

Universidad Internacional de La Rioja
Grado en Música

Introducción a la física acústico
musical para alumnos de
Bachillerato. Una propuesta
curricular

Trabajo fin de grado presentado por: José María Berenguer del Villar

Director: Dr. D. Daniel Moro Vallina

Cádiz
Julio de 2018
Firmado por:



Resumen

Después de investigar los contenidos en física acústica -a través de la legislación vigente, una revisión bibliográfica y la consulta a varios profesores especialistas en la materia- que se imparten en secundaria y bachillerato, hemos llegado a la conclusión que estos son mínimos (en muchos casos inexistentes) y no se imparten desde una vertiente musical, sino aplicados de forma general a diferentes ámbitos del conocimiento.

Por otro lado, dichos contenidos siempre se transmiten de manera teórica pues los centros docentes no suelen disponer de ningún instrumento de acústica en sus laboratorios salvo, a lo sumo, un diapasón de horquilla.

En este trabajo se presenta una propuesta curricular con un sistema pedagógico novedoso, esto es, empleando un sintetizador modular virtual de código abierto: VCV Rack. Con este software proponemos realizar una serie de actividades con las que el alumnado asimilará de forma fácil, creativa y amena, todos los contenidos didácticos expuestos.

Para ello profundizaremos en el uso de los diferentes módulos, los tipos de síntesis y modulaciones, su conexionado, etc., observando siempre en el osciloscopio y el espectrógrafo cómo se visualizan cada una de las acciones que vayamos realizando en los diferentes *patches*; todo ello en tiempo real, algo que desde el punto de vista didáctico resulta mucho más empírico y dinámico que una imagen de un libro de texto.

Finalmente, queremos que el alumno demuestre todo lo aprendido, dándole un giro musical y creativo a la materia. Por decirlo de otra manera, fusionando las asignaturas de Física y Música. Para ello deberá entregar un producto final consistente en una composición de no menos de tres minutos, trabajo que realizará de forma cooperativa con otros compañeros de clase.

Palabras Clave: Música, acústica, síntesis, docencia, VCV Rack.

Abstract

The purpose of this research is to look at how acoustical physics contents can be implemented in secondary education. After thorough research - through the current legislation, a bibliographical review and several teachers specialized in the subject - we have come to the conclusion that the acoustic physics taught in secondary education is minimal (in some cases non-existent) and is not taught from a musical perspective, but applied in a general way to different areas of knowledge.

On the other hand, these contents are always transmitted in a theoretical manner because the educational establishments do not usually have any instrument of acoustics in their laboratories except for, at most, a tuning fork.

This paper presents a curricular proposal with an original pedagogical system by using an open source virtual modular synthesizer: VCV Rack. We suggest carrying out a series of activities with this software which will allow the students assimilate all the educational contents in an easy, creative and entertaining way.

To do this, we will go into the use of the different modules, the methods of sound and modulations synthesis, and their connection in depth, always observing in the oscilloscope and the spectrograph how each of the actions we perform are visualized in the different patches; all of this in real time, which is more educational than a simple image in a textbook.

Finally, we will ask our students to demonstrate everything they have learned, giving a musical and creative twist to the subject. To put it another way, we are looking at joining the subjects of Physics and Music together. To do this, he/she must deliver a final product consisting of a composition of no less than three minutes, a work that he/she will do cooperatively with other classmates.

Keywords: Music, acoustics, synthesis, teaching, VCV Rack.

ÍNDICE

Resumen	2
Abstract	3
Listado de abreviaturas	5
1. Introducción: Justificación y Objetivos	6
2. Marco teórico	7
2.1. Revisión de fuentes bibliográficas	7
3. Marco metodológico	14
3.1. Nuestra materia prima: El sonido	14
3.2. Movimiento ondulatorio	16
3.3. La serie armónica	17
3.4. La envolvente	18
3.5. Tipos de síntesis	18
3.6. Modulaciones	18
3.7. La síntesis modular	22
4. Resultados. Propuesta curricular	24
4.1. VCV Rack	24
4.2. Actividades	27
5. Conclusiones	35
5.1. Limitaciones	36
5.2. Prospectiva	37
6. Referencias bibliográficas	38
6.1. Webgrafía	39
7. Anexos	40

Listado de abreviaturas y siglas

AI	Audio interface	Interfaz de audio
ATT	Attack	Ataque (de una envolvente)
CV	Control Voltage	Control de voltaje
DEC	Decay	Decaimiento (de una envolvente)
DRAE		Diccionario de la Real Academia Española de la lengua
EXP	Exponential	Exponencial
FM	Frequency modulation	Modulación en frecuencia
FREQ	Frequency	Frecuencia de oscilación
HPF	High pass filter	Filtro de paso alto
Hz	Hertz	Hercio
J		Justo (intervalo)
LFO	Low frequency oscillator	Oscilador de baja frecuencia
LIN	Linear	Lineal
LPF	Low pass filter	Filtro de paso bajo
M		Mayor (intervalo)
MS		Milisegundo
PW	Pulse Width	Onda de pulso (ancho)
REL	Release	Relajación (de una envolvente)
S		Segundo
SAW	Sawtooth	Onda diente de sierra
SEQ	Sequencer	Secuenciador
SIN	Sinusoidal	Onda sinusoidal
SQR	Square	Onda cuadrada
SUS	Sustain	Sostenimiento (de una envolvente)
TRI	Triangular	Onda triangular
VCA	Voltage controlled amplifier	Amplificador controlado por voltaje
VCF	Voltage controlled filter	Filtro controlado por voltaje
VCO	Voltage controlled oscillator	Oscilador controlado por voltaje

1. Introducción: Justificación y Objetivos

1.1. Justificación y problema

Tras años de experiencia, consultar frecuentemente la legislación en materia educativa y dialogar con varios colegas docentes, podemos corroborar que la atención que dedican los currículum oficiales a la Música en las enseñanzas básicas es mínimo. Además, las direcciones de los centros docentes prestan poca atención a la materia, prefiriendo ofertar otras asignaturas relacionadas con áreas consideradas más “importantes”. En el centro donde se ha realizado la propuesta que nutre el presente Trabajo Fin de Grado, no hay ningún especialista de música en Primaria, en Secundaria se imparte únicamente en los dos primeros cursos, y en Bachillerato se circunscribe a unos contenidos generales en la asignatura de Física.

Habitualmente vemos a los jóvenes escuchando música, asistiendo a conciertos, como integrantes de grupos... En definitiva, participando del ocio y disfrute de nuestro arte. Pero, ¿saben cómo se generan los sonidos, qué elementos lo forman, cómo se analiza la música, en qué ámbitos se aplica la física acústica? Es decir, ¿cuáles son sus conocimientos de la ciencia en la música?

1.2. Objetivos

➔ General

- ▶ Incrementar el conocimiento científico de la música a través de unos recursos pedagógicos novedosos para el alumnado.

➔ Específicos

- ▶ Revisar los contenidos en física acústica que se imparten en las enseñanzas básicas.
- ▶ Asimilar los contenidos teóricos estudiados mediante la práctica modular y la observación en osciloscopio y espectrógrafo.
- ▶ Investigar y experimentar -más allá de los ejemplos expuestos por el profesor- las diferentes técnicas de síntesis y modulaciones, de manera individual y grupal.
- ▶ Incentivar la creatividad del alumno para que cree sus propios *patches*.
- ▶ Entregar un producto final donde se demuestren los conocimientos aprendidos.

Para conseguir todo esto, a partir del próximo curso académico 2018 - 2019, se va añadir a la programación oficial de la asignatura de Física una nueva unidad didáctica (ver Anexo 2) sobre física acústico musical. Una de las herramientas clave a utilizar será el sintetizador “VCV Rack”¹, donde el alumnado podrá poner en práctica los contenidos teóricos aprendidos.

Lógicamente, tanto por los límites establecidos para este Trabajo Fin de Grado como por las necesidades propias del currículum desarrollado, se tratarán unos aspectos concretos de la física acústica, dejando otros -no menos importantes e interesantes- para posteriores estudios y trabajos.

2. Marco teórico

2.1. Revisión de fuentes bibliográficas. Contenidos curriculares en la enseñanza de la física acústica

Para iniciar esta investigación, hemos realizado una revisión bibliográfica partiendo del Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre (recuperado de <https://www.boe.es/boe/dias/2015/01/03/pdfs/BOE-A-2015-37.pdf>), por el que se establece -dentro de la LOMCE- el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato, y de cómo las editoriales han incorporado (o no) en sus manuales de estudio de las asignaturas de Física y Música, contenidos sobre acústica.

Tabla 1. Relación LOMCE con los contenidos impartidos de física acústica en 2º de E.S.O.

LOMCE	Contenidos de física acústica incluidos en el manual	
BLOQUE 1: La actividad científica	1. El método científico	----
BLOQUE 2: La materia	2. La materia y sus propiedades. 3. Composición de la materia.	----
BLOQUE 3: Los cambios	4. Los cambios químicos.	----
BLOQUE 4: Los movimientos y las fuerzas	5. Los movimientos. 6. La gravedad y el universo. 7. Las fuerzas y las máquinas simples.	----
BLOQUE 5: Energía	8. ¿Qué es la energía? 9. Energía térmica. 10. Luz y sonido.	10. ¿Qué son las ondas? <ul style="list-style-type: none"> • Ondas longitudinales y transversales (sismo) • Características de las ondas (Periodo, amplitud, frecuencia, longitud de onda y velocidad de propagación) • ¿Cómo se produce y transmite el sonido? (vibración y ondas longitudinales). • Características de las ondas (agudo/grave, fuerte/débil; el osciloscopio). • Fenómenos sonoros (reflexión, eco, reverberación y refracción). • Ultrasonidos e infrasonidos (rango auditivo) • La contaminación acústica (dB y sonómetro)

Adaptada de: BOE-A-2015-37 pág. 258 y ss.; Física y Química 2º E.S.O. Ed. SM (L. de Guereña, González, Guitart, Corominas, Romo, 2016)



¹ Sintetizador modular virtual de código abierto, con el que se puede personalizar un eurorack con una amplia gama de módulos genéricos y/o emuladores de módulos físicos de diferentes empresas como Befaco. <https://vcvcrack.com>

Este primer manual (L. de Guereña, González, Guitart, Corominas, Romo, 2016) dedica una parte de su temario (concretamente el Tema 10) a las ondas, aunque no desde un enfoque exclusivo de física acústica sino relacionándolas con olas, movimientos sismológicos, ondas de radio, muelles... Posteriormente aparece un epígrafe sobre las partes de la onda y, de manera muy sucinta, se explica al alumno la diferencia entre sonido grave - agudo, fuerte - débil y cómo se visualizan cada uno de ellos en un osciloscopio.

Mejor desarrollados están los contenidos referidos a la reflexión, reverberación, refracción y eco. Terminan los contenidos dedicados en este libro a la física de la música con una breve explicación acerca del umbral de audición humana, ultrasonidos e infrasonidos, la contaminación acústica y su escala y sistema de medición: el decibelio y el sonómetro

En total siete páginas (2,92 % del total del libro) con 28 gráficos, lo que nos indica el mínimo contenido textual que dedica la editorial a exponer los epígrafes referidos.

Tabla 2. Relación LOMCE con los contenidos impartidos de física acústica en 3º de E.S.O.

LOMCE	Contenidos de física acústica incluidos en el manual	
BLOQUE 1: La actividad científica	1. The scientific knowledge	----
BLOQUE 2: La materia	2. The atomic structure of matter.	----
BLOQUE 3: Los cambios	3. Chemical substances. 4. Chemical reactions.	----
BLOQUE 4: Los movimientos y las fuerzas	5. Forces of the nature.	----
BLOQUE 5: Energía	6. Electricity and magnetism. 7. Electrical circuits. 8. Energy.	8. Speaker.

Adaptada de: BOE-A-2015-37, pág. 258 y ss.; Physics and Chemistry 3º E.S.O. Ed. Anaya (Vílches, Morales, Zubiaurre, 2016)

En este segundo libro de texto (Vílches, Morales, Zubiaurre, 2016), el contenido sobre física acústica es prácticamente inexistente, dedicando únicamente dos líneas y media (0,05 % aprox. de las 188 páginas totales) a comentar un gráfico de un altavoz, poniéndolo como ejemplo de los efectos mecánicos de la electricidad.

Apuntar, aunque no afecta en absoluto a nuestra revisión bibliográfica, que esta asignatura es impartida en inglés en el centro donde se ha realizado el estudio².



² Aunque nos referimos a un colegio concreto donde se ha realizado el estudio, el material didáctico utilizado en el mismo es de las editoriales SM y Anaya, que son en estos momentos dos de las más importantes en el ámbito escolar y sus materiales están muy difundidos en todo el país.

Como se puede observar en la Tabla 3, los contenidos de acústica contenidos en el manual de 4º de E.S.O. (Cañas, Viguera, Caamaño, de Prada, 2016) son nulos. Al consultar con dos de los profesores de física del centro (Beatriz Bocardo Perez de Lara, José Ernesto Sánchez de Cos Suarez, comunicación personal, 27 de marzo de 2018), nos informaron que en este nuevo libro la editorial había eliminado todos los contenidos referentes a la acústica, que sí existían en el manual anterior.

Tabla 3. *Relación LOMCE con los contenidos impartidos de física acústica en 4º de E.S.O.*

LOMCE	Contenidos de física acústica incluidos en el manual	
BLOQUE 1: La actividad científica	1. El trabajo científico	----
BLOQUE 2: La materia	2. El átomo. 3. El enlace químico.	----
BLOQUE 3: Los cambios	4. Cambios físicos y químicos. 5. Aspectos energéticos y cinéticos de las reacciones químicas. 6. Introducción a la química del carbono.	----
BLOQUE 4: El movimiento y las fuerzas	7. Estudio del movimiento. 8. Las leyes de Newton. 9. Fuerzas de especial interés. 10. Hidrostática y físicas de la atmósfera.	----
BLOQUE 5: Energía	11. Energía mecánica y trabajo. 12. Energía térmica y calor.	----

Adaptada de: BOE-A-2015-37, pág. 263 y ss.; Física y Química 4º E.S.O. Ed. SM (Cañas, Viguera, Caamaño, De Prada, 2016)

Siguiendo la misma tónica que en los cursos anteriores, en 1º de Bachillerato tampoco se dedica prácticamente ningún contenido a la física acústica. Esta circunstancia puede sorprender aún más en este nivel educativo que en los anteriores, ya que todos los alumnos eligieron cursar la opción de Bachillerato de “Ciencias de la naturaleza y la salud”. Con esto queremos decir que los alumnos ya no diversifican los contenidos de estudio -ciencias, letras, artes...-, sino que se están especializando en un ámbito científico, donde creemos que el aprendizaje de física acústica debería tener una mayor presencia en el currículo.

Sin embargo, solo se dedican en el manual de estudio (Nacenta, de Prada, Puente, 2015) unos epígrafes a desarrollar el movimiento armónico simple (velocidad, aceleración...) Este contenido se expone a través de ondas senoidales, pero no se hace ninguna referencia a la acústica, salvo un problema sobre la lengüeta de una armónica. En total un tercio de página de las 383 que tiene el libro de estudio (0,08% del total).

Tabla 4. Relación LOMCE con los contenidos impartidos de física acústica en 1º de Bachillerato

LOMCE	Contenidos de física acústica incluidos en el manual	
BLOQUE 1: La actividad científica	1. Magnitudes y unidades físicas	----
BLOQUE 2: Aspectos cuantitativos de la química	2. Leyes fundamentales de la química	----
BLOQUE 3: Reacciones químicas	3. Reacciones químicas	----
BLOQUE 4: Transformaciones energéticas y espontaneidad de las reacciones químicas	4. Química industrial 5. Termodinámica	----
BLOQUE 5: Química del carbono	6. La química del carbono 7. Petroquímica y nuevos materiales	----
BLOQUE 6: Cinemática	8. El movimiento 9. El estudio de los movimientos	
BLOQUE 7: Dinámica	10. Leyes de la dinámica 11. Estudio de situaciones dinámicas	
BLOQUE 8: Energía	12. Energía mecánica y trabajo 13. El movimiento armónico	13. El movimiento armónico simple (mas): cinemática (velocidad y aceleración).

Adaptada de: BOE-A-2015-37, pág. 268 y ss.; Física y Química 1º Bachillerato Ed. SM (Nacenta, De Prada, Puente, 2015)

Afortunadamente, la asignatura de Física de 2º de Bachillerato (Nacenta, Romo, Trueba, Puente, 2016), sí dispone de dos temas completos con unos contenidos muy amplios dedicados a la física acústica (47 páginas de las 327 totales, esto es, el 14,37%).

No están expuestos desde un punto de vista digamos “musical”³, pero sí se hacen referencias constantemente a elementos relacionados con nuestro arte, como se puede comprobar en la Tabla 5 de la siguiente página.

Significar que la formulación tiene un peso muy importante en el desarrollo de dichos contenidos.



³ Circunstancia que trataremos de paliar mediante los contenidos desarrollados en el Marco metodológico y la ampliación de la programación de aula de 2º de Bachillerato, con la inclusión de una unidad didáctica específica de física acústico musical.

Tabla 5. Relación LOMCE con los contenidos impartidos de física acústica en 2º de Bachillerato

LOMCE	Contenidos de física acústica incluidos en el manual	
BLOQUE 1: La actividad científica	1. Métodos matemáticos de la física. Cinemática y dinámica	----
BLOQUE 2: Interacción gravitatoria	2. Campo gravitatorio	----
BLOQUE 3: Interacción electromagnética	3. Campo eléctrico 4. Campo magnético 5. Inducción electromagnética	----
BLOQUE 4: Ondas	6. El movimiento ondulatorio 7. Fenómenos ondulatorios	<p>6. Las ondas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tipos, propagación (velocidad, magnitudes). • Ondas armónicas. • Aspectos energéticos del movimiento ondulatorio (intensidad, potencia, amortiguación) • El sonido (cualidades, sensación sonora, contaminación acústica) • Aplicaciones tecnológicas del sonido (ultrasonidos) <p>7. Fenómenos ondulatorios</p> <ul style="list-style-type: none"> • Principio de Huygens (reflexión, refracción, difracción...) • Superposición de ondas • Interferencias de ondas armónicas coherentes (constructivas y destructivas) • Pulsaciones (afinación, diapasón) • Ondas estacionarias (aplicaciones a los instrumentos de cuerdas) • Ondas longitudinales (aplicaciones a los instrumentos de viento) • Efecto Doppler
BLOQUE 5: Óptica geométrica	8. Óptica física 9. Óptica geométrica	----
BLOQUE 6: Física del siglo XX	10. Elementos de la física relativista 11. Introducción a la física cuántica 12. Introducción a la física nuclear	----

Adaptada de: BOE-A-2015-37, pág. 272 y ss.; Física 2º Bachillerato Ed. SM (Nacenta, Romo, Trueba, Puente, 2016)

A continuación, siguiendo el mismo plan de trabajo que hemos realizado en las páginas precedentes, vamos a analizar cómo son tratados los elementos de física acústica en la asignatura de Música. Aquí la LOMCE deja libertad a las comunidades autónomas para distribuir la carga lectiva de la asignatura en los cursos que estime oportuno. En Andalucía, esta se imparte únicamente en 1º y 2º de E.S.O., en 3º no se da y en 4º forma parte de las asignaturas optativas que los centros pueden o no ofertar, es decir, no lo suelen hacer.

En 1º de Bachillerato debería impartirse Lenguaje y Práctica Musical pero, al igual que sucede en 4º de E.S.O., los centros suelen disponer de esas horas lectivas para otras asignaturas que consideran más importantes.

Tabla 6. *Relación LOMCE con los contenidos impartidos de física acústica en 1º de E.S.O.*

LOMCE	Contenidos de física acústica incluidos en el manual	
BLOQUE 1: Interpretación y creación	2. Cantamos la música 3. Tocamos la música 4. Escribimos la música	3. El timbre y los instrumentos <ul style="list-style-type: none"> • Los armónicos
BLOQUE 2: Escucha	Este bloque se trabaja en todos los temas del manual	-----
BLOQUE 3: Contextos musicales y culturales	5. La música en las otras artes 6. Música europea de ayer y de hoy 7. Nuestra música 8. La música tradicional en el mundo 9. Música popular	-----
BLOQUE 4: Música y tecnologías	1. El sonido	1. El sonido <ul style="list-style-type: none"> • ¿Qué es y cómo se produce? (vibración, hercio, aparato auditivo, umbral de audición) • Cualidades (altura, intensidad, duración y timbre). El diapasón.

Adaptada de: BOE-A-2015-37, pág. 508 y ss.; Música 1º E.S.O. Ed. SM (Müller, García, 2016)

Como podemos observar en la Tabla 6, tampoco en nuestra asignatura se dedica una atención especial a la física acústica en 1º de E.S.O. (Müller, García, 2016), tratándose los elementos más básicos y siempre exponiéndolos de una manera muy general. En ningún caso se relacionan los contenidos con actividades como las que propondremos más adelante en este Trabajo Fin de Grado para que los alumnos interioricen mejor dichos contenidos o sean creativos; simplemente se tratan estos de manera teórica. En total 4 páginas de las 159 totales que tiene el manual de estudio (2,5 %).

Aún menor es la atención a los contenidos sobre acústica incluidos en el libro de estudio de 2º de E.S.O. (Müller, García, 2016). Revisando en detalle dicho texto llegamos a encontrar un gráfico que representa una guitarra -donde se indican las diferentes partes que la integran, pero sin explicar qué labor tienen cada una de ellas-, un theremin -donde encontramos la siguiente definición: “Una mano se mueve alrededor de la antena y la otra alrededor de un aro de metal” (Müller y García, pág. 34)-, o un prometedor título, *Sonido analógico y digital*, que luego se desarrolla en el siguiente texto: “Existen dos tipos de sonidos: analógico y digital” (Müller y García, pág. 114). Y eso es todo (0,01% aprox. de las 159 páginas totales).

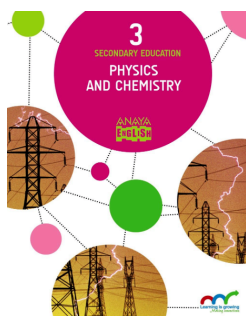
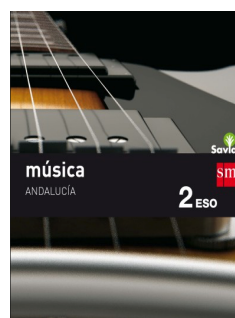
Como podemos observar en las Tablas 6 y 7, casi la totalidad de los contenidos están dedicados a la música tradicional de las diferentes comunidades autónomas.

Tabla 7. Relación LOMCE con los contenidos impartidos de física acústica en 2º de E.S.O.

LOMCE	Contenidos de física acústica incluidos en el manual	
BLOQUE 1: Interpretación y creación	1. La obra musical 2. Agrupaciones musicales	----
BLOQUE 2: Escucha	Este bloque se trabaja en todos los temas del manual	
BLOQUE 3: Contextos musicales y culturales	3. La música académica I 4. La música académica II 5. Música tradicional (en Andalucía) 6. Los instrumentos musicales (en Andalucía) 7. El flamenco 8. La música popular (en Andalucía) 9. La música que nos rodea	----
BLOQUE 4: Música y tecnologías	Este bloque se trabaja en todos los temas del manual	

Adaptada de: BOE-A-2015-37, pág. 508 y ss.; Música 2º E.S.O. Ed. SM (Müller, García, 2016)

Portadas de los libros consultados:



3. Marco metodológico

3.1. Nuestra materia prima: El sonido

En el método científico, el paso siguiente a la observación es la formulación de preguntas. A lo largo de este trabajo vamos a realizar bastantes para investigar y aprender los aspectos relacionados con el tema que nos ocupa. Comencemos.

Como afirma Rogers (2012): “Para producir un sonido se necesitan tres elementos: una fuente que genere el sonido (Producción), un medio a través del cual el sonido pueda desplazarse (Propagación) y un sistema de audición que reciba e interprete el sonido (Percepción)” (p. 25). Veamos cada uno de estos elementos básicos en detalle:

- ▶ **Emisión - Las vibraciones.** ¿Cómo se produce el sonido? ¿Cuál es su origen? Podemos resumir diciendo que todo cuerpo elástico potencialmente puede vibrar y que todo lo que vibra suena. Pongamos como ejemplo la cuerda de una guitarra española. Cuando el intérprete la pulsa se pone en movimiento, es decir, vibra.
- ▶ **Propagación.** Una vez que se ha generado el sonido, las partículas del medio propagador (sólido, líquido o gaseoso) transmiten las vibraciones a las partículas adyacentes del medio transmisor y estas, a su vez, a las que tienen más próximas, generándose de esta manera un desplazamiento longitudinal de la energía y, por tanto, del sonido.

Esto crea zonas en las que se produce una mayor compresión de partículas y otras en la que la compresión es menor; a estas últimas las llamamos *rarefacción*. Si observamos la Figura 1, y el vídeo (Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=i1DpWtE6azk>) veremos que las zonas de compresión se corresponden con el vientre (pico o cresta) superior de la onda sinusoidal y la rarefacción con el inferior.

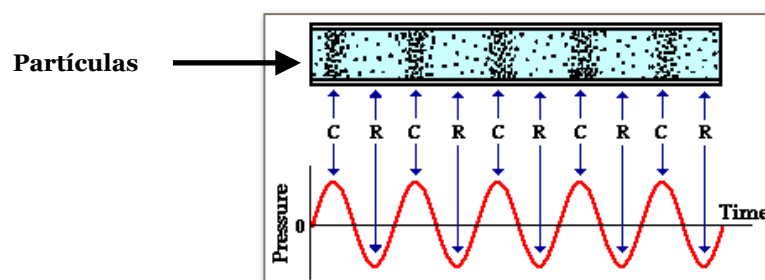


Figura 1. Desplazamiento de una onda sonora (<http://www.physicsclassroom.com/class/sound/Lesson-1/Sound-is-a-Pressure-Wave>)

Habitualmente decimos que el sonido se propaga en el aire a 340 m/s, pero esto no solo depende del medio transmisor sino de varios factores más como la densidad, la presión atmosférica o la temperatura. La fórmula de la velocidad de propagación en un gas es:

		Valores habituales a nivel del mar
$v = \sqrt{(\gamma RT)/M}$	γ = el cociente de dilatación adiabática ⁴	1,4
	R = La constante universal de los gases ⁵	8,314
	T = La temperatura expresada en grados Kelvin	
	M = La masa molar del gas ⁶	0,029

► **La Recepción.** Pero, ¿cuándo oímos? Según Williams y Warwick (1985):

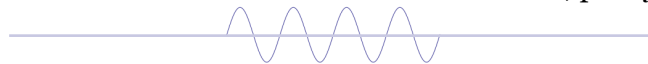
Esquemáticamente, las ondas sonoras que llegan a la columna aérea del conducto auditivo externo producen una serie comparable de vibraciones en la membrana timpánica y, por tanto, en la cadena de huesecillos⁷. En la base del estribo se producen vibraciones semejantes, pero en este punto la fuerza por unidad de superficie de la superficie oscilante se multiplica aproximadamente por 20. Las vibraciones consiguen superar la inercia de la perilinfa⁸, produciendo en su interior unas ondas de presión que se conducen de forma casi instantánea a todas las regiones de la membrana basilar⁹ [...] A frecuencias muy bajas, por ejemplo 50 Hz, toda la membrana basilar vibra sincrónicamente y con una frecuencia similar. A medida que aumenta la frecuencia de las ondas de presión del líquido conductor, las distintas partes de la membrana basilar oscilan con menor rapidez y cada vez de forma menos sincrónica (p. 1331).

Es decir, esta membrana determina la respuesta en frecuencia de nuestro sistema auditivo, cuyo rango está entre los 20 Hz - 20 KHz.

A su vez la membrana basilar presiona al órgano de Corti¹⁰, cuyas células segregan un componente químico que se transforman en los impulsos eléctricos que el nervio auditivo lleva al cerebro. En este momento, final de todo el proceso, podemos afirmar que es cuando oímos. Esta sensación sonora nos hace distinguir varios elementos, varias cualidades físicas:

➔ **Duración.** Es el tiempo durante el cual se prolonga el sonido. En física acústica, la unidad utilizada es el segundo.

➔ **Altura.** Es la cualidad que nos hace distinguir un sonido como agudo o grave. Esto depende directamente de la frecuencia de oscilación del emisor, correspondiendo el primero a una frecuencia mayor que el segundo. La unidad de medida es el Hercio (Hz). En el osciloscopio, la frecuencia se representa por la inversa del periodo ($f=1/T$), siendo este (T) la distancia entre el mismo punto de vibración en dos ondas consecutivas, por ejemplo, dos vientres.



⁴ Razón entre la capacidad calorífica a presión constante y la capacidad calorífica a volumen constante.

⁵ Constante física que relaciona la energía, la temperatura y los moles de un gas.

⁶ Masa del mol (una de las siete magnitudes físicas fundamentales) de una sustancia.

⁷ Yunque, estribo y martillo.

⁸ Líquido que activa las células ciliadas cocleares.

⁹ Situada también en el interior de la cóclea o caracol.

¹⁰ Transforma la energía mecánica de las ondas sonoras en impulsos nerviosos.

- ➔ **Intensidad.** También llamado volumen, es la percepción de un sonido como fuerte o débil. Su unidad de medida es el decibelio (dB). En el osciloscopio es muy fácil distinguirlos -aun sin oírlos- pues en el primero la amplitud (distancia entre el vientre superior y el inferior de la onda) será mayor que en el segundo.
- ➔ **Timbre.** Calidad física que nos permite distinguir los sonidos producidos por diferentes voces o instrumentos, aun cuando estos se emitan simultáneamente. Esto es debido a que ambos producen sonidos complejos, es decir, sus ondas espectrales están formadas por la suma de varias ondas simples (seno).

3.2. Movimiento ondulatorio

A continuación vamos a exponer dos movimientos ondulatorios -simple y complejo- y las diferentes fases por la que ambos pasan:

- ▶ **Movimiento ondulatorio simple.** En el gráfico 2 se representa, mediante una onda senoidal, el tiempo de vibración en el eje horizontal y las amplitudes (o elongaciones) en el vertical. Según Calvo-Manzano (1991):

Supongamos que el cuerpo se encuentra ya en movimiento cuando iniciamos la cuenta del tiempo (t_0) y en ese momento tiene ya una cierta *elongación* (x_0) con lo que habrá una *fase inicial* (ψ_0). Un instante después, en el momento t_1 , el cuerpo alcanza la *elongación máxima* es decir la *amplitud positiva* (A'). En este momento cambia de sentido y empieza a moverse en sentido contrario alcanzando en el instante t_2 el punto de reposo en el que la *elongación* es nula. En el instante t_3 el cuerpo adquiere su *elongación máxima negativa* o *amplitud negativa* (A'') igual en magnitud a la amplitud positiva pero de signo contrario. Pasado un tiempo alcanza en el instante t_4 el punto de reposo nuevamente de *elongación cero* para en el momento t_5 tomar una elongación igual a la que tenía en el momento de empezar la observación. En este instante se ha cumplido una *vibración completa* en la que se ha invertido el tiempo de un período (T) (pp. 26-27).

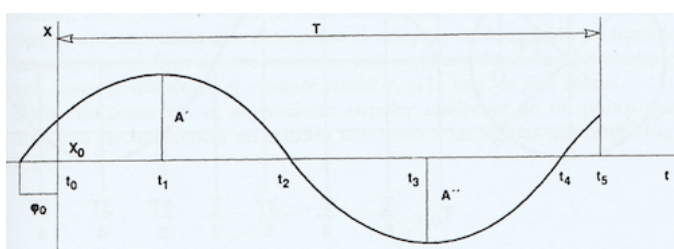
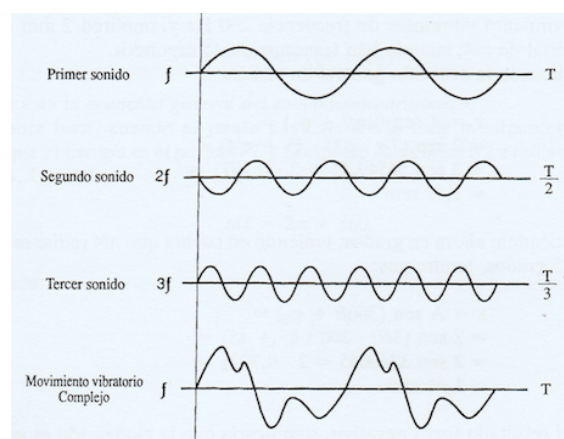


Figura 2. Movimiento ondulatorio simple.
Calvo-Manzano, 1991, p. 27)

Figura 3. Movimiento ondulatorio complejo.
Calvo-Manzano, 1991, p. 32)



- ▶ **Movimiento ondulatorio complejo.** El físico y matemático francés Jean Baptiste Fourier (1768-1830) definió lo que hoy llamamos *Transformada de Fourier*; aplicada a la acústica, define que el movimiento ondulatorio complejo es el formado por la suma de varios

movimientos armónicos simples, cuyos períodos son T , $T/2$, $T/3$... y las frecuencias f , $2f$, $3f$... (figura 3).

Como resultado de estos movimientos ondulatorios, se producen los siguientes tipos de ondas que podemos observar en el osciloscopio -adjuntamos también el enlace a un vídeo explicativo (Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=YsZKvLnf7wU>):

- ➔ **Sinusoidal/Sinusoide/Seno.** Está compuesta por la frecuencia fundamental, sin armónicos. Solo es posible producirla con instrumentos o aparatos electrónicos
- ➔ **Diente de sierra.** En su espectro se encuentran todos los armónicos, pares e impares, pero con mayor amplitud en las frecuencias más graves. Esta forma de onda es la producida, por ejemplo, por los instrumentos de cuerda.
- ➔ **Triangular.** Solo encontraremos en su espectrograma los armónicos impares, con una reducción muy evidente de la amplitud en los sonidos agudos. El resultado es un espectro muy pobre.
- ➔ **Cuadrada.** Según Alonso (2016, tema 1, p. 14) “es la sucesión de dos estados: positivo y negativo (o alto y bajo)”. Al igual que la onda triangular, su espectro está formado por los armónicos impares, pero en mayor número que aquella. El clarinete -y en general los vientos- presentan este tipo de onda.
- ➔ **Pulso.** Es una variante de la anterior. Mientras que en la cuadrada el ancho superior (positivo) y el inferior (negativo) son iguales, en una onda de pulso podemos variar esta relación. Para ello utilizaremos la perilla *P. Width* del oscilador.
- ➔ **Ruido.** A diferencia de las anteriores, no es una onda periódica sino aleatoria. Su espectro presenta todas las frecuencias presentes en el rango auditivo.

3.3. La serie armónica

Cuando observamos un color que no sea primario (por ejemplo el verde), realmente estamos viendo la suma de varios de ellos (azul + amarillo). Cuando oímos un sonido (salvo en ondas sinusoidales), sucede algo similar. Dicho sonido estará formado por la suma de varios de ellos, los cuales integrarán su *serie armónica* (figura 4). Cada elemento de la misma recibe el nombre de *armónicos* y desde la nota más grave (llamada *fundamental*), forman los siguientes intervalos:

1 - 2: 8ªJ / 2 - 3: 5ªJ / 3 - 4: 4ªJ / 4 - 5: 3ª M / etc.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16
C2 C3 G3 C4 E4 G4 Bb4 F#5

Figura 4. Serie armónica de la nota Do_2
(<http://www.teoria.com/es/referencia/a/armonicos.php>)

3.4. La envolvente

Es la evolución de un sonido mantenido en el tiempo. La forma más sencilla de entender este concepto es a través de una gráfica donde, como ejemplo, vamos a suponer que el sonido ha sido emitido por un piano. Al pulsar una de sus teclas comienza la fase **A** (Ataque/Att) que puede durar entre 10 ms y 1 s, tras la cual se pasa a la fase **D** (Decaimiento/Dec). La fase **S** (Sostenimiento/Sus) es el mantenimiento de la nota, la cual permanece en el tiempo hasta la última fase **R** (Relajación/Rel), momento en el cual soltamos la tecla. Existen diversos tipos de envolventes pero, por razones que no escaparán al lector, el tipo explicado se denomina envolvente ADSR.

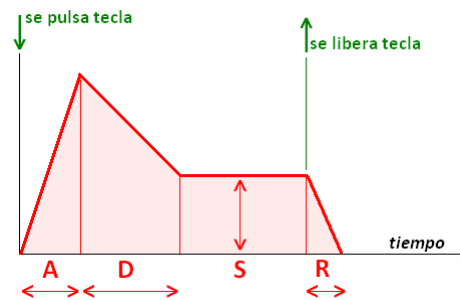


Figura 5. Envolvente tipo ADSR
(<https://www.hispasonic.com/tutoriales/sintesis-10-fundamentos-sintesis-sustractiva-iii/38727>)

3.5. Tipos de síntesis

La primera pregunta que debemos hacernos es ¿qué es la síntesis de sonido? La respuesta es fácil: son una serie de técnicas del procesado de la señal que realizamos para crear nuevos sonidos o emular otros (como los de los instrumentos acústicos). Los dos tipos más usuales son:

- ▶ **Síntesis aditiva o de Fourier.** Que ya ha sido citada con anterioridad. Se trata de obtener nuevos sonidos por la combinación (o adición) de sonidos más simples que el inicial. Esto lo podemos lograr, por ejemplo, sumando las señales sinusoidales de varios VCO.
- ▶ **Síntesis sustractiva.** Es el tipo más usado. Como su propio nombre indica, en este caso no se trata de sumar elementos, sino de restarlos. Es decir, de quitar componentes frecuenciales al sonido original para crear otros. Un ejemplo básico es aplicar un LPF a un ruido blanco.

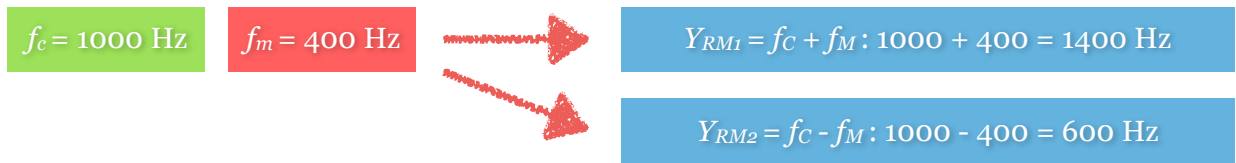
3.6. Modulaciones

El D.R.A.E. (2001) da la siguiente acepción al verbo modular: “Electr. Variar el valor de la amplitud, frecuencia o fase de una onda portadora en función de una señal”. Dicho de otra manera, vamos a partir de una señal base -que se llama *portadora*- y le vamos a aplicar diferentes técnicas para variarla (o modularla) con una segunda señal que se denomina *moduladora*. Estas son las principales modulaciones:

- ▶ **Modulación en anillo (RM).** Consiste en “multiplicar” dos señales bipolares (sus vientres superiores tienen voltajes positivos y los inferiores negativos); una corresponde a la señal portadora Y_C (c = Carrier) y otra a la señal moduladora Y_M (m = Modulating):

$$Y_{RM} = Y_C \times Y_M$$

Al hacer esta multiplicación, la señal resultante Y_{RM} no contendrá ninguna de las dos frecuencias originales, sino una suma y una resta de ambas:



En cuanto a la amplitud, las señales resultantes (Y_{RM1} y Y_{RM2}) tendrán la mitad de la amplitud de las señales multiplicadas:

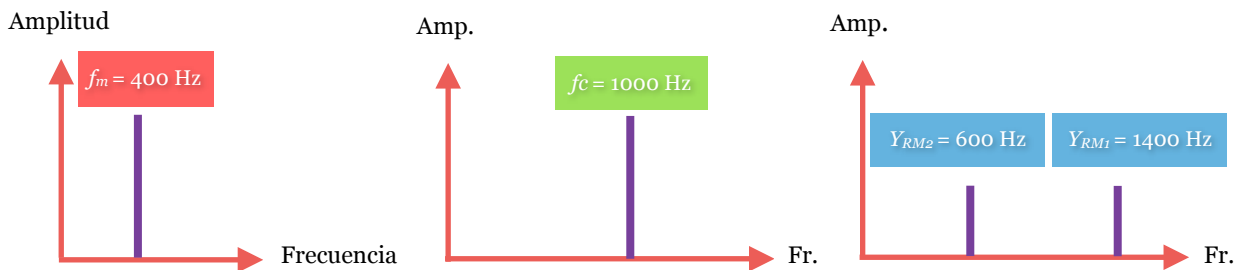


Figura 6. Modulación en anillo (Elaboración propia)

► **Modulación en amplitud (AM).** Al igual que la anterior, también consiste en “multiplicar” dos señales, siendo bipolar la portadora Y_C pero, en este caso, la moduladora Y_M es unipolar (figuras 7 y 8). Según Alonso (2016):

La modulación en anillo no cambia nada en la señal portadora ni tampoco en la señal moduladora, así que tenemos una modulación de dos señales bipolares. Sin embargo, en la síntesis por modulación de amplitud se trata de coger la información de amplitud de la portadora sin que interfiera su polaridad, trasponiendo la forma de onda moduladora en la parte positiva de las amplitudes; la forma de onda moduladora en vez de ser bipolar se vuelve unipolar (tema 5, p. 4).

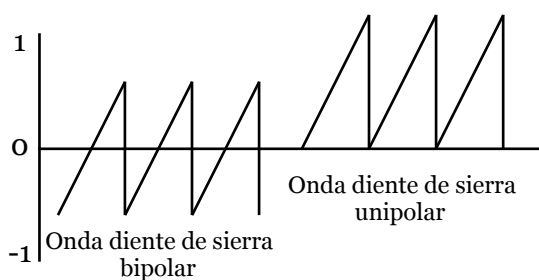


Figura 7. Ondas bipolar y unipolar (Elaboración propia)

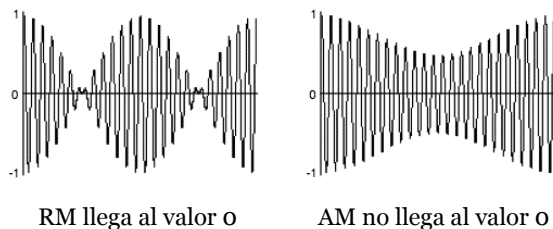
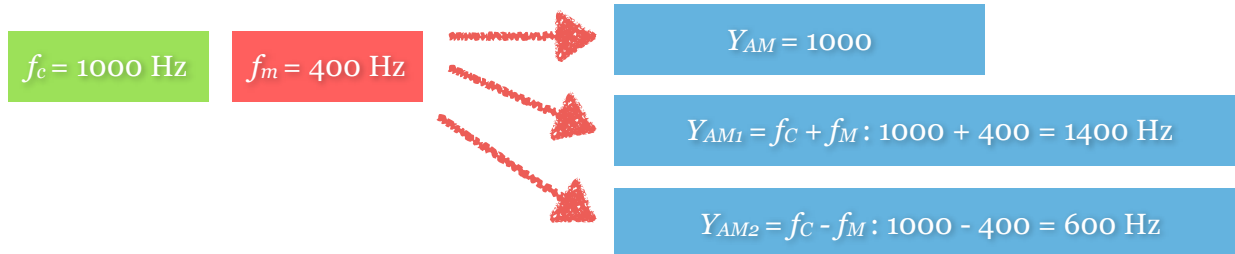


Figura 8. Ondas resultantes de RM y AM (<https://docs.cycling74.com/max5/tutorials/msp-tut/mspchapter09.html>)

La fórmula es:

$$Y_{AM} = Y_C \times Y_M$$

La señal resultante Y_{AM} tendrá la frecuencia de la portadora, así como los otros dos componentes:



Si la portadora y la moduladora tienen la misma amplitud, las bandas frecuenciales laterales tendrán la mitad de la amplitud del componente central:

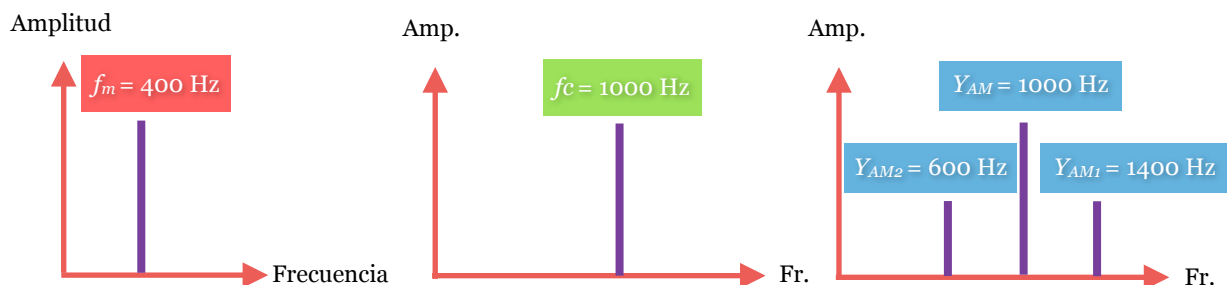


Figura 9. Modulación en amplitud (Elaboración propia)

► **Modulación en frecuencia.** Descubierta por el compositor John Chowning mientras estudiaba varios tipos de vibrato, es el resultado de una señal moduladora Y_M que cambia la frecuencia de oscilación de otro generador o señal portadora Y_C . A tener en cuenta:

- ➔ Si la frecuencia de la moduladora es inferior a 8 Hz, el resultado es un vibrato (fluctuación periódica en frecuencia. No confundir con trémolo: fluctuación periódica en amplitud).
- ➔ Si la frecuencia de la moduladora es de unos 20 Hz, obtendremos una modificación del timbre de la portadora.
- ➔ Entre 8 y 20 Hz se produce una transición progresiva de un efecto a otro.
- ➔ Se puede experimentar con frecuencias modulares mayores, e incluso superiores a la portadora.
- ➔ El *coeficiente de armonicidad*. Corresponde al cociente de la frecuencia modulante entre la frecuencia portante. Determina qué frecuencias aparecerán en el sonido resultante.
 - ◆ Si la relación C:M es un número entero, obtendremos un espectro armónico.
 - ◆ Si la relación C:M no es un número entero, obtendremos un espectro inarmónico.

➔ El *índice de modulación*. Es el cociente de la amplitud de la modulante entre la frecuencia de la portante. Afecta a la amplitud de las bandas laterales.

El espectro resultante de dicha síntesis contiene la frecuencia de la portadora, así como una serie de frecuencias distribuidas de forma simétrica a ambos lados de la misma. Estos componentes reciben el nombre de *bandas frecuenciales laterales*:

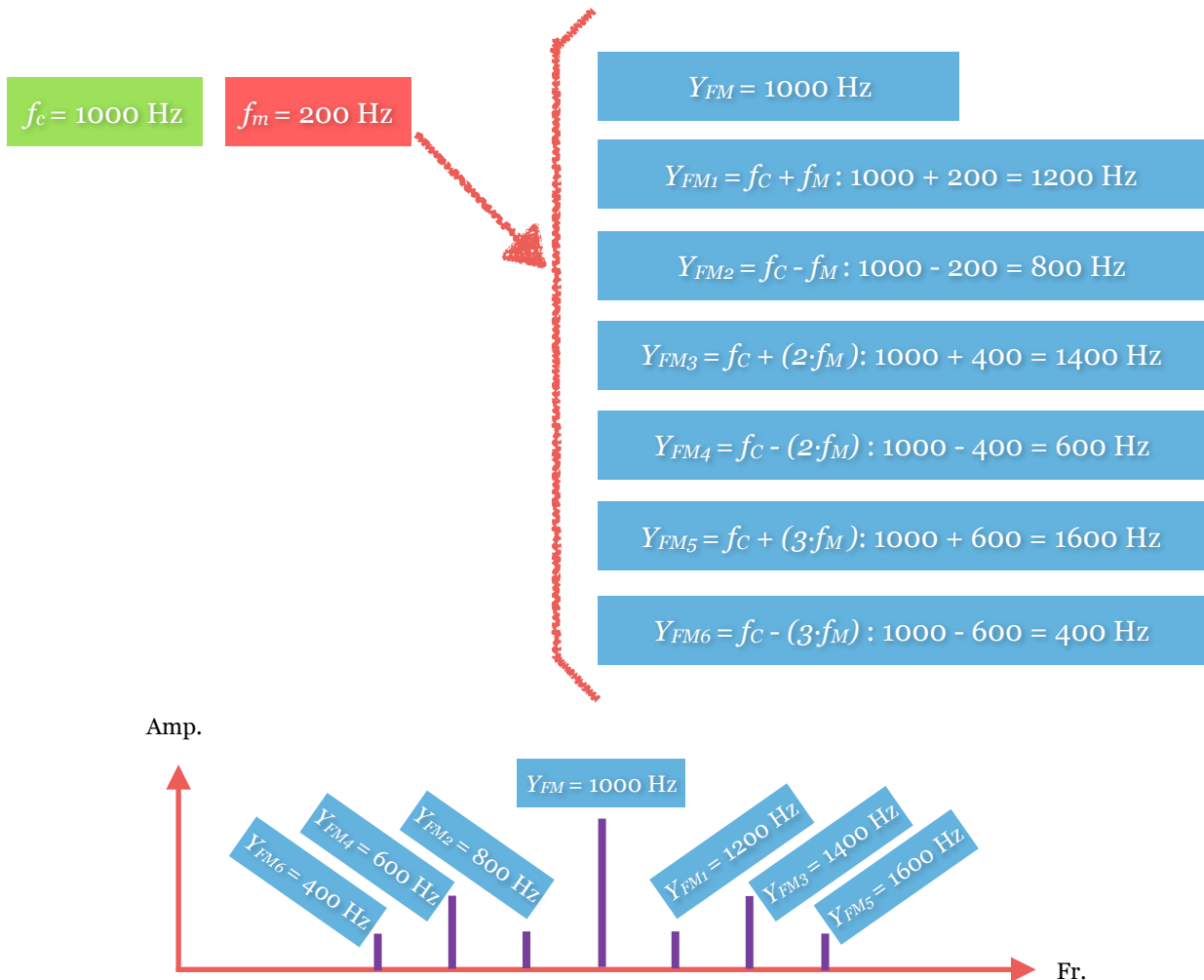


Figura 10. Modulación en frecuencia (Elaboración propia)

Si observamos la onda resultante -con una frecuencia de modulación baja-, el efecto parece el de un muelle que se estira de manera horizontal (figura 11):

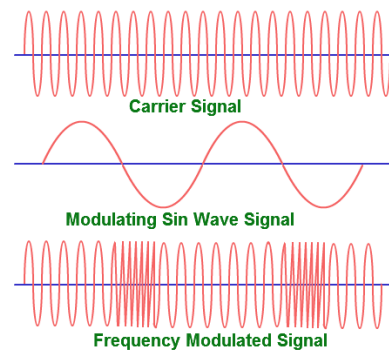


Figura 11. Ondas portadora, moduladora y resultante de una modulación en frecuencia (<http://physics.tutorcircle.com/waves/frequency-modulation.html>)

3.7. La síntesis modular

Es la utilización de un conjunto de módulos electrónicos para crear con ellos una síntesis de sonidos. Existen multitud de empresas que comercializan sus propios módulos, con una variedad y cantidad tal que el sintetista novel tendrá dificultades para elegir su primer *sintetizador modular*. En el siguiente vídeo de Hispasonic se dan los primeros pasos (Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=XGQOUFbtyjM>)

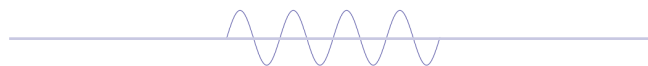
Sin entrar demasiado en profundidad -lo cual excedería del tema de este Trabajo Fin de Grado-, existen dos estándares modulares:

- ▶ **El formato Moog.** Su lanzamiento tuvo lugar en 1967, por Robert Moog. Sus módulos tienen una altura de 5U (unidades de rack; 22,22 cms) y sus anchos se basan en múltiplos de 5,4 cms. La alimentación eléctrica de los módulos puede ser simétrica (+15/-15 voltios) o asimétrica (+12/-6 voltios). La interconexión entre los diferentes módulos se realizan con latiguillos con clavijas TS de 6,25 mm, popularmente denominadas *jack*.
- ▶ **El formato Eurorack.** El segundo formato fue creado en 1996 por Dieter Doepfer. Cada módulo tiene una altura de 3U (unidades de rack; 12,7 cms) y una anchura variable que se expresa en HP (Horizontal Pitch). La tensión eléctrica del sistema tiene un rango simétrico de +12/-12 voltios. Los diferentes módulos se interconexionan a través de latiguillos con clavijas TS de 3,5 mm, también llamadas *minijack*.
- ▶ **El formato Virtual.** Con la evolución de la informática, han ido apareciendo emuladores de estos dos sistemas en formato virtual, que es el que vamos a utilizar en las prácticas.

Sea cual fuere el formato que elijamos para crear nuestro sintetizador, los módulos que no deberían faltar son los que se exponen a continuación, junto con una descripción básica (para profundizar, podemos consultar los manuales de usuario de cada módulo o los del principal fabricante en formato Eurorack, Dieter Doepfer. También es muy aconsejable visitar las webs de las dos empresas españolas que más sobresalen en el sector: Corsynth y Befaco):

- ▶ **VCO.** Es uno de los módulos con el que se inicia la cadena de síntesis. Produce diferentes tipos de ondas periódicas (SIN, TRI, SAW, SQR, PW). Su parámetro fundamental es la frecuencia (FREQ) de oscilación, es decir, la altura de los diferentes sonidos. También tiene un control FINE con el que podemos ajustar de manera más exacta la afinación. Con una señal moduladora (por ejemplo un LFO) podemos realizar una síntesis FM, la cual controlaremos con la perilla FM CV; con una frecuencia de oscilación baja del LFO conseguiremos un vibrato.
- ▶ **LFO.** En un módulo básico como el que vamos a utilizar en las prácticas, la estructura es similar al VCO. La única diferencia es el rango de frecuencias en las que trabajan ambos: entre 20 - 15.000 Hz el VCO y 0,1 - 40 Hz el LFO. Se utiliza para modular diferentes parámetros.

- ▶ **ADSR.** Es un generador de envolvente, el cual produce una modulación que podemos aplicar a cualquier parámetro (freq. de cualquier módulo o amplitud del VCA, por ejemplo). Su acción es temporal; para activarlo es necesaria una orden -a través del puerto GATE- que podemos enviar desde un teclado controlador o desde otros módulos (por ejemplo un LFO). Sus parámetros son **ATT**, **DEC**, **SUS** y **REL**.
- ▶ **VCA.** Según Alonso (2016, tema 3, página 13), “La función del VCA es básicamente de amplificar o atenuar la señal entrante [...] Se pueden encontrar dos tipos de VCA; los lineares para procesar señales tipo control¹¹ y los exponenciales para procesar señales tipo audio”. Los módulos disponen de una perilla LEVEL, una entrada EXP y otra LIN para estas funciones.
- ▶ **MIXER.** Como su propio nombre indica, es un mezclador de señales de audio (IN) o de control (CV), las cuales podemos resaltar/atenuar con las perillas de control para obtener la mezcla deseada de todas ellas (OUT).
- ▶ **VCF.** Es uno de los elementos esenciales en nuestra cadena de síntesis, pues con él podemos cambiar todo el espectro armónico de nuestro patch (síntesis sustractiva). Desde el control **FREQ** estableceremos la frecuencia a partir de la cual comenzará a actuar el filtro (= frecuencia de corte). Supongamos que la fijamos en 1000 Hz; dependiendo del tipo de filtro, actuará de diferente manera. Vamos a trabajar con estos dos:
 - ➔ **LPF.** Deja pasar las frecuencias por debajo de los 1000 Hz. Las superiores las atenúa un número de dB, según la pendiente disponible en el filtro.
 - ➔ **HPF.** Deja pasar las frecuencias superiores a los 1000 Hz. Las inferiores son atenuadas.Otro parámetro es la resonancia (**RES**), que amplifica la frecuencia de corte y sus adyacentes.
- ▶ **SCOPE y ANALYZER.** Osciloscopio y espectrógrafo con el que analizaremos físicamente los sonidos sintetizados.
- ▶ **NOISE.** Es un módulo que produce un ruido blanco -formado por la suma de todas las frecuencias audibles-, azul -atenúa las frecuencias graves- o rojo -atenúa las agudas-, por ejemplo. Estos se obtienen por medio de los controles de los dos filtros incorporados: LP y HP.
- ▶ **SEQ.** Con él podemos configurar y reproducir una secuencia musical. Sus parámetros básicos son la velocidad de secuenciación (**CLOCK**), los pasos de la secuencia (**STEPS**) y las perillas de CV (24 en nuestro SEQ), con las que seleccionaremos los voltajes que se mandarían al VCO y que este transformará en sonidos.



¹¹ Indicadas generalmente con las siglas CV, son las señales que nos permiten controlar algún parámetro.

4. Resultados. Propuesta curricular

4.1. VCV Rack

Es un sintetizador modular de código abierto y multiplataforma con el cual realizaremos nuestras prácticas. A través de su página web podemos descargar el rack y una variedad muy amplia de módulos -tanto genéricos como emuladores- de diferentes marcas comerciales, como Mutable Instrument o la española Befaco. También existe una ingente cantidad de módulos de desarrolladores particulares, algunos de los cuales vamos a necesitar.

► **Instalación.** Realizamos las siguientes acciones:

➔ Visitamos la página web oficial del programador: <https://vcvrack.com>.

➔ Seleccionamos nuestro sistema operativo¹² de los tres posibles: macOS / Windows / Linux. Comenzará la descarga.

➔ Procedemos a la instalación siguiendo las instrucciones del asistente.

► **Primeros pasos.** Al ejecutar el programa, nos aparecerán una serie de ranuras vacías (racks). Al hacer clic derecho aparecen dos opciones, Fundamental y Core. Seleccionamos la primera y añadimos los módulos deseados, simplemente para visualizarlos.

► **Crear una cuenta.** Para instalar otros módulos es necesario crear una cuenta de usuario:

➔ Volvemos a entrar en la web y pulsamos el enlace “Plugin Manager”.

➔ Pulsando “Register” nos registramos con nuestro email y elegimos el indispensable *password*.

➔ Buscamos en el listado “Bogaudio” y pulsamos “+ Free”

➔ Buscamos otro desarrollador llamado “RJModules” y volvemos a pulsar “+ Free”.

➔ En la barra de herramientas del programa insertamos el mismo email y contraseña que hemos utilizado en el paso dos y pulsamos “Log in”

➔ Terminamos haciendo doble clic sobre “Update plugins”, para que el programa instale los módulos de los dos desarrolladores.

➔ Tendremos que cerrar y volver a abrir el software para que se apliquen los cambios.



¹² Existen algunas diferencias (instalación, log-in, módulos...) dependiendo del sistema operativo utilizado. Todo lo expuesto en las siguientes páginas sobre VCV Rack se refiere al sistema operativo Windows.

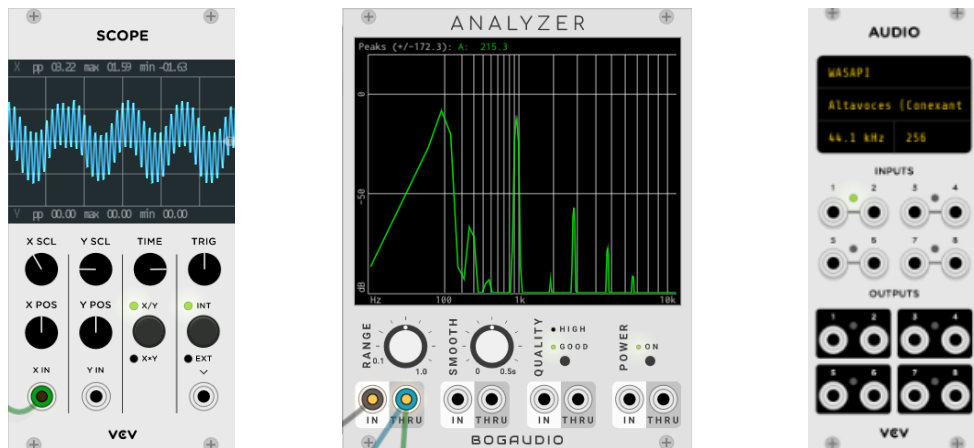


Figura 12. Tres módulos que utilizaremos en las prácticas: osciloscopio, espectrógrafo e interfaz de audio. Capturas de pantalla de VCV Rack - Elaboración propia.

► **El primer patch.** ¿Qué es un *patch*? Traducido como “parche” y aplicado a nuestro tema, es el conjunto de interconexiones y configuraciones que se llevan a cabo en un sintetizador modular. El objetivo de este primer patch es realizar una pequeña práctica de cómo se insertan los módulos, cómo tirar los latiguillos (cables) o cómo preparar todo para que suene a través de nuestro sistema de escucha:

- ➔ Hacemos clic derecho en un espacio vacío del rack e insertamos un VCO-1 y un VCA, ambos de Fundamental.
- ➔ Repetimos la operación, pero en este caso insertaremos el Audio Interface de Core. Sobre el display de este módulo seleccionamos el dispositivo de audio (Audio device) con el que trabaja nuestro ordenador.
- ➔ Ajustamos la perilla (mando de control) LEVEL del VCA “a las 10h”. Al no disponer estos módulos virtuales -como sí lo tienen los físicos- de una numeración en los controles, frecuentemente haremos referencia a una posición horaria para ajustarlos.
- ➔ Hacemos clic en la salida SIN del VCO y, sin soltar el botón del ratón, llevamos el latiguillo que nos ha aparecido hasta la entrada IN del VCA.
- ➔ A continuación, hacemos clic en la entrada 1 (Inputs)¹³ -correspondiente al canal izquierdo- del AI y llevamos el cable hasta la salida (OUT) del VCA. Repite la operación con la entrada 2 -canal derecho. Deberíamos estar escuchando el VCO.
- ➔ Es muy importante seguir el orden de las instrucciones dadas.



¹³ Esta es una de las diferencias según el sistema operativo; en MacOS los tendríamos que conectar a las salidas (Outputs)

- ➔ Para quitar un latiguillo, arrastra uno de sus lados fuera de la ranura de conexión y suelta el botón del ratón.
- ➔ Al hacer clic con el botón derecho sobre un módulo aparece un menú flotante donde podemos elegir entre borrar el módulo, duplicarlo, desconectar todos los cables conectados a él, etc.
- ➔ Como habremos podido observar, los cables no se pueden conectar donde queramos, ¿por qué? Porque unas ranuras son de salida de voltaje y otras de entrada, es decir, no es correcto conectar dos salidas entre ellas, ni tampoco dos entradas ya que se produciría -en un módulo real- un cortocircuito. En casi todos los módulos, las salidas están sombreadas.

► **¿Cómo grabar el audio de nuestro sintetizador?** Para ello tendremos que instalar el módulo *Recorder* de otro desarrollador, Iohann Rabeson. El archivo de descarga se encuentra en este enlace: <https://github.com/IohannRabeson/VCV Rack-Simple/releases>.

Pulsamos VCV Rack-Simple según nuestro sistema operativo (en nuestro caso Windows). Una vez descomprimido, moveremos la carpeta descargada a la siguiente ruta de nuestro ordenador: Documentos/Rack/Plugins, donde veremos que ya se encuentran las carpetas de todos los demás desarrolladores (Fundamental, Bogaudio, etc.)

Al ejecutar VCV Rack, el software habrá reconocido los nuevos *plugins* y el módulo de grabación estará disponible.

¿Cómo se usa?

1. Debemos conectar a sus entradas L y R la señal de audio, procedente del interfaz de audio o de otro módulo que entregue dicha señal.
2. Pulsamos el botón “select” para indicar el nombre del archivo (solo disponible formato .wav) que queremos grabar y la carpeta de destino.
3. A continuación pulsamos “arm” para activar el modo de grabación. El led indicador parpadeará.
4. Para iniciar la grabación pulsamos “record”. El led permanecerá fijo.
5. Para detener la grabación volvemos a pulsar “record”, apagándose el led. Nuestro archivo está listo para su audición.

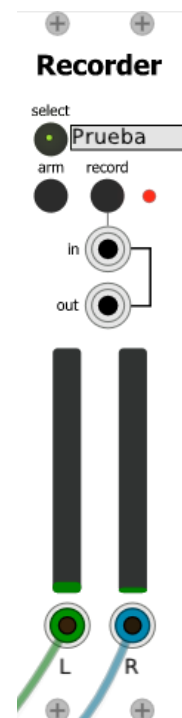


Figura 13. Módulo de grabación de Simple.
Captura de pantalla de VCV Rack - Elaboración propia.

4.2. Actividades

Ha llegado el momento de poner en práctica todos los conocimientos teóricos estudiados, de manera que el alumno logre comprenderlos y asimilarlos. Nuestro objetivo en estas actividades no es que el estudiante se limite únicamente a las instrucciones que se ofrecen, sino que vaya más allá, siendo creativo para ampliar o variar las mismas.

ACTIVIDAD 1

VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DEL SONIDO.

1. Calcular la velocidad de propagación del sonido en el aire a una temperatura de 25° C.
2. ¿A qué temperatura del aire -expresada en grados Celsius- se propaga el sonido a 340 m/s?

ACTIVIDAD 2

TIPOS DE ONDAS.

OBJETIVO: Visualizar los diferentes tipos de ondas en osciloscopio y espectrógrafo, familiarizándonos con sus parámetros.

1. Vamos a añadir a nuestro rack los siguientes módulos:
 - ▶ OSCILADOR (Ruta: botón secundario/Fundamental/VCO-1).
 - ▶ AMPLIFICADOR (Fundamental/VCA).
 - ▶ INTERFAZ DE AUDIO (Core/Audio Interface).
 - ▶ OSCILOSCOPIO (Fundamental/Scope).
 - ▶ ESPECTRÓGRAFO (Bogaudio/Analyzer)
2. Conectamos una de las salidas (Out) del VCA con la entrada (X IN) del SCOPE.
3. Conectamos las entradas 1 y 2 (Inputs) del AI con la salida del VCA.
4. VCO:
 - ▶ Posicionamos el selector en digital (DIGI).
 - ▶ Ajustamos el ancho de la onda de pulso (P. WIDTH) en el centro ("12h").
 - ▶ El control de frecuencia (FREQ) lo situamos en "10h".
 - ▶ Conectar la salida de la onda sinusoidal (SIN) a la entrada del espectrógrafo (IN).
5. ANALYZER:
 - ▶ Ajustar el control RANGE al mínimo, SMOOTH en el centro, High QUALITY y ON.
 - ▶ Conectar la salida del espectrógrafo (THRU) a la entrada (IN) del VCA. ¿Qué frecuencia marca? (arriba del display).

6. SCOPE:

- ▶ Ajustar todas las perillas a las “12h”, salvo las escala X (X SCL) que la configuraremos a las “10h” y TIME a las “3h”.
 - ▶ Pulsar los botones para que se encienda X/Y e INT, mostrándose la onda de manera estática; si deseamos visualizarla en movimiento, seleccionaremos EXT.
 - ▶ Podemos probar a cambiar estas configuraciones para aprender su funcionamiento, pero antes de seguir con el siguiente punto, debemos ajustarlas como se ha indicado.
7. Observar qué sucede desde un punto de vista sonoro y físico (osciloscopio y espectrógrafo) al cambiar el patch de la onda seno a triangular (TRI), diente de sierra (SAW) y cuadrada (SQR).
8. Igualmente, observar los cambios que se producen cuando modificamos la frecuencia del VCO, el control FINE o el control de amplitud (LEVEL) del VCA con cada una de las ondas.
9. Ahora, vamos a conectar la onda cuadrada y cambiar progresivamente a la izquierda el ajuste del control P. WIDTH. Repetir la misma operación con un ajuste a la derecha de la posición central. Anotar los cambios.
10. Una vez realizado todo lo anterior, podemos ampliar/modificar el patch, observando siempre desde un punto de vista físico acústico qué sucede con cada cambio.
11. Guardar el patch como Actividad2 + nuestros apellidos: “Actividad2GaleaRamos”.
12. Redactar un informe con las apreciaciones y conclusiones a las que haya llegado el alumnado tras la realización de esta actividad.

ACTIVIDAD 3
SÍNTESIS ADITIVA

OBJETIVO: Crear desde una onda seno, nuevos timbres instrumentales por adición de sinusoides.

1. Añadir al rack los siguientes módulos:
 - ▶ 4 VCO-1 de Fundamental.
 - ▶ INTERFAZ DE AUDIO
 - ▶ MEZCLADOR (Fundamental / Mixer)
 - ▶ OSCILOSCOPIO
2. Conectar la salida del mezclador (MIX) con la entrada del SCOPE (X IN)
3. Sugerimos configurar los mandos del SCOPE de la siguiente manera:
 - ▶ X SCL “9h” (si la escala de la onda es muy pequeña -con un volumen aceptable- incrementamos este valor) / Y SCL “9h” / TIME “1h” / TRIG “12h” / X POS “12” / Y POS “12” / X-Y / INT.

4. Igualmente configuramos los controles del MIXER.
 - ▶ LEVEL. Es conveniente comenzar siempre con un nivel bajo de volumen (“9h”) para no dañar nuestros oídos y, posteriormente, ajustarlo adecuadamente.
 - ▶ SLIDERS. Todos en la posición máxima, en el tope superior.
5. Conectar las entradas 1 y 2 del AI (Inputs) con la salida MIX.
6. VCO nº 1.
 - ▶ Sacamos un latiguillo desde la salida de la onda senoidal a la entrada (IN 1) del Mixer.
 - ▶ Posicionamos la perilla de frecuencia en “9h”
 - ▶ Vemos en el osciloscopio la forma de onda y escuchamos el resultado.
7. VCO Nº 2.
 - ▶ Conectamos mediante un nuevo latiguillo la salida seno a la entrada (IN 2) del mezclador. Control de frecuencia en “10h”. ¿Cómo ha cambiado la forma de onda y su timbre?
8. VCO's Nº 3 y 4.
 - ▶ Repetir el paso anterior, con latiguillos en entradas IN3 e IN4 y estableciendo las frecuencias en “11h” y “12h” respectivamente.
9. Podemos variar el control TIME del osciloscopio para ver mayor/menor detalle de la onda.
10. Es el momento de realizar cuantas modificaciones creamos oportunas, usando nuestra creatividad. Como orientación: quizás podríamos cambiar a otros tipos de ondas, añadir más VCO's, o variar la amplitud de cada VCO con los sliders del mezclador.
11. Guardar la actividad con el título “Actividad 3” seguido de los apellidos del alumno.
12. Redactar un informe con las apreciaciones y conclusiones a las que haya llegado el alumnado tras la realización de esta actividad.

ACTIVIDAD 4

ARMÓNICOS

OBJETIVO: Buscar información sobre la serie armónica y las frecuencias de los cuatro primeros armónicos. Aplicar la información a nuestro patch.

1. Partiendo del patch del ejercicio 3:
 - ▶ Cambiar los latiguillos de los VCO's de manera que entren ahora los cuatro directamente en las entradas IN del ANALYZER.
 - ▶ Conectar cada una de las salidas THRU con las entradas del Mixer.
 - ▶ Ajustar las frecuencias de los VCO's según la información encontrada.
2. Guardar la actividad con el título “Actividad 4” seguido de los apellidos del alumno.
3. Redactar un informe con las apreciaciones y conclusiones a las que haya llegado el alumnado tras la realización de esta actividad., comentando las diferencias de sonido con el ejercicio anterior.

ACTIVIDAD 5

SÍNTESIS SUSTRACTIVA

OBJETIVO: Aprender los conceptos fundamentales de este tipo de síntesis, utilizando dos nuevos módulos.

1. Para este ejercicio vamos a utilizar el siguiente sistema modular:
 - ▶ AI
 - ▶ SCOPE
 - ▶ ANALYZER
 - ▶ NOISE (RJModules)
 - ▶ VCF (Fundamental)
 - ▶ VCA
2. Realizamos el siguiente patch:
 - ▶ VCA: LEVEL a “9h”.
 - ▶ NOISE: COLOR a “12” / HPF “5” / LPF “7” /Vol “12”. Parcheamos su salida (Out) con la entrada (IN) del VCF.
 - ▶ VCF: FREQ “10” / FINE y FREQ CV “12” / RES y DRIVE “7”. Lanzamos un latiguillo desde su salida LPF hasta una de las entradas (IN) del ANALYZER.
 - ▶ ESPECTRÓGRAFO: RANGE “11” / SMOOTH “12” / HIGH / ON. Cableamos su salida (THRU) con la entrada (IN) del VCA.
 - ▶ SCOPE: Conectamos un latiguillo a X IN y lo llevamos a la salida LPF del VCF.
 - ▶ Hay un módulo sin conectar que el alumno debería saber conexionar ya sin instrucciones previas.
3. Aumentamos poco a poco la frecuencia de corte del VCF, observando y anotando cómo cambian las gráficas de osciloscopio y espectrógrafo, y por qué.
4. Con la Freq al máximo (“5”) del VCF, modificamos los valores de COLOR del NOISE y anotamos qué sucede (apunte: el ruido blanco está situado a las “7”).
5. Cambiamos ahora todas las clavijas que salen del LPF del VCF y las trasladamos a HPF. ¡Cuidado con el volumen!
6. Ahora, vamos a aplicar resonancia (RES “5”) a la frecuencia de corte del VCF. Variamos FREQ y observamos en el espectrógrafo que hay un pico que se desplaza; esa es la resonancia de la frecuencia de corte. ¿Qué sucede si quitamos la resonancia (“7”)?
7. Por último -con la resonancia eliminada- quitamos el latiguillo que conecta NOISE y VCF, y establecemos la frecuencia de corte en “12”. Ahora, poco a poco aumentamos la resonancia. ¡El VCF está sonando! Esto se debe a que entra en un proceso que se llama *autooscilación*, actuando en ese momento como un oscilador.
8. A partir de aquí tenemos libertad para seguir practicando con este patch. No olvidemos guardar el ejercicio y realizar el informe correspondiente.

ACTIVIDAD 6

GENERADOR DE ENVOLVENTE

OBJETIVO: Conocer y poner en práctica el funcionamiento de un generador de envolvente tipo ADSR, modificando el sonido en el tiempo.

1. Añadimos a nuestro rack los siguientes módulos:
 - ▶ AI / SCOPE / ADSR (Fundamental) / VCO / LFO (Fundamental) / VCA
2. Ajustamos el volumen del VCA a un nivel bajo.
3. Conectamos cualquier tipo de onda del VCO a la entrada del VCA (IN).
4. Parcheamos la salida (OUT) del VCA a la entrada del SCOPE (X IN).
5. Conectamos las entradas 1 y 2 del AI con la salida del VCA.
6. Conexiónamos la onda seno del LFO y la puerta de entrada (GATE) del ADSR.
7. Llevamos un latiguillo desde la salida del ADSR (OUT) a la entrada “voltio por octava” (V/OCT) del VCO.
8. Ajustamos la frecuencia de VCO y LFO a “10” (luego podremos cambiarlas a voluntad).
9. Configuramos los controles del SCOPE para tener la mejor visualización posible.
10. Cambiamos los valores de las cuatro perillas del ADSR. Las luces nos indican en qué fase del envolvente se encuentra la señal.
11. Tomamos nota de todas nuestras apreciaciones.
12. Libremente, realizamos todas las modificaciones deseadas del patch básico.
13. Guardamos archivo y redactamos informe.

ACTIVIDAD 7

GRABAR LOS SONIDOS DE NUESTRO PATCH

Vamos a grabar un fragmento de audio (de la duración que estimemos oportuna) del punto 12 de la actividad anterior. Para ello debemos repasar los contenidos expuestos en el epígrafe “¿Cómo grabar el audio de nuestro sintetizador?” de la página 26.

Es recomendable realizar una grabación de las actividades restantes, de manera que nos vayamos familiarizando con el uso del módulo de cara a la entrega del proyecto final.

ACTIVIDAD 8

MODULACIÓN EN FRECUENCIA

OBJETIVO: Realizar, poniendo en práctica todos los conocimientos aprendidos, una síntesis FM. Observar físicamente cómo se genera esta síntesis.

1. Realizamos el siguiente patch:
 - ▶ VCO-1: FREQ “10” / FINE y PW “12” / FM CV Y PWM a cero (“7”) / ANLG.
 - ▶ LFO-1: FREQ “10” / FM1, FM2 Y PWM CV a cero / PW “12”. Conectamos un latiguillo desde la salida SIN a la entrada FM del oscilador.
 - ▶ VCA: LEVEL “12”. Conectamos su entrada (IN) con la onda seno del VCO.
 - ▶ SCOPE: X SCL “10” / Y SCL “9” / TIME “1” / TRIG “12” / X POS “12” / Y POS “12” / X-Y / INT. Parcheamos X IN con la salida (OUT) del VCA
 - ▶ ANALYZER: RANGE 0.2 / SMOOTH 0 / HIGH / ON. Cableamos su entrada (IN) con la salida (OUT) del VCA.
 - ▶ AI: Conectamos entradas 1 y 2 con salida (OUT) del VCA.
2. Giramos a la derecha la perilla FM CV del VCO. Observamos el resultado y tomamos nota.
3. Repetir el proceso, pero cambiando la onda seno del LFO por las otras tres. Anotamos nuestras apreciaciones.
4. ¿Qué ha sucedido? El LFO está modulando la señal de la portadora del VCO. Para explicar esta síntesis de una manera muy sencilla y gráfica, diremos que la frecuencia del sonido resultante es modulada de manera similar a la propia forma gráfica de cada onda, esto es:
 - ▶ Onda seno. Ascenso y descenso de la frecuencia muy suave.
 - ▶ Onda triangular. Ascenso y descenso de la frecuencia con más pendiente, menos suave.
 - ▶ Onda diente de sierra. Ascenso progresivo de la frecuencia de la más grave a la más aguda, momento en el que cae bruscamente a la más grave, comenzando el ciclo.
 - ▶ Cuadrada. Alternancia de las dos frecuencias, más aguda y más grave.
5. Modificamos el patch, tomando del VCO la salida triangular y del LFO la cuadrada. Configuramos FM CV en “10” y el volumen del VCA al máximo (cuidado con los oídos). Podemos observar en el espectrógrafo –entre las líneas largas de los armónicos- otras más cortas; son las bandas frecuenciales laterales, resultado de la modulación en frecuencia.
6. Para apreciar aún mejor dichas frecuencias laterales, sustituyamos el LFO por un segundo VCO, modulando al primero con una onda cuadrada y frecuencia en “11”. Observaremos en el espectrógrafo perfectamente la frecuencia central, con una amplitud mayor que las laterales. Fijémonos ahora, en las frecuencias laterales de mayor amplitud, cada una de ellas a un lado de la central. Aumentamos la frecuencia del VCO modulador y veremos cómo se desplazan, permaneciendo fija la frecuencia central.
7. Practicamos libremente.
8. Guardamos el patch y redactamos el informe.

ACTIVIDAD 9

MODULACIÓN EN AMPLITUD

OBJETIVO: Entender, mediante la práctica y la observación, cómo se genera este tipo de síntesis y cómo afecta auditivamente al resultado final de nuestro patch.

1. Vamos a reutilizar el patch de la actividad 8 (en el punto 1), únicamente modificando los siguientes valores:
 - ▶ VCO: FREQ “12”
 - ▶ LFO: FREQ “12”. Llevamos la salida seno a la entrada LIN (para señales de control) del VCA.
2. Observamos en el SCOPE cómo el LFO modula la amplitud del VCO a través del VCA.
3. Aumentamos la velocidad de modulación (incrementando la frecuencia del LFO) hasta conseguir un vibrato.
4. Observar cómo, con valores de modulación altos, el vibrato se convierte en un sonido con un timbre diferente y cómo ha cambiado su forma de onda.
5. Simultáneamente, también podemos comprobar en el espectrógrafo cómo van apareciendo las bandas laterales.
6. Modificamos el patch libremente (incluso incorporando o instalando nuevos módulos para ampliar el rack), analizando visual y auditivamente qué va sucediendo con cada cambio.
7. Salvamos el ejercicio y realizamos el informe.

ACTIVIDAD 10

SECUENCIADOR

OBJETIVO: Poner en práctica todo lo aprendido, realizando un patch muy completo donde el módulo principal es un secuenciador.

1. Vamos a cambiar en esta actividad la forma de trabajo. Debemos realizar el patch de manera idéntica al de la figura 14.
2. El secuenciador tiene tres filas de controles, los cuales están enviando diferentes voltajes a los VCO, que los transforman en sonidos. Cambiando la posición de los controles cambiamos los voltajes y, por consiguiente, las frecuencias resultantes.
3. El control CLOCK controla la velocidad de la secuencia.
4. En la perilla STEPS configuramos los pasos de la secuencia, desde uno a ocho. Las luces de cada columna nos indican la posición de la secuencia.
5. Ahora debemos redactar un informe explicando el resto de conexionado y qué función cumple cada elemento que lo forma (latiguillos, controles y módulos)
6. Por último, guardar el ejercicio.

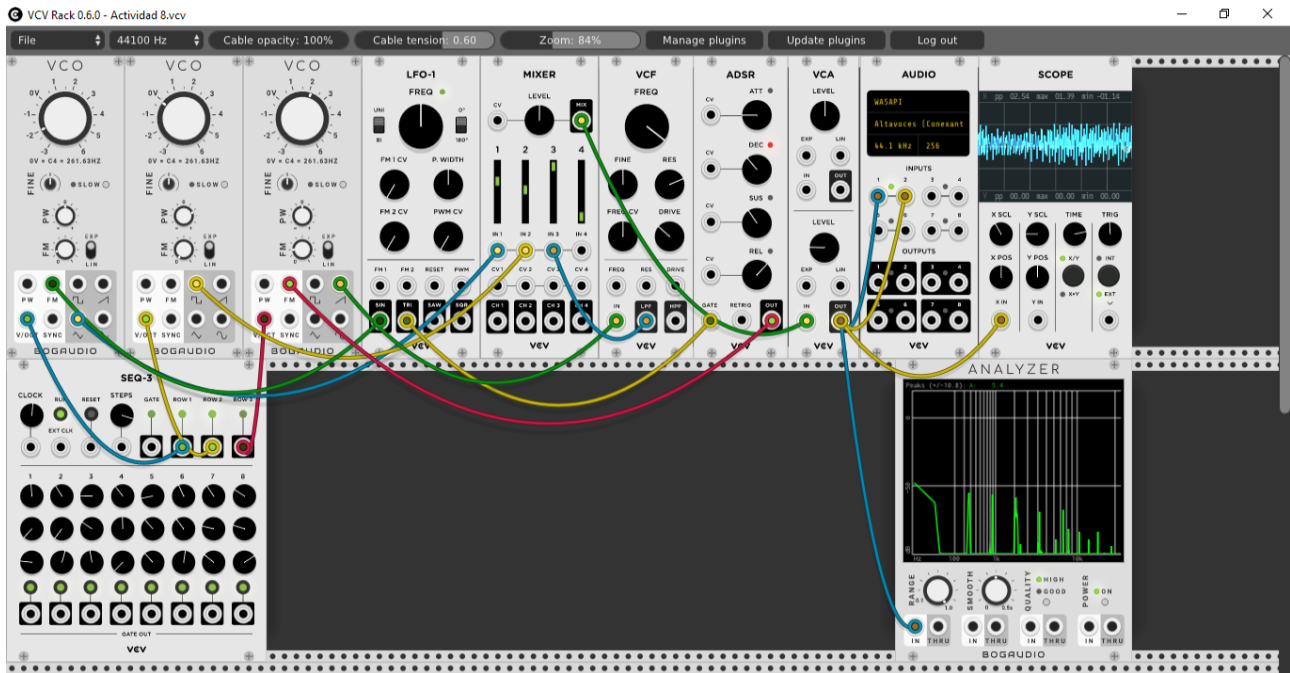


Figura 14. Patch en VCV Rack - Secuenciador
(Elaboración propia)

PROYECTO FINAL

OBJETIVO: Demostrar los conocimientos adquiridos mediante las siguientes tareas:

1. Entregar en un archivo de texto todos los informes con las apreciaciones que hemos ido tomando en las 10 actividades.
2. Entregar los archivos del software VCV Rack con todas las prácticas realizadas con nuestro sintetizador modular.
3. Realizar una composición de unos 3' de duración, siguiendo las siguientes instrucciones:
 - ▶ Es muy importante demostrar lo aprendido con un patch creativo, coherente, con un conexionado correcto y usando un mínimo de 6 módulos diferentes.
 - ▶ Se debe buscar una cierta calidad artístico musical. En esta ocasión no se trata únicamente de ver qué sucede cuando utilizamos un latiguillo o variamos la configuración de un control.
 - ▶ Se debe grabar la síntesis en archivo de audio.
 - ▶ A todo ello se adjuntará el indispensable informe sobre la creación del mismo, explicando qué se ha querido conseguir con la conexión de los diferentes módulos, la configuración de los controles, etc.
 - ▶ Incluiremos una captura de pantalla del patch.

5. Conclusiones

Habitualmente, en los trabajos de investigación, en este epígrafe se realiza una valoración de la puesta en práctica de la investigación realizada. Debido a la temporalización establecida por UNIR para la realización de este Trabajo fin de grado (segundo cuatrimestre) ha sido imposible aplicarlo en el presente curso académico pues, en el momento de redactar estas líneas, los alumnos a los que va dirigida esta propuesta curricular ya han concluido sus clases en el centro y se encuentran a escasos días de realizar la Prueba de Acceso a la Universidad.

No obstante, como se puede comprobar en el Anexo 2, está todo programado para iniciar su aplicación docente en el próximo curso 2018 - 2019. Será entonces cuando podamos realizar unas conclusiones analizando resultados, descubriendo los puntos fuertes y realizando las propuestas de mejoras necesarias.

Pero aun no pudiendo realizar unas conclusiones sobre resultados aplicados en nuestro centro, sí creemos que se pueden exponer las propias del trabajo que hemos realizado hasta la fecha.

Trabajo de investigación que partió desde una revisión bibliográfica, para averiguar qué tipo de contenidos físico-musicales se están impartiendo en los centros docentes (en Secundaria-Bachillerato) en las asignaturas de Física y Música.

El estudio dio como resultado que los manuales de texto de las materias y niveles aludidos anteriormente suman un total de 1744 páginas, dedicándose únicamente 61 de ellas a contenidos de acústica. Esto nos da un porcentaje del 3,49%, lo cual nos parece una extensión muy exigua, agravándose la cuestión cuando comprobamos que buena parte de esas páginas se dedican a imágenes poco o mal explicadas y que en nada ayudan al alumno en su aprendizaje. Eso sí, los manuales quedan -si se nos permite la expresión- muy “bonitos” para el educando, pero muy poco instructivos.

Una vez analizada esta problemática, propusimos los medios para paliar sus consecuencias -esto es, la casi nula educación científico musical con la que llegan nuestros alumnos a los estudios superiores-. Para ello hemos desarrollado una propuesta pedagógica innovadora que no solo ayudará al alumnado a asimilar mejor parte de los contenidos que actualmente se imparten únicamente de manera teórica, sino que hemos realizado una ampliación de los mismos, buscando la transversalidad de dos asignaturas como son Música y Física.

Esencialmente se trata de estudiar física acústica pero desde una óptica más musical que la que se imparte actualmente y de manera más creativa y amena.

Y el eje central de toda esta innovación es el software VCV Rack. Tiene la ventaja de ser gratuito, multiplataforma, en constante evolución, con una cantidad de recursos modulares enormes y con el cual pretendemos que el alumno visualice -a través de osciloscopio y espectrógrafo- todos aquellos

contenidos teóricos aprendidos, estimulando un aprendizaje autónomo donde el profesor se convertirá en un guía, despertando su interés por aprender e investigar sobre la ciencia de la música y mejorando sus competencias en el uso de las nuevas tecnologías.

Pretendemos poner una semilla en la instrucción del alumno, poniendo a su disposición una gama de recursos con los que posteriormente pueda continuar de manera autónoma su formación.

En este sentido, las actividades propuestas son fundamentales. En ellas se propone al alumno que siga unos pasos muy exactos para la elaboración de los diferentes *patches*, de manera que se les guíe hacia lo que queremos que aprendan. Unas veces se les explica qué se está consiguiendo físicamente con el conexionado realizado y otras se les pide que expongan ellos sus propias conclusiones al respecto.

En todas ellas también se le anima a que las modifique, las amplíe, que no se conforme únicamente con lo mínimo que le pide el profesor, que investigue, que sea creativo en propuestas y soluciones.

Y todo este aprendizaje conducirá a la entrega de un producto final -previo al examen teórico de rigor- donde el alumno demostrará todo lo aprendido y mostrará (obviamente de manera incipiente) sus cualidades musicales.

Como vemos, todo con una base práctica muy importante porque, según escribe Small (1999) “Si la música no es sino acción, entonces la palabra 'música' no debe ser sustantivo sino verbo. El verbo ‘musicar’” (p. 3). Y eso buscamos, la acción del alumno ante el habitual rol pasivo de mero receptor de las exposiciones magistrales que les ofrecemos los profesores.

Y todo esto lo realizará individualmente en algunos de los casos pero también de manera cooperativa, pues la sociedad demanda a los docentes que formemos a personas que sean capaces de trabajar en equipo, compartiendo ideas, investigaciones, recursos, etc.

Quizás sea oportuno concluir este epígrafe con la máxima que debe tener todo profesor: no se puede enseñar a los alumnos del siglo XXI con las técnicas del siglo pasado. Lo cual no quiere decir que aquellas fueran incorrectas -más bien todo lo contrario- sino que nuestros alumnos nos demandan que estemos constantemente innovando en nuestra práctica docente y la propuesta pedagógica desarrollada en este Trabajo fin de grado pretende ese objetivo, la innovación pedagógica.

5.1. Limitaciones

Las principales limitaciones que nos hemos encontrado en la elaboración de esta propuesta curricular han estado relacionadas con la puesta en marcha de la misma. Por un lado porque nos hemos tenido que adaptar a la temporalización de la propia asignatura de Física (que es algo muy

lógico) y hemos programado nuestra unidad didáctica al finalizar los alumnos de bachillerato el estudio del Bloque 4: Ondas (ver tabla 5).

Por otro lado, como se ha comentado al inicio de este apartado, la imposibilidad de realizar unas conclusiones más en profundidad hasta que no se ponga en marcha la propuesta docente en el próximo curso académico.

5.2. Prospectiva

Nuestra intención no es que dicha propuesta curricular se circunscriba únicamente al ámbito de 2º de Bachillerato -que al fin y a la postre es el curso donde más se estudia Física acústica-, sino que pretendemos hacer extensivo en cursos sucesivos nuestra propuesta a otros niveles educativos, de manera que forme parte de un proyecto de innovación pedagógica que en el futuro pueda, incluso, dar origen a un manual a utilizar por otros centros docentes.

Todo lo que hagamos por difundir la Música, será de provecho para la sociedad.

6. Referencias bibliográficas

- Alonso, E. (2016). *Síntesis de sonido* (apuntes del Grado de Música de la UNIR). Material no publicado.
- Calvo-Manzano, A. (1991). *Acústica físico-musical*. Madrid, España: Real Musical.
- Cañas, A., Viguera, J.A., Caamaño, A., de Prada, F. (2016) *Física y Química 4º E.S.O.* Madrid, España: SM.
- L. de Guereña, J, González, Á., Guitart, J., Corominas, N., J. Romo, N. (2016) *Física y Química 2º E.S.O.* Madrid, España: SM.
- Müller, A., García, M.C. (2016) *Música 1º E.S.O.* Madrid, España: SM.
- Müller, A., García, M.C. (2016) *Música 2º E.S.O.* Madrid, España: SM.
- Nacenta, P., de Prada, F., Puente, J. (2015) *Física y Química 1º Bachillerato*. Madrid, España: SM.
- Nacenta, P., Romo, N., Trueba, J.L., Puente, J. (2016) *Física 2º Bachillerato*. Madrid, España: SM.
- Pablofcid (8 de Mayo de 2013). *Curso de síntesis de sonido*. Hispasonic. Recuperado de <https://www.hispasonic.com/tutoriales/sintesis-1-estructura-armonica-sonido/38123>
- Real Academia Española. (2001). *Diccionario de la lengua española* (22.a ed.). Recuperado de <http://www.rae.es/rae.html>
- Rogers, W. (2012) *Physics of Music: Science and Art*. Santa Barbara, EE.UU.: Department of Physics, Westmont College.
- Small, C. (1999). El Musicar: un ritual en el espacio social. *Revista Transcultural de música*, 4. Recuperado 1 de Junio de 2018 de <https://www.sibetrans.com/trans/articulo/252/el-musicar-un-ritual-en-el-espacio-social>
- Vilches, J. M., Morales, A. M., Zubiaurre, S. (2016) *Physics and chemistry 3º E.S.O.* Madrid, España: Anaya English.
- Williams, P., Warwick, R. (1985) *Gray Anatomía - Tomo II*. Barcelona, España: Salvat Editores.

6.1. Webgrafía

- *Cómo usar un sintetizador modular: primeros pasos.* (15/01/2016). [Vídeo]. Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=XGQOUFbtjM&t=336s>
- *GCSE Physics Revision: Sound waves.* (8/05/2015). [Vídeo]. Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=i1DpWtE6azk>
- *Overtones, harmonics and Additive synthesis.* (30/03/2010). [Vídeo]. Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=YsZKvLnf7wU>
- Sintetizador modular Befaco. <https://www.befaco.org/es/>
- Sintetizador modular Corsynth. <http://corsynth.com/esp/>
- Sintetizador modular Doepfer A - 100. <http://www.doepfer.de/a100e.htm>
- VCV Rack. <https://vcvrack.com>
- VCV Rack-Simple. <https://github.com/IohannRabeson/VCVRack-Simple/releases>

7. Anexos

- ANEXO 1 -

MODELO DE ENCUESTA PARA CAPTAR LOS CONOCIMIENTOS PREVIOS EN FÍSICA ACÚSTICA DEL ALUMNADO

NOMBRE:	CURSO:
1. Define Física acústica.	
2. ¿A qué campos o materias crees que se puede aplicar la acústica? Pon ejemplos.	
3. ¿Sabes qué es una onda senoidal/sinusoidal? En la práctica, ¿cómo se obtiene?	
4. ¿Puedes explicar qué es un osciloscopio? ¿Y un espectrógrafo?	
5. ¿Qué te gustaría aprender sobre física acústica?	

- ANEXO 2 -

PROGRAMACIÓN DE AULA

ÁREA O MATERIA	U.D. Nº	TÍTULO DE LA UNIDAD DIDÁCTICA
Música / Física	8	Introducción a la física acústico musical

Temporalización	Nº de Sesiones previstas
Del 18 al 29 de Marzo	8

1. INTRODUCCIÓN

- La unidad se basa en el estudio de los elementos básicos del sonido, el movimiento ondulatorio, la serie armónica, los tipos de síntesis y las modulaciones. Todo ello se pondrá en práctica mediante un sintetizador modular virtual, observando todas las cualidades físicas del sonido sintetizado en los *patches* realizados mediante el osciloscopio y el espectrógrafo.

2. OBJETIVOS DIDÁCTICOS

3. CRITERIOS DE EVALUACIÓN

1. Incrementar el conocimiento científico de la música a través de unos recursos novedosos.	1. Reconoce los elementos físico musicales impartidos, aplicándolos a las prácticas e investigaciones realizadas así como a los contenidos relacionados de la propia asignatura de Física.
2. Asimilar los contenidos teóricos estudiados mediante la práctica modular y la observación en osciloscopio y espectrógrafo.	2. Reconoce los parámetros del sonido (emisión, propagación y recepción) y sus cualidades básicas (duración, intensidad, tono y timbre), distinguiéndolos auditiva y visualmente en osciloscopio y espectrógrafo. 3. Distingue auditiva y visualmente los cuatro tipo de ondas principales (seno, triangular, diente de sierra y cuadrada) y es capaz de sintetizar -con VCV Rack- ondas de pulso diferentes.
3. Investigar y experimentar las diferentes técnicas de síntesis y modulaciones, de manera individual y grupal.	4. Es capaz de sintetizar diferentes sonidos según la síntesis de Fourier, aplicando la serie armónica. 5. Sabe realizar una síntesis sustractiva -a partir de un ruido blanco- utilizando los módulos adecuados para ello.
4. Incentivar la creatividad del alumno para que cree sus propios <i>patches</i> .	6. Muestra interés por la materia, siendo creativo tanto en la solución de los problemas que se plantean como en la iniciativa a investigar y ampliar de forma autónoma sus conocimientos. 7. Trabaja correctamente de manera cooperativa, ayudando a los compañeros o, en caso de ser necesario, dejándose ayudar.
5. Entregar un producto final.	8. Entrega un dossier con sus apreciaciones de todas las actividades propuestas. 9. Crea una composición donde demuestra todo lo aprendido e investigado, demostrando un sentido musical (aunque sea de manera incipiente).

4. CONTENIDOS

- Nuestra materia prima: El sonido.
- Movimiento ondulatorio.
- La serie armónica.
- La envolvente.
- Los tipos de síntesis
- Modulaciones.
- La síntesis modular.
- VCV Rack.

Temas transversales

- Física. Enlazar los contenidos de esta programación con los propios de la asignatura.
- Socialización. Respetar a los compañeros que preguntan o exponen algún argumento en la clase, escuchándolos y haciendo cualquier aportación a los mismos de manera educada y constructiva. Ayudar (y dejarse ayudar) a través de los grupos cooperativos a los compañeros que tengan mayores dificultades en el aprendizaje, ya sea en los contenidos teóricos como en los prácticos.

5. ACTIVIDADES TIPO Y TAREAS PROPUESTAS

COMPETENCIAS CLAVE TRABAJADAS

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
- Ver ejemplos de los temas tratados (síntesis, ondas, etc.), a través de vídeos. Especialmente recomendables son los pertenecientes al “Curso de Síntesis de sonido” de Hispasonic.		X	X	X		X	
- Oír composiciones musicales de diferentes estilos - dónde se utilicen síntesis de sonido-, de manera abierta y respetuosa.					X		X
- Mejorar nuestro conocimiento sobre los diferentes módulos buscando y consultando sus manuales de usuario. También sería muy enriquecedor consultar los manuales de algunas de las compañías que fabrican módulos físicos, por ejemplo: Corsynth, Befaco o Doepfer.	X	X	X	X			
- Ampliar nuestro rack con módulos de otros desarrolladores.		X	X	X		X	
- Realizar las actividades de formulación propuestas.	X	X					
- En parejas cooperativas, realizar las actividades propuestas según los puntos 1 y 2 del Proyecto final.	X	X	X	X	X	X	X
- En grupos cooperativos de 3/4 alumnos, realizar el punto 3 del Proyecto final.	X	X	X	X	X	X	X

C1 = Competencia en Comunicación Lingüística – C2 = Competencia Matemática y competencias basadas en Ciencia y Tecnología – C3 = Competencia Digital – C4 = Competencia Aprender a Aprender – C5 = Competencias Sociales y Cívicas – C6 = Sentido de Iniciativa y Espíritu Emprendedor – C7 = Conciencia y Expresiones Culturales

6. METODOLOGÍA	7. ATENCIÓN A LA DIVERSIDAD
<ul style="list-style-type: none"> - Nivel del alumnado. Para conocer el nivel de partida del alumnado, es imprescindible realizar una evaluación inicial. Para ello utilizaremos la encuesta del Anexo 1. - Motivación. Es esencial motivar al alumno con exposiciones y prácticas que le resulten motivadoras, involucrándolo además en el proceso de enseñanza-aprendizaje. - Creatividad. Es un aspecto fundamental a desarrollar en toda la unidad didáctica. Pediremos al alumno ir más allá de los contenidos expuestos y de los ejemplos prácticos ofrecidos. - Fomentaremos la participación activa del alumno -tanto en la parte expositiva como en la práctica- animándole a debatir con el profesor y compañeros, analizando, formulando preguntas pero también buscando por sí mismo las respuesta. (Aprender a aprender). 	<ul style="list-style-type: none"> - Organización flexible del aula. - Parejas cooperativas para la realización de las actividades con VCV Rack. - Se realizarán grupos cooperativos de 3/4 alumnos para la realización del proyecto final. - Refuerzo positivo para los alumnos que, teniendo un ritmo más lento, se esfuercen. - Contacto permanente con el Departamento de Orientación para informar y solicitar ayuda de actuación con los alumnos que requieran una especial atención.
8. ESPACIOS Y RECURSOS	
<ul style="list-style-type: none"> - Aula de Informática. - Profesor: Pizarra, ordenador (software: Power Point o similar, VCV Rack, editor de texto, conexión a Internet, etc.), proyector, equipo sonido. - Alumnos: Ordenador (software: editor de texto, conexión a Internet y VCV Rack), cuaderno de apuntes, auriculares. 	
9. PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN	10. INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN
<ul style="list-style-type: none"> - Observación del trabajo realizado en clase, especialmente de los grupos cooperativos y de los alumnos con mayores dificultades de aprendizaje. - Autoevaluación de los alumnos a través de las actividades propuestas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Indagación de conocimientos previos, especialmente a través de la encuesta inicial (Ver Anexo 1). - Control de la exposición en clase. - Examen teórico de la unidad. - Trabajo de clase. - Corrección de todas las actividades y tareas propuestas anteriormente.