

Generando música a través de la Actividad Cerebral

Ricardo Andres Diaz Rincon

Student, Universidad del Valle
Cali, Colombia

CAMALEÓN, Grupo de Investigación
Tel: +57 2 3212100

ricardo.andres.diaz@correounivalle.edu.co

Javier M. Reyes Vera

Professor, Universidad del Valle
Cali, Colombia

CAMALEÓN, Grupo de Investigación
Tel: +57 2 3212375

javier.reyes@correounivalle.edu.co

Paola-J. Rodríguez-C

Professor, Universidad del Valle
Cali, Colombia

CAMALEÓN, Grupo de Investigación
Tel: +57 2 3212100 ext. 2598

paola.rodriguez@correounivalle.edu.co

ABSTRACT

This article shows how brain computer interfaces (BCI) can be used to generate music. Thus, a review of academic sources that contains essential definitions related to both areas of knowledge is carried out in order to create a bridge that allows describing a computational tool that fulfills the raised objective.

Keywords

Brain Computer Interfaces, Music, Human Computer Interaction

RESUMEN

El presente artículo muestra la forma en que las interfaces cerebro computador (BCI) pueden ser utilizadas para generar música. Para lograr lo anterior, se realiza una revisión de fuentes académicas que contienen definiciones esenciales relacionadas con ambas áreas del conocimiento; de esta forma se podrá establecerse un puente que permita la descripción de una herramienta computacional que permita cumplir con el objetivo planteado.

Palabras clave

Interfaces Cerebro Computador, Música, Interacción Humano Computador.

Classification Keywords

[**Human-Centered Computing**]: Human Computer Interaction (HCI) – Interaction Paradigms.

[**Arts and Humanities**]: Music.

INTRODUCCIÓN

Durante mucho tiempo la actividad cerebral asociada con procesos de la vida cotidiana ha sido ampliamente estudiada. Años de investigación y arduo trabajo han acercado a los seres humanos a la comprensión de uno de los órganos más fascinantes de los seres vivos: el cerebro.

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

En las últimas dos décadas, el éxito de estudios relacionados con fenómenos cerebrales ha cobrado gran relevancia debido al abaratamiento del hardware y el software, también debido al auge de empresas especializadas como Neurosky® y Emotiv® que han desarrollado algunas aplicaciones orientadas al público general. Un ejemplo de lo anterior es el dispositivo de experimentación MindWave, que posee herramientas que permiten la recolección de datos relacionados con los niveles de Atención y Meditación del usuario. Desde los últimos siglos, la manera en la que nos relacionamos con el entorno ha cambiado. El uso constante de las nuevas tecnologías emergentes ha configurado una nueva forma de interacción cuyo auge es cada vez mayor. De allí la iniciativa planteada en el trabajo descrito en el presente artículo, cuya organización está definida de la siguiente manera: el siguiente apartado explica conceptualmente como se entienden las interfaces cerebro computador y la manera como se conecta el cerebro con una aplicación. Luego un acercamiento a los conceptos básicos de la música con el objetivo de entender las variables que serán tenidas en cuenta en el desarrollo de la aplicación.

INTERFACES CEREBRO - COMPUTADOR

Las Interfaces Cerebro Computador son sistemas de comunicación hardware y software cuyo fin es ayudar al usuario a interactuar con el medio externo prediciendo sus intenciones a partir de datos relacionados con su actividad cerebral. Este tipo de sistemas han sido fundamentalmente estudiados y usados como herramientas de asistencia para personas con movilidad reducida debido a que no involucran el uso de canales musculares para la interacción del usuario [1]. Una BCI se concibe como un sistema de inteligencia artificial que puede reconocer un conjunto de patrones en las señales del cerebro siguiendo cinco etapas consecutivas a saber: *Adquisición de la señal, Pre-procesamiento de la señal, Extracción de características, Clasificación e Interfaz de control.*

- La primera etapa capta las señales neuronales empleando algoritmos para minimizar el ruido externo.
- La segunda etapa prepara los datos de manera adecuada para su posterior procesamiento.

- La etapa de Extracción de características identifica la información discriminando aquella que ha sido grabada en el cerebro.
- La clasificación e Interfaz de control corresponde una etapa más lógica y de inferencia.

Caracterización

Los sistemas BCI son aplicaciones que permiten comunicar el cerebro con dispositivos mecánicos externos e involucran aspectos importantes como el control voluntario de las señales electroencefalográficas, la sincronización de ritmos cerebrales y la medición, interpretación y clasificación de la actividad neuronal. Los movimientos – reales o imaginarios – de una persona involucran de manera considerable la actividad cerebral, lo cual genera respuestas endógenas y exógenas. Los sistemas endógenos se basan en el reconocimiento de patrones cerebrales sin la necesidad de un estímulo externo, sino que se producen por la voluntad del usuario; por su parte los sistemas exógenos basan su control en los estímulos externos de los que obtienen su respuesta cerebral.

Ondas cerebrales y su clasificación

Las ondas cerebrales son producidas cuando las células cerebrales (neuronas) se activan y producen flujos de corriente locales que son traducidas en impulsos y cambios eléctricos. La encefalografía o EEG mide principalmente las corrientes que fluyen durante las excitaciones sinápticas de las dendritas de muchas neuronas piramidales en la corteza cerebral [2]. Los patrones cerebrales forman gráficas sinusoidales que oscilan comúnmente entre 0.5 y 100 μ V en amplitud, es decir, casi 100 veces menos que las señales de ECG (Electrocardiogramas). La transformada de Fourier permite tomar estas señales en bruto y amplificarlas para obtener un mayor volumen de información. Las ondas cerebrales son medidas en ciclos por segundo (Hz), a mayor número de Hz, mayor será la frecuencia o actividad cerebral. El primer acercamiento a las ondas cerebrales fue realizado por el alemán Hans Berger en 1924 [3]. Entre 1930 y 1940 las ondas cerebrales lograron clasificarse en 5 grupos que están resumidas en la Tabla 1:

Ondas	Rangos	Estados Mentales
Delta (δ)	< 4 Hz	Inconsciencia, sueño profundo.
Theta (θ)	4Hz a 7Hz	Relajación, intuición, creatividad, recordación, Imaginación.
Alpha (α)	8Hz a 12Hz	Esfuerzo mental, relajación sin dormir, quietud, consciencia.
Low Beta (β)	12Hz a 15Hz	Relajación y enfoque.
Mid Beta (β)	16Hz a 20Hz	Pensar, auto-consciencia.

High Beta (β)	21Hz a 30Hz	Alerta, agitación. perturbación.
Gamma (γ)	30Hz a 100Hz	Funciones motoras y alta actividad mental.

Tabla 1. Rangos de frecuencias y estados mentales.

Cincuenta años después del descubrimiento realizado por Berger, se encontró un comportamiento oscilatorio e intrínseco en las neuronas de los vertebrados, pero su rol funcional aún no se entiende totalmente [4]. Muchas de las áreas del cerebro humano y su comportamiento no han sido descubiertos y/o entendidos en su totalidad, sin embargo, la comunidad científica sigue trabajando para descubrir los secretos que este aguarda.

MindWave

Neurosky® es un sistema de BCI que captura las señales cerebrales a partir del Mindwave Headset el cual tiene un sensor ubicado en la parte frontal de la cabeza y un clip que va en la oreja izquierda del usuario, convierte las señales cerebrales en acciones. Tiene la propiedad de reportar los estados mentales del usuario, es decir *Atención* y *Meditación* utilizando unos algoritmos propios denominados eSense. Este dispositivo se utiliza para el soporte de video juegos, investigación de software y otras aplicaciones que favorecen la experiencia de usuario.



Figura 1. Dispositivo BCI (MindWave).

Aplicaciones BCI

Neurosky® es una tecnología accesible y fiable para desarrollar proyectos que necesiten la adquisición de señales cerebrales. Con el paso del tiempo, se han realizado diversos trabajos que lo han usado a nivel práctico [5], [6], [7], [8]. La utilización de Neurosky® para proveer adaptatividad tiene un desarrollo escaso o casi nulo. Los trabajos se centran fundamentalmente en medir los estados cerebrales para establecer criterios que permitan establecer estados cognitivos o afectivos respecto a la interacción y mejorar procesos (pedagógicos, psicológicos o sociales).

MÚSICA: UNA LIGERA DESCRIPCIÓN

La palabra música se deriva del griego mousiké (μουσική) que significa “arte de las musas” [9]. La definición provista por el diccionario de Oxford establece que música es “el arte de combinar sonidos vocales, instrumentales (o ambos) para producir belleza de forma, armonía y expresión de emoción” [10]. La música es también ampliamente definida

como “sonido organizado”; este término fue originalmente acuñado por el compositor modernista Edgard Varèse en relación a su propia estética musical [11]. Sin embargo, muchos autores han expresado distintas opiniones respecto de lo que se considera o no música.

Diferenciación entre Música y Ruido

No sería posible hablar de música sin introducir el concepto de ruido, el cual es definido – desde las prácticas musicales convencionales – como todos aquellos sonidos que carecen de musicalidad[12]. Sin embargo, en algunas ocasiones lo que consideramos “musical” corresponde a una apreciación expresamente subjetiva. En su artículo *“Noise as Permanent Revolution”* Ben Watson manifiesta que incluso una pieza maestra como *Große Fuge* de Ludwig Van Beethoven “sonó como ruido” para la audiencia de ese momento (1825). [13] Los sonidos que percibimos en una pieza musical son el resultado de las alteraciones vibratorias que se producen en la atmosfera y en los objetos que se encuentran a nuestro alrededor. El ruido es producido cuando las ondas sonoras resultan caóticas, confusas o irregulares en contraste con aquellas ordenadas, periódicas y regulares generadas por los instrumentos musicales [14]. En la figura 3 se muestran las diferencias entre las ondas. “Oscillations and Waves” define el ruido como las vibraciones irregulares de un objeto, en contraste con la periódica y modelada estructura de la música [15].

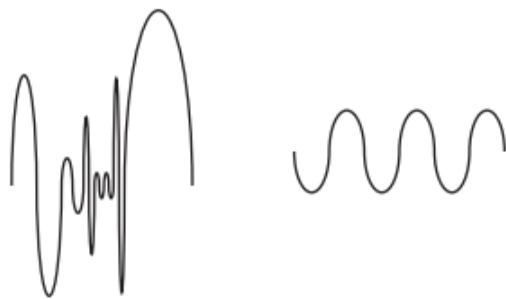


Figura 2. Diferencia entre las ondas producidas por el ruido y la música.

Los instrumentos musicales producen y comunican vibraciones a través de la atmosfera circundante en forma de ondas de sonido que son regulares y periódicas, las cuales llamamos tonos. En consecuencia, es la presencia del tono lo que generalmente distingue a la música del ruido. Una gran parte de nuestra música se crea a partir de combinaciones de tonos (melodía y armonía). Para comprender mejor la definición y el lenguaje de la música, es necesario familiarizarse con otras definiciones fundamentales, como son: tono (altura), duración, intensidad, y timbre [16]. La figura presentada a continuación muestra la relación entre los conceptos previamente mencionados.

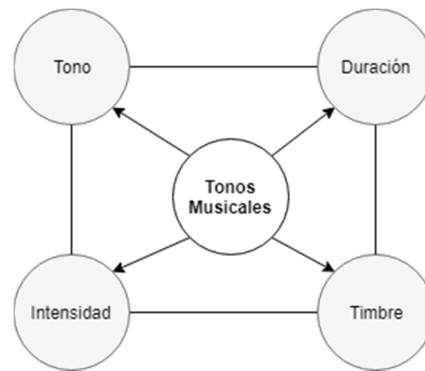


Figura 3. Pilares de la teoría musical.

Tono

El tono es una característica esencial que nos permite distinguir entre sonidos agudos y graves [17]. La frecuencia de cada sonido – medida usualmente en Hertz(Hz) – denota el número de ondas sonoras por segundo y permite identificar la nota musical a la que corresponde. Los sonidos agudos se encuentran a frecuencias más altas, sin embargo, tienen una longitud de onda más corta; de manera análoga, los sonidos graves se encuentran a bajas frecuencias, pero tienen una longitud de onda más prolongada. La figura 5 muestra las frecuencias en las que se encuentran algunos instrumentos musicales.

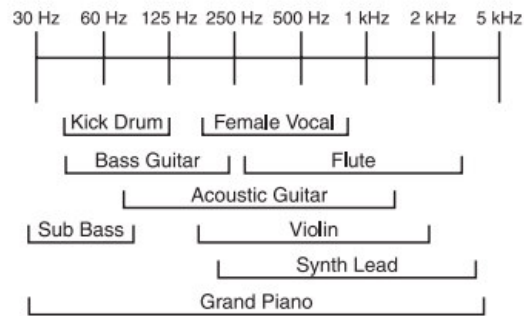


Figura 4. Rango de algunos instrumentos musicales.

Aunque el tono es cuantificado por medio de frecuencias, no corresponde a una propiedad física netamente objetiva, sino que es un atributo subjetivo psicoacústico del sonido, por lo que la percepción auditiva de cada persona puede variar. El rango general de la audición humana se encuentra entre 20 Hz y 20 kHz, aunque esto puede variar dependiendo de la sensibilidad de cada oído [14]. Los sonidos encontrados por fuera de este rango son imperceptibles para los seres humanos, pero perceptibles para otras especies.

Duración

En música, la duración es el tiempo en el que se mantienen las vibraciones producidas por un sonido, es decir, el periodo o intervalo de tiempo en el que suena una nota específica [18]. La representación gráfica se realiza por medio de figuras musicales asignadas a diferentes sonidos, donde la redonda es la unidad de referencia y cada

subdivisión (figura musical) dura en tiempo la mitad de la nota anterior. A continuación, se muestran las figuras musicales junto con su representación gráfica, sonido y duración:

Nombre / Figura / Silencio / Duración			
Redonda	o		1/1
Blanca			1/2
Negra			1/4
Corchea			1/8
Semicorchea			1/16
Fusa			1/32
Semifusa			1/64

Figura 5. Figuras musicales.

Intensidad

También conocida como volumen, es la propiedad que permite identificar cuán fuerte o suave se percibe un sonido. Los niveles de volumen son medidos en decibeles (dB) y el rango de audición humana se encuentra aproximadamente entre 0 y 120 dB. Sonidos por encima del límite superior – como el producido por el despegue de los aviones – pueden causar daños irreversibles en la audición. Si bien la frecuencia se rige por la longitud de las ondas de sonido, la intensidad se rige por su altura, un ejemplo de ello se muestra en la figura 7. La altura de la ola también puede denominarse amplitud de onda [14].

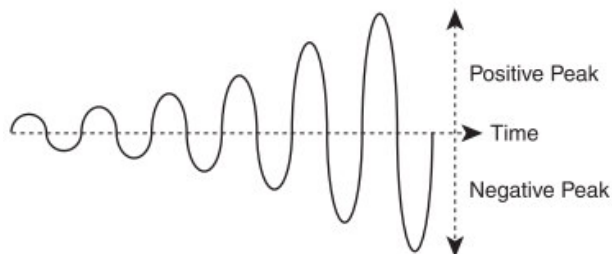


Figura 6. Amplitud de onda.

Timbre

El timbre es una propiedad intrínseca que le permite al oído humano diferenciar entre los sonidos emitidos por diversas fuentes, incluso cuando éstas no pertenecen a la misma categoría. Por ejemplo: el sonido emitido por una guitarra y un bajo eléctrico o una misma nota musical tocada por diferentes instrumentos. Cada una de las anteriores definiciones constituyen la estructura y el fundamento de lo que conocemos como música.

GENERANDO MÚSICA

A continuación, se describe el proceso que permite crear música a partir de la actividad cerebral:

Aspectos técnicos: Definición del lenguaje de Programación y el dispositivo BCI.

La etapa preliminar se concentra en definir el lenguaje de programación y el dispositivo BCI a utilizar. Respecto de lo anterior, es necesario decir que, para que la experiencia fuera lo más satisfactoria posible para el usuario, decidimos utilizar dispositivos BCI no invasivos; también descartamos aquellos que utilizan solución salina para fijar los electrodos debido a dos razones: La primera es que estamos interesados en tomar lecturas de las ondas cerebrales y asociar estas a los estados mentales del usuario, por lo que en un principio, basta con obtener la información presente en el lóbulo frontal; la otra razón es que el contacto con la solución salina es poco placentera para muchos usuarios con cabello abundante. Por estas razones el dispositivo Mindwave fue el adecuado para llevar a cabo esta investigación. Se escogió Processing como ambiente de programación debido a dos razones: La primera es su fácil integración con JavaScript/Java y las librerías existentes para manejo de datos MIDI (Musical Instrument Digital Interface) de los que hablaremos más adelante. La segunda razón es la facilidad que posee para el despliegue de la información y la creación de interfaces de usuario.

Exploración Sonora

Luego de definir el dispositivo BCI y el lenguaje de programación, nos concentramos en la exploración sonora, es decir, indagamos acerca de las opciones disponibles con respecto de las potenciales notas musicales que darán estructura al sonido general. En este sentido, cada nota musical posee una representación MIDI asociada, la cual se define por medio de un número entero, como se muestra en la figura presentada a continuación.

Note	Octave										
	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
C	0	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120
C#	1	13	25	37	49	61	73	85	97	109	121
D	2	14	26	38	50	62	74	86	98	110	122
D#	3	15	27	39	51	63	75	87	99	111	123
E	4	16	28	40	52	64	76	88	100	112	124
F	5	17	29	41	53	65	77	89	101	113	125
F#	6	18	30	42	54	66	78	90	102	114	126
G	7	19	31	43	55	67	79	91	103	115	127
G#	8	20	32	44	56	68	80	92	104	116	
A	9	21	33	45	57	69	81	93	105	117	
A#	10	22	34	46	58	70	82	94	106	118	
B	11	23	35	47	59	71	83	95	107	119	

Figura 7. Conjunto de notas musicales.

Selección de tonalidad

Del conjunto de notas musicales disponibles, se seleccionan aquellas que pertenezcan a una tonalidad definida. Durante el desarrollo de esta investigación se seleccionó Sol mayor como una tonalidad apropiada, cuyas notas componentes son: sol, la, si, do, re, mi, fa# y sol como se muestra en la figura presentada a continuación:

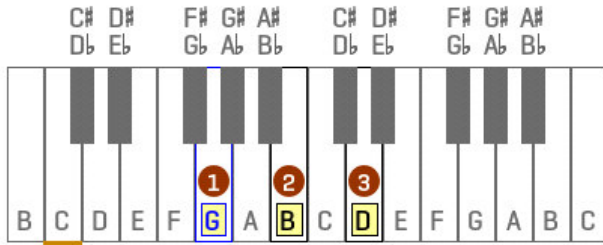


Figura 8. Tonalidad de Sol mayor.

Luego de escoger la totalidad, se seleccionan aquellas notas que constituyen la triada, es decir, aquellas notas que forman el acorde.

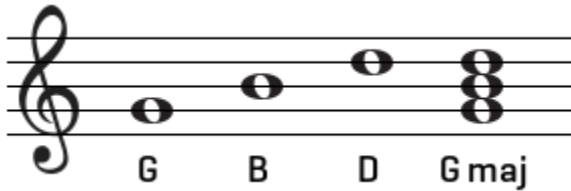


Figura 9. Triada de Sol mayor.

A continuación, se declaran las notas seleccionadas como variables, las cuales serán posteriormente enviadas a través de un canal MIDI. La siguiente figura muestra las notas de la triada de sol mayor (sol, si y re) ubicadas en las octavas 2-5 y su representación MIDI.

```
int G4 = 67;
int B4 = 71;
int D5 = 74;
int G5Flat = 78;
int G2 = 43;
int D3 = 50;
int G3 = 55;
```

Figura 10. Notas musicales utilizadas.

Creación de la estructura musical

Luego de tener las notas declaradas se asigna una duración y un tempo específico a cada una de ellas. De esta forma, se crea una estructura musical, compuesta por notas que se encuentran en la misma escala y tienen una duración específica.

Asignación de Ondas Cerebrales

Posteriormente, las notas son asignadas a cada onda cerebral como se muestra en la tabla a continuación:

Nota Musical	Onda Cerebral
G4 (Sol, cuarta octava)	Theta
B4(Si, cuarta octava)	Alpha
D5 (Re, quinta octava)	Beta
G5Flat (Sol bemol, quinta)	Gamma

octava)	
G2 (Sol, segunda octava)	Delta
D3(Re, tercera octava)	High Alpha
G3 (Sol, , tercera octava)	AVG Gamma (Low + High gamma)

Tabla 2. Notas musicales y su correspondiente onda cerebral asignada.

Se utiliza una lista de patrones para usar como secuencias de notas. Cada número en el patrón determinará la ocurrencia de una nota en una secuencia de 8 (la cantidad de notas musicales en una escala). Las frecuencias (valores de las ondas cerebrales) determinarán que patrón se toca.

Fluctuación del sonido general

Con el objetivo de aumentar la expresividad, se utilizan los niveles de atención y relajación para modificar el sonido general: Niveles altos de relajación disminuirán la intensidad del sonido mientras que los niveles altos de atención aumentarán la intensidad. La fluctuación de ambos niveles (que no son complementarios en un principio) y de las emociones del usuario serán un rasgo característico de la música generada por cada usuario en particular.

Añadiendo expresividad

Si bien Processing permite usar la salida MIDI del ordenador para reproducir los datos enviados, la utilización de un DAW (Digital Audio Workstation) permite elegir entre tipos de instrumentos musicales y efectos de audio. Sin embargo, para que lo anterior sea posible, es necesario crear un enlace entre la aplicación y el DAW, por lo cual se utiliza un puerto MIDI virtual que permita la comunicación entre ambas.

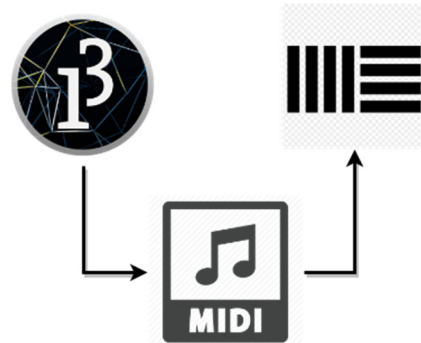


Figura 11. Arquitectura de software.

Una vez que el puerto MIDI está en ejecución, es posible establecer la comunicación entre la aplicación y el DAW.

```
output 0 : Gervill
output 1 : Microsoft MIDI Mapper
output 2 : Microsoft GS Wavetable Synth
output 3 : loopMIDI Port
```

Figura 12. Lista de puertos MIDI de salida.

USO EN PROCESOS EDUCATIVOS

La música ha demostrado tener propiedades útiles en los contextos clínicos y terapéuticos [19]. Sus usos no solamente se limitan a estas áreas, sino que también pueden ser aplicados en contextos académicos y/o educativos. De esta forma el prototipo diseñado puede utilizarse para potenciar el proceso de aprendizaje [20], al exponer a los estudiantes a la música generada por sus propias ondas cerebrales y estudiar la forma en que esta cambia cuando realizan distintos tipos de actividades académicas. Otro de los usos potenciales tiene que ver con utilizar los niveles de atención y relajación para inferir qué tan satisfactorio es el proceso de aprendizaje de un estudiante al realizar una actividad. De igual forma, el prototipo puede ser utilizado por docentes para explicar conceptos musicales básicos, tales como los mostrados en este paper.

CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Si bien el trabajo realizado hasta el momento ha sido satisfactorio, en el futuro se busca generar una base musical más sólida al aumentar la expresividad del sonido exportado. Sin duda alguna, la meta es procesar la unicidad provista por quien utilice el dispositivo y generar música que responda de manera distinta a cada individuo. De manera análoga, se busca aprovechar aún más el elemento humano, de forma que el sonido generado cambie respecto de la ausencia o presencia de ciertos estados mentales. Gracias a la retroalimentación recibida, se podría, por ejemplo, generar cierto conjunto de sonidos que ayuden a reforzar el estado mental actual o conducir a la persona a uno totalmente diferente.

REFERENCIAS

- [1] L. F. Nicolas-Alonso and J. Gomez-Gil, "Brain computer interfaces, a review," *Sensors*. 2012.
- [2] M. Teplan, "Fundamentals of EEG measurement," *Meas. Sci. Rev.*, 2002.
- [3] R. Jung and W. Berger, "Hans Bergers Entdeckung des Elektroencephalogramms und seine ersten Befunde 1924-1931," *Arch. Psychiatr. Nervenkr.*, 1979.
- [4] R. R. Llinas, "Intrinsic electrical properties of mammalian neurons and CNS function: a historical perspective," *Front. Cell. Neurosci.*, 2014.
- [5] M. E. and A. Fernandez, "ReadGoGo!: Towards Real-Time Notification on Readers' State of Attention.," in *XXIV International Conference on Information, Communication and Automation Technologies (ICAT) October 30 – November 01, 2013, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina.*, 2013.
- [6] S. H.-G. Francisco Javier Landa-Torres, Nery Sofia Huerta-Pacheco, Genaro Rebolledo-Mendez, *Automatización de Estados Afectivos durante una situación de aprendizaje Facultad de Estadística e Informática*. 2012.
- [7] S. de F. Candy Obdulia Sosa Jimenez, Héctor Gabriel Acosta Mesa1, Genaro Rebolledo-Mendez, "Classification of cognitive states of attention and relaxation using supervised learning algorithms.," in *IEEE International Games Innovation Conference (IGIC)*, 2011.
- [8] and I.-H. L. Kwang-Ok An, Jong-Bae Kim, Won-Kyoung Song, "Development of an Emergency Call System using a Brain Computer Interface (BCI)," in *Proceedings of the 2010 3rd IEEE RAS & EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics, The University of Tokyo, Tokyo, Japan, September 26-29, 2010.*, 2010.
- [9] H. G. Liddell and R. Scott, *A Greek-English Lexicon with a revised supplement*. Oxford University Press, 1843.
- [10] R. Allen, H. Fowler, and F. Fowler, "The Concise Oxford dictionary of current English," *Oxford Clarendon Press*, 1990.
- [11] R. F. GOLDMAN, "REVIEWS OF RECORDS," *Music. Q.*, vol. XLVII, no. 1, pp. 133–134, 1961.
- [12] A. Latham, "The Oxford Companion to Music," *Music Educ. J.*, 2003.
- [13] H. Noise, S. L. Gallery, and N. York, "Noise & Capitalism," no. M, p. 197, 2010.
- [14] Michael Hewitt, *Music Theory for Computer Musicians*. 2008.
- [15] K Rama Reddy, Sb Badami, Balasubramanian V, *Oscillations And Waves*. Universities Press (India) Limited, 1994.
- [16] R. D. Patterson, E. Gaudrain, and T. C. Walters, "The Perception of Family and Register in Musical Tones," in *Music Perception*, 2010.
- [17] C. Plack and A. Oxenham, *Pitch: Neural Coding and Perception*. 2005.
- [18] B. Benward and M. Saker, *Music in theory and practice*. 2008.
- [19] B. J. Crowe and R. Rio, "Implications of technology in music therapy practice and research for music therapy education: A review of literature," *J. Music Ther.*, 2004.
- [20] M. S. Widerman, "Study habits and music: How they affect attention and academic performance," *Georg. Mason Univ. FairFax, VA*, 2013.