puntos de la geometría de la que se ha recogido el valor del atributo *audio* es igual que el número total de primitivas.

En este punto se ha vuelto a crear un grupo usando un *group_expression* que cumple la misma condición que el que se ha creado anteriormente para los puntos de emisión, $@audio > chf("valor")$, siendo el valor 0,15.

Con esto se va a determinar qué primitivas van a colorearse en función de sus respectivos puntos de emisión, ya que estos tienen el mismo valor en su identificador que sus respectivas primitivas. Luego, se ha seguido el mismo proceso para transferir el color definido en los puntos a las primitivas.

En siguiente paso ha sido modelar los tubos por los que van a salir las partículas o el fluido. Primero se ha creado un cilindro usando una línea a la que se ha dado volumen con el nodo *poly_wire*. Se ha creado otro cilindro más delgado y se han juntado usando el nodo *bool*, de manera que el cilindro delgado opere sobre el otro en modo *Subtract*, de manera que se ha obtenido un cilindro hueco.

Esta geometría del tubo se ha copiado en los puntos de la geometría de los puntos emisores. Para esto se ha usado el nodo *copy_to_points*. Previamente, en estos puntos se ha recogido el atributo de normales del nodo de *normal* añadido al inicio y el color de los puntos definido en la clasificación por grupos haciendo uso de un *attribute_wrangle*.

Finalmente, se ha creado una base y una tapa para cerrar la geometría de las paredes del dispensador y se ha creado una barra en la parte superior de la geometría usando una línea y un *poly_wire*, para aparentar que el dispensador está colgado de un techo. Las geometrías de los tubos, las primitivas y la barra se han juntado con el nodo *merge* y las partículas se han contenido en un nulo e importado en otro nodo de geometría usando el nodo *object_merge* para así poder retocarlas con las opciones de partículas de Redshift.

6.4. Producción de la música

El programa que se ha usado para producir la música del vídeo ha sido Cakewalk, que es un software de producción musical gratuito que pertenece a BandLab. Se ha usado Cakewalk principalmente porque es gratis, aunque también se empezó a usar porque el creador del plugin *Houdini Music Toolset* explica en sus tutoriales cómo conectar la salida de audio de Houdini con Cakewalk, a pesar de que esto último no se haya utilizado en este proyecto.

Tal y como se había planteado, en Cakewalk se ha creado una canción de género lo-fi. En producciones que se habían llevado a cabo anteriormente a la de este proyecto, se había aplicado un proceso de planificación y producción que se ha vuelto a aplicar en este caso. Este proceso empieza con la definición y búsqueda de instrumentos y

sonidos y plugins, la producción de la melodía y la armonía y la mezcla y masterización del sonido.

6.4.1. Instrumentos, plugins y sonidos

Primero se ha identificado que el instrumento principal va a ser un piano (o varios) y que el resto de instrumentos y sonidos acompañaran a este. Para el sonido de este piano principal se ha usado el VST plugin llamado *Decent Sampler*. Se ha usado Decent Sampler porque es muy sencillo de usar y es muy ligero en cuanto a almacenamiento en el disco. Los instrumentos encontrados que se han usado en el Decent Sampler se han encontrado en la página de *Pianobook*, que ofrece una gran cantidad de instrumentos de todo tipo y de forma gratuita.

También se ha hecho uso de Kontakt, otro VST plugin más avanzado y complejo que se ha usado para definir los sintetizadores que han servido de apoyo a la melodía. Además, se ha usado un sintetizador con Kontakt para crear un bajo que ha definido la armonía de la canción.

El resto de sonidos introducidos en la canción son archivos de audio encontrados por internet en diferentes packs gratuitos como los de *Cymatics*.

6.4.2. Creación de melodía y armonía

Primero se ha determinado la armonía del bajo, que se ha realizado con el sintetizador de Kontakt mencionado anteriormente. Como la estructura de la armonía se había planteado que tenía que ser sencilla, se ha definido como una progresión de cuatro acordes, que ha sido *C Ebm G F*. Esta es una progresión bastante común en la música pop y demás géneros musicales relacionados.

Para la creación de la melodía, se ha usado un teclado MIDI, específicamente el modelo AKAI Professional MPK Mini MK3. La idea principal de esta melodía era que sonase alegre y que pudiese reproducirse en bucle para así usarse más veces dentro de la canción. Para conseguir este fin, se han usado escalas mayores y se ha resuelto la melodía de manera que se resolviese en la primera nota de la misma.

6.4.3. Mezcla y masterización

Una vez se han grabado todos los instrumentos, se han añadido los plugins de efectos sonoros. Principalmente, se han usado plugins nativos de Cakewalk, a excepción del *Super VHS* de la empresa *Baby Driver*, que se ha instalado en Cakewalk posteriormente para hacer la mezcla. Los efectos más usados han sido el *Boost11*, que sirve para modificar el volumen y la dinámica de las frecuencias bajas del sonido, el *Sonitrus Multiband*, que permite modificar el sonido en sus diferentes rangos de frecuencia, y el *OrilRiver*, que sirve para aplicar reverb al sonido.

Finalmente, se ha llevado a cabo la masterización, que consiste en ajustar las curvas de volumen de todas las pistas y revisar su calidad de audio en relación con el resto de las pistas.

6.5. Respuestas y resultados de las entrevistas

Se han realizado un total de tres entrevistas. Una de las personas entrevistadas es un compañero de clase con cierto conocimiento en efectos visuales, animación 3D y motion graphics. Las otras dos personas entrevistadas son personas jóvenes que no tienen ninguna formación sobre los temas que se tratan en este proyecto.

Sin embargo, todos los entrevistados tienen en común que, aparte de ser jóvenes, les gusta el tipo de vídeo que se va a producir para este proyecto y les parece interesante la idea del tipo de música visual que se ha planteado.

6.5.1. Primera entrevista

El primer entrevistado es el compañero de clase. Conoce el mundo del 3D y de los motion graphics de manera académica y además, tiene cierto conocimiento de música. Las respuestas acerca de los efectos han sido las siguientes:

Extrusión del suelo

- *¿Te produce una sensación agradable ver este efecto junto con la música?*
- Sí, aunque me recuerda al Guitar Hero.
- *¿Te da la sensación de que este efecto está reaccionando al audio que estás oyendo?*
- Sí, se nota que la altura de la extrusión va en función del audio.

Extrusión de esfera

- *¿Te produce una sensación agradable ver este efecto junto con la música?*
- Sí, se siente como si la esfera estuviera reproduciendo la música ella misma.
- *¿Te da la sensación de que este efecto está reaccionando al audio que estás oyendo?*
- Sí.

Esfera líquida

- *¿Te produce una sensación agradable ver este efecto junto con la música?*
- No me gusta cómo luce el líquido, se ve raro.
- *¿Te da la sensación de que este efecto está reaccionando al audio que estás oyendo?*
- Sí, aunque no me guste su aspecto, se nota que el líquido sale disparado cuando suenan los bajos.

Vaso con líquido

- *¿Te produce una sensación agradable ver este efecto junto con la música?*
- Sí, este líquido me gusta a diferencia del anterior.
- *¿Te da la sensación de que este efecto está reaccionando al audio que estás oyendo?*

- Realmente creo que se nota menos que el anterior, pero el acabado visual es mucho mejor que el de la esfera líquida.

Dispensador de líquido

- *¿Te produce una sensación agradable ver este efecto junto con la música?*
- No, de nuevo el líquido no parece ser muy realista.
- *¿Te da la sensación de que este efecto está reaccionando al audio que estás oyendo?*
- No, porque hay algunas zonas donde el líquido no sale a mucha velocidad y además no parece cumplir un patrón claro como en el efecto anterior.

Dispensador de partículas

- *¿Te produce una sensación agradable ver este efecto junto con la música?*
- Sí, y creo que es porque las partículas se mueven más rápido y como que desaparecen antes y no llegan a molestar, como sucede con el dispensador de líquido.
- *¿Te da la sensación de que este efecto está reaccionando al audio que estás oyendo?*
- Sí, pero a la vez no, es verdad que algunas veces se ve, como cuando hay notas agudas, que salen partículas de la zona más alta del dispensador, pero el resto del tiempo parece algo arbitrario.

Lámpara de partículas luminosas

- *¿Te produce una sensación agradable ver este efecto junto con la música?*
- Sí, igual que con la esfera con extrusiones, me hace pensar que la música sale de la propia lámpara.
- *¿Te da la sensación de que este efecto está reaccionando al audio que estás oyendo?*
- Sí, ya que coincide que aparece una pieza luminosa por cada nota de piano que suena.

Al terminar con las preguntas de los efectos individuales, se ha realizado la pregunta final.

- *¿Cuál de estos efectos te ha parecido el más estético? ¿Y cuál ha sido el que menos?*
- Los mejores son el de la esfera con extrusiones y el de la lámpara de partículas porque son los que se entienden mejor. En general, estos dos están quizás mejor trabajados.
Los que yo no pondría en el vídeo final serían el del suelo con extrusiones porque no veo como pegaría con el resto de efectos, el dispensador de líquido porque el líquido no luce bien y la esfera líquida por la misma razón.

6.5.2. Segunda entrevista

La segunda entrevistada es una estudiante de derecho. No tiene ningún tipo de formación de 3D ni música, pero le suelen gustar los motion graphics y animaciones del estilo. Las respuestas acerca de los efectos han sido las siguientes:

Extrusión del suelo

- *¿Te produce una sensación agradable ver este efecto junto con la música?*
- Sí, alguna vez había visto vídeos así.
- *¿Te da la sensación de que este efecto está reaccionando al audio que estás oyendo?*
- Sí, las piezas se levantan cuando la música suena con más intensidad.

Extrusión de esfera

- *¿Te produce una sensación agradable ver este efecto junto con la música?*
- Sí, este efecto es mejor que el anterior.
- *¿Te da la sensación de que este efecto está reaccionando al audio que estás oyendo?*
- Sí, se nota bastante.

Esfera líquida

- *¿Te produce una sensación agradable ver este efecto junto con la música?*
- Sí, pero me gusta más el efecto anterior, pega más con la música en general.
- *¿Te da la sensación de que este efecto está reaccionando al audio que estás oyendo?*
- Sí.

Vaso con líquido

- *¿Te produce una sensación agradable ver este efecto junto con la música?*
- Sí, pega mucho con el estilo de la música.
- *¿Te da la sensación de que este efecto está reaccionando al audio que estás oyendo?*
- A veces parece que no reaccione del todo y otras veces sí, da la sensación de que falla a veces.

Dispensador de líquido

- *¿Te produce una sensación agradable ver este efecto junto con la música?*
- No entiendo muy bien cómo reacciona el sonido con el líquido.
- *¿Te da la sensación de que este efecto está reaccionando al audio que estás oyendo?*
- A veces parece que sí, pero luego no entiendo del todo en por qué sale el líquido de algunas zonas, como si no fuese por la música.

Dispensador de partículas

- *¿Te produce una sensación agradable ver este efecto junto con la música?*
- Sí, este se ve más claro que el anterior.
- *¿Te da la sensación de que este efecto está reaccionando al audio que estás oyendo?*
- Sí, aunque a veces también parece como que falle un poco.

Lámpara de partículas luminosas

- *¿Te produce una sensación agradable ver este efecto junto con la música?*
- Sí, también había visto vídeos como este.
- *¿Te da la sensación de que este efecto está reaccionando al audio que estás oyendo?*
- Sí, se ve claramente que aparece una figura cuando suena cada nota.

Al terminar con las preguntas de los efectos individuales, se ha realizado la pregunta final.

- *¿Cuál de estos efectos te ha parecido el más estético? ¿Y cuál ha sido el que menos?*

El que más me ha gustado es el del vaso con líquido y el que menos es el dispensador de líquido por las razones que he comentado antes.

6.5.3. Tercera entrevista

La tercera entrevistada es una investigadora doctorada en fisiología vegetal que estudió biotecnología y tiene un máster en desarrollo e innovación de alimentos. La persona entrevistada tampoco tiene ningún tipo de formación en el 3D ni la animación, pero sí que tiene estudios relacionados con la música. Las respuestas acerca de los efectos han sido las siguientes:

Extrusión del suelo

- *¿Te produce una sensación agradable ver este efecto junto con la música?*
- Sí.
- *¿Te da la sensación de que este efecto está reaccionando al audio que estás oyendo?*
- Sí, cuando suena la música, el suelo se mueve.

Extrusión de esfera

- *¿Te produce una sensación agradable ver este efecto junto con la música?*
- Sí, igual que el de antes.
- *¿Te da la sensación de que este efecto está reaccionando al audio que estás oyendo?*
- Sí, este queda mejor.

Esfera líquida

- *¿Te produce una sensación agradable ver este efecto junto con la música?*
- Sí, aunque es un poco raro. Quedaba mejor la esfera de antes.
- *¿Te da la sensación de que este efecto está reaccionando al audio que estás oyendo?*
- Sí.

Vaso con líquido

- *¿Te produce una sensación agradable ver este efecto junto con la música?*
- Sí, creo que es mejor que el anterior.
- *¿Te da la sensación de que este efecto está reaccionando al audio que estás oyendo?*
- Aunque me gusta, a veces suena la música y no reacciona.

Dispensador de líquido

- *¿Te produce una sensación agradable ver este efecto junto con la música?*
- Sí.
- *¿Te da la sensación de que este efecto está reaccionando al audio que estás oyendo?*
- Este parece que falla más que el efecto anterior.

Dispensador de partículas

- *¿Te produce una sensación agradable ver este efecto junto con la música?*
- Sí, tiene bastante impacto visual.
- *¿Te da la sensación de que este efecto está reaccionando al audio que estás oyendo?*
- Es mejor que el anterior, eso seguro. Aunque a veces parece que falla un poco

Lámpara de partículas luminosas

- *¿Te produce una sensación agradable ver este efecto junto con la música?*
- Sí, me gusta la idea del efecto también.
- *¿Te da la sensación de que este efecto está reaccionando al audio que estás oyendo?*
- Sí, se ve claramente.

Al terminar con las preguntas de los efectos individuales, se ha realizado la pregunta final.

- *¿Cuál de estos efectos te ha parecido el más estético? ¿Y cuál ha sido el que menos?*
- El que más me ha gustado es el último, el de la lámpara. Los que menos me han gustado son el dispensador de líquido y la esfera de líquido.

6.5.4. Resultados y conclusiones de las entrevistas

Las respuestas que se han obtenido de las personas entrevistadas han servido para decidir qué efectos descartar y cuáles mejorar para poder introducirlos en el vídeo final.

Los efectos descartados han sido el efecto de extrusión del suelo, ya que se había planteado mal y no pegaba mucho con el resto de efectos creados, el efecto de la esfera líquida, porque el aspecto del fluido no es muy estético, y el dispensador de fluido porque no estaba bien ejecutado y los líquidos no han resultado tener el aspecto que se esperaba.

Los efectos que más han gustado han sido la esfera con extrusiones, la lámpara de partículas luminosas, el vaso con líquido y el dispensador de partículas. Sin embargo, el efecto del vaso con líquido tiene que modificarse, ya que la gente entrevistada ha coincidido en que a veces parece no funcionar bien.

6.6. Preparación, render y posproducción de la escena final

6.6.1. Distribución de los elementos

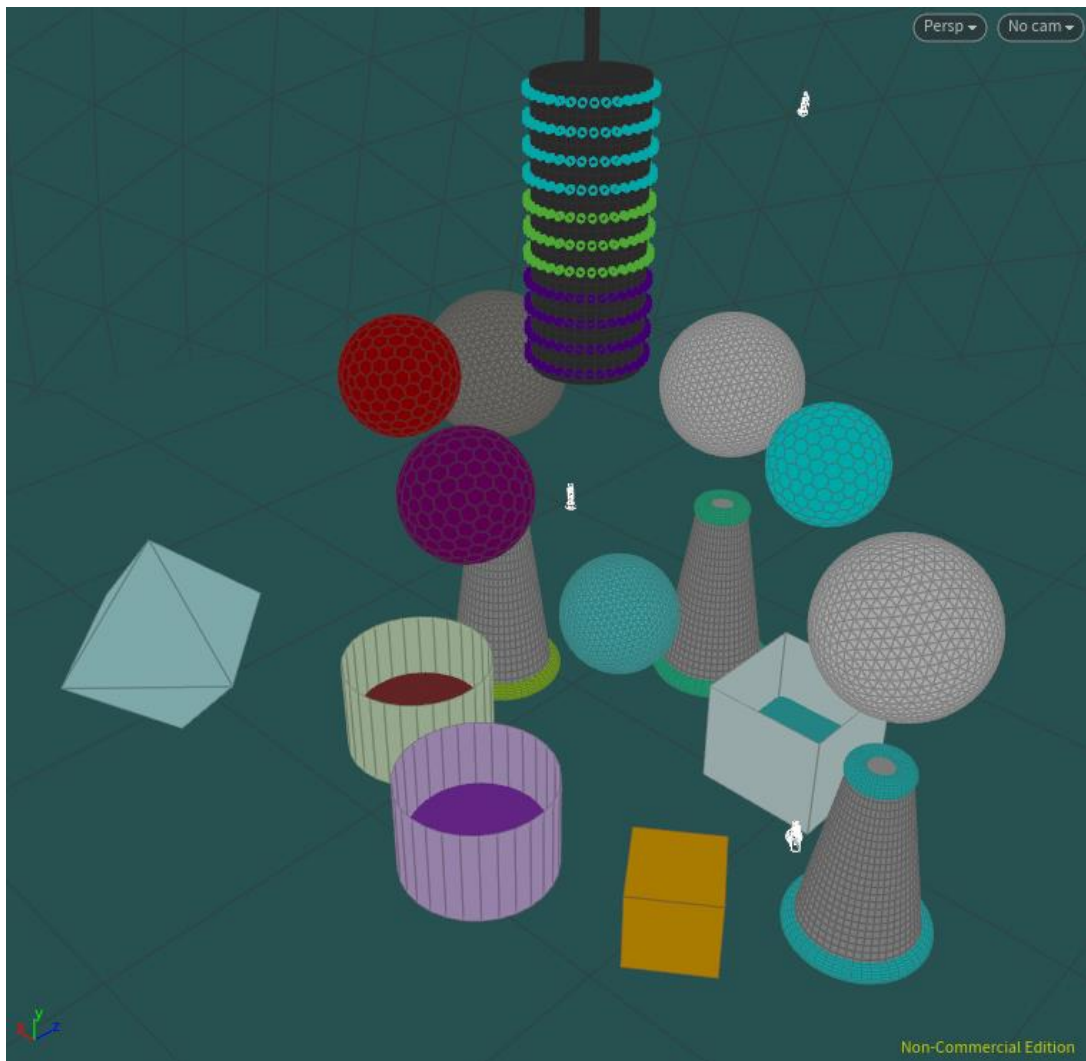


Figura 22. Captura del viewport donde se muestra el setup de la escena

En la figura 22 se puede ver cómo se han colocado los diferentes efectos que han acabado conformando la escena. Se ha pensado que estos deberían estar colocados próximos entre ellos para así generar poder mostrar más elementos en cada plano y generar una sensación de intimidad o proximidad en el espectador.

Se ha tenido en cuenta también que hay efectos que se encargan de reaccionar a un grupo determinado de sonidos e instrumentos, como es el caso de los efectos de las esferas con extrusiones y de los vasos con líquido. Después de probar varias disposiciones, se ha concretado que lo mejor sería colocar dichas esferas flotando encima de los vasos en función de su grupo.

Luego, se han colocado las lámparas de partículas emisivas y el dispensador de partículas, que se han colocado de forma que no tapasen otros elementos de la escena pero sin posicionarse muy lejos con respecto a ellos.

Por último, se han introducido las piezas que contendrán las fuentes de luz que iluminarán la escena desde dentro y se ha creado un suelo y una cúpula que forma una habitación cerrada donde se encontrarán los elementos desde dentro.

6.6.2. Iluminación de la escena

La escena se ha iluminado con un total de tres fuentes de luz. Como se había planteado, estas se han colocado en la escena en la posición de la pieza transparente que va a contener la misma luz y se ha referenciado la posición de la pieza con la de la fuente lumínica para así poder mover las piezas y las luces al mismo tiempo.

La luz principal estará contenida en la esfera del centro de la escena, las dos luces restantes serán de apoyo y estarán dentro del cubo y del octaedro que se pueden ver en la figura 22.

Además, se ha animado la intensidad de las luces contenidas en la esfera y el cubo, de manera que se enciendan y apaguen progresivamente al inicio y al final del vídeo, de forma que se genere la sensación de que el mecanismo que hace funcionar la escena empieza a funcionar en el inicio del vídeo y deja de funcionar al terminar.

6.6.3. Creación y asignación de materiales

Ya que se va a usar Redshift para renderizar la escena, los materiales usados son todos de Redshift.

El proceso de asignación de materiales se ha llevado a cabo teniendo en cuenta el tipo del material (vidrio, plástico, metal...). En todos los materiales se ha hecho uso del nodo RUserDataColor, que es un nodo del nivel MAT que permite recoger atributos, en este caso, el color, de la geometría a la que se le asigna el material.

Se ha empezado creando y asignando los materiales metálicos, como los que hay en el dispensador de partículas y las esferas con extrusiones. Para estos materiales se ha aumentado el índice de reflectividad y el brillo hasta obtener un aspecto de material metálico. Luego, se ha procedido a crear y asignar los materiales de plástico del cuerpo de las lámparas, que se han creado retocando los mismos parámetros que en el caso

de los materiales metálicos. En material de los líquidos se ha hecho de la misma manera, ya que se buscaba que los líquidos no fuesen transparentes, que tuviesen un aspecto similar al de la pintura.

Los últimos materiales creados vidrios. Para estos se ha aumentado el índice de refracción del material hasta lograr el nivel de transparencia adecuado para cada caso. Para los objetos que contienen las piezas de luz, se ha aumentado mucho el valor de *Roughness* para bajar el tiempo de renderizado de las imágenes, procurando que el resultado siguiese siendo interesante. En el caso del material de los cristales de las lámparas, se ha aumentado mucho el valor de refracción y se ha modificado ligeramente el valor de *Anisotropy*, que en resumen ha servido para modificar la dirección de la refracción de la luz. Para el material de los vasos con líquido se ha disminuido el IOR para que el contenido del vaso no se viese muy distorsionado.

Finalmente, se ha añadido el material del suelo, al que se le ha reducido el valor que indica qué tanto de afecta la iluminación general y se ha reducido a cero la cantidad de luz que permite reflejar. Con esto se ha creado una atmósfera oscura que parece vacía, pero en la que se pueden apreciar ciertas sombras.

6.6.4. Cámaras y planos

Los diferentes planos se han obtenido teniendo en cuenta qué efectos estaban funcionando en determinados momentos. Además, como la música no es muy dinámica, se han buscado planos fijos o con un movimiento de la cámara suave. Para cada una de las cámaras se ha retocado el *Field of View*.

Los tiempos y cambios entre planos se han decidido considerando las diferentes partes de la canción y sus tiempos. Además, se ha pretendido que en cada plano se puedan apreciar como mínimo dos efectos funcionando a la vez, a excepción de los primeros planos.

6.6.5. Render

Todos los cambios realizados a lo largo del proceso de preparación de la escena se han comprobado con el *Render View* que ofrece Redshift. Una vez se acabó dicha preparación, se han realizado varios renders en diferentes frames y se han corregido las luces y los materiales hasta obtener el mejor resultado posible.

Todos los renders han sido realizados en los dos ordenadores de la sala de CGI del CITM que cuentan ambos con componentes de gama alta, entre ellos un procesador de 24 núcleos físicos, 64 gigabytes de memoria RAM y dos tarjetas gráficas de Nvidia 3080. Gracias a disponer de este equipo para renderizar, las imágenes han tardado entre un minuto y medio hasta dos minutos y medio para renderizarse, lo cual hubiese tomado mucho más tiempo en el resto de ordenadores del centro.

Las imágenes finales se han guardado en formato EXR y tienen una resolución de 1920x1080, ya que se buscaba producir un vídeo en calidad Full HD.

6.6.6. Edición y montaje

Las secuencias de imágenes se han montado en un inicio en Adobe After Effects, donde también se ha aplicado una pequeña corrección de color. Además, en After Effects se han creado unos créditos con motion graphics usando la propia música de la del vídeo.

Finalmente, se han importado tanto el vídeo como los créditos en Adobe Premiere, donde se ha corregido el audio y se ha renderizado usando los ajustes adecuados tanto de vídeo como de audio.

7. Conclusiones

Se han cumplido los objetivos que se habían propuesto al empezar el proyecto. Tanto la creación de las animaciones como producción de la música y la preparación de las escenas para realizar los renders finales se han superado de manera satisfactoria.

El resultado final se ha valorado de manera personal como muy positivo, teniendo en cuenta la cantidad y las características del trabajo que se ha llevado a cabo. Además, se ha pedido la opinión de varias personas, tanto pertenecientes como ajenas del mundo del 3D y la animación, y se han obtenido asimismo valoraciones muy positivas.

Este proyecto ha servido también para profundizar en el conocimiento que se tenía previamente en Houdini y asentar una base más sólida de conocimiento del 3D de forma general, ya que al final, no solo se han generado efectos en Houdini, sino que también se ha estudiado cómo iluminar un escenario y se han aplicado materiales teniendo en cuenta unos criterios estéticos rigurosos.

7.1. Líneas de futuro

Las líneas del futuro del proyecto están definidas completamente por los futuros advenimientos relacionados con el 3D y los entornos virtuales. En la actualidad, el desarrollo en nuevas tecnologías 3D apunta en dirección hacia el *real-time*. Este concepto se refiere a la producción y análisis de imágenes en tiempo real. El uso de esta tecnología aplicada en este proyecto sería en la recreación el entorno virtual propuesto en el que los elementos que reaccionan al audio lo hacen a tiempo real, es decir, reaccionan a música en directo.

Esto difiere en el concepto del tipo de trabajo realizado en este proyecto, ya que se basaría en un modelo de producción online, en el que la imagen se estaría produciendo al mismo tiempo que suena la música y no, como en el caso de este proyecto, que las imágenes se han generado realizando renders en Redshift.

Sin embargo, las animaciones y simulaciones realizadas son una base muy sólida con las que empezar a investigar en este campo. Hay varios ámbitos en los que podría utilizarse todo lo que se ha producido en este proyecto y que sigue esta misma línea, ya sea en aplicaciones de visualización de música, entornos de realidad virtual e incluso en futuros entornos dentro del metaverso.

En estos entornos se recrearía la escena o entorno virtual propuesto en este proyecto, de manera que se crease un escenario con elementos reaccionando a la música en directo, de manera que se conciba como el concepto de un festival o discoteca virtual.

Para llevar a cabo este propósito de futuro, debería plantearse de nuevo el formato del material producido. Ya que trasladar el trabajo realizado a un entorno de realidad virtual supondría tener que exportar los materiales a un formato equirectangular, que es el que permite la visión en 360 grados de la escena.

Adicionalmente, se debería plantear la producción de manera que se trabajase también en *Solaris* de Houdini, que es un contexto que dispone de numerosas herramientas de desarrollo de diseño de iluminación. Un aspecto muy importante a tener en cuenta de *Solaris* es que permite al usuario crear gráficos de escena basados en *USD*, que son las siglas de *Universal Scene Description*.

El formato *USD* es un formato que sirve para describir escenas y objetos gráficos tridimensionales. Ha sido creado y patentado por Pixar y lo que permite es guardar información 3D en un archivo que ocupa poco espacio de almacenamiento en el disco.

Este tipo de archivo sería muy útil para transferir *assets* digitales de Houdini de las animaciones y simulaciones creadas a un motor de real-time, como podrían ser *Unity* o *Unreal Engine*, que son los más populares.

En estos motores es donde se podría introducir la música en directo (o pregrabada) y generar el funcionamiento de los contenidos 3D, es decir, los *assets* digitales en relación a esta música en tiempo real.

Todo esto comportaría tratar un método de trabajo online, en el que se generan imágenes al mismo tiempo que se crea una música y unos gráficos sin hacer uso de un proceso de renderizado como el que se ha llevado a cabo en este proyecto, que en resumidas cuentas pasaría a ser una demostración de las futuras aplicaciones del contenido creado.

8. Webgrafía

Cgwiki. *Points and Verts and Prims*. Consultado el 12 de mayo de 2022 desde https://es.wikipedia.org/wiki/Crash_test_dummy

Cuemath. *Volume of 3D Shapes*. Consultado el 12 de mayo de 2022 desde <https://www.cuemath.com/measurement/volume-of-3d-shapes/>

Wikipedia. *Motion Graphics*. Consultado el 12 de mayo de 2022 desde https://es.wikipedia.org/wiki/Motion_Graphics

Andrew Lowell. *Houdini Music Tool*. Consultado el 14 de junio de 2022 desde <https://github.com/andrew-lowell/HMT>

Junichiro Horikawa, 4 de junio de 2018. *[Houdini Tutorial] 0029 Spectrum Visualizer (Slow Version)*. Consultado el 16 de junio de 2022 desde https://www.youtube.com/watch?v=lv_tlbzYgN4

What I Found, 23 de enero de 2022. *Houdini CHOP Talk 3 Audio Processing 1 - Audio Spectrum*. Consultado el 16 de junio de 2022 desde <https://www.youtube.com/watch?v=J754SLvE7BQ>

VoxelFX, 21 de octubre de 2020. *Audio Driven Animation – Houdini 18*. Consultado el 16 de junio de 2022 desde <https://www.youtube.com/watch?v=qwnIPazdeZY>

Simon Ayton for Roland Corporation Australia. *What is the difference between MIDI and AUDIO?*. Consultado el 18 de junio de 2022 desde <https://rolandcorp.com.au/blog/difference-between-midi-and-audio>

REDACCIÓN, 22 de marzo de 2017. *La discoteca Bootshaus acompaña sus sesiones de música con espectaculares efectos visuales*. Consultado el 14 de julio de 2022 desde <https://www.digitalavmagazine.com/2017/03/22/la-discoteca-bootshaus-acompana-sus-sesiones-de-musica-electronica-con-espectaculares-efectos-visuales/>

Jacob Spacek, 17 de mayo de 2022. *Touch of Colour*. Consultado el 16 de julio de 2022 desde <https://vimeo.com/715051899>, <https://www.youtube.com/watch?v=Xw6i9gFtsgo> y <https://www.sidefx.com/touch-of-colour/>

Rok Knehtl, 13 de febrero de 2015. *3d Music Visualization animation – Motion Graphics. Made in Blender*. Consultado el 17 de julio de 2022 desde <https://www.youtube.com/watch?v=oLFXAQhwHPU>

Rok Knehtl, 16 de marzo de 2016. *Music / Sound Frequency Visualization. Made in Blender 3d*. Consultado el 17 de julio de 2022 desde <https://www.youtube.com/watch?v=2uB0jtGMZEo>

Rok Knehtl, 18 de octubre de 2014. *SellSword feat. Milan. audio visualization made in Blender*. Consultado el 17 de julio de 2022 desde https://www.youtube.com/watch?v=YzUN2_zp3DA

VisualMusic, 2018. *Real Time 3D Motion Graphics Studio for Creative Music Industry SMEs*. Consultado el 20 de julio de 2022 desde <http://www.visualmusicproject.com/>

Kutuko, 6 de febrero de 2020. Music in motion. *Por qué la música es parte clave de las piezas de motion graphics*. Consultado el 22 de julio de 2022 desde <https://kutuko.es/music-in-motion-por-que-la-musica-es-parte-clave-de-las-piezas-de-motion-graphics>

Kutuko, 11 de enero del 2018. Visual is wonderful. Consultado el 22 de julio de 2022 desde <https://vimeo.com/250587684> y <https://vimeo.com/250413976>

Wikipedia. *Música visual*. Consultado el 3 de agosto de 2022 desde https://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%BAsica_visual

Wikipedia. *Formato de archivo de audio*. Consultado el 3 de agosto de 2022 desde https://es.wikipedia.org/wiki/Formato_de_archivo_de_audio

Wikipedia. *Waveform Audio Format*. Consultado el 4 de agosto de 2022 desde https://es.wikipedia.org/wiki/Waveform_Audio_Format

Wikipedia. *MIDI*. Consultado el 4 de agosto de 2022 desde <https://es.wikipedia.org/wiki/MIDI>

Simon Russell, 18 de marzo de 2022. *Piano Synesthesia. MIDI driven animation*. Consultado el 25 de julio de 2022 desde <https://www.instagram.com/p/CbPWhO5AYy0/>

Wikipedia. *Lo-fi*. Consultado el 6 de agosto de 2022 desde [https://es.wikipedia.org/wiki/Lo-fi_\(m%C3%BAsica\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Lo-fi_(m%C3%BAsica))

Maxon. Redshift renderer. Consultado el 6 de agosto de 2022 desde <https://www.maxon.net/en/redshift> y [https://en.wikipedia.org/wiki/Redshift_\(renderer\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Redshift_(renderer))

Adk Studios, 6 de mayo de 2021. Cakewalk Tutorial E02. *How to install VST Plugins in Cakewalk*. Consultado el 10 de agosto de 2022 desde <https://www.youtube.com/watch?v=g61cRblkDfg>

Adk Studios, 16 de mayo de 2021. Cakewalk Tutorial E02. *Cakewalk Tutorial E03. Working with Samples in Cakewalk*. Consultado el 10 de agosto de 2022 desde <https://www.youtube.com/watch?v=g61cRblkDfg>

Creative Sauce, 2 de abril de 2020. *How to use Kontakt in Cakewalk by Bandlab*. Consultado el 11 de agosto de 2022 desde <https://www.youtube.com/watch?v=wF64xNsM8T8>

Pianobook. *Steinway Grand*. Consultado el 12 de agosto de 2022 desde <https://www.pianobook.co.uk/packs/steinway-grand/>

Pianobook. *Evergreen Performance*. Consultado el 12 de agosto de 2022 desde <https://www.pianobook.co.uk/packs/evergreen-performance/>

Pianobook. *Broadwood*. Consultado el 12 de agosto de 2022 desde

<https://www.pianobook.co.uk/packs/broadwood/>

Audio Sorcerer, 2 de octubre de 2020. *Cakewalk Tutorial | Bandlab | How To Export Audio, MIDI, And Stems (Beginner)*. Consultado el 16 de agosto de 2022 desde

<https://www.youtube.com/watch?v=F7D7YkQmohE>

S3D. *Definición de Simulación*. Consultado el 14 de septiembre de 2022 desde

<https://simulaciones3d.com/definicion-de-simulacion-3d/>

Unity. *Una explicación sobre la tecnología 3D en tiempo real en el sector del AEC*.

Consultado el 15 de septiembre de 2022 desde

<https://unity.com/es/solutions/architecture-engineering-construction/rt3d-explained>

Wikipedia. *Gráficos por ordenador en tiempo real*. Consultado el 15 de septiembre de 2022 desde

https://es.wikipedia.org/wiki/Gr%C3%A1ficos_por_ordenador_en_tiempo_real

Virtual Dreams, 13 de enero de 2021. *Real Time 3D: desde los videojuegos a tu*

empresa. Consultado el 15 de febrero de 2022 desde [https://virtualdreams.io/real-](https://virtualdreams.io/real-time-3d-desde-los-videojuegos-a-tu-empresa/)

[time-3d-desde-los-videojuegos-a-tu-empresa/](https://virtualdreams.io/real-time-3d-desde-los-videojuegos-a-tu-empresa/)

SideFX. *Solaris. Lookdev | Layout | Lighting*. Consultado el 15 de septiembre de 2022

desde <https://www.sidefx.com/products/houdini/solaris/>

3dpoder, 4 de noviembre de 2020. *USD Universal Scene Description*. Consultado el 15

de septiembre de 2022 desde [https://www.foro3d.com/f102/usd-universal-scene-](https://www.foro3d.com/f102/usd-universal-scene-description-143302.html)

[description-143302.html](https://www.foro3d.com/f102/usd-universal-scene-description-143302.html)