



ugr

Universidad  
de Granada

TRABAJO FIN DE GRADO  
INGENIERÍA EN INGENIERIA INFORMÁTICA

# Sintetizador virtual

---

**Subtitulo del Proyecto**

**Autor**

Miguel García Tenorio

**Directores**

Carlos Ureña Almagro

Aquí se puede incluir nombre y logo del  
Departamento responsable del proyecto



Escuela Técnica Superior de Ingenierías Informática y de  
Telecomunicación

—  
Granada, Junio de 2021









ugr

Universidad  
de Granada

Alternativamente, el logo de la UGR puede  
sustituirse / complementarse con uno específico del

# Sintetizador Virtual

---

Subtítulo del proyecto.

**Autor**

Miguel García Tenorio

**Directores**

Carlos Ureña Almagro



**Título del Proyecto: Subtítulo del proyecto**

Nombre Apellido1 Apellido2 (alumno)

**Palabras clave:** palabra clave1, palabra clave2, palabra clave3, .....

**Resumen**

Poner aquí el resumen.





**Project Title: Project Subtitle**

First name, Family name (student)

**Keywords:** Keyword1, Keyword2, Keyword3, ....

**Abstract**

Write here the abstract in English.



---

Yo, **Miguel García Tenorio**, alumno de la titulación TITULACIÓN de la **Escuela Técnica Superior de Ingenierías Informática y de Telecomunicación de la Universidad de Granada**, con DNI 75576490P, autorizo la ubicación de la siguiente copia de mi Trabajo Fin de Grado en la biblioteca del centro para que pueda ser consultada por las personas que lo deseen.

Fdo: Miguel García Tenorio

Granada a X de mes de 201 .



---

D. **Nombre Apellido1 Apellido2 (tutor1)**, Profesor del Área de XXXX del Departamento YYYY de la Universidad de Granada.

D. **Nombre Apellido1 Apellido2 (tutor2)**, Profesor del Área de XXXX del Departamento YYYY de la Universidad de Granada.

**Informan:**

Que el presente trabajo, titulado ***Título del proyecto, Subtítulo del proyecto***, ha sido realizado bajo su supervisión por **Nombre Apellido1 Apellido2 (alumno)**, y autorizamos la defensa de dicho trabajo ante el tribunal que corresponda.

Y para que conste, expiden y firman el presente informe en Granada a X de mes de 201 .

**Los directores:**

**Nombre Apellido1 Apellido2 (tutor1)**  
**Apellido2 (tutor2)**

**Nombre Apellido1 Ape-**



# Agradecimientos

Poner aquí agradecimientos...





# Índice

## Contenido

Sintetizador virtual .....	1
Subtítulo del Proyecto .....	1
Autor .....	1
Directores.....	1
Introducción.....	5
Subtítulo del proyecto.....	5
Autor .....	5
Directores.....	5
Título del Proyecto: Subtítulo del proyecto .....	7
Resumen .....	7
Project Title: Project Subtitle.....	9
Abstract .....	9
Informan: .....	13
Los directores: .....	13
Índice .....	17
Capítulo 1: Introducción .....	18
1.2. Glosario de términos.....	18
Capítulo 2: Objetivos.....	19
Capítulo 3: Planificación y presupuesto.....	20
3.1. Planificación Inicial .....	20
3.2. Presupuesto .....	22
3.2.1. Justificación del presupuesto .....	22
Capítulo 4: Análisis .....	23
4.1. Metodología de desarrollo .....	23
4.1.1. Velocidad de Trabajo .....	23
4.2. Análisis del entorno .....	23
4.2.1. Análisis competitivo.....	23
4.2.2. Personas y escenarios .....	25
4.2.3. Aspectos a tratar .....	29
4.3. Requisitos del sistema .....	29
4.3.1. Requisitos Funcionales .....	29
4.3.2. Requisitos no funcionales.....	32
4.4. Product Backlog.....	33
4.5. Sprints Backlogs.....	34
4.5.1. Sprint 1.....	35
4.5.2. Sprint 2.....	37
Capítulo 5: Diseño.....	45

Capítulo 6: Implementación y pruebas .....	45
6.1. Estudio de las tecnologías .....	45
6.1.1. Análisis de las diferentes tecnologías.....	45
6.1.2. Conclusión del análisis de tecnologías .....	47
6.2. Tecnologías empleadas.....	47
6.2.1. Lenguajes de programación .....	47
6.2.2. Entorno de Ejecución .....	47
6.2.3. Frameworks .....	47
6.2.3. Control de versiones .....	47
6.3. Instalación y ejecución.....	48
6.3.1. Instalación.....	48
6.3.2. Ejecución .....	49
6.4. Implementación .....	49
6.4.1. Frontend.....	49
Capítulo 7: Conclusiones y vías futuras .....	61
Capítulo 8: Bibliografía final .....	61

# Capítulo 1: Introducción

## 1.2. Glosario de términos

Antes de entrar en la materia del trabajo, es necesario saber lo que significan los siguientes conceptos:

- **DAW:** Acrónimo en inglés para Digital Audio Workstation, o en español, estación de trabajo de audio digital. Un DAW es un sistema software dedicado a la grabación y edición de audio que utiliza una interfaz de audio digital para realizar la conversión digital-analógica y viceversa, para que un hardware pueda reproducir el audio digital editado.
- **Amplitud:** Es la fluctuación o desplazamiento de una onda desde su valor medio. Aplicado al sonido, es la cantidad de fuerza o energía de un sonido, conocida como volumen. Su medida son los decibelios (dB).
- **Decibelios (DB):** Sistema de medida logarítmico empleado para comparar el nivel de proporción entre dos valores de presión sonora, voltaje de señal o potencia. En el procesamiento de audio digital se trabaja con el intervalo  $[-\infty \text{ db}, 0\text{db}]$  que representan la atenuación en el nivel de la salida del amplificador.
- **Envolvente acústica:** Describe la evolución temporal de la amplitud de cualquier sonido a partir de cuatro parámetros: Attack, Decay, Sustain, Release.

- **Attack:** Es el tiempo de entrada. Lo que tarda en un sonido en alcanzar su amplitud máxima después de haber sido ejecutado el instrumento. No tiene porque ser lineal y se mide en mili segundos (ms).
- **Decay:** Es el tiempo que tarda el sonido en caer a una etapa de sostenimiento, después de haber alcanzado la amplitud máxima sin soltar la tecla pulsada o punto de inducción vibratoria que se pulso para ejecutar el instrumento. No tiene porque ser lineal y se mide en mili segundos (ms).
- **Sustain:** Tiempo durante el cual la amplitud del sonido se mantiene constante hasta que se deja de emitir vibración o se suelta la tecla o el punto de inducción vibratoria. Es lineal y se mide en mili segundos (ms).
- **Release:** Tiempo que tarda un sonido en perder toda su amplitud (volumen) después de despear la tecla o punto de inducción vibratoria. Es lineal y se mide en mili segundos (ms).
- **Polifonía**
- **Frecuencia de oscilación**
- **Octava**

## Capítulo 2: Objetivos

1. El sistema debe ser capaz de generar y reproducir señales de audio digitales.
2. El sistema debe simular el comportamiento de un sintetizador analógico de manera digital.
3. El sistema debe permitir a los usuarios diseñar sus propios sonidos.
4. El sistema debe permitir almacenar sonidos diseñados y cargarlos para su reproducción o modificación.
5. El sistema debe ser compatible con dispositivos MIDI.
6. El sistema debe permitir grabar piezas musicales.
7. El sistema debe de eliminar el retardo para garantizar la experiencia de tocar un instrumento de manera virtual.
8. El sistema debe de ser amigable y accesible para el usuario

# Capítulo 3: Planificación y presupuesto

## 3.1. Planificación Inicial

Inicialmente se realiza una planificación en la que se opta por dividir el desarrollo del proyecto en 6 fases o iteraciones, las cuales se dividen en 2 Sprint de dos semanas, excepto la primera iteración y la última que contienen un Sprint, en la que se planifican 8 bloques principales que conllevarán una serie de tareas a realizar.

Se realiza esta división, debido a que se seguirá una metodología ágil de desarrollo, Scrum, que será expuesta en secciones posteriores (ver ...).

El proyecto comienza la semana del 15/02/2021 y termina la semana del 5/07/2021, por lo que se planifican 20 semanas en total. La planificación consta de 8 bloques principales. La [figura 3.1](#) muestra la temporización de la realización de cada uno de los bloques de acuerdo a esta división



Figura 3.1. Diagrama Gantt planificación inicial

De acuerdo con esta planificación inicial se estiman las horas que será necesarias para la realización de cada uno de los bloques. De acuerdo con el Plan de Ordenación Docente del curso 2020/201 de la UGR 1 crédito ECTS se corresponde con 25 horas de trabajo, por lo que 12 créditos ECTS del Trabajo Final de Grado se corresponden con 300 horas de trabajo que hay que planificar. En la [tabla 3.1](#) se muestra la correspondencia en horas para cada uno de los bloques planificados.

	HORAS	PORCENTAJE TOTAL
Planificación	22	7,3
Formación	21	7
Investigación	7	2,3
Análisis	40	13,3
Diseño	41	13,6
Documentación	32,5	10,83
Implementación	109	36,3
Revisión y Pruebas	27,5	9,17
<b>TOTAL</b>	<b>300</b>	<b>100</b>

**Tabla 3.1. Horas planificadas**

## 3.2. Presupuesto

Se estima que el precio del proyecto ronde los 5490€

Elementos	Coste	Total
Ordenador	780 €	780 €
Teclado MIDI	100 €	100 €
Auriculares estudio	60 €	60 €
Espacio de coworking (4 meses)	100 € / mes	400 €
Trabajo autónomo (4 meses)	13,5 € / hora	4050 €
Bibliografía	100 €	100 €
<b>Total</b>		<b>5490 €</b>

**Tabla 3.2. Presupuesto del proyecto**

### 3.2.1. Justificación del presupuesto

A continuación, se justifica cada elemento del presupuesto:

- **Ordenador:** Será necesario un ordenador de gama media/alta ya que se requiere de capacidad computacional para ejecutar el entorno de programación, lanzar el servidor para realizar pruebas y ejecutar el programa.
- **Teclado MIDI:** Se requiere un teclado MIDI para probar alguna de la

funcionalidad que ofrece el sistema. Basta con un teclado MIDI de gama media/baja para realizar las pruebas que rondan entorno a los 100 €

- **Auriculares de estudio:** Es preciso comprar unos auriculares de estudio de gama media para tener un sonido claro y limpio de los sonidos producidos por el software que se esta desarrollando. Este tipo de auriculares rondan los 60€ en el mercado.
- **Espacio de coworking:** Se supone que no se dispone de espacio de trabajo, por lo que se opta por alquilar una plaza en un espacio coworking en la que se dispondrá de electricidad, agua, calefacción, internet y sala de reuniones entre otros. Aproximadamente la tarifa ronda entre los 100 € mensuales.
- **Trabajo autónomo:** Como se planificaron 300 horas de trabajo (ver [Tabla 3.1](#)), y el salario de un Ingeniero informático Junior ronda los 13,5 € la hora y el proyecto tiene una duración de 4 meses, se estiman unos 4050 € de trabajo autónomo.
- **Bibliografía:** Serán necesarias fuentes que no se encuentran en Internet y no se encuentran en bibliotecas públicas (salvo en la de la UGR) que conllevarán un coste adicional.

## Capítulo 4: Análisis

### 4.1. Metodología de desarrollo

#### 4.1.1. Velocidad de Trabajo

Partimos de un equipo de desarrollo formado por 1 programador que van a dedicar un 100% de su trabajo al proyecto.

La duración de cada uno de los Sprints que vamos a realizar en el proyecto van a ser de 2 semanas.

La estimación del esfuerzo de cada una de las historias de usuario se ha expresado en días ideales de programación.

Se estima que un día ideal de programación se va a corresponder con 2 a 3 días reales de trabajo.

La duración de Sprint va a ser: 1 Sprint = 2 semanas = 12 Días reales

La Velocidad del equipo de desarrollo medido en punto de historia es: 1 Programador \* 12= 12 días reales por iteración => de 10 a 12 PH por iteración.

Se ha decidido usar 12 Puntos de historia como la velocidad estimada del equipo.

### 4.2. Análisis del entorno

Antes de entrar en el análisis de los requerimientos del sistema o las historias de usuario, es necesario analizar el entorno para conocer cómo se comportan los usuarios al utilizar un sintetizador virtual y lograr un software más adaptado a los usuarios.

#### 4.2.1. Análisis competitivo

En primer lugar, se realiza un análisis de la competencia para encontrar puntos fuertes y débiles de estos sistemas.

Antes de empezar con el análisis competitivo, hay que destacar que los softwares de síntesis digital más populares están diseñados para ser extensiones de programas

DAW, por lo que muchos de estos no se pueden utilizar sin un programa de este tipo, o bien se pueden utilizar, pero con una funcionalidad limitada. A pesar de esto, podemos encontrar otras opciones que no necesitan de un DAW para su funcionamiento.

De esta manera, podemos clasificar los sintetizadores en dos grandes bloques:

- Aquellos que necesitan de un DAW para su utilización.
- Aquellos que no necesitan un DAW para su utilización.

De acuerdo con esta clasificación, para cada grupo, se analiza el sintetizador más popular:

- **Serum:**
  - Esta dentro del primer grupo (no necesita un DAW).
  - Diseñado por la empresa Xfer Records.
  - Implementado en C++ usando JUCE <sup>1</sup> como framework.
  - Puntos fuertes
    - En cuanto a síntesis digital, es de los mas sofisticados en el mercado.
    - Tiene dos osciladores.
    - Interfaz bastante sencilla e intuitiva.
    - Posibilidad de elegir distintos tipos de onda.
    - Ofrece la posibilidad de modificar la onda de audio de cada oscilador a nuestro antojo.
    - Sistema de modulación bastante versátil, permite arrastrar el componente de modulación a lo que se quiera modular e incluso cuenta con una matriz de modulación.
    - Permite guardar configuraciones de sonidos.
    - Posee un banco de configuraciones preestablecidas, es decir, de sonido ya diseñados que se pueden buscar y filtrar por categorías u otros criterios.
    - Cuenta con gran variedad de efectos que se pueden aplicar a la vez a un mismo sonido.
    - En la parte inferior de la interfaz hay una simulación de un piano que nos va indicando que nota estamos pulsando encada momento.
    - Posee gráficos que se sincronizan con el sonido producido.
    - Permite insertar muestras de sonido (simples) para su síntesis.
  - Puntos débiles
    - Solo se puede utilizar a través de un DAW, es decir, es un plugin
    - Tiene bastantes parámetros que se pueden modificar por lo que se requiere un conocimiento alto en síntesis digital.
    - Debido a que es un plugin sus funciones se limitan a crear sonidos y enviarlos al DAW.
    - Elevado coste, actualmente \$189 USD.
- **Midi.city:**
  - Esta dentro del segundo grupo (no necesita un DAW).
  - Es un sintetizador en la nube, que puede usarse en cualquier dispositivo que disponga de un navegador web.

---

<sup>1</sup> JUCE: Framework basado en C++ para el desarrollo de Plugins para DAWS



- Constituye una comunidad, en la que puedes crearte una cuenta para participar en foros, votar para nuevas características, acceder al registro de cambios, reportar algún fallo etc....
- Principalmente se basa en JavaScript usando ToneJS como Framework.
- Puntos fuertes:
  - Se puede utilizar en cualquier dispositivo con navegador web.
  - Es open source, su utilización no requiere comprar ninguna licencia.
  - Posee todas las octavas.
  - Posee gráficos que se sincronizan con el sonido producido
  - Los sonidos generados se pueden reproducir, con el teclado, pulsando con el ratón en la nota o conectando un teclado MIDI.
  - Cuenta con un metrónomo .
  - Es capaz de secuenciar archivos MIDI.
  - Podemos reproducir una secuencia de percusión a la vez que reproducimos los sonidos sintetizados.
  - Cuenta con un banco de sonidos bien clasificados.
- Puntos débiles:
  - No se pueden crear nuevos sonidos, los sonidos se limitan a los que vienen por defecto.
  - No se pueden grabar piezas musicales tocadas con los sonidos sintetizados.
  - No se pueden modificar los parámetros de los sonidos, la síntesis es invisible al usuario se realiza en un segundo plano.
  - En ocasiones presenta latencia.


#### 4.2.2. Personas y escenarios

Para identificar las metas y los puntos débiles de nuestro usuario objetivo, se crean dos personas que interaccionaran con Serum y Midi.city.

PERSONA 01		
Nombre	Javier Pérez	Foto 
Edad	23	
Sexo	M	
Educación	Graduado en comunicación audiovisual. Master en producción musical	
Contexto de uso		
Cuándo	En horario laboral	
Dónde	En el estudio	

Dispositivo	Ordenador de sobremesa
<b>Misión</b>	
Objetivo	Quiere diseñar nuevos sonidos para sus producciones
Expectativas	Obtener sonidos de calidad y de manera sencilla
<b>Motivación</b>	
Urgencia	Lo necesita cuanto antes
Deseo	Quiere diseñar sonidos nuevos por el mismo
<b>Actitud hacia la tecnología</b>	
Esta siempre a la última, tiene bastante soltura con el uso de las tecnologías	


**Tabla 4.X. Persona 01**

PERSONA 02		
Nombre	Ava Miller	<div>Foto</div> 
Edad	27	
Sexo	10	
Educación	Graduado en Bellas Artes. Master en artes escénicas	
Contexto de uso		
Cuándo	En su tiempo libre	
Dónde	En casa	
Dispositivo	Portátil/ Móvil	
Misión		
Objetivo	Quiere poder tocar el piano con su nuevo teclado MIDI	

Expectativas	No gastar dinero en software adicional y poder grabar sus piezas
<b>Motivación</b>	
Urgencia	Está aprendiendo de manera autodidacta a tocar el piano y necesita empezar a tocar cuanto antes
Deseo	Poner en práctica las habilidades aprendidas al piano y experimentar con variedad de sonidos
<b>Actitud hacia la tecnología</b>	
Se desenvuelve, pero tampoco es una experta	

**Tabla 4.X. Persona 02**

A partir de estas dos personas se definen los siguientes escenarios

ESCENARIO 01		
Nombre persona	Javier Pérez	Foto  
Objetivo persona	Diseñar nuevos sonidos para sus producciones	
Escenario		
<p>Javier es un joven productor de Granada. Estudió el grado de Comunicación Audiovisual en la UGR y posteriormente hizo un master privado en producción musical, ya que desde pequeño ha sido un amante de la música y su sueño era llegar a ser alguien importante en el panorama musical.</p> <p>Paralelamente a sus estudios, Javier trabajaba como camarero de un pub para ganarse un sueldo y así ahorrar para su proyecto musical. Gracias a estos ahorros, recientemente ha montado un pequeño estudio en un local para comenzar su proyecto. Dentro de esta inversión incluyo Ableton Live y Serum para lograr más calidad en sus producciones ya que hasta ahora solo contaba con una guitarra y un teclado.</p> <p>Dispuesto a crear su primera pieza musical en su nueva etapa de productor profesional, abre el DAW Ableton Live y el sintetizador Serum. Su objetivo es lograr un sonido parecido al de una campana.</p>		

Para ello enciende los dos osciladores, selecciona el tipo de onda que cree más conveniente para cada oscilador, establece los parámetros básicos de la envolvente y selecciona un tipo de filtro. Encuentra muchos parámetros que no sabe como funcionan por lo que no los toca, ya que él es productor musical y no es un experto en ingeniería de audio, pero tiene conocimientos medios.

Para terminar añade reverb, delay y un compresor para hacer más interesante el sonido. Una vez terminado guarda el sonido como “Campana propia”. El resultado ha sido óptimo, pero no está convencido del todo, así que selecciona una de las campanas que vienen ya creadas por el sintetizador y la modifica un poco hasta conseguir el sonido que buscaba.

**Tabla 4.X. Escenario 01**

ESCENARIO 02		
Nombre persona	Ava Miller	Foto  
Objetivo persona	Tocar el piano, probar sonidos diferentes y grabar piezas musicales	
Escenario		
<p>Ava es chica de 27 nacida en Londres, que trabaja para una compañía española de macro-festivales que incluye espectáculos escénicos en sus festivales realizados por todo el mundo. Debido a la situación de pandemia, la empresa no puede realizar su actividad por lo que Ava se encuentra en un ERTE.</p> <p>Ava es una persona inquieta y curiosa y debido a esta situación ha necesitado buscarse un entretenimiento, el piano. Ava ha comenzado a aprender a tocar el piano de manera autodidacta a través de un teclado MIDI que tenía su hermano.</p> <p>Este tipo de teclados requieren de un software para que se escuche “algo”. Existen muchas alternativas de pago, pero Ava no quiere gastarse dinero ya que la situación económica no es favorable y además necesita algo que pueda usarlo en varios ordenadores ya que no siempre usa el mismo.</p> <p>Investigando por la red, encontró Midi.city. Para poner a prueba lo que esta aprendiendo, conectó su teclado al ordenador y comenzó a tocar notas. Se dio cuenta que había una biblioteca de sonidos, así que eligió el piano. Para su sorpresa, a la vez que tocaba podía establecer una percusión que le iba acompañando mientras tocaba, además de poder establecer la velocidad a la que iba, había un metrónomo.</p> <p>Por desgracia, su experiencia no fue satisfactoria al completo, ya que no encontró ningún botón donde poder grabar lo que iba tocando.</p>		

**Tabla 4.X. Escenario 02**

### 4.2.3. Aspectos a tratar

A partir del análisis competitivo y de la creación y propuesta de personas y escenarios, se establecen los siguientes aspectos que deberían tratarse a la hora de definir la funcionalidad de nuestro sistema ya que vana a aportar un valor añadido al producto final:

Interesante/relevante	Criticas
<ul style="list-style-type: none"><li>• La portabilidad del software es una ventaja competitiva</li><li>• Existencia de gráficos que acompañen al audio</li><li>• Uno o más osciladores</li><li>• Uno o más efectos</li><li>• Existencia de filtros</li><li>• Posibilidad de usar un teclado MIDI para reproducir los sonidos generados</li><li>• Biblioteca de sonidos ya diseñados para poder usar alguno y/o modificarlos</li><li>• Opción para guardar aquellos sonidos creados o modificados</li><li>• Existencia de un metrónomo</li><li>• Posibilidad de importar sonidos para realizar una síntesis a partir de estos</li><li>• Grabación de las piezas musicales tocadas</li><li>• Están disponibles todas las octavas</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Demasiados parámetros hacen compleja la interfaz y el diseño de sonido</li><li>• Las interfaces no son accesibles y no se adaptan al usuario</li><li>• El coste de estos programas es muy elevado, no existen muchas opciones open source</li><li>• Muchos requieren de otros programas de pago para funcionar, hay usuarios que no quieren esto.</li><li>• Problemas frecuentes relacionados con la latencia</li></ul>

Tabla 4.X. Aspectos a tratar

## 4.3. Requisitos del sistema

A continuación, se especifican los requisitos que debe cumplir el sistema:

### 4.3.1. Requisitos Funcionales

**RF-1.** Gestión de las “Fuentes”. El sistema será capaz de generar señales de audio mediante la síntesis digital mediante el uso de osciladores.

**RF-1.1.** Uso de uno o dos osciladores. El usuario podrá encender y apagar cualquiera de los dos osciladores, permitiendo que los dos estén encendidos simultáneamente.

**RF- 1.1.1.** Elección del tipo de onda. Para cada oscilador se podrá elegir entre una onda con forma de seno, triangulo, cuadrado, o diente de sierra.

**RF- 1.1.2.** Los osciladores generarán todas las frecuencias correspondientes a todas las octavas de un piano.

**RF-1.2.** Polifonía. El sistema será capaz de generar polifonía, es decir, será capaz de generar la señal de audio correspondiente a un acorde o a una nota por separado.

**RF-1.3.** Suma de señales. El audio generado por las fuentes será la suma de las señales de audio generadas por las fuentes.

**RF-2.** Gestión de los “Modificadores”. El sistema podrá alterar la señal de audio que las fuentes generan.

**RF-2.1.** Aplicación de la envolvente. Para cada uno de los osciladores existirá una envolvente de la amplitud de audio que controlará la evolución temporal de la seña generada.

**RF-2.2.** Uso de reverberación (Reverb). El usuario podrá aplicar un efecto de Reverberación sobre la señal de audio generada por las fuentes.

**RF-2.2.1.** Encendido y apagado. Se podrá encender y apagar la reverberación en cada momento.

**RF-2.3.** Uso de Delay. El usuario podrá aplicar un efecto de Delay sobre la señal de audio generada por las fuentes.

**RF-2.3.1.** Encendido y apagado. Se podrá encender y apagar el Delay en cada momento.

**RF-2.4.** Uso de distorsión. El usuario podrá aplicar un efecto de Distorsión que modifique el espectro frecuencial de la señal generada

**RF-2.4.1.** Encendido y apagado. Se podrá encender y apagar el efecto de distorsión en cada momento.

**RF-2.5.** Uso de filtros. El usuario podrá aplicar filtros de frecuencia sobre la señal de audio generada por las fuentes.

**RF-2.5.1.** El usurario podrá aplicar distintos tipos de filtros en función de lo que requiera para modificar el sonido.

**RF-2.4.** Uso de ecualizador de 3 bandas. El usuario podrá aplicar ecualización de 3 bandas sobre la señal de audio generada por las fuentes.

**RF-2.4.1.** Encendido y apagado. Se podrá encender y apagar el ecualizador en cada momento.

**RF-3.** Gestión de los “Controladores”. El sistema permitirá al usuario controlar los modificadores y las fuentes

**RF-3.1.** Control de la envolvente. Para cada envolvente se podrán modificar los valores de Attack, Decay, Sustain, Release.

**RF-3.1.1.** Modificar el tiempo de ataque (Attack). El sistema permitirá modificar tiempo de ataque de una envolvente, el tiempo que tarda la señal en alcanzar su máximo valor de amplitud. Este valor se podrá modificar entre los 0 y los 2 ms.

**RF-3.1.2.** Modificar el tiempo de caída (Decay). El sistema permitirá modificar tiempo de caída de una envolvente, el tiempo que tarda la señal en caer a un valor sostenido después de superar la fase de ataque. Este valor se podrá modificar entre los 0 y los 2 ms.

**RF-3.1.3.** Modificar el tiempo de sostenimiento (Sustain). El sistema permitirá modificar tiempo de sostenimiento de una envolvente, el tiempo que la señal se mantiene constante después de superar la fase de caída. Este valor se podrá modificar entre los 0 y los 1 ms.

**RF-3.1.4.** Modificar el tiempo de relajación (Release). El sistema permitirá modificar tiempo de relajación de una envolvente, el tiempo que la señal tarda en perder toda su amplitud. Este valor se podrá modificar entre los 0 y los 5 ms.

**RF-3.2.** Control del efecto de Reverberación. Para el efecto de reverberación se podrá modificar el Decay, HiCut, LowCut.

**RF-3.2.1.** Modificar Decay. El sistema permitirá modificar el valor de Decay de la reverberación, es decir el tiempo de duración del efecto.

**RF-3.2.2.** Modificar HiCut. El sistema permitirá modificar el valor de la frecuencia donde se comienza a filtrar la reverberación. Este valor estará dentro del intervalo de 20k-0hz.

**RF-3.2.3.** Modificar LowCut. El sistema permitirá modificar el valor de la frecuencia donde se comienza a filtrar la reverberación. Este valor estará dentro del intervalo de 0-20khz.

**RF-3.3.** Control del efecto de Delay. Para el efecto de Delay se podrá modificar el FeedBack.

**RF-3.3.1.** Modificar FeedBack. El sistema permitirá modificar la cantidad de FeedBack de efecto Delay, es decir, durante cuánto tiempo tendrá lugar el Delay. Este valor está comprendido entre el 0% y el 100%

**RF-3.4.** Control del efecto de Distorsión. Para el efecto de Distorsión se podrá modificar la cantidad de distorsión aplicada, es decir, se podrá modificar la curva de distorsión para que el espectro frecuencial de la señal sobre la que se aplica el efecto se modifique más o menos.

**RF-3.5.** El sistema permitirá modificar la cantidad de efecto que se aplica para cada uno de ellos, es decir, valor de dry/wet. Este valor es proporcional al efecto y está comprendido entre el 0% y el 100%.

**RF-3.6.** El sistema permitirá alterar el valor de volumen maestro del programa. Este valor oscilará entre los -100 y 0 dB.

**RF-3.7.** Modificar las bandas del ecualizador. Cada banda aceptará valores entre -100 y 0 dB.

**RF-3.8.** Control oscilador. Para cada oscilador se podrá modificar el Paneo y el volumen.

**RF-3.8.1.** Modificar el paneo, se podrá establecer cuanto sonido sale por el canal L y cuanto sale por el canal R. Este valor va del -100 a 100 Uds.

**RF-3.8.2.** Modificar volumen, se podrá se podrá ajustar la cantidad de sonido que se quiera (el volumen del sonido que está produciendo). Este valor está comprendido en el intervalo de -100db-0dB.

**RF-4.** Gestión de gráficos. El programa pintará de manera gráfica, siguiendo un determinado algoritmo, el espectro frecuencial de la onda que producen los osciladores

**RF-5.** Gestión de almacenamiento. El sistema gestionará todo lo relacionado con lo referente a los sonidos y los usuarios de este.

**RF-5.1.** Guardar un sonido creado o modificado. Se guardarán en base de datos todos los valores que producen la señal de audio final. Además, se podrá asignar un nombre y una categoría, valoración

**RF-5.2.** Cargar un sonido guardado en base de datos

**RF-5.3.** Buscar un sonido previamente guardado.

**RF-5.3.1.** Aplicar filtro por categoría o valoración en la búsqueda.

**RF-6.** Gestión "MIDI". El sistema será capaz de procesar información MIDI o de control.

**RF-6.1.** El sistema será capaz de comunicarse con un controlador MIDI de manera que se pueda utilizar este con las señales de audio producidas.

**RF-6.2.** Cuando se pulsa una tecla del teclado, si hay algún oscilador encendido, se produce un sonido correspondiente a una nota, simulando un teclado MIDI. Será posible tocar hasta dos octavas desde el teclado.

**RF-6.3.** El sistema podrá leer y procesar archivos MIDI

**RF-7.** El sistema permitirá grabar los sonidos producidos y descargarlos en mp3.

**RF-8.** El sistema permitirá a un usuario registrarse.

**RF-9.** El sistema permitirá a un usuario hacer login y logout.

**RF-10.** Se podrá encender y apagar el metrónomo y ajustar la velocidad de este

#### **4.3.2. Requisitos no funcionales**

##### **Interfaz**



**RN-1.** Cuando se modifique cualquier valor se debe de mostrar en la interfaz simultáneamente el valor que se es está modificando

**RN-2.** La interfaz debe ser sencilla, accesible e intuitiva

**RN-3.** Cuando se modifica un sonido aparecerá un asterisco al lado de su nombre para indicar que se ha modificado y se puede guardar

**RN-4.** La interfaz debe mostrar un piano

### **Rendimiento**

**RN-5.** El sistema deberá ocuparse de la sincronización entre gráficos y audio, la latencia no puede ser superior a 1 segundo

**RN-6.** La latencia entre que se pulsa una tecla del teclado del ordenador, del controlador MIDI o se clicla en una tecla de la interfaz, hasta que se reproduce el sonido correspondiente no puede exceder los 700ms.

### **Disponibilidad**

**RN-7.** El sistema debe poder utilizarse en cualquier dispositivo que disponga de un navegador web

**RN-8.** El sistema debe estar siempre en ejecución.

### **Implementación**

**RN-9.** Se deben de usar lenguajes de programación que puedan ser interpretados por navegadores web

### **Seguridad**

**RN-10.** Solo podrán acceder al sistema los usuarios dados de alta

**RN-11.** Cada usuario tendrá un espacio limitado para almacenar sus sonidos

### **Usabilidad**

**RN-12.** Siempre se cargará un sonido por defecto cuando se entra en el sistema

### **Físicos**

**RN-13.** El sistema requiere de un servidor para almacenar la base de datos y ejecutar tanto el backend como el forntend.

## **4.4. Product Backlog**

A partir de la fase de análisis en la que se especificaron los requerimientos del sistema se realiza un listado priorizado de las historias de usuario que se llevarán a acabo durante le desarrollo del sistema.

La prioridad está expresada entre 1 y 5, siendo 1 las historias más prioritarias y 5 las menos prioritarias. A continuación, se muestra el Product Backlog ordenado por

prioridad

ID	Nombre de la historia	Prioridad
1	Como usuario registrado quiero utilizar uno o dos osciladores	1
2	Como usuario registrado quiero elegir el tipo de onda de un oscilador	1
3	Como usuario registrado quiero ajustar el volumen de los osciladores por separado	1
4	Como usuario registrado quiero modificar la envolvente de un oscilador 1	1
5	Como usuario registrado quiero tocar notas clicando en las teclas que aparecen en la pantalla	1
6	Como usuario registrado quiero tocar notas desde el teclado del ordenador	1
7	Como usuario registrado quiero tocar un acorde	1
8	Como usuario registrado quiero aplicar un efecto Reverb	2
9	Como usuario registrado quiero modificar el efecto Reverb	2
10	Como usuario registrado quiero aplicar un efecto Delay	2
11	Como usuario registrado quiero modificar el efecto Delay	2
12	Como usuario registrado quiero controlar el volumen del programa	2
13	Como usuario registrado quiero panear un oscilador	2
14	Como usuario registrado quiero aplicar un filtro	3
15	Como usuario registrado quiero modificar el filtro	3
16	Como usuario registrado quiero aplicar un efecto Distorsión	3
17	Como usuario registrado quiero modificar el efecto de Distorsión	3
22	Como usuario registrado quiero guardar un sonido	3
18	Como usuario registrado quiero buscar y cargar un sonido	3
19	Como usuario registrado quiero utilizar mi teclado MIDI con el sistema	4
23	Como usuario registrado quiero reproducir un archivo MIDI	4
24	Como usuario registrado quiero ver el espectro del sonido que estoy produciendo	4
	Como usuario registrado quiero utilizar el metrónomo	4
	Como usuario registrado quiero grabar una pieza musical	4
25	Como usuario registrado quiero hacer login	5
26	Como usuario registrado quiero hacer logout	5
27	Como usuario no registrado quiero registrarme	5
28	Como administrador quiero añadir sonidos a la biblioteca por defecto	5
29	Como administrador quiero eliminar sonidos de la biblioteca por defecto	5
30	Como administrador quiero hacer login	5
31	Como administrador quiero hacer logout	5

## 4.5. Sprints Backlogs

A continuación, se dividen las historias de usuario del Product Backlog en los distintos Sprints. Para cada historia se realiza una estimación de los puntos de estas en función del esfuerzo que se estima para la realización de esa historia. Los puntos de historia

son valores pertenecientes a la serie de Fibonacci.

#### 4.5.1. Sprint 1

ID	Nombre de la historia	Prioridad	Puntos de historia
1	Como usuario registrado quiero utilizar uno o dos osciladores	1	5
2	Como usuario registrado quiero elegir el tipo de onda de un oscilador	1	1
3	Como usuario registrado quiero ajustar el volumen de los osciladores por separado	1	1
4	Como usuario registrado quiero modificar la envolvente de un oscilador	1	8

<b>Identificador:</b> HU.1	Como usuario registrado quiero utilizar uno o dos osciladores
<b>Descripción:</b>  Un usuario registrado en el sistema puede utilizar uno o dos osciladores que generen una señal digital de audio, de manera que pueda encender y apagar los osciladores que quiera en cada momento, así como también pueda utilizar los dos a la vez.	
<b>Estimación:</b> 5	<b>Prioridad:</b> 1
<b>Pruebas de aceptación:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Encender un oscilador y obtener un sonido</li><li>• Encender los dos osciladores a la vez y obtener un sonido como suma de los dos osciladores</li><li>• Apagar los dos osciladores y no obtener ningún sonido</li></ul>	
<b>Tareas:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Instalar NodeJS, ReactJS y ToneJS</li><li>• Crear la infraestructura inicial del frontend en React</li><li>• Crear dos osciladores</li><li>• Crear una vista para los osciladores</li><li>• Crear un botón de encendido y apagado en cada oscilador</li></ul>	
<b>Observaciones:</b>  Se elegirá una onda por defecto para los osciladores y se creará un botón que reproduzca una nota por defecto para realizar las pruebas.	

<b>Identificador:</b> HU.2	Como usuario registrado quiero elegir el tipo de onda de un oscilador
<b>Descripción:</b>  Un usuario registrado en el sistema puede elegir el tipo de onda de un oscilador entre una onda de tipo seno, seno, triangulo, cuadrado, o diente de sierra.	

<b>Estimación:</b> 1	<b>Prioridad:</b> 1
<b>Pruebas de aceptación:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Elegir una onda seno en un oscilador y obtener un sonido senoidal.</li> <li>• Elegir una onda triangular en un oscilador y obtener un sonido triangular.</li> <li>• Elegir una onda cuadrada en un oscilador y obtener un sonido cuadrangular.</li> <li>• Elegir una onda diente de sierra en un oscilador y obtener un sonido de diente de sierra.</li> <li>• Si tengo los dos osciladores encendidos y elijo una onda distinta en cada uno el sonido que obtengo es la mezcla de los dos osciladores.</li> </ul>	
<b>Tareas:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Crear en cada oscilador un selector para el tipo de onda</li> <li>• Diseñar algoritmo para la mezcla de dos ondas distintas</li> </ul>	
<b>Observaciones:</b>	

<b>Identificador:</b> HU.3	Como usuario registrado quiero ajustar el volumen de los osciladores por separado
<b>Descripción:</b>  Un usuario registrado en el sistema puede ajustar el volumen de salida de cada oscilador entre -100dB y 0, es decir, puede ajustar el nivel de amplitud producido por cada oscilador.	
<b>Estimación:</b> 1	<b>Prioridad:</b> 1
<b>Pruebas de aceptación:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Si asigno un valor de volumen a un oscilador superior a 0dB automáticamente se convierte en 0dB.</li> <li>• Si asigno un valor de volumen a un oscilador inferior a -100dB automáticamente se convierte en -100dB.</li> <li>• Si incremento los dB se incrementa el volumen, al contrario, si decremento</li> <li>• Si el volumen está a -100dB no se emite sonido.</li> </ul>	
<b>Tareas:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Crear en la vista de cada oscilador un Knob para el volumen</li> <li>• Diseñar algoritmo para controlar el volumen de los osciladores</li> </ul>	
<b>Observaciones:</b>	

<b>Identificador:</b> HU.3	Como usuario registrado quiero modificar la envolvente de un oscilador
<b>Descripción:</b>  Un usuario registrado en el sistema puede modificar la envolvente de un oscilador, es decir, puede modificar los valores Attack, Decay, Sustain, Release.	
<b>Estimación:</b> 8	<b>Prioridad:</b> 1
<b>Pruebas de aceptación:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Si asigno un valor de Attack entre 0 y 2ms el inicio del sonido producido por un oscilador se ve modificado</li> <li>• Si asigno un valor de Decay entre 0 y 2ms el tiempo de caída producido por un oscilador se ve modificado.</li> <li>• Si asigno un valor de Decay entre 0 y 1ms el tiempo de sustain producido por un oscilador se ve modificado.</li> <li>• Si asigno un valor de Decay entre 0 y 5ms el tiempo de Release producido por un oscilador se ve modificado.</li> </ul>	
<b>Tareas:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Crear una envolvente por defecto.</li> <li>• Crear el algoritmo que para aplicar la envolvente.</li> <li>• Crear en la vista de cada oscilador un Knob para el Attack, Decay, Sustain, Release.</li> </ul>	
<b>Observaciones:</b> La interfaz no permitirá a los usuarios introducir valores inferiores a los establecidos en las pruebas de aceptación.	

#### 4.5.2. Sprint 2

ID	Nombre de la historia	Prioridad	Puntos de historia
5	Como usuario registrado quiero tocar notas clicando en las teclas que aparecen en la pantalla	1	2
6	Como usuario registrado quiero tocar notas desde el teclado del ordenador	1	5
7	Como usuario registrado quiero tocar un acorde	1	5

<b>Identificador:</b> HU.5	Como usuario registrado quiero tocar notas clicando en las teclas que aparecen en la pantalla
<b>Descripción:</b>  Un usuario registrado en el sistema puede tocar notas musicales clicando en el piano de la pantalla en sus respectivas notas. Solo podrá tocar por pantalla dos octavas.	
<b>Estimación:</b> 2	<b>Prioridad:</b> 1
<b>Pruebas de aceptación:</b>	

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Si clico en una tecla del piano de la pantalla suena una nota.</li> <li>• Si clico la una tecla del piano suena la nota correspondiente a la del piano. Por ejemplo, si toco Do suena Do.</li> <li>• Si clico en dos notas distintas se aprecia que son notas distintas.</li> <li>• Si cambio de tamaño la ventana el piano se ajusta a esta.</li> </ul>
<b>Tareas:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Implementar método para tocar notas distintas.</li> <li>• Implementar un componente para la vista del piano.</li> <li>• Asociar a cada nota del piano una nota musical.</li> </ul>
<b>Observaciones:</b>  Solo se mostrará por pantalla dos octavas del piano y un botón para subir o bajar de octava.

<b>Identificador:</b> HU.6	Como usuario registrado quiero tocar notas desde el teclado del ordenador
<b>Descripción:</b>  Un usuario registrado en el sistema puede tocar notas musicales pulsando en las teclas del ordenador, de manera que el teclado del ordenador simulara el de un piano. El usuario podrá tocar dos octavas simultáneamente.	
<b>Estimación:</b> 5	<b>Prioridad:</b> 1
<b>Pruebas de aceptación:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuando toco una tecla suena una nota.</li> <li>• Si toco una tecla que no se corresponde con ninguna nota no se emite ningún sonido.</li> <li>• Cuando toco una tecla se indica por pantalla que nota estoy tocando.</li> <li>• Si toco simultáneamente una tecla del teclado y la de la interfaz prevalecerá la del teclado.</li> </ul>	
<b>Tareas:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Implementar método para hacer coincidir teclas con notas.</li> <li>• Implementar método para que se refleje en pantalla que nota/as estoy tocando al pulsar las teclas.</li> <li>• Implementar manejadores de eventos</li> <li>• Gestionar la simultaneidad de eventos entre el piano de la interfaz y las teclas tocadas.</li> </ul>	
<b>Observaciones:</b>  Cuando el usuario toca una tecla del teclado y se corresponde con una nota se indica por interfaz que nota/as está tocando.	

<b>Identificador:</b> HU.7	Como usuario registrado quiero tocar un
----------------------------	---

	acorde
<b>Descripción:</b>  Un usuario registrado en el sistema puede tocar un acorde, es decir, podrá tocar un conjunto de notas de manera simultánea y que suene a la vez.	
<b>Estimación:</b> 5	<b>Prioridad:</b> 1
<b>Pruebas de aceptación:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuando toco una tecla suena una nota.</li> <li>• Cuando toco varias notas suena el acorde correspondiente, es decir, la suma de las notas individuales por separado de manera simultánea.</li> </ul>	
<b>Tareas:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Implementar creación de distintas voces</li> <li>• Implementar método para reproducir acordes</li> </ul>	
<b>Observaciones:</b>  Cuando el usuario toca una tecla del teclado y se corresponde con una nota se indica por interfaz que nota/as está tocando.	

#### 4.5.3. Sprint 3

ID	Nombre de la historia	Prioridad	Puntos de historia
8	Como usuario registrado quiero aplicar un efecto Reverb	2	3
9	Como usuario registrado quiero modificar el efecto Reverb	2	2
10	Como usuario registrado quiero aplicar un efecto Delay	2	3
11	Como usuario registrado quiero modificar el efecto Delay	2	2
12	Como usuario registrado quiero controlar el volumen del programa	2	2

<b>Identificador:</b> HU.8	Como usuario registrado quiero aplicar un efecto Reverb
<b>Descripción:</b>  Un usuario registrado en el sistema puede aplicar un efecto de Reverb o reverberación a los sonidos producidos por los osciladores.	
<b>Estimación:</b> 3	<b>Prioridad:</b> 2
<b>Pruebas de aceptación:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuando toco una tecla suena el sonido producido por la suma de los osciladores más el Reverb.</li> <li>• Si no tengo encendido el efecto de Reverb el sonido suena limpio.</li> <li>• Se produce una sensación de espacio al aplicarle el efecto</li> </ul>	

<b>Tareas:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Crear un una clase para gestionar los efectos</li> <li>• Implementar método para aplicar Reverb al conjunto de los dos osciladores.</li> <li>• Implentar un filtro Hicut y Lowpass para aplicarlos al reverb.</li> <li>• Establecer un Reverb por defecto.</li> <li>• Implementar un componente para los efectos en la vista.</li> <li>• Implementar un componente en la vista para alternar entre la vista de efectos y la vista de osciladores.</li> <li>• Implementar un componente dentro del componente de los efectos para el Reverb.</li> <li>• Implementar un botón para encender y apagar el Reverb.</li> </ul>
<b>Observaciones:</b>

<b>Identificador:</b> HU.9	Como usuario registrado quiero modificar el efecto Reverb
<b>Descripción:</b> <p>Un usuario registrado en el sistema puede modificar un efecto de Reverb o reverberación. En concreto puede modificar el tiempo de caída o Decay, la frecuencia desde donde empieza a actuar el filtro pasa altos , la frecuencia desde donde empieza a actuar el filtro pasa bajos y la cantidad de efecto que se reproduce.</p>	
<b>Estimación:</b> 2	<b>Prioridad:</b> 2
<b>Pruebas de aceptación:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Si incremento el HiPass el Reverb suena menos grave.</li> <li>• Si incremento el LowPass el Reverb suena menos agudo.</li> <li>• Si incremento el Decay el reverb dura más tiempo.</li> </ul>	
<b>Tareas:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestionar los cambios en los parámetros del efecto</li> <li>• Completar el componente del Reverb para poder modificar sus parámetros desde la vista</li> <li>• Implementar un botón para encender y apagar el Reverb.</li> <li>• Si disminuyo el nivel de wet el efecto se percibe en menor cantidad.</li> </ul>	
<b>Observaciones:</b>	

<b>Identificador:</b> HU.10	Como usuario registrado quiero aplicar un efecto Delay
<b>Descripción:</b> <p>Un usuario registrado en el sistema puede aplicar un efecto de Delay o retardo a los sonidos producidos por los osciladores.</p>	



<b>Estimación:</b> 3	<b>Prioridad:</b> 2
<b>Pruebas de aceptación:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Si está encendido el Delay, cuando reproduzco una nota el sonido que produce se repite durante un periodo pequeño de tiempo</li> <li>• Si está apagado, cuando reproduzco una nota esta suena limpia sin repetición alguna</li> </ul>	
<b>Tareas:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Implementar un método para aplicar el efecto de Delay</li> <li>• Implementar un componente dentro de los componentes de los efectos para el Delay.</li> <li>• Implementar un botón para encender y apagar el Delay.</li> </ul>	
<b>Observaciones:</b>	

<b>Identificador:</b> HU.11	Como usuario registrado quiero modificar el efecto Delay
<b>Descripción:</b> <p>Un usuario registrado en el sistema puede modificar un efecto Delay. En concreto podrá establecer el tiempo de retardo, el feedback o tiempo que tardará en perder toda la amplitud de manera progresiva el efecto y la cantidad de efecto que se va a reproducir</p>	
<b>Estimación:</b> 3	<b>Prioridad:</b> 2
<b>Pruebas de aceptación:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Si modifico el tiempo, el tiempo en que tarda en repetirse la señal cambia.</li> <li>• Si establezco un feedback alto el efecto de Delay dura más que si establezco uno bajo.</li> <li>• Si establezco un feedback de 0 no se aplica el efecto.</li> <li>• Si disminuyo el nivel de wet el efecto se percibe en menor cantidad.</li> </ul>	
<b>Tareas:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestionar los cambios en los parámetros del efecto</li> <li>• Completar el componente del Delay de la interfaz con sus respectivos parámetros.</li> </ul>	
<b>Observaciones:</b>	

<b>Identificador:</b> HU.12	Como usuario registrado quiero controlar el volumen del programa
<b>Descripción:</b>  Un usuario registrado en el sistema puede controlar el volumen general de todos los componentes que producen una señal mediante un solo Knob de volumen.	
<b>Estimación:</b> 2	<b>Prioridad:</b> 2
<b>Pruebas de aceptación:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Si aumento el volumen general se aprecia un incremento del volumen general</li> <li>• Si disminuyo el volumen general se aprecia una disminución del volumen general.</li> <li>• Si establezco un volumen de 0 no se reproduce nada en los altavoces.</li> </ul>	
<b>Tareas:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Conectar todos los nodos de ganancia con un nodo maestro</li> <li>• Establecer métodos que gestionen el control del volumen.</li> <li>• Introducir un Knob de volumen en el componente de la cabecera de la vista</li> </ul>	
<b>Observaciones:</b>	

#### 4.5.4. Sprint 4

ID	Nombre de la historia	Prioridad	Puntos de historia
13	Como usuario registrado quiero panear un oscilador	2	3
14	Como usuario registrado quiero aplicar un filtro	3	3
15	Como usuario registrado quiero modificar el filtro	3	2
16	Como usuario registrado quiero aplicar un efecto Distorsión	3	2
17	Como usuario registrado quiero modificar el efecto de Distorsión	3	2

<b>Identificador:</b> HU.13	Como usuario registrado quiero panear un oscilador
<b>Descripción:</b>  Un usuario registrado en el sistema puede panear cada oscilador por separado, es decir, puede establecer cuanta señal desea que salga por un lado u otro de los altavoces	
<b>Estimación:</b> 3	<b>Prioridad:</b> 2

<b>Pruebas de aceptación:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• A medida que paneo un oscilador a la izquierda este suena en más proporción el lado izquierdo de los altavoces, de igual forma en la derecha.</li> <li>• Si paneo al 100% hacia la izquierda todo sonido producido se reproduce en lado izquierdo del sistema de reproducción, al igual en la derecha</li> <li>• Si no paneo hacia ningún lado la señal se reproduce en ambos lados.</li> </ul>
<b>Tareas:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Establecer un método para aplicar un paneo sobre las ganancias de los osciladores</li> <li>• Introducir un componente en la vista de los osciladores para controlar el paneo.</li> </ul>
<b>Observaciones:</b>  Este paneo es más perceptible en sistemas de reproducción de sonido con dos canales de salida, es decir, que cuentan con más de un altavoz para la reproducción del sonido.

<b>Identificador:</b> HU.14	Como usuario registrado quiero aplicar un filtro
<b>Descripción:</b>  Un usuario registrado en el sistema puede aplicar un tipo de filtro sobre la señal de audio generada por los osciladores.	
<b>Estimación:</b> 3	<b>Prioridad:</b> 3
<b>Pruebas de aceptación:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Si enciendo el filtro la señal de audio difiere de la original.</li> </ul>	
<b>Tareas:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Establecer los tipos de filtro</li> <li>• Implementar un método para aplicar los filtros sobre la señal</li> <li>• Implementar un componente en la vista de los efectos para el filtro</li> </ul>	
<b>Observaciones:</b> Los tipos de filtros serán: "lowpass", "highpass", "lowshelf", "bandpass", "highshelf", "peaking", "notch".	

<b>Identificador:</b> HU.15	Como usuario registrado quiero modificar el filtro
<b>Descripción:</b>  Un usuario registrado en el sistema puede modificar un filtro. En concreto puede modificar el tipo de filtro que se va aplicar, la frecuencia desde la que este empieza a actuar y la cantidad de efecto aplicada	
<b>Estimación:</b> 2	<b>Prioridad:</b> 3

<b>Pruebas de aceptación:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Si cambio el tipo de filtro se aprecia una diferencia en el sonido resultante</li> <li>• Si modifico la frecuencia el sonido resultante se modifica en consecuencia.</li> <li>• Si decremento la cantidad de efecto aplicada, el filtro se aprecia menos, al contrario si la incremento</li> </ul>
<b>Tareas:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestionar el cambio en los parámetros</li> <li>• Completar la vista del filtro para poder controlar todos sus parámetros y alternar entre tipos de filtros.</li> </ul>
<b>Observaciones:</b>

<b>Identificador:</b> HU.16	Como usuario registrado quiero aplicar un efecto Distorsión
<b>Descripción:</b>  Un usuario registrado en el sistema puede aplicar un efecto de Distorsión que modifique el espectro frecuencial de la señal de audio generada por los osciladores.	
<b>Estimación:</b> 2	<b>Prioridad:</b> 3
<b>Pruebas de aceptación:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Si enciendo el efecto se aprecia la distorsión aplicada.</li> </ul>	
<b>Tareas:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Implementar un método para aplicar un efecto de Distorsión</li> <li>• Implementar un componente en la vista de efectos para la Distorsión</li> </ul>	
<b>Observaciones:</b>	

<b>Identificador:</b> HU.17	Como usuario registrado quiero modificar el efecto de Distorsión
<b>Descripción:</b>  Un usuario registrado en el sistema puede modificar el efecto de Distorsión. En concreto, puede modificar la curva de distorsión o nivel de distorsión y la cantidad de efecto aplicada.	
<b>Estimación:</b> 2	<b>Prioridad:</b> 3
<b>Pruebas de aceptación:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Si incremento la curva de distorsión, el sonido suena más duro o distorsionado.</li> <li>• Si decremento la curva de distorsión, el sonido suena más suave</li> <li>• Si decremento la cantidad de efecto aplicada, la distorsión se aprecia menos, al contrario si la incremento.</li> </ul>	
<b>Tareas:</b>	

- |   |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Gestionar los cambios en los parámetros</li><li>• Completar el componente de la vista relativo a la distorsión, con sus respectivos parámetros.</li></ul> |
| <b>Observaciones:</b>   |

## Capítulo 5: Diseño

## Capítulo 6: Implementación y pruebas

Una vez realizado el diseño del sistema software, se procede a explicar con detalle el proceso que comprende la implementación del mismo

### 6.1. Estudio de las tecnologías

#### 6.1.1. Análisis de las diferentes tecnologías

Para llevar a cabo la implementación del sistema software que se requiere, se necesita una tecnología que nos ofrezca lo siguiente:

- Soluciones para desarrollar un sistema de tiempo real (multiprocesamiento, temporizadores, semáforos, señales de tiempo real, entrada/salida síncrona y asíncrona etc..)
- Métodos y variables para comunicarnos con el sistema de audio del computador
- Métodos eficientes para el procesamiento de señales digitales (DSP)
- Documentación para el tratamiento de audio
- Facilidades para implementar una interfaz de usuario
- Facilidades para implementar gráficos complejos

Múltiples lenguajes de programación como Java o Python, ofrecen parcialmente soluciones a los puntos comentados, pero debido a la complejidad del procesamiento de señales digitales es preciso utilizar Frameworks y librerías nativas que simplifiquen esta tarea.

Existen dos lenguajes de programación que nos proporcionan lo expuesto en este punto:

- C++
- JavaScript

A continuación, se describen las ventajas e inconvenientes de estos lenguajes

#### 6.1.1.1. C++

##### Ventajas

- Dispone de librerías para trabajar con el tiempo, como chrono.
- Ofrece soluciones bastante eficientes para el multiprocesamiento y la sincronización.
- Dispone de librerías para comunicarnos con el sistema de audio del computador.
- Dispone de librerías DSP, como IIPP de Intel.
- La gran mayoría de sistemas software para el procesamiento de audio están implementados en C++ o se basan en este.
- Existen librerías para el procesamiento de gráficos, como Open GL .
- Existen múltiples Frameworks para el desarrollo de interfaces.
- Permite aprovechar al máximo los recursos del ordenador.

##### Desventajas

- No es portable en nuestro sistema a realizar, necesitaremos realizar una versión para cada SO ya que el sonido se trata de distinta forma en cada uno de estos.
- Los Frameworks existentes no dan soporte a la solución que se busca, ya que están muy limitados a la realización de plugins para DAWs existentes. Con estos Frameworks solo podremos usar nuestro sistema software dentro de un DAW y no podremos realizar una interfaz desde cero.
- Si se usa esta tecnología, el resultado final será de bajo nivel por lo que la dificultad y el tiempo para realizarlo se eleva con creces.
- Debido a la ausencia de Frameworks específicos, se requiere demasiado conocimiento en cuestiones matemáticas y físicas para el tratamiento de las señales de audio digital.

#### 6.1.1.2. JavaScript

##### Ventajas

- Portable, si se utiliza esta tecnología el software estará disponible para cualquier dispositivo con un navegador.
- Existe una API para este lenguaje llamada Web audio API, destinada a la creación de sonido digital en el ámbito del navegador, la cual se ajusta bastante bien al sistema a desarrollar, ya que ofrece soluciones a alto nivel de síntesis digital que no requerirían de un excesivo conocimiento en cuestiones matemáticas y físicas. Además, da soporte a la comunicación con el sistema de audio del computador.
- Existen Frameworks para trabajar con gráficos como Three js .
- Existen Frameworks que proporcionan herramientas para el desarrollo de una aplicación en la nube como React.
- En general, hay una alta disponibilidad de librerías.

##### Desventajas

- Las capacidades de tiempo real son más limitadas, los callbacks no están sincronizadas con precisión. La Web Audio API soluciona parcialmente este problema
- El ámbito de ejecución, se limita al navegador, por lo que los recursos estarán limitados a este.
- Poco software de audio utilizando este lenguaje.
- Da problemas para programas no triviales, al no ser fuertemente tipado.

### 6.1.2. Conclusión del análisis de tecnologías

Sopesadas las ventajas y desventajas de las tecnologías analizadas en el punto anterior, se llegan a las siguientes conclusiones:

1. Pese a que C++, ofrece más capacidades de tiempo real que JavaScript, la Web Audio API soluciona parcialmente el problema de la sincronización y el tiempo real de manera sencilla por lo que se podría llegar a alcanzar el grado de sincronización requerido.
2. El grado de dificultad en la implementación de la interfaz en JavaScript es más bajo
3. La ventaja de la total e inmediata disponibilidad de JavaScript aporta un gran valor añadido al producto final.
4. La Web Audio API ofrece muchas soluciones a un nivel más alto que C++, permitiendo que la implementación de este sea más asequible
5. Debido a la alta disponibilidad de librerías para JavaScript, podremos encontrar soporte y soluciones para gran variedad de los requisitos del programa.

A partir de estas primeras conclusiones, se llega a la conclusión final:

Se elige JavaScript como lenguaje de programación para la implementación del sintetizador, utilizando como entorno de ejecución **Nodejs**. Además se utilizan la **Web Audio API**, para trabajar con las señales de audio, y los frameworks **React** para el Frontend y **Express** para el Backend.

## 6.2. Tecnologías empleadas

### 6.2.1. Lenguajes de programación

### 6.2.2. Entorno de Ejecución

### 6.2.3. Frameworks

### 6.2.3. Control de versiones

## 6.3. Instalación y ejecución

### 6.3.1. Instalación

Dado que el sistema está pensado para ser desplegado en un servidor se explicará el proceso de instalación para Windows y Linux. Antes de comenzar con la explicación es necesario que el computador en el que se está instalando el sistema software tenga acceso a Internet, ya que se requiere su uso durante este proceso.

Los pasos de instalación del sistema software serán los siguientes:

#### 1. Instalar la última versión de Nodejs:

- a. Si trabajamos con Windows:
  - i. Descargamos el Instalador para Windows (.zip) desde el sitio web<sup>2</sup> de Nodejs
  - ii. Descomprimos el .zip y ejecutamos el archivo .exe
  - iii. Una vez ejecutamos se nos abrirá el instalador de Windows y pulsamos en Siguiente.
  - iv. Abrimos una terminal y ejecutamos `node -v` para comprobar si se ha instalado correctamente
- b. Si trabajamos con Linux ejecutamos por terminal lo siguiente:
  - i. `sudo apt update`
  - ii. `sudo apt install nodejs`
  - iii. `nodejs -v` para comprobar que se ha realizado correctamente

#### 2. Instalar el gestor de paquetes npm de Nodejs:

- a. Si trabajamos con Windows
  - i. El gestor de paquetes se instaló junto con la instalación de Nodejs al ejecutar el .exe
- b. Si trabajamos con Linux ejecutaremos por terminal lo siguiente:
  - i. `sudo apt install npm`

#### 3. Instalar Mongo DB:

- a. Si trabajamos con Windows:
  - i. Descargar la versión para Windows (.zip) desde el sitio web de Mongo DB
  - ii. Descomprimos el .zip y ejecutamos el archivo .exe
  - iii. Una vez ejecutamos se nos abrirá el instalador de Windows y pulsamos en Siguiente.
  - iv. Abrimos una terminal y ejecutamos `db.version()` para ver si se ha realizado correctamente la instalación
- b. Si trabajamos con Linux
  - i. `sudo apt update`
  - ii. `sudo apt install -y mongodb`

#### 4. Clonar el repositorio de Github con el código fuente

- a. Tanto en Windows como en Linux ejecutaremos en una terminal
  - i. `git clone https://github.com/migueg/Sintetizador-Virtual-TFG-UGR.git`

---

<sup>2</sup> Web Nodejs: <https://nodejs.org/es/download/>



## 5. Instalar todas las dependencias:

- a. Tanto en Windows como en Linux :
  - i. Nos situamos en la carpeta Frontend del repositorio clonado desde terminal y ejecutamos *npm install*
  - ii. Nos situamos en la carpeta Backend del repositorio clonado desde terminal y ejecutamos *npm install*

**Nota:** El gestor de dependencias npm de Nodejs, instalará automáticamente en el servidor todas las dependencias que aparecen en el package.json que durante la etapa de desarrollo fueron añadidas a este.

## 6.3.2. Ejecución

## 6.4. Implementación

A continuación, se va a proceder a una explicación al detalle del proceso de implementación del sistema en cuestión.

A rasgos generales, la implementación se ha dividido en dos grandes partes o módulos: Backend y Frontend, siendo este último el más completo, laborioso y de más difícil desarrollo.

Por consiguiente, esta sección se divide en esas dos partes comentadas.

### 6.4.1. Frontend

El Frontend es la parte de nuestro sistema que se ejecutará directamente en el navegador del cliente. A grandes rasgos proporciona la interfaz, que el usuario utilizará para interactuar con el sistema software y una serie de clases y métodos que harán cumplir los objetivos del sistema.

En la introducción a la sección de implementación se ha comentado que la parte correspondiente al Frontend es la más completa y laboriosa. Gran parte del procesamiento del sistema se lleva a cabo en el Frontend, es decir, gran parte del sistema se ejecutará en el navegador del cliente.

Para cumplir con los objetivos del sistema se necesita buscar la inmediatez, la mayor sincronía posible y evitar los retardos, ya que la experiencia de tocar un instrumento o en este caso un sintetizador virtual se vería afectada con creces. Además, como el sistema se trata de un sistema que genera y reproduce señales de audio se necesita trabajar directamente con el contexto de audio del dispositivo del cliente, es decir, los métodos para reproducir señales de audio tienen que ejecutarse en su dispositivo. Es por esta razón por la que la mayor parte del procesamiento se realiza en el Frontend, a diferencia de las arquitecturas cliente servidor clásicas que se realizan en el Backend.

Al trasladar la mayor parte del procesamiento al Frontend, se reduce al mínimo cualquier retardo que se pudiera producir en una llamada al servidor de Backend y se realiza una comunicación directa con el dispositivo del cliente que es requerido para reproducir las señales de audio generadas.

A continuación, se explica con detalle todas estas cuestiones comentadas.

#### 6.4.1.1. Estructura

#### 6.4.1.2. Sintetizador

Para lograr la generación y reproducción de señales de audio digital necesitamos emular el comportamiento de un sintetizador analógico.

Como se mencionó en la introducción ([ver Capítulo 1](#)), hay varios tipos de síntesis de audio. En este sistema se va a implementar una **síntesis aditiva**, de manera que la señal de audio resultante será la suma de todas las señales generadas. La síntesis desarrollada en este sistema sigue el siguiente esquema:

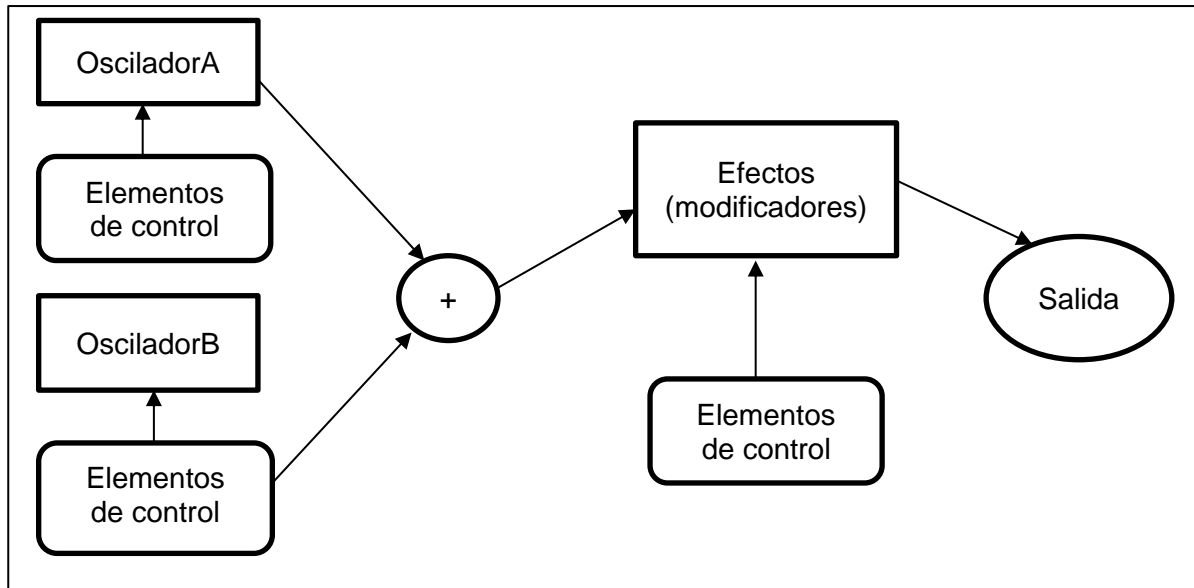


Figura XX: Síntesis aditiva

De acuerdo con el esquema anterior, la señal que el usuario percibirá cuando utilice el sistema será el resultado de sumar:

- Dos osciladores, que contendrán a su vez un número determinado de voces, es decir, de frecuencias de oscilación (ver sección sadfd).
- Efectos, que modificarán la señal producida por los osciladores.

Como se aprecia en el esquema, sobre estos elementos actuarán elementos de control que controlarán los parámetros de estos y que durante el desarrollo de este capítulo serán explicados al detalle.

Como el sistema sigue una arquitectura MVC (ver sección sadafdg), para llevar a cabo el sintetizador y en concreto la síntesis aditiva es conveniente diferenciar entre las partes de la arquitectura ya que cada una representa un papel importante a la hora de obtener una señal de audio digital que es el objetivo final del sistema.

En el lado del **controlador**, se representa el sintetizador mediante la **clase Synth**. Esta clase constituirá una clase fachada que comunicará los elementos del controlador con la vista. Además, es Singleton, ya que solo habrá una única instancia de esta en todo el sistema.

Cada vez que el usuario ejecuta interaccione con la vista, está llamará a un método de

la clase Synth.

(FALTA LA VISTA Y EL MODELO)

### 6.4.1.3. Generación de audio

Uno de los objetivos de este proyecto es la generación de señales de audio de manera digital. De manera general, para obtener una señal de audio digital es necesario el uso de un oscilador, que generará dicha señal, en el caso del sistema desarrollado, matemáticamente.

El concepto de oscilador, hace referencia a los osciladores de audio analógicos que generaban sonidos mediante circuitos electrónicos. En el mundo digital este concepto es algo abstracto y el oscilador comprenderá un conjunto de métodos que nos proporcionarán el sonido final.

El proceso necesario para generar sonidos de manera digital y por consiguiente implementar un oscilador es algo tedioso que requiere de funciones matemáticas y procesos para comunicarnos con el hardware del ordenador. Sin embargo, podemos aprovechar las capacidades que nos ofrece JavaScript y los navegadores en los que se ejecuta. Parte de estas capacidades nos las proporciona directamente la **web Audio Api** (ver sección dgsgsf).

Esta generación de audio digital se consigue en el controlador

Para entender como interviene el controlador en la generación de audio es necesario aclarar una serie de cuestiones técnicas. Como se está utilizando la Web Audio Api, el elemento principal para generar una señal de audio es un **contexto de audio (AudioContext)**.

#### 6.4.1.3.1. AudioContext

El contexto de audio es una interfaz que representa un grafo de procesamiento de audio compuesto por **nodos de audio (AudioNode)** conectados entre sí. Este se va encargar tanto de la creación de los nodos de audio como la de la ejecución del procesamiento de audio.

Los nodos de audio pueden ser de diversos tipos atendiendo a sus entradas y a sus salidas, así que se pueden clasificar de la siguiente manera:

- *Sin entradas o generadores:* Suelen ser usados para generar sonidos. No reciben otros nodos de entrada, pero si pueden contar con múltiples salidas, es decir, su salida puede estar conectada a varios nodos.
- *Procesadores:* Tienen entradas y salidas, pueden estar conectados a otros nodos por ambos lados. Se encargan de procesar una entrada y generar una salida.
- *De destino:* Cuenta con entradas, pero no tiene salidas, ya que todas las entradas que llegan a este nodo son reproducidas directamente en nuestros altavoces, es decir, manda la señal al hardware del ordenador.

Cada nodo de audio solo puede pertenecer a un contexto y se necesita poner especial atención en este último, ya que un contexto con un exceso de nodos en el grafo o con nodos mal situados en él nos pueden generar una latencia alta y por tanto no deseada que afectaría de manera negativa a los objetivos y requisitos del sistema.

Explicado esto, para conseguir emular a un oscilador analógico y por consiguiente generar señales de audio, los osciladores desarrollados contendrán un Audiocontext o contexto de audio.

Para representar esto en el código, se utiliza la clase **synth.**, que contendrá Audiocontext, que concretamente se crea en el constructor de dicha clase en la siguiente sentencia:

```
constructor(){
  var AudioContext = window.AudioContext // Default
    || window.webkitAudioContext;
  this.#audioCtx = new AudioContext();

  ...
}
```

Código XX: Creación del contexto de audio

Este contexto, será el único contexto del sistema y será utilizado por aquellos elementos o nodos que tengan que enviar alguna señal para su reproducción en los altavoces del dispositivo.

Ya que se necesitan dos osciladores para lograr la síntesis deseada en el sistema, se utilizan dos instancias de la clase **oscillator**, para simular la existencia de dos osciladores, más tarde se verá con más detalle este aspecto. Estas instancias las contiene la clase Synth:

```
class Synth{
  #oscillatorA;
  #oscillatorB;
  ....
  constructor(){
    this.#oscillatorA = new oscillator(this.#masterVolumeNode,this.#audioCtx,this.#gainCleanNode);
    this.#oscillatorB = new oscillator(this.#masterVolumeNode,this.#audioCtx,this.#gainCleanNode);
    ....
  }
  ....
}
```

Código XX: Creación de los osciladores

#### 6.4.1.3.2. Polifonía

Como ya se ha mencionado el concepto de oscilador en el mundo digital es algo abstracto y en este punto tenemos un claro ejemplo de ello.

Un solo oscilador analógico es capaz de oscilar varias frecuencias de oscilación de manera simultánea, pudiendo reproducir un acorde, sin embargo, en el mundo digital esto no es siempre posible ya que se necesitan ejecutar funciones de manera sincronizada, encontrándonos de esta manera el primer problema a afrontar, ya que JavaScript no admite la creación de hebras.

La web audio Api proporciona un nodo oscilador (**OscillatorNode**) que representa una forma de audio periódica, como puede ser una onda sinusoidal. Este nodo es un

módulo de otro nodo llamado **AudioScheduledSourceNode** que hace que se cree una frecuencia específica de una onda determinada constante, es decir, crea un tono o nota constante.

Sin embargo, el `OscillatorNode` solo es capaz de generar una nota o frecuencia de manera simultánea, siendo imposible la polifonía con un solo oscilador, es decir, no se podría tocar un acorde con un solo oscilador. Surge de esta manera la siguiente cuestión, *¿cómo podemos lograr la polifonía usando la Web Audio Api de JavaScript?*

Esta cuestión podría ser abordada de distintas formas. Una manera de abordarla es crear por cada nota un `OscillatorNode` que va a generar la frecuencia correspondiente a la nota. Fijando el sistema de referencia en las notas de un piano, tendremos 85 `OscillatorNode` por cada instancia de la clase oscilador, es decir uno por cada tecla del piano. Esto se refleja en el siguiente esquema:

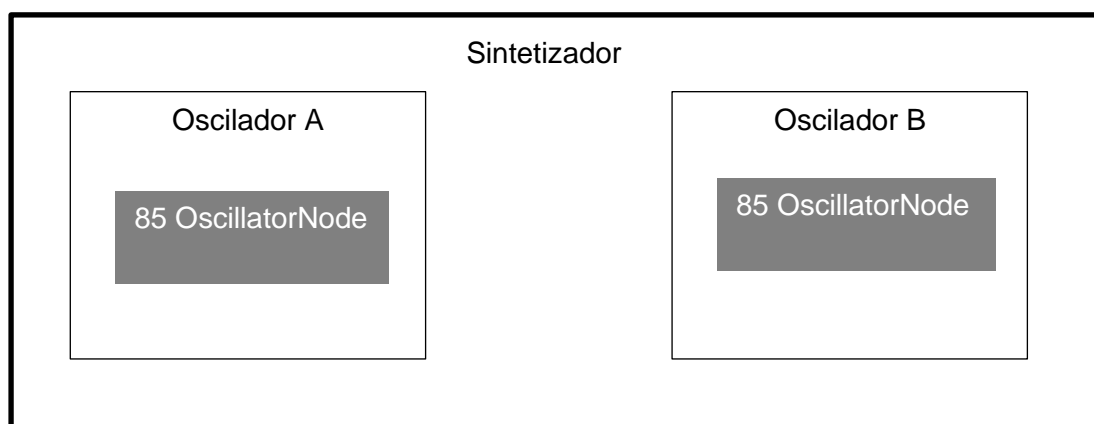


Figura XX: Representación de los osciladores

Para representar todo esto en el código, se crea una clase **Voice** que encapsulará el conjunto de voces o `OscillatorNode`. Esta clase es instanciada en la clase oscilador para poder trabajar con ella:

```
constructor(){
  ...
  this.voice = new Voice('sine',this.#audioCtx, this.#envelope,this.#gainNode);
  ...
}
```

Código XX : Creación de la polifonía en el oscilador.

Los parámetros que recibe en el constructor son los siguientes:

1. Tipo de onda (Más adelante se explicará al detalle).
2. Contexto de audio del sistema.
3. La envolvente (Más adelante se explicará al detalle).
4. Nodo de ganancia del oscilador, donde se mezclarán todas las voces de este produciendo un oscilador final.

#### 6.4.1.3.3. Creación de voces

Ya que necesitamos un conjunto de `OscillatorNode` o voces para lograr la polifonía es

necesario crearlos uno a uno. La creación de las voces ocurre cuando se crea una instancia de la clase Voice, en donde ocurre lo siguiente:

1. Cuando se llama al constructor se realiza una petición a la Api del Backend, en concreto al **endpoint "notes"** que devolverá un objeto JSON con parejas clave valor de frecuencia y nota, por ejemplo, A3: 440, y las almacena en una variable después de su decodificación. De esta manera se preserva la arquitectura MVC, evitando el exceso de datos en el Frontend.
2. Una vez que se tienen las notas, se crean una a una las voces, almacenándolas en un diccionario de la forma {Nota: OscillatorNode}.

Para la creación de las voces se utiliza la función createOscillator() del AudioContext que crea un OscillatorNode.

```
createVoces(){  
  
  for(var i in this.notes){  
    var voice = this.#context.createOscillator();  
    voice.type = this.#type;  
    voice.frequency.value = this.notes[i];  
  
    .....  
  }  
  
}
```

Código XX: Creación de las voces.

Se puede observar en el fragmento de código que al OscillatorNode (voice) se le establece un valor para la propiedad type, en el que se elige el tipo de onda del oscilador, y a la propiedad frequency.value en el que se establece cual es la frecuencia en la que oscilará el oscilador, es decir, que nota generará.

#### **6.4.1.4. Reproducción de audio sin MIDI**

Llegados a este punto, ya se disponen de todos los mecanismos necesarios para generar una señal de audio digital. Ahora, el objetivo es que el usuario pueda llegar reproducir las notas generadas de manera digital y utilizar los dos "*Osciladores*<sup>3</sup>" implementados.

El proceso por el que un usuario llega a reproducir audio utilizando el sistema viene descrito en el diagrama de actividad dfdgsas. Para explicar como se ha logrado llevar a cabo este diagrama es necesario hacer una distinción entre Modelo y Vista ya que ambos juegan un papel fundamental en el proceso.

##### **6.4.1.4.1 Modelo**

Como ya tenemos las voces creadas necesitamos introducirlas en el contexto para que se reproduzcan, pero no basta con eso, necesitamos establecer algún mecanismo de control sobre ellas, para que el usuario pueda reproducir las notas a su antojo.

Recordemos que el OscillatorNode generaba una frecuencia o nota de manera

---

<sup>3</sup> Aparece entre comillas ya que se ha visto que no son osciladores como tal.

constante, pero esto no interesa ya solo se quiere que se reproduzca una nota cuando lo desee el usuario, presionando una tecla del teclado, del teclado MIDI o clicando en la interfaz.

Para controlar esto se utiliza el nodo de ganancia o **GainNode** de la Web Audio Api, que permite controlar la amplitud de las señales de los nodos que recibe como inputs, es decir, permite controlar el volumen de los nodos. Este tipo de nodo se crea llamando a la función **createGain** del AudioContext.

Así que, para controlar las voces el volumen de las voces, se necesita:

1. Conectar cada OscillatorNode a un GainNode
2. Cada GainNode de cada OscillatorNode o voz, conectarlo a un GainNode del oscilador al que pertenezcan, para controlar el volumen de cada oscilador por separado.
3. Los GainNode de los osciladores, conectarlo a un GainNode maestro que controlará el volumen de todo el sintetizador.

Por lo tanto, se tiene el siguiente esquema:

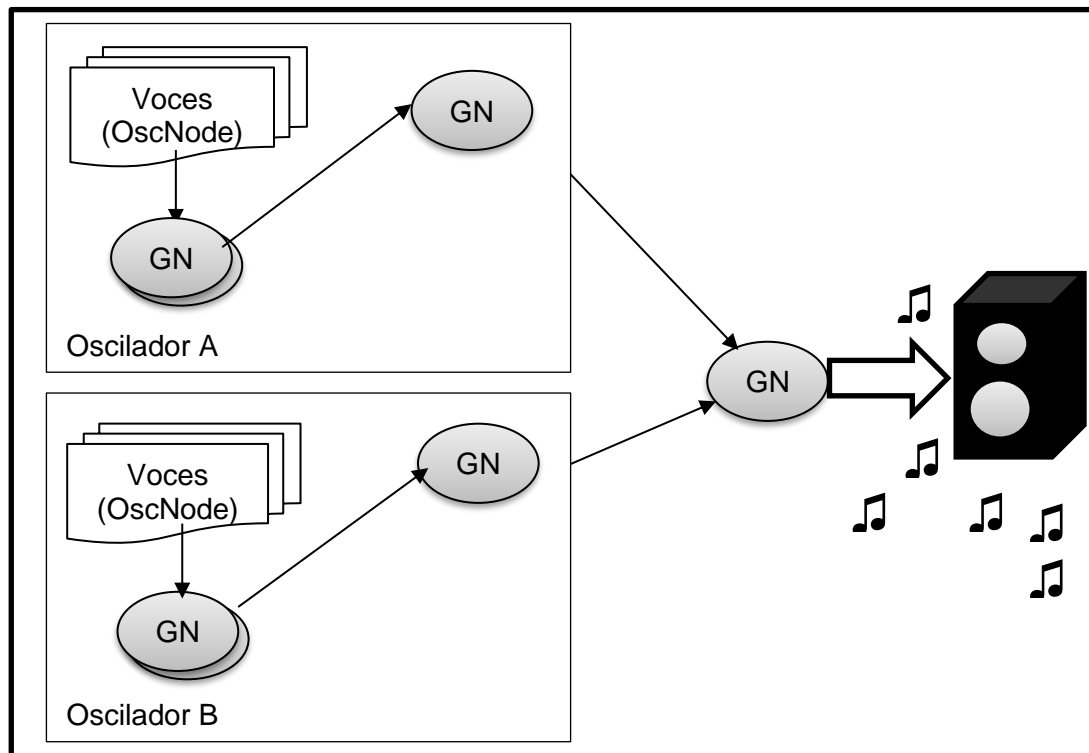


Figura XX: Esquema de reproducción de audio

Todos estos elementos deben ser conectados entre sí. Para ello se utiliza la función `connect` que poseen todos los `AudioNode`. Además es necesario iniciar la oscilación en cada uno de los `OscillatorNode` para que se empiece a generar sonido, llamando a la función `start`. Todo esto se refleja en los siguientes fragmentos de código, donde se puede apreciar que cada elemento también es conectado con el contexto de audio:

```

class oscillator{
    ....
    constructor(master,context,cleanNode){
        .....
        this.#gainNode = context.createGain();
        .....
    }
}

```

Código XX : Creación del nodo ganancia del oscilador

```

class Voice{

    createVocies(){

        for(var i in this.notes){
            .....
            var gainVoice = this.#context.createGain();
            gainVoice.gain.value = 0;
            this.#gains[this.notes[i]] = gainVoice;

            voice.connect(gainVoice);

            gainVoice.connect(this.#masterNode);
            voice.start(0);

            this.#voices[this.notes[i]] = voice;
        }
    }
    ....
}

```

Código XX : Creación y asignación de las ganancias a cada voz e inicio de oscilación.

El último paso , es conectar los nodos de ganancia de los osciladores al nodo de ganancia maestro del sistema que es el que será enviado al hardware del sistema para que se reproduzca. La conexión se lleva a cabo en el momento de la creación de los osciladores:

```

class oscillator{
    constructor(master,context,cleanNode){
        .....
        this.#gainNode.connect(master);
        .....
    }
}

```

Código XX : Conexión de los osciladores con el volumen maestro



Y en la clase synth, se produce el envío del nodo de ganancia maestro del programa al hardware del dispositivo para su reproducción, también en el momento de su creación.

```
class synth{
    constructor(){
        .....
        this.#masterVolumeNode.connect(this.#audioCtx.destination)

        .....
    }
}
```

Código XX : Envío de la señal de audio al hardware del ordenador

Cabe destacar, que este envío abrirá un canal de comunicación entre el nodo de ganancia maestro y el hardware del ordenador, de manera, que toda señal que pase por dicho nodo será enviada al hardware para su reproducción de manera simultánea.

Hasta ahora, se puede controlar el volumen de cada una de las señales generadas, pero se necesita controlar aún más estas para cumplir los objetivos del sistema. Otro mecanismo de control es el uso de la envolvente ([ver Sección 1.2](#)).

## ENVOLVENTES

El valor de ganancia de los GainNode es un valor que cambia con el tiempo. Si este valor se cambia de manera instantánea puede provocar molestos 'clicks' que ensucien la señal. Sobre todo, se aprecia cuando el usuario cambia de una nota a otra, por lo que se necesita algún mecanismo para eliminar estos 'clicks'.

Este mecanismo es el uso de envolventes. Como ya se ha mencionado la envolvente tiene cuatro fases o parámetros, que relacionan el tiempo con la amplitud de una señal, reflejado en la siguiente figura:

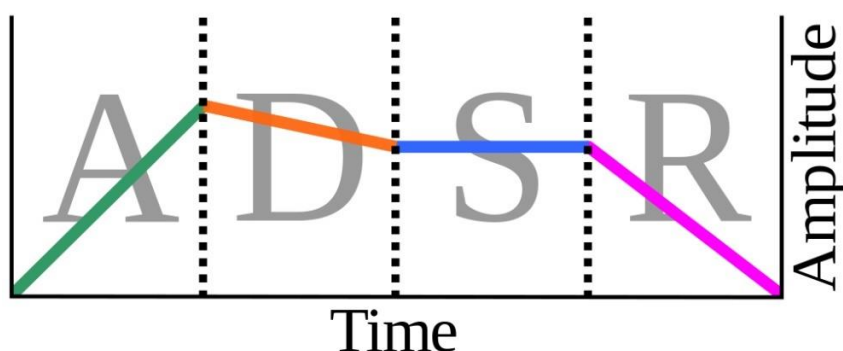


Figura XX: Envolvente de una señal

Para evitar estos 'clicks' es necesario que las envolventes sean aplicadas a cada uno de los OscillatorNode o voces, ya que generan las señales de audio. Entonces, cuando un usuario presione una nota ocurrirá lo siguiente:

1. La vista se comunica con la interfaz llamando a un método de la clase fachada del controlador (Clase synth).
2. Este método, llama al método play de ambos osciladores indicándole la nota

- presionada
3. En el método play se llama al método start de la instancia de la clase Voice del oscilador, indicándole la nota y el volumen del GainNode del oscilador.
  4. En el método play de la clase Voice se identifica a que voz corresponde la nota y se llama al método que aplica la envolvente.

En el método que aplica la envolvente, se utiliza la función *linearRampToValueAtTime*. Esta función recibe como argumento un valor y un tiempo, y permite cambiar el valor de la ganancia del GainNode al valor pasado como argumento de manera gradual en el tiempo pasado como argumento, evitando de esta manera los 'clicks' por el cambio inmediato.

Para aplicar adecuadamente la envolvente, es necesario obtener el tiempo actual en el que se encuentra la señal generada a la que se le aplica e ir cambiando el valor de la ganancia llamando a dicha función en función de la fase en la que se encuentre. Por ejemplo, la fase de Decay se hará de la siguiente manera:

```
//Fase de decay
current = current / 2 //Current almacena el valor de ganancia en ese momento. Antes
de la división tiene el valor al que llega después de la fase de ataque
gainN.linearRampToValueAtTime(current, now + this.#envelope.attack + this.#envelope.decay);
```

Código XX: Implementación de la fase de Decay de la envolvente.

Por último para que todo esto pueda ser reproducido es necesario conectar los nodos de ganancia de la clase oscillator al destino del AudioContext (AudioContext.destination), utilizando la función connect.

#### 6.4.1.4.2 Vista

Llegados a este punto, ya es posible generar y reproducir señales de audio en el dispositivo del usuario, pero se requiere que el usuario pueda reproducir y controlar estas señales de manera interactiva.

La posibilidad que ofrece React de crear módulos, permite modularizar la interfaz facilitando las tareas de implementación de esta. Dicha modularización es por la que se ha optado en este proyecto, de manera que cada elemento importante en la interfaz represente un módulo. Cada clase que represente un componente contendrá un método render que devolverá código HTML u otro componente para que sea renderizado.

Para que el usuario pueda reproducir notas de manera interactiva, necesitamos reflejar en la interfaz los elementos comentados en el modelo, por lo que deberá mostrar lo siguiente:

- Un piano que de la sensación de ser un sintetizador virtual y así poder tocar notas.
- Los dos osciladores para que el usuario pueda modificar sus valores de envolvente, tipo y volumen, además de apagarlo o encenderlo.

#### PIANO

Se necesitan representar las teclas del piano de la manera más aproximada posible para garantizar la experiencia del usuario. Para ello se utiliza la **clase Piano** que

constituirá un componente de la interfaz.

El usuario podrá accionar una nota del piano y por lo tanto reproducirla cuando clique en una de las notas o presione una tecla del teclado asignada, de manera que se refleje en la interfaz. Además, es importante mencionar que solo se mostrarán dos octavas por pantalla con la posibilidad de accionar un botón para subir y bajar de octava.

Para que el usuario pueda reproducir notas desde el teclado se necesitan dos escuchadores de eventos, uno para que cuando se presione la tecla se reproduzca una nota y el piano emule de manera gráfica que se ha presionado esa nota, y otro para que cuando el usuario suelte la tecla el piano emule que se ha soltado la nota.

```
document.addEventListener('keydown', (event) => {  
    const keyName = event.key;  
    switch(keyName.toLowerCase()){  
        case 'z':  
            if(!this.pressedKeys['z'])  
                this.handleKeydownEvent('white','C',keyName,'down');  
            break;  
        ....  
    }  
}
```

Código XX: Escuchador de eventos para cuando se presiona una tecla del teclado  
Cuando se presiona la tecla se comprueba que no esta siendo presionada ya y se llama a una función que maneja el evento, que se encargará de activar la clase del elemento HTML de la nota, para que mediante propiedades CSS se simule que la nota del teclado ha sido presionada y se comunicará con la clase fachada del controlador para que reproduzca la nota.

Por consiguiente, cuando el usuario levanta la tecla del teclado, se activará el correspondiente elemento y desactivará la clase del elemento HTML de la nota para que mediante propiedades CSS vuelva a su estado original. En la figura dgsg se aprecia esta simulación.

```
document.addEventListener('keyup', (event) =>{  
    delete this.pressedKeys[event.key]  
    switch(event.key){  
        case 'z':  
            $('#C').removeClass('white-active');  
            break;  
    }  
}
```

Código XX: Escuchador de eventos para cuando se levanta una tecla del teclado presionada

Si el usuario en lugar de presionar una tecla del teclado, clic en una nota de la interfaz se sigue el mismo procedimiento, pero en este caso se activa el evento onclick

```
<li className="white" id="C" name = "first" onClick={()=>{this.notePlayed()}}>  
<p>C1</p>  
</li>
```

del elemento HTML que representa la nota.  
Código XX: Elemento HTML que representa la nota.

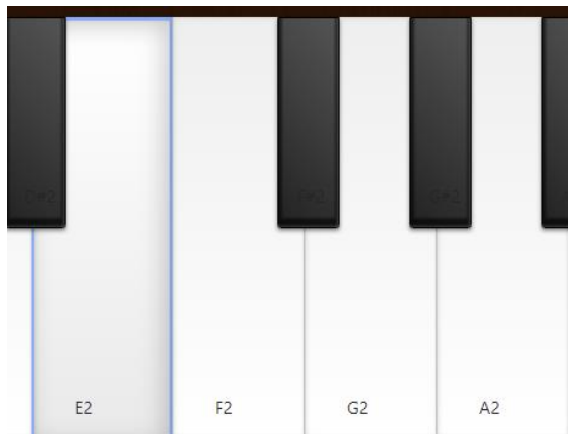


Figura XX: Notas del piano

## OSCILADORES

Al igual que el piano, para representar los osciladores utilizaremos dos componentes oscilador, es decir, dos instancias de la **clase Oscilador**.

Cada componente se corresponderá con una instancia de la clase oscillator del controlador. Con el uso de este componente el usuario percibirá la existencia de dos osciladores, de manera que si modifica alguno de los parámetros en realidad se están modificando todas las voces que posee el oscilador.

El usuario podrá modificar los parámetros de la envolvente y el volumen del oscilador mediante el uso de knobs. Estos knobs son representados mediante otro componente implementado en la clase **limitedKnob** que limita y controla el comportamiento de un componente externo llamado **Knob**.

Para parametrizar estos Knobs y diferenciarlos React ofrece una herramienta muy versátil que permite esto, que es el uso de las **props**. Con las props es posible pasarle argumentos a un componente para su inicialización, es decir, pasarle los argumentos al constructor de la clase.

```
<Knob
  ref={this._KnobVol}
  style={{ display: "inline-block" }}
  min={0}
  max={100}
  unlockDistance={0}
  preciseMode={false}
  width={200}
  height={200}
  type={knobTypes.OSC_VOLUM}
  osc = {this.#osc}
  val={0}
/>
```

Código XX: Creación del componente Knob del volumen de un oscilador (uso de props).

Es importante destacar que para conseguir mas modularización y encapsulamiento del

código, se decide que la envolvente represente otro componente que contenga un Knob para cada parámetro de esta, de manera que el componente oscilador estará formado por el selector de onda, un botón de On/Off, un Knob de volumen y el componente de la envolvente.

En general cuando se modifique un parámetro del oscilador ocurrirá lo siguiente

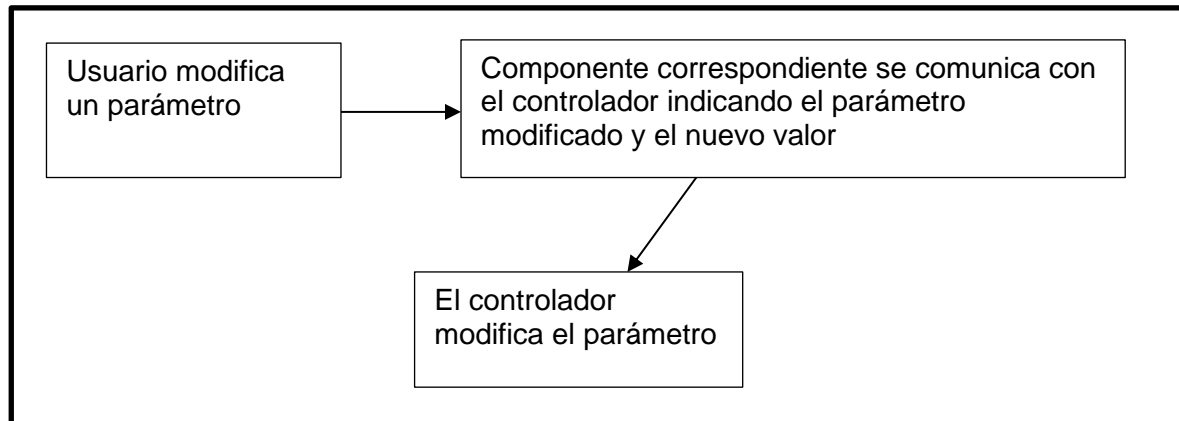


Figura XX: Proceso de modificación de un parámetro

## Capítulo 7: Conclusiones y vías futuras

## Capítulo 8: Bibliografía final

<https://software.intel.com/content/www/us/en/develop/tools/oneapi/components/ipp.html>

Ingeniería de sonido: conceptos, fundamentos y casos prácticos  
Zafra, Julián  
RA-MA Editorial

<https://xferrecords.com/products/serum> -SERUM

<https://midi.city/> Midi.city

<https://tonejs.github.io/> - Tonejs

<https://es.reactjs.org/> react

<https://expressjs.com/es/> express