



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY



FACULTAD DE
INGENIERÍA

Título que va a poner a su proyecto de grado

Informe de Proyecto de Grado presentado por

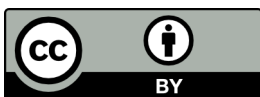
Aguses y Stefa

en cumplimiento parcial de los requerimientos para la graduación de la carrera de Ingeniería en
Computación de Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República

Supervisores

Nombre Supervisor
Nombre Co-Supervisor

Montevideo, 9 de marzo de 2024



Título que va a poner a su proyecto de grado por Aguses y Stefa tiene licencia
[CC Atribución 4.0.](#)

Agradecimientos

Agradecer, siempre es bueno agradecer.

Resumen

El resumen (200-500 palabras) debe dar una idea completa de todo el proyecto, mencionando claramente los formalismos, técnicas, herramientas y lenguajes utilizados. No debe limitarse a describir el problema abordado, sino que debe describir la solución del problema, con una evaluación de la misma. No debe incluir referencias bibliográficas ni referencias a otras partes del informe. Tampoco debe utilizar acrónimos sin explicar su significado.

Palabras clave: Template, Proyectos de Grado, Computación

Índice general

Capítulo 1

Introducción

La capacidad de simular y predecir comportamientos es una cualidad altamente valorada en el campo de la ingeniería. Comprender un concepto a tal nivel que se puedan realizar simulaciones desbloquea un gran potencial tanto para fines analíticos y didácticos como para la reducción de costos operativos y de desarrollo.

En el ámbito audiovisual, la motivación para realizar simulaciones sonoras es diversa. En la industria del cine y los videojuegos, por ejemplo, estas simulaciones permiten crear ambientes sonoros más envolventes y realistas, enriqueciendo significativamente la experiencia del usuario. En el campo de la arquitectura, facilitan a los diseñadores el entendimiento de cómo se propaga el sonido en espacios cerrados, aspecto crucial para el diseño de teatros, salas de conciertos y otros espacios acústicamente sensibles. Además, en la planificación urbana, esta tecnología podría predecir y mitigar la contaminación acústica en las ciudades, mejorando así la calidad de vida de los residentes.

Para simular este fenómeno, se puede recurrir a una analogía con la luz, otro fenómeno físico común cuyas técnicas de simulación están bien establecidas y popularizadas. Una de estas técnicas es el trazado de rayos, comúnmente aplicada en computación gráfica para simular la interacción de los rayos de luz con un entorno y así generar imágenes realistas. Esta técnica ha experimentado avances significativos en las últimas décadas, gracias al progreso en computación que caracteriza a la era actual. Por un lado, la luz y el sonido comparten algunas características comunes, como emanar de una fuente, propagarse en forma de ondas e interactuar con objetos, lo cual indica suficientes paralelismos para poder asumir que el trazado de rayos puede ser aplicado para realizar simulaciones acústicas. Sin embargo, presentan diferencias extremadamente significativas en varios aspectos, como la longitud de onda y la velocidad, entre otros. Estas diferencias implican que la aplicación del trazado de rayos en sonido no es directamente trasladable desde su uso en la luz, sino que debe ser ajustado correspondientemente.

En el ámbito del trazado de rayos, la industria del entretenimiento, especialmente los sectores de videojuegos y efectos visuales, ha sido un motor fundamental en el avance de las técnicas de trazado de rayos. Además, han estimulado el desarrollo de herramientas tecnológicas avanzadas, como las tarjetas gráficas, también conocidas como unidades de procesamiento gráfico (GPU, por sus siglas en inglés). Estas GPUs no solo destacan por su gran potencia, sino que también son suficientemente accesibles para un amplio espectro de usuarios. La accesibilidad de estas tecnologías ha incentivado a los competidores en el mercado a promover su uso en la programación abierta y habilitar a sus usuarios poder utilizar su poder computacional para un fin deseado, por ejemplo, la elaboración de un renderer acústico utilizando trazado de rayos.

Capítulo 2

Revisión de antecedentes

2.1. Fundamentos del sonido

En el marco del proyecto, la comprensión detallada de los fundamentos del sonido adquiere una importancia crítica, tanto como un pilar teórico sino también por su aplicabilidad directa en las soluciones tecnológicas desarrolladas.

2.1.1. La onda de sonido

El sonido se define como TODO, a continuación esta lo viejo. El sonido es un fenómeno físico resultante de una c

Tales vibraciones se conducen fácilmente en gases, líquidos y sólidos como el aire, el agua, el acero, etc., que son todos medios elásticos. Si una partícula en uno de estos medios se desplaza de su posición original, las fuerzas elásticas tienden a restaurarla a su posición inicial. Y debido a la inercia de la partícula, ésta sobrepasa la posición de reposo, lo que activa las fuerzas elásticas en la dirección opuesta, y así sucesivamente (Figura ??). Por esta razón, la elasticidad y la inercia son dos características que todos los medios deben poseer para ser capaces de conducir el sonido.

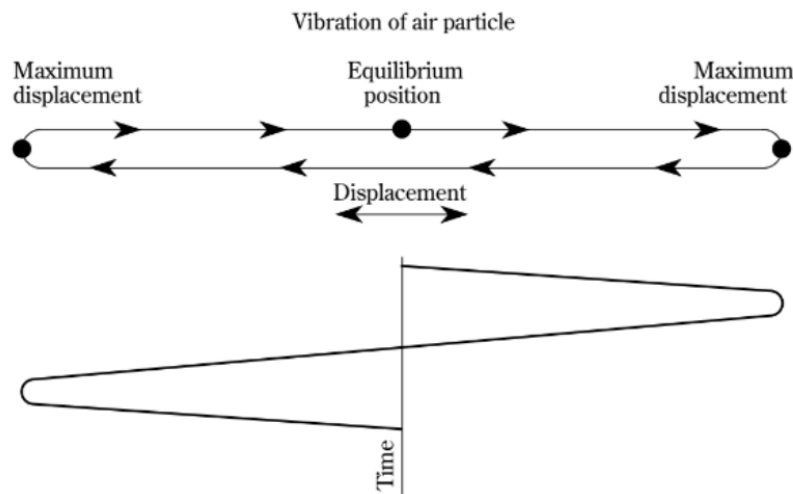


Figura 2.1: Posición en el tiempo de una partícula de aire bajo los efectos de fuerzas elásticas.

Extraído de (?, ?)

El movimiento previamente descrito en las partículas de un medio constituye la onda sonora. Dicha

onda genera la compresión y rarefacción (o escasez) de dichas partículas, (Figura ??)

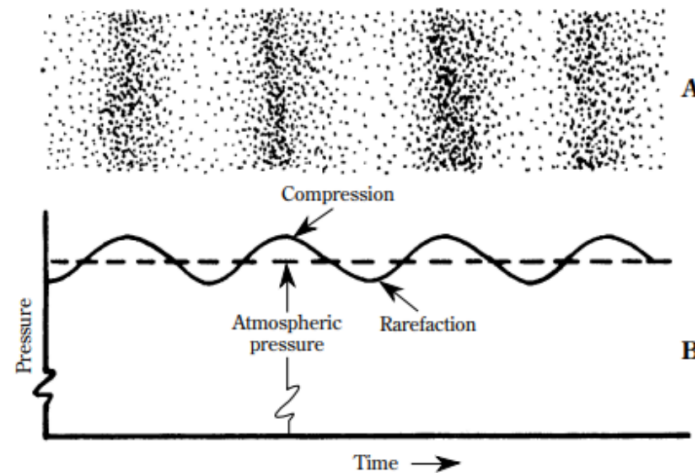


Figura 2.2: (A) Ilustración de un grupo de partículas comprimidas y enrarecidas debido a la transmisión del sonido. (B) Variaciones en la presión causadas por una onda de sonido con respecto a la presión atmosférica. Extraído de (,)

La intensidad acústica de un sonido, o volumen, es proporcional al cuadrado de la presión sonora efectiva, la cual es medida en Pascales (Pa). Viéndolo desde una perspectiva matemática, esta presión se representa con la amplitud de la onda, es decir, la diferencia del valor de la presión entre los “valles” y las “crestas”.

Además, la onda sonora exhibe otra propiedad fundamental: su frecuencia, definida como el número de ciclos completos por unidad de tiempo, la cual determina el tono del sonido y es medida en Hertz (Hz).

Finalmente, la longitud de onda representa la distancia en el espacio que se desplaza una onda en el tiempo que esta demora en realizar un ciclo. Dado este valor, es posible calcular la velocidad del sonido¹.

2.1.2. Nivel de sonido

Nuestra percepción del sonido no se relaciona linealmente con los atributos físicos del sonido. Más precisamente, el oído humano percibe cambios en el nivel sonoro de forma logarítmica.

El decibel (dB) es una unidad logarítmica usada para medir la intensidad de un sonido. Cuantifica el nivel sonoro al comparar la presión de dicho sonido con la presión de un sonido referencia (denominado P_0) con una presión de $20\mu\text{Pa}$ (micropascales) en el aire, valor que representa la diferencia de presiones entre el momento de compresión y rarefacción de las partículas (es decir, el valle y la cresta de la onda). Este valor aproxima a la mínima presión perceptible por un humano con excelentes habilidades auditivas.

La fórmula para el nivel en decibeles de un sonido con una determinada presión P_1 es definida de la siguiente forma

$$L = 20 * \log_{10}(P_1/P_0) \quad (2.1)$$

Se puede apreciar con esta formula que el nivel sonoro de un sonido con una presión que sea igual al valor base corresponde a 0 dB.

¹En la atmósfera terrestre la velocidad del sonido es de 343.2 m/s a 20 °C de temperatura

2.1.3. Interacción del sonido con el ambiente

Mientras las ondas de sonido se propagan, estas interactúan con el ambiente de formas complejas y variadas, dando lugar a distintos fenómenos como la reflexión, absorción, transmisión, refracción y difracción de la onda. En esta sección se procederá a explicar cada fenómeno mencionado.

Cuando una onda de sonido encuentra una superficie u objeto que se consideran “grandes” en comparación a su longitud de onda, la onda de sonido sufre una **reflexión** de forma similar a la que lo haría un rayo de luz. Un libro sería un buen reflector para un sonido de 10 kHz (donde la longitud de onda es aproximadamente 3.5cm), sin embargo un sonido de 20 Hz (donde la longitud de onda es aproximadamente 17 metros) atravesaría tanto el libro como a la persona que lo está sosteniendo sin ser reflejado.

Las frecuencias audibles superiores a 300–400 Hz son consideradas frecuencias especulares (, ?) dado que sonidos en este rango actúan como rayos de luz en un espejo, reflejándose especularmente con un ángulo de incidencia igual al ángulo de reflexión.

Sin embargo en la realidad otros factores pueden afectar cómo el sonido se refleja, dado que ninguna superficie es realmente lisa sino que poseen diversas irregularidades, estas tienen un gran efecto sobre la forma en la que el sonido se refleja. Nuevamente la clave está en la longitud de onda del sonido, si esta es suficientemente mayor a las dimensiones de las irregularidades entonces la superficie puede ser tratada como “lisa” y se refleja acordemente, sin embargo si esta es suficientemente menor a las dimensiones de las irregularidades, entonces se refleja según la dirección de la superficie de la irregularidad contra la que impacta. En el caso intermedio, se producirá un reflejo especular junto con un reflejo difuso, donde una gran porción de la energía original de la onda se refleja en todas las direcciones. En la figura ?? esto se ilustra y parametriza la condición para cada tipo de reflejo.

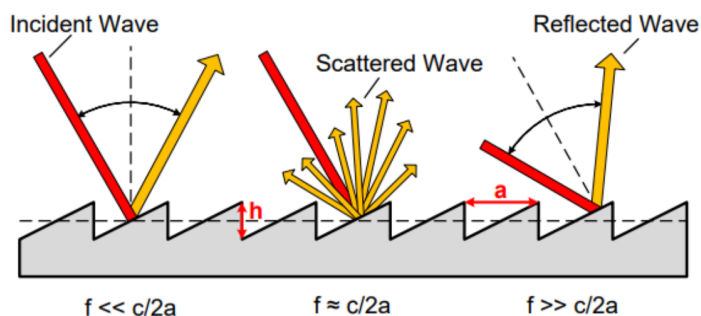


Figura 2.3: Reflexiones en una superficie con irregularidades de altura h y largo a . f denota la frecuencia de la onda incidente y c su velocidad

La **absorción** del sonido refiere al proceso en el cual una estructura u objeto es impactada por una onda de sonido determinada y, además de reflejar la onda, absorbe y transforma parte de su energía. Típicamente la energía absorbida es transformada en calor. Es un concepto crucial para controlar y manipular el sonido de forma predecible en determinados ambientes.

La efectividad de un material para reflejar un sonido está dado por su coeficiente de reflexión R observado, inversamente, la efectividad en la absorción sobre el sonido se representa con su coeficiente de absorción α , el cual varía de 0 (reflexión de onda absoluta) a 1 (absorción absoluta). Este coeficiente depende de varios factores del material, como su grosor, densidad, y la estructura de su superficie. Por ejemplo, la espuma plástica con la cual se elaboran los paneles acústicos que se utilizan para evitar la propagación del sonido es un material altamente poroso que permite que la onda de sonido traspase su superficie, para luego disipar la energía de la misma. Además no solo depende del material, sino que depende de la frecuencia del sonido y el ángulo con el cual la onda de sonido impacta con el material.

R y α se calculan inversamente de la siguiente forma (, ?):

$$\alpha = 1 - (I_r/I_i)^2, \quad R = 1 - \alpha \quad (2.2)$$

Donde I_r es la intensidad de la onda reflejada, e I_i es la intensidad de la onda incidente o emitida

Además de la reflexión y la absorción, cuando el sonido impacta con un obstáculo hay un tercer fenómeno incidente, la transmisión del sonido a través del obstáculo (figura ??). Se trata de un concepto bastante natural para todas las personas, se puede observar al escuchar el sonido de otra habitación a través de la pared que la separa. Con seguridad el sonido transmitido tiene características más silenciosas y apagadas, especialmente en comparación con el sonido original, dado que las frecuencias más altas se aíslan más efectivamente que las más bajas (?, ?).

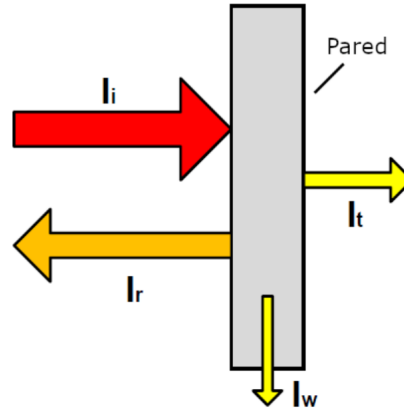


Figura 2.4: I_i es la intensidad incidente del sonido, I_r es la reflejada, I_w es la absorbida y I_t es la transmitida

El índice de reducción de sonido es un indicador de qué tan bien un elemento constructivo, como una pared, techo o piso, puede atenuar el sonido. Se define por la relación entre la intensidad del sonido incidente I_i en el elemento y la intensidad transmitida I_t . Matemáticamente, esto se representa como $R = -10\log(I_i, I_t)$

La **refracción** del sonido, a diferencia de los conceptos anteriores, no está relacionada al impacto del sonido con un obstáculo. Este fenómeno cambia la dirección del sonido a causa de diferencias en la velocidad de propagación. Un ejemplo de esto se puede apreciar en la figura ??, donde la velocidad de un sonido transmitido sobre un medio denso es mayor que la velocidad de un medio menos denso. Esto causa que los frentes de onda marcados por los segmentos A-B y C-D ya no sean paralelos

Nuestra atmósfera no representa un medio uniforme para la propagación del sonido, es un sistema intensamente dinámico que desafía a los meteorólogos constantemente. Debido a esto, el comportamiento del sonido en la atmósfera se ve afectado por factores como la velocidad del aire, su temperatura, su composición, su densidad, entre otros. Sin embargo, en el contexto del proyecto el principal escenario de estudio son los espacios cerrados, donde si se puede considerar el aire como un medio uniforme ya que gran parte de estos factores se minimizan. El principal factor a considerar son las diferencias en la temperatura del aire causadas por artefactos como el aire acondicionado, ya que el sonido viaja más rápidamente en aire más caliente. De todas formas, no se consideró un factor relevante sobre la propagación del sonido en este proyecto.

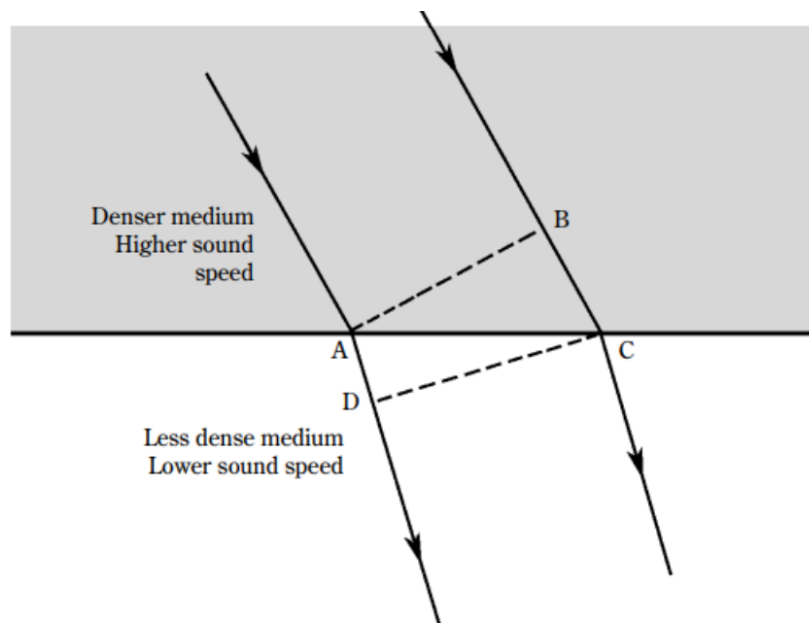


Figura 2.5: Ejemplo de la trayectoria de una onda que atraviesa medios con distintas densidades.
Extraído de (?, ?)

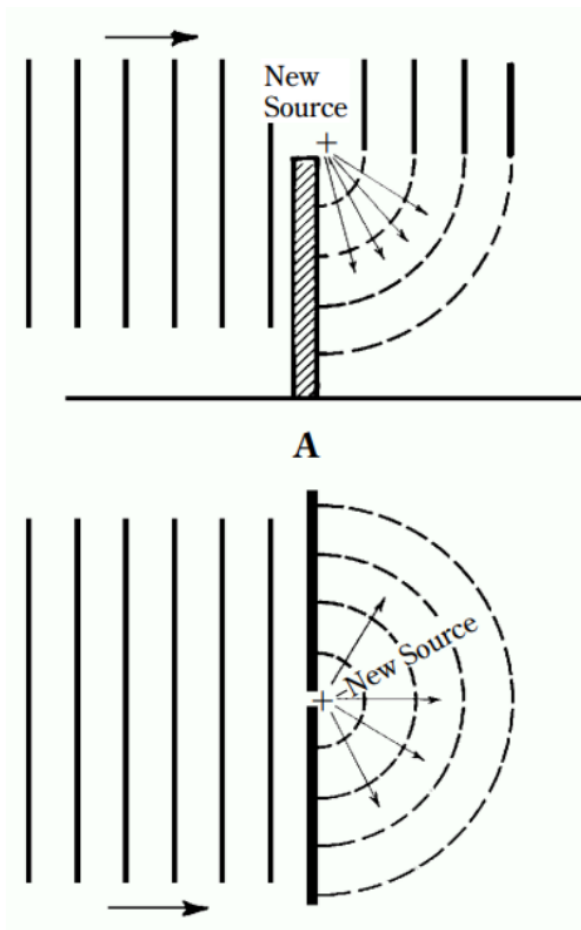


Figura 2.6: Ejemplo del fenómeno ocurriendo .
Extraído de (?, ?)

Por otro lado, el concepto de **difracción** describe el fenómeno donde la dirección del sonido es alterada no por cambios en el medio, sino por obstáculos presentados en su trayectoria. Un ejemplo básico de este fenómeno se puede reproducir fácilmente, reproduciendo música en una habitación de una casa se puede observar que esta es audible a lo largo de un pasillo o en otras habitaciones, “doblando” en cada esquina. En la figura ?? se puede ver ejemplos de esto. Al impactar el sonido con una pared en el ejemplo A, se genera una nueva fuente virtual de sonido. De forma similar esto sucede en el ejemplo B, donde el sonido que atraviesa un agujero en la pared se convierte en una nueva fuente virtual, radiando el sonido omnidireccionalmente.

Existen más ejemplos y cada caso depende tanto del obstáculo como de la longitud de onda del sonido. Es importante destacar que la influencia de la difracción en espacios cerrados suele ser de un orden menor que la de las reflexiones.

Capítulo 3

Parte Central

La parte central del trabajo refiere a lo que es producción propia o aporte del proyecto de grado, incluyendo las decisiones tomadas. Por ejemplo, puede incluir los requerimientos, el análisis y el diseño de la solución. Si el proyecto tiene una implementación, debe describirse en términos de decisiones tomadas en ese sentido. Los detalles de programación se dejan para los anexos.

Se pueden incluir figuras y tablas en el documento, las mismas deben estar referenciadas en el texto. Por ejemplo, la Figura ?? muestra los logos de Facultad de Ingeniería y de la Universidad de la República, mientras que la Tabla ?? tiene números aleatorios.



Figura 3.1: Logos de FIng y UdelaR

Col1	Col2	Col2	Col3
1	970	67	941
2	668	845	141
3	800	383	464
4	143	683	502

Tabla 3.1: Tabla con datos

Capítulo 4

Primeros pasos

4.1. Setup

El proyecto inicialmente fue pensado para basarse en el proyecto de grado de Camilo Satut y utilizar el poder de procesamiento de datos de las tarjetas de video para lograr realizar más cálculos en paralelo y así obtener una mejor calidad de audio, junto con otros beneficios. La gran mayoría del tiempo invertido en las primeras semanas fue destinado a entender la implementación de Camilo y discutir donde y como se deberían implementar dichas mejoras.

A partir de estas reuniones se construyó un backlog de requerimientos, ideas y mejoras posibles para ir priorizando e implementando.

Se estableció un plan de trabajo estilo scrum donde utilizamos sprints con una duración de 2 semanas y al final del sprint se tenía una reunión con el tutor para reportar los avances y discutir posibles soluciones.

El priemr sprint fue totalmente dedicado a la investigación de Optix y multiples biblioteca de audio. En este sprint el entregable fue poder realizar un render sobre la tarjeta de video y luego de checkear distintas bibliotecas de audio se decidió continuar con

Capítulo 5

Experimentación

Puede ser necesario incluir un capítulo de Experimentación, incluyendo las pruebas realizadas (casos de prueba) y los resultados obtenidos con su respectivo análisis, que puede incluir comparaciones.

Capítulo 6

Conclusiones y Trabajo Futuro

En este capítulo se evalúan los resultados alcanzados y dificultades encontradas, se establece lo que se planteó hacer y lo que se hizo realmente, cuales fueron los aportes, se muestran posibles extensiones al trabajo, se realiza una autocrítica de lo que se hizo y lo que faltó (por problemas de tiempo, recursos, cómo se puede continuar, qué cosas hacer, prioridades, etc.) y se incluye información sobre la gestión del proyecto, si aplica

Referencias

- Everest, F. A. (2001). *The master handbook of acoustics. fourth edition*. McGraw-Hill.
- Möser, M., y Barros, J. L. (2009). *Ingeniería acústica, teoría y aplicaciones*. Springer Berlin, Heidelberg.
- Schröder, D. (2011). *Physically based real-time auralization of interactive virtual environments* (Tesis Doctoral no publicada). Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen.

Anexo A

Anexo 1

Los anexos contienen información adjunta al proyecto pero que no es fundamental para entender el trabajo. Por ejemplo, determinado material de los antecedentes o la implementación, que en el cuerpo principal del informe se encuentre resumido, aquí puede presentarse de forma completa. En caso de proyectos de desarrollo de software, se debería incluir un manual de usuario.

A.1. Sección del Anexo

Los anexos pueden tener secciones.