

# RAE

1. **TIPO DE DOCUMENTO:** Trabajo de grado para optar por el título de INGENIERO DE SONIDO
2. **TÍTULO:** Desarrollo de aplicación web de entrenamiento auditivo técnico (EAT) para ingenieros de sonido
3. **AUTORES:** Ismael Jesús López Rincón, Raúl Rûchene Páez Hooker
4. **LUGAR:** Bogotá D.C., Colombia
5. **FECHA:** Mayo de 2020
6. **PALABRAS CLAVES:** Entrenamiento auditivo, escucha crítica, comparación, identificación absoluta, parámetros del sonido, metodología de desarrollo scrum.
7. **DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO:** El presente es un trabajo para optar al título de Ingeniero de sonido, cuyo objetivo fue desarrollar un aplicativo que implementara las metodologías de entrenamiento auditivo de comparación activa y pasiva y de identificación absoluta y realizar un análisis en la repercusión en el uso de este en el desarrollo de habilidades de escucha crítica a corto plazo, en estudiantes de segundo semestre de ingeniería de sonido de la Universidad de San Buenaventura, sede Bogotá.
8. **LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:** Línea de investigación de la USB: Producción en audio.
9. **METODOLOGÍA:** La presente investigación es de tipo empírico-analítico, ya que busca desarrollar a un modelo de entrenamiento auditivo integral para ingenieros de sonido. Se pretende realizar un análisis estadístico en la comparación de resultados de una posprueba que se le aplicará a un grupo control y a un grupo experimental.
10. **CONCLUSIONES:** La aplicación web desarrollada en Unity permitió implementar las metodologías de entrenamiento auditivo de comparación activa y pasiva y de identificación absoluta en módulos de entrenamiento orientados a dinámica, frecuencia y localización en el eje horizontal. Los resultados obtenidos en la posprueba aplicada al grupo control y experimental indicaron que para los módulos de entrenamiento en frecuencia y localización en el eje horizontal no existe evidencia estadísticamente significativa en los resultados. Por el contrario, en los resultados obtenidos en el módulo de entrenamiento en dinámica y en las respuestas totales de la posprueba existe una diferencia estadísticamente significativa, lo que sugiere un funcionamiento del aplicativo en el desarrollo de la escucha crítica en el grupo experimental.

**Desarrollo de aplicación web de entrenamiento auditivo técnico (EAT) para ingenieros de  
sonido**

**Ismael Jesús López Rincón**

**Raúl Rûchene Páez Hooker**

Universidad de San Buenaventura, sede Bogotá

Facultad de Ingeniería

Ingeniería de Sonido

Bogotá D.C., Colombia

2020

**Desarrollo de aplicación web de entrenamiento auditivo técnico (EAT) para ingenieros de  
sonido**

**Ismael Jesús López Rincón**

**Raúl Rûchene Páez Hooker**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de Ingeniero de Sonido

Tutor: Miguel Ángel Olivares Tenorio

Línea de investigación:

Producción en audio

Universidad de San Buenaventura, sede Bogotá

Facultad de Ingeniería

Ingeniería de Sonido

Bogotá D.C., Colombia

2020

## **Agradecimientos**

Agradezco en primer lugar a mis padres y hermanos, por su incondicional amor, apoyo y soporte desde el primer día. Son mi mayor inspiración y ejemplo de lucha, dedicación, esfuerzo y mucha entrega por el cumplimiento de los sueños. Estaré eternamente agradecido por la formación que me dieron como hombre y como profesional, y por nunca dejar de creer en mí. A mis hermanos de la vida y compañeros Santiago Granados, Alejandro Niño y Raúl Páez por su arduo trabajo, empeño e interés durante los diez semestres de la carrera, por alcanzar todas las metas necesarias y las que vendrán en todos nuestros proyectos a futuro. Nada hubiera sido posible sin ellos y soy muy afortunado de haber tenido un grandioso equipo desde el principio. Agradezco también a los docentes que me dieron su mano, conocimientos, experiencia y amistad para formarme como ingeniero de sonido. Finalmente, a todas las personas que la vida puso en mi camino para salir adelante en los momentos más difíciles.

*Ismael Jesús López Rincón*

*“No tengas miedo de expandirte, a salir de tu zona de confort. Ahí es donde reside la alegría y la aventura”-Herbie Hancock-. Con esta frase termino mis estudios y comienzo mi carrera que es una nueva aventura. Pero no sin antes agradecer a todos los que me han acompañado, mi núcleo familiar, mis padres Raúl Páez y Noris Hooker, y mi hermana Kaylee. A mis compañeros, amigos y colegas con los cuales a lo largo del proceso fueron un apoyo incondicional dentro y fuera de la institución académica. Y a todos aquellos que de alguna manera nutrieron mi conocimiento no solo académico sino personal, que es parte importante para empezar la vida profesional.*

*Raúl Rûchene Páez Hooker*

Agradecemos a todos los profesores y profesionales del área que nos aconsejaron y dieron apoyo en el desarrollo de este proyecto. A la maestra Andrea Landínez por prestar tiempo importante de las sesiones del curso de entrenamiento auditivo para la acumulación de datos y a

todos los estudiantes que nos brindaron su tiempo para entrenar en nuestra aplicación. Agradecemos a nuestro tutor Miguel Ángel Olivares por su orientación en el correcto planteamiento y desarrollo de la investigación, a Wilson Forero por su asistencia en el diseño del algoritmo de programación, al profesional de la investigación Andrés Araújo por su generosa colaboración en el diseño metodológico de la investigación y el análisis de resultados obtenidos, y finalmente al ingeniero Andrés Millán por sus consejos en el diseño gráfico y en la perfección del funcionamiento de la aplicación.

*Ismael Jesús López Rincón*

*Raúl Rûchene Páez Hooker*

## Tabla de contenido

Resumen .....	17
Abstract .....	18
Desarrollo de aplicación web de entrenamiento auditivo (EAT) para ingenieros de sonido .....	19
1 Planteamiento del Problema .....	20
1.1 Antecedentes .....	21
1.2 Justificación.....	24
1.3 Hipótesis.....	25
1.4 Variables.....	25
<i>Variable independiente</i> .....	25
<i>Variable dependiente</i> .....	25
1.5 Objetivos de la investigación .....	25
<i>Objetivo general</i> .....	25
<i>Objetivos específicos</i> .....	26
1.6 Alcances y limitaciones.....	26
2 Marco Teórico.....	27
2.1 Parámetros físicos del sonido .....	27
<i>Frecuencia</i> .....	28
<i>Longitud de onda</i> .....	30
<i>Intensidad y niveles de intensidad sonora</i> .....	30
<i>Envolvente acústica</i> .....	32
<i>Duración</i> .....	32
2.2 Psicoacústica .....	33
<i>Sonoridad</i> .....	34
<i>Tono o Altura</i> .....	35

<i>Timbre</i> .....	35
<i>Localización en el eje horizontal</i> .....	36
<i>Duración subjetiva</i> .....	36
2.3 Entrenamiento auditivo técnico .....	37
<i>Método de comparación activa y pasiva</i> .....	38
<i>Método de eliminación</i> .....	39
<i>Método de identificación absoluta</i> .....	39
2.4. Desarrollo de software .....	39
<i>Metodología de desarrollo Scrum</i> .....	39
<i>Requisitos funcionales</i> .....	40
<i>Interfaz de Usuario Unity (Unity UI)</i> .....	41
Componentes interactivos: .....	41
<i>Dirección IP</i> .....	42
2.5. Evaluación de aprendizaje .....	42
<i>Evaluación diagnóstica</i> .....	42
<i>Evaluación formativa</i> .....	42
<i>Evaluación cuantitativa</i> .....	43
<i>Evaluación con referencia a norma o relativa</i> .....	43
<i>Evaluación con referencia a criterio o absoluta</i> .....	43
3 Diseño Metodológico .....	44
3.1 Tipo y enfoque de la investigación .....	44
3.2 Diseño .....	44
3.3 Participantes .....	45
3.4 Instrumento .....	46
<i>Aplicación web de entrenamiento auditivo</i> .....	46

<i>Posprueba 0</i> .....	46
<i>Base de datos</i> .....	47
3.5 Procedimiento.....	47
<i>Tratamiento experimental X</i> .....	47
<i>Posprueba 0</i> .....	48
4 Desarrollo Ingenieril .....	49
4.1 Requerimientos funcionales .....	49
<i>Método de Identificación Absoluta</i> .....	49
<i>Método de Comparación Activa</i> .....	51
<i>Método de Comparación Pasiva</i> .....	52
4.2 Metodología Scrum.....	53
<i>Pregame</i> .....	54
Elección de módulos de entrenamiento.....	54
Modelado de escenarios de uso e interfaz gráfica.....	55
Registro e Ingreso.....	55
Menú principal.....	57
Funcionamiento general de los módulos de entrenamiento.....	59
Agendado de sprints.....	64
<i>Game</i> .....	65
Diseño y modelo de interfaz gráfica.....	65
Documentación del funcionamiento de los módulos de entrenamiento.....	70
Módulo de entrenamiento en frecuencia.....	70
Módulo de entrenamiento en dinámica.....	73
Módulo de entrenamiento en localización en el eje horizontal.....	78
Desarrollo de software.....	81

	Análisis y diagramas de clases.....	81
	Módulo entrenamiento en frecuencia.....	82
	Módulo entrenamiento en dinámica - Módulo A.....	84
	Módulo entrenamiento en dinámica - Módulo B.....	86
	Módulo entrenamiento en localización en el eje horizontal.....	88
	Servidor web y base de datos.....	89
	Postgame.....	91
5	Análisis y Resultados.....	92
5.1	Datos recopilados.....	92
	<i>Tratamiento Experimental X</i> .....	92
	<i>Posprueba 0</i> .....	93
5.2	Análisis Estadístico.....	93
	<i>Estadística Descriptiva</i> .....	94
	Resultados del Módulo de Entrenamiento en Dinámica.....	94
	Resultados del Módulo de Entrenamiento en Frecuencia.....	95
	Resultados del Módulo de Entrenamiento en Localización en el Eje Horizontal.....	97
	Resultados globales de la Posprueba 0.....	98
	Resultados de prueba t de Student.....	100
	<i>Estadística Inferencial</i> .....	101
	Resultados del Módulo de Entrenamiento en Dinámica.....	101
	Resultados del Módulo de Entrenamiento en Frecuencia.....	102
	Resultados del Módulo de Entrenamiento en Localización en el Eje Horizontal.....	103
	Resultados Globales de la Posprueba 0.....	103
5.3	Discusión.....	104
6.	Conclusiones y Recomendaciones.....	106

6.1	Conclusiones .....	106
6.2	Recomendaciones.....	108
	Referencias .....	109
	Anexos.....	112
	Anexo A .....	112
	Anexo B.....	115
	Anexo C.....	116
	Anexo D .....	120
	Anexo E.....	123

## Lista de tablas

Tabla 1. Parámetros del sonido que un ingeniero de sonido debe escuchar objetivamente según los autores Jason Corey, Akira Nishimura y Fernando Ayelo Sánchez.....	22
Tabla 2. Opciones de módulo de registro e ingreso .....	56
Tabla 3. Opciones de menú principal.....	58
Tabla 4. Opciones de módulo de entrenamiento con método de entrenamiento identificación absoluta.....	60
Tabla 5. Opciones de módulo de entrenamiento con método de entrenamiento de comparación activa .....	61
Tabla 6. Opciones de módulo de entrenamiento con método de entrenamiento de comparación pasiva.....	63
Tabla 7. Agendado de sprints.....	64
Tabla 8. Tiempo de entrenamiento promedio de los individuos del grupo experimental en cada módulo de entrenamiento .....	93
Tabla 9. Estadísticos descriptivos de resultados de la Posprueba 0 en el módulo de entrenamiento en dinámica .....	94
Tabla 10. Estadísticos descriptivos de resultados de la Posprueba 0 en el módulo de entrenamiento en frecuencia.....	96
Tabla 11. Estadísticos descriptivos de resultados de la Posprueba 0 en el módulo de entrenamiento en localización en el eje horizontal. ....	97
Tabla 12. Estadísticos descriptivos de resultados globales de la Posprueba 0.....	98
Tabla 13. Resumen de estadísticos descriptivos de las respuestas correctas en cada módulo.....	99
Tabla 14. Estadísticos de Student de resultados de Posprueba 0 .....	100
Tabla 15. Resultado de la pregunta: “¿Qué parámetros de los procesos basados en dinámica y ecualización considera que un ingeniero de sonido debe entrenar más activamente para un desarrollo de escucha crítica? – Ecualización”, según los docentes del programa de ingeniería de sonido de la Universidad San Buenaventura.....	112
Tabla 16. Resultado de la pregunta: “¿Qué parámetros de los procesos basados en dinámica y ecualización considera que un ingeniero de sonido debe entrenar más activamente para un desarrollo de escucha crítica? – Compresión”, según los docentes del programa de ingeniería de sonido de la Universidad San Buenaventura.....	113

Tabla 17. Resultado de la pregunta: “¿Qué parámetros de los procesos basados en dinámica y ecualización considera que un ingeniero de sonido debe entrenar más activamente para un desarrollo de escucha crítica? – Distorsión”, según los docentes del programa de ingeniería de sonido de la Universidad San Buenaventura .....	113
Tabla 18. Resultado de la pregunta: “¿Qué parámetros de los procesos basados en tiempo considera que un ingeniero de sonido debería identificar en su escucha crítica? – Reverberación”, según los docentes del programa de ingeniería de sonido de la Universidad San Buenaventura	113
Tabla 19. Resultado de la pregunta: “¿Qué parámetros de los procesos basados en tiempo considera que un ingeniero de sonido debería identificar en su escucha crítica? - Delay”, según los docentes del programa de ingeniería de sonido de la Universidad San Buenaventura .....	114
Tabla 20. Resultado de la pregunta: “¿Qué nociones musicales considera que un ingeniero de sonido debe desarrollar para su escucha crítica?”, según los docentes del programa de ingeniería de sonido de la Universidad San Buenaventura .....	114
Tabla 21. Banco de mensajes de felicitación impresos al sumar una respuesta correcta.....	115
Tabla 22. Banco de mensajes de motivación impresos al sumar una respuesta incorrecta.....	115
Tabla 23. Tiempo de entrenamiento total por módulos .....	116
Tabla 24. Resultados de Posprueba 0 – G1 .....	117
Tabla 25. Resultados de Posprueba 0 – G2 .....	119

## Lista de figuras

Figura 1. Fluctuaciones de presión en el aire. Recuperado de (Wilson et al., 2007) .....	28
Figura 2. Representación gráfica de una onda sonora. <b>A</b> - Aire en equilibrio, sin perturbación del medio. <b>B</b> – Compresión y rarefacción de las partículas del medio. <b>C</b> - Representación transversal de la onda: Amplitud <b>A</b> y longitud de onda $\lambda$ . Recuperado de (Berg, 1998) .....	30
Figura 3. Representación gráfica de la envolvente acústica.....	32
Figura 4. Curvas isofónicas de Fletcher-Munson. Representación de la sensibilidad del oído en el espectro de frecuencias. Recuperado de: (Domingo, 2005).....	35
Figura 5. Parámetros físicos del sonido y características subjetivas. Recuperado de (Sierra, 2020) .....	37
Figura 6. Diagrama de diseño con posprueba únicamente y grupo de control. Recuperado de (Hernández et al., 2014) .....	44
Figura 7. Etapas de desarrollo de software mediante el uso de la metodología Scrum de desarrollo ágil.....	54
Figura 8. Resultado de la pregunta: “¿Qué área de la ingeniería de sonido considera usted que requiera un oído crítico para el desarrollo pleno profesional?”, según los docentes del programa de ingeniería de sonido de la Universidad San Buenaventura .....	55
Figura 9. Diagrama de caso de uso de módulo de registro e ingreso .....	56
Figura 10. Diagrama de caso de uso del menú principal .....	58
Figura 11. Diagrama de caso de uso módulo de entrenamiento con método de entrenamiento de identificación absoluta.....	60
Figura 12. Diagrama de caso de uso módulo de entrenamiento con método de entrenamiento de comparación activa.....	61
Figura 13. Diagrama de caso de uso módulo de entrenamiento con método de entrenamiento comparación pasiva.....	63
Figura 14. Diseño de interfaz gráfica de la aplicación web. Módulo de ingreso .....	66
Figura 15. Diseño de interfaz gráfica de la aplicación web. Módulo de registro.....	66
Figura 16. Diseño de interfaz gráfica de la aplicación web. Menú principal.....	67
Figura 17. Diseño de interfaz gráfica de la aplicación web. Menú del módulo de entrenamiento en frecuencia .....	67

Figura 18. Diseño de interfaz gráfica de la aplicación web. Menú del módulo de entrenamiento en dinámica .....	68
Figura 19. Diseño de interfaz gráfica de la aplicación web. Menú del módulo de entrenamiento en dinámica. Módulo B .....	68
Figura 20. Diseño de interfaz gráfica de la aplicación web. Menú del módulo de entrenamiento en localización en el eje horizontal .....	69
Figura 21. Diseño de interfaz gráfica de la aplicación web. Módulo de instrucciones.....	69
Figura 22. Diseño de interfaz gráfica de la aplicación web. Módulo de entrenamiento en frecuencia. Método de comparación activa.....	72
Figura 23. Diseño de interfaz gráfica de la aplicación web. Módulo de entrenamiento en frecuencia. Método de identificación absoluta.....	73
Figura 24. Diseño de interfaz gráfica de la aplicación web. Módulo de entrenamiento en dinámica. Método de comparación pasiva. ....	76
Figura 25. Diseño de interfaz gráfica de la aplicación web. Módulo de entrenamiento en dinámica. Método de comparación activa.....	77
Figura 26. Diseño de interfaz gráfica de la aplicación web. Módulo de entrenamiento en dinámica. Método de identificación absoluta.....	78
Figura 27. Diseño de interfaz gráfica de la aplicación web. Módulo de entrenamiento en localización en el eje horizontal. Método de comparación activa.....	80
Figura 28. Diseño de interfaz gráfica de la aplicación web. Módulo de entrenamiento en localización en el eje horizontal. Método de identificación absoluta. ....	81
Figura 29. Diagrama de clases - Módulo de entrenamiento en frecuencia, método de de identificación absoluta y comparación activa. ....	82
Figura 30. Diagrama de clases - Módulo de entrenamiento en dinámica, método de comparación pasiva.....	84
Figura 31. Diagrama de clases - Módulo de entrenamiento en dinámica, método de identificación absoluta y comparación activa. ....	86
Figura 32. Diagrama de clases - Módulo de entrenamiento en localización en el eje horizontal, método de identificación absoluta y comparación activa.....	88
Figura 33. Diagrama de componentes – Sistema GoDaddy.....	91
Figura 34. Tiempo de entrenamiento promedio de los individuos de G1 en cada módulo de entrenamiento. ....	93

Figura 35. Diagrama de cajas – Respuestas correctas del Módulo de Dinámica.....	95
Figura 36. Diagrama de cajas – Respuestas correctas del Módulo de Frecuencia.....	97
Figura 37. Diagrama de cajas – Respuestas correctas del Módulo de Localización en el Eje Horizontal.....	98
Figura 38. Diagrama de cajas – Total de Respuestas Correctas de la Posprueba 0 .....	99
Figura 39. Resultados de análisis de varianza ANOVA – Módulo de entrenamiento en dinámica .....	102
Figura 40. Resultados de análisis de varianza ANOVA - Módulo de Frecuencia .....	102
Figura 41. Resultados de análisis de varianza ANOVA - Módulo de Localización en el Eje Horizontal.....	103
Figura 42. Resultados de análisis de varianza ANOVA – Resultados Globales de la Posprueba 0 .....	104
Figura 43. Resultado de la pregunta: “¿Cuál considera usted es el área en que un estudiante de ingeniería de sonido presenta mayor deficiencia en cuanto a escucha crítica?”, según los docentes del programa de ingeniería de sonido de la Universidad San Buenaventura .....	112
Figura 44. Casilla de confirmación de lectura y aceptación de los términos y condiciones especificados en el consentimiento informado.....	121
Figura 45. Apartado de consentimiento informado en el Módulo de Registro .....	121
Figura 46. Consentimiento informado para estudiantes de ‘Entrenamiento Auditivo’ – Semestre 2019-II.....	122
Figura 47. Resultados de la prueba de Levene - Módulo de Dinámica .....	123
Figura 48. Resultados de la prueba de Shapiro-Wilk - Módulo de Dinámica .....	123
Figura 49. Resultados de la prueba de Levene - Módulo de Frecuencia .....	123
Figura 50. Resultados de la prueba de Shapiro-Wilk - Módulo de Frecuencia .....	124
Figura 51. Resultados de la prueba de Levene - Módulo de Localización en el Eje Horizontal .	124
Figura 52. Resultados de la prueba de Shapiro-Wilk - Módulo de Localización en el Eje Horizontal.....	124
Figura 53. Resultados de la prueba de Levene – Resultados Globales de la Posprueba 0.....	125
Figura 54. Resultados de la prueba de Shapiro-Wilk - Resultados Globales de la Posprueba 0 .	125

## Lista de ecuaciones

Ecuación 1. Frecuencia .....	29
Ecuación 2. Hertz .....	29
Ecuación 3. Potencia Sonora .....	30
Ecuación 4. Intensidad del sonido en términos de potencia.....	30
Ecuación 5. Intensidad del sonido en términos de amplitud .....	31

## Resumen

La discriminación y evaluación de características del sonido a través de la memoria auditiva se conoce como escucha crítica. Se ha demostrado la importancia del entrenamiento auditivo para el desarrollo de dicha habilidad. Sin embargo, en los últimos años, los autores y desarrolladores se han dedicado a proponer nuevas herramientas y metodologías de entrenamiento auditivo, sin realizar aplicaciones en estudiantes de programas académicos afines al sonido, que permitan cuantificar la utilidad de estos.

Este proyecto realizó una investigación experimental a través del desarrollo de una aplicación web de entrenamiento auditivo para la discriminación de frecuencias, cambios en dinámica y localización de objetos en el eje horizontal implementando las metodologías de entrenamiento auditivo, de comparación activa y pasiva, así como de y de identificación absoluta. Esta aplicación fue desarrollada haciendo uso de la metodología de desarrollo ágil *Scrum*. La investigación se llevó a cabo con dos grupos de estudiantes de ingeniería de sonido: un grupo experimental y uno de control. El grupo experimental realizó un entrenamiento auditivo durante siete semanas del ciclo académico.

Finalmente, ambos grupos realizaron una post-prueba a partir de la cual se obtuvieron resultados pertinentes para hacer un análisis estadístico. Los datos resultantes confirman que estos grupos presentan diferencias significativas en el promedio y la varianza de respuestas correctas obtenidas en el módulo de entrenamiento en dinámica y en el promedio de las respuestas globales de la post-prueba, demostrando la repercusión de la aplicación desarrollada en las habilidades de escucha crítica de estudiantes de ingeniería de sonido

**Palabras clave:** Entrenamiento auditivo, escucha crítica, comparación, identificación absoluta, parámetros del sonido, metodología de desarrollo scrum.

### Abstract

Discrimination and evaluation of sound characteristics through auditory memory is known as *critical listening*. The importance of auditory training for the development of this ability has been demonstrated. However, in recent years, the authors and developers have dedicated themselves to the proposal of new tools and methodologies for auditory training, without applying these to students of academic programs related to sound, which will allow us to quantify their usefulness.

This project carried out experimental research through the development of an auditory training web application for frequency discrimination, changes in the dynamics and location of objects on the horizontal axis implementing auditory training, active and passive matching methodologies, as well as absolute identification. This application was developed with the agile development methodology known as *Scrum*.

The research was carried out with two groups of sound engineering students: an experimental group and a control group. The experimental group received an auditory training during seven weeks of the academic cycle.

Finally, on both groups a post-test was realized, of which pertinent results were obtained for statistical analysis. The resultant data confirms that these groups present significant differences in the average and variance of correct answers obtained in the dynamics training module and in the average of the global post-test responses, demonstrating the application effectiveness on the critical listening skills of sound engineering students.

**Keywords:** Auditory training, critical listening, matching, absolute identification, sound parameters, Scrum agile development methodology.

## **Desarrollo de aplicación web de entrenamiento auditivo (EAT) para ingenieros de sonido**

La memoria auditiva o memoria ecoica es uno de los registros de la memoria sensorial. Este componente de la memoria sensorial es el encargado de la retención a corto plazo de la información sonora recibida del entorno. Esta información es retenida antes de ser procesada, para continuamente pasar al procesador auditivo central, el cual se encarga de transformar las señales eléctricas del sonido en conceptos mentales retenidas en el cerebro en un tiempo limitado.

La memoria y la sensibilidad auditiva aguda a las diferencias tímbricas representan una habilidad y una herramienta fundamental para el ingeniero de sonido y todo aquel que se encargue de trabajar con sonido. Estas complementan el conocimiento técnico del audio y la acústica, permitiendo el juicio subjetivo de cambios necesarios para conseguir sonidos deseados. Es la correlación entre la percepción de los cambios tímbricos desde lo subjetivo y su contraparte física. Esta capacidad de discriminación y evaluación de características del sonido a través de la memoria auditiva se conoce como escucha crítica.

Esto no es nuevo. Antes de que existiera la teoría del sonido y un conocimiento técnico del comportamiento acústico, el desarrollo de instrumentos musicales y la construcción de recintos acústicos de gran magnitud ya eran habituales. El comportamiento sonoro de los últimos se juzgaba con argumentos subjetivos conseguidos con una escucha crítica desarrollada mediante la experimentación. Sin embargo, es interesante pensar que estas habilidades de escucha crítica pueden igualarse o superar a las habilidades desarrolladas mediante la experimentación, con un entrenamiento y seguimiento en un tiempo dado.

A mediados de los años ochenta, se propuso una metodología para el desarrollo de habilidades de escucha crítica a través de un curso académico transcurrido durante seis semestres llamada Solfeo Tímbrico (Letowski, 1985), y desde entonces numerosos autores se han dedicado a la tarea de dar complemento y perfeccionamiento de este desarrollo de memoria y sensibilidad tímbrica en tiempos más reducidos, de forma más objetiva, digital y que oriente este entrenamiento a todas las áreas que el sonido abarca.

Se ha demostrado la importancia del entrenamiento auditivo como parte del desarrollo de profesionales del área. Sin embargo, los aplicativos existentes no han sido aplicados en estudiantes de programas académicos afines al sonido en los últimos años, pues los autores y desarrolladores se han dedicado a proponer nuevas herramientas y metodologías de entrenamiento auditivo. En el

presente documento se pretende desarrollar una aplicación de entrenamiento auditivo que no solamente aplique las metodologías de entrenamiento auditivo existentes, sino que permita hacer un estudio de la repercusión de esta en el desarrollo de habilidades de escucha crítica de estudiantes de ingeniería de sonido, como complemento a los contenidos estudiados en el curso ‘Entrenamiento Auditivo’ que el programa de Ingeniería de Sonido de la Universidad de San Buenaventura ofrece.

## **1 Planteamiento del Problema**

Existen diversas investigaciones que corresponden a diferentes enfoques de entrenamiento auditivo y al desarrollo de escucha crítica de parámetros específicos del sonido. Sin embargo, bajo el criterio de los autores la discriminación por escucha crítica de algunos de estos es fundamental para el desenvolvimiento profesional de un ingeniero de sonido. (Ayelo, 2017; Corey, 2007; Nishimura, 2013)

Se realizó un sondeo a modo de encuesta al personal docente del programa de Ingeniería de Sonido de la Universidad de San Buenaventura, sede Bogotá, en el que juzgaron qué enfoque de la ingeniería de sonido y parámetros de estos deben ser desarrollados en la escucha crítica por un ingeniero de sonido. Los resultados generales de este sondeo pueden evidenciarse en el *Anexo A* del presente documento. Se detectaron las siguientes coincidencias en la opinión profesional de los docentes y los autores referenciados: un ingeniero de sonido debe desarrollar habilidades de escucha crítica de parámetros de frecuencia y dinámica, y de localización de fuentes sonoras en el eje horizontal.

Los aplicativos asistidos por computadora existentes se enfocan al desarrollo de escucha crítica de solo uno de estos parámetros, limitando este desarrollo a un área en específico y no logrando satisfacer todas aquellas que los autores y docentes consideran pertinentes para la formación de un ingeniero de sonido.

Los estudios existentes demuestran que se pueden desarrollar habilidades de escucha crítica a corto plazo con un tiempo de entrenamiento auditivo dado (Quesnel, 2001), y aseguran que este representa una herramienta importante en el desarrollo académico de un ingeniero de sonido (Indelicato et al., 2014). En programas académicos orientados al sonido se contemplan cursos de entrenamiento auditivo que con distintas herramientas aplican entrenamientos integrales, permitiendo desarrollar habilidades de escucha crítica en distintos atributos perceptuales del sonido durante un semestre (Liu et al., 2007a)

El programa de Ingeniería de Sonido de la Universidad de San Buenaventura, sede Bogotá ofrece un curso de entrenamiento auditivo en el segundo semestre académico del plan de estudios. Este curso busca que durante un semestre el estudiante desarrolle habilidades de escucha crítica de algunos de los parámetros orientados a la producción en audio sugeridos. Sin embargo, no existe una aplicación de entrenamiento auditivo integral que los aborde y permita correlacionar los contenidos teóricos con la escucha.

A partir de lo anterior, se llega a la siguiente pregunta problema: ¿Cómo mejorar las habilidades de escucha crítica en producción de audio en un estudiante de ingeniería de sonido como complemento al curso de entrenamiento auditivo a corto plazo?

## **1.1 Antecedentes**

El entrenamiento auditivo ha progresado a lo largo de las últimas tres décadas, desarrollando la escucha crítica de diferentes parámetros del sonido mediante diversas metodologías de aprendizaje. Sin embargo, algunos autores en sus artículos científicos mencionan cuáles parámetros del sonido consideran que un ingeniero de sonido debe reconocer por “oído”. A continuación, se presentan algunos autores que los determinan, y algunos estudios de desarrollo y evaluación de aplicativos que responden al entrenamiento de escucha crítica de varios de estos parámetros.

El autor Jason Corey asegura que un ingeniero debe estar en la capacidad de identificar características que se reproducen en una imagen sonora, tales como: Ancho de banda general, balance espectral (en cuanto a ecualización y filtrado), localización espacial de objetos en el plano sonoro; rango dinámico (cambios de nivel o ganancia y parámetros de procesamiento dinámico en compresores, compuertas o expansores), ruido y distorsión, procesamientos espaciales y de tiempo (reverberación, delay, chorus, flanger); y detección de la distorsión producida en la comprensión con pérdida (Corey, 2007). Por otro lado, el autor Akira Nishimura propone un listado de temas orientados al audio en conjunto con las habilidades requeridas para entenderlos, ideal para comprender teóricamente distintos parámetros y apreciar a través de la experiencia su naturaleza. Entre ellos destacan: tono y frecuencia (escucha de tonos puros y frecuencias simultáneamente), sonoridad e intensidad (determinación de diferencias de nivel entre tonos puros), cálculo y estimación de decibeles (determinación de diferencias de nivel con ruido blanco), factores de calidad sonora en equipos de audio (distorsión armónica), digitalización y codificación

de audio (Nishimura, 2013). A su vez, en la tesis de grado del ingeniero español Fernando Ayelo Sánchez publicada en junio del 2017, propone un entrenamiento auditivo desde un punto de vista psicoacústico de reconocimiento. En este artículo, Ayelo defiende que el entrenamiento auditivo busca “educar y afinar el oído” para desarrollar la capacidad de identificación y caracterización de distintos atributos y parámetros del material sonoro, pues es un requisito fundamental para los profesionales del sonido y el audio. Clasifica el entrenamiento en cuatro categorías: Reconocimiento espacial (ubicación de fuentes en el espacio y reverberaciones), reconocimiento frecuencial (identificación de parámetros frecuenciales), ruido y distorsión (tipos de degradación de audio), ganancia y dinámica (cambios de parámetros) (Ayelo, 2017).

En la siguiente tabla se presenta un recuento general de los parámetros del sonido que consideran los tres autores mencionados:

*Tabla 1.*

*Parámetros del sonido que un ingeniero de sonido debe escuchar objetivamente según los autores Jason Corey, Akira Nishimura y Fernando Ayelo Sánchez.*

Parámetro	Jason Corey	Akira Nishimura	Fernando Ayelo
Ancho de banda	✓	✓	✓
Ecuilización	✓		✓
Ruido y distorsión	✓	✓	✓
Filtrado	✓		✓
Rango dinámico	✓	✓	✓
Localización espacial	✓		✓
Procesamientos en tiempo	✓		✓
Digitalización de audio	✓	✓	✓

Algunos autores a través de la experimentación confirman la teoría de René Quesnel, la cual propone que el oído crítico desarrollado experimentalmente por ingenieros en un largo tiempo puede ser igualado y superado en un periodo mucho más corto (Quesnel, 2001) a través de un entrenamiento auditivo, agregando esta capacidad de reconocimiento auditivo en parámetros espaciales (Kassier et al., 2006); mientras que a Jason Corey con su libro *Audio Production and Critical Listening*, se le atribuye aportar una metodología de entrenamiento virtual la cual permite desarrollar estas facultades auditivas subjetivas en ámbitos de producción musical a través del ensayo y error. (Corey, 2010)

Se han desarrollado pues numerosas herramientas de entrenamiento auditivo de tipo TET (Technical Ear Training) que afiancen el desempeño de escucha crítica de distintos parámetros requeridos por profesionales del sonido en las diversas áreas de desenvolvimiento. En primer lugar, desde el análisis tonal se enfatiza en la capacidad de reconocimiento de frecuencias, comparación de tonos y cambios de parámetros en la ecualización (McKinnon-Bassett & Martens, 2013); entrenadas a través de la identificación y la comparación con una referencia. Por otro lado, se han diseñado sistemas de entrenamiento de identificación de bandas de frecuencia filtradas y frecuencias de resonancia de prototipos de altavoces, en aras de desarrollar la sensibilidad a cambios tímbricos en el diseño de sistemas de sonido (Olive, 2001). El libro *Handbook For Sound Engineers* respalda la importancia de lo último al afirmar que la aceptación de la sonoridad de los altavoces es subjetiva, pero representa un aporte importante para el diseño objetivo de los mismos (Ballou, 2008).

Hay estudios profundos en el desarrollo de habilidades orientadas a la dinámica y los efectos de audio, con el diseño de sistemas de entrenamiento que enfatizan el entrenamiento en la detección, identificación y predicción de cambios en los parámetros de controles de rango dinámico y ecualización, y cómo el enmascaramiento los afecta al ser mezclados con otros sonidos (Martin et al., 2018; Martin & Massenburg, 2015). Adicionalmente, desde el enfoque de entrenamiento temporal, se resalta el desarrollo de habilidades de identificación y pareamiento de cambios en los parámetros de reverberación artificial reproducida en audio multicanal (Corey, 2004).

Paralelamente, se han realizado estudios que demuestran la existencia de metodologías indirectos de entrenamiento auditivo dentro del ámbito de la producción en audio. La edición de audio digital es una actividad que repercute efectivamente en el desarrollo de habilidades de

escucha crítica, dado que el ajuste de locaciones de archivos de audio en una estación de trabajo de audio digital (DAW) implica un sentido del tiempo desarrollado y la selección correcta de las capturas realizadas en un proceso de grabación de audio implica un oído educado (Corey, 2007) .

Considerando que existen numerosas investigaciones que abordan diferentes énfasis en el desarrollo de la escucha crítica y el entrenamiento auditivo eficiente en las diferentes áreas del conocimiento práctico, se lleva este argumento al contexto académico y se asegura que el desarrollo de habilidades de escucha crítica a través de un entrenamiento virtual intensivo es fundamental para el exitoso cumplimiento de un currículo académico ingenieril superior orientado al audio (Indelicato et al., 2014).

## **1.2 Justificación**

A través del entrenamiento auditivo se busca educar al oído humano para que este sea capaz de identificar y discriminar características propias del sonido objetivamente. Este entrenamiento desarrolla habilidades de memoria tímbrica y una gran sensibilidad a cambios cualitativos en el material sonoro, cuyas cualidades pueden ser cuantificables. Estas representan herramientas útiles para el desenvolvimiento de un ingeniero de sonido en su campo laboral, pues entiende los efectos de las características físicas del sonido en producciones de audio, diseños de sistemas de sonido y en la acústica de recintos a través de la escucha. Parafraseando al conocido ingeniero de sonido Michael White: “La escucha crítica primariamente viene del punto de vista del ingeniero” (Rochman, 2013).

La realización de un entrenamiento auditivo integral por computadora incentiva la implementación de las tecnologías de la información y comunicación (*TICs*) en el aula de clase (Contreras Bravo et al., 2013), y representa un instrumento catalizador de aprendizaje y de desarrollo del curso de entrenamiento auditivo, pues reduce tiempos de retroalimentación, es objetivo y exacto.

Adicionalmente, apoya al contenido contemplado en el curso ‘Entrenamiento Auditivo’, enfatizando en los parámetros de frecuencia, dinámica y localización en el eje horizontal que los autores y el personal docente de la Universidad de San Buenaventura, sede Bogotá considera prioritarios para el desarrollo de un ingeniero de sonido. Un entrenamiento integral permitirá

también una mayor comprensión de los conceptos utilizados y estudiados a lo largo del programa, al facilitar la identificación de estos a través del “oído” desarrollado (Corey, 2010).

El fin del estudio permitirá evaluar la repercusión de una aplicación de entrenamiento auditivo integral en el desarrollo de habilidades de escucha crítica de estudiantes de áreas afines. Esto propone una herramienta pedagógica importante para la academia superior orientada al sonido, pues permite ajustar un entrenamiento auditivo fructífero a calendarios académicos cortos (Liu et al., 2007a).

### **1.3 Hipótesis**

Los estudiantes de ingeniería de sonido que realicen un entrenamiento auditivo durante siete semanas con la aplicación web de entrenamiento auditivo técnico desarrollarán habilidades de escucha crítica en los atributos perceptuales del sonido tratados en los módulos de entrenamiento de la aplicación.

### **1.4 Variables**

#### ***Variable independiente***

- Módulo de entrenamiento en dinámica
- Módulo de entrenamiento en frecuencia
- Módulo de entrenamiento en localización en el eje horizontal

#### ***Variable dependiente***

- Desarrollo de habilidades de escucha crítica de atributos perceptuales del sonido

### **1.5 Objetivos de la investigación**

#### ***Objetivo general***

Desarrollar un aplicativo que implemente las metodologías de entrenamiento auditivo de comparación activa y pasiva y de identificación absoluta, que permita hacer un análisis dinámico

de la repercusión de estas en el desarrollo de habilidades de escucha crítica en estudiantes de ingeniería de sonido a corto plazo.

### *Objetivos específicos*

- Determinar los requisitos funcionales para el diseño y desarrollo de un aplicativo web, basado en los métodos de identificación absoluta y de comparación activa y pasiva.
- Desarrollar un aplicativo web haciendo uso de la metodología scrum, que implemente entrenamiento de habilidades de escucha crítica en reconocimiento de frecuencias, cambios de dinámica y localización espacial en el eje horizontal.
- Realizar la evaluación y comparación objetiva de habilidades en el estado inicial y final de un proceso de entrenamiento auditivo de 7 a 8 semanas entre dos poblaciones con diferentes tiempos de entrenamiento.

### **1.6 Alcances y limitaciones**

En la presente investigación se estudiarán dos poblaciones de estudiantes de ingeniería de sonido de la Universidad de San Buenaventura, sede Bogotá. Estas poblaciones corresponden a los estudiantes asistentes al curso ‘Entrenamiento Auditivo’ durante el segundo semestre del calendario académico del 2019 y el primer semestre del calendario académico del 2020, dado que el software diseñado representa un complemento para el desarrollo del currículo de dicho curso.

Dado que el programa de ingeniería de sonido de la Universidad de San Buenaventura, sede Bogotá ofrece el curso Entrenamiento Auditivo en el segundo semestre del pregrado, el conocimiento de los parámetros físicos del sonido es limitado para los estudiantes que recibirán este entrenamiento auditivo, por lo tanto, los módulos de entrenamiento deberán ajustarse a parámetros conocidos por dichos estudiantes. Por lo tanto, los alcances de funcionalidad se reducen a tres contenidos fundamentales: identificación de frecuencias de octava y de tercio de octava, cambio de dinámica y localización espacial en el plano horizontal.

La recopilación de datos se llevará a cabo durante las sesiones del curso Entrenamiento Auditivo a partir de la octava semana del semestre académico, cuando ya estos tres parámetros hayan sido estudiados en el curso de entrenamiento auditivo. Los autores proponen que en contextos académicos se realice un tiempo de entrenamiento auditivo de 15 minutos durante

catorce semanas o más; para evitar la fatiga auditiva de los usuarios (Liu et al., 2007b). Sin embargo, dadas las restricciones mencionadas, la metodología de entrenamiento de la presente investigación se reduce a siete semanas de aplicación. El saldo de tiempo de entrenamiento está invertido en el desarrollo de los contenidos en el curso de Entrenamiento Auditivo a lo largo del semestre académico.

El cumplimiento del tiempo de entrenamiento semanal está condicionado por la asistencia de la población a las sesiones del curso Entrenamiento Auditivo. Debido a la carencia de seguimiento presencial, un entrenamiento autónomo fuera de estas sesiones no es garantizado.

El desarrollo de la aplicación se realizará mediante el uso de la metodología Scrum de desarrollo ágil, donde se hará entrega de avances, corrección de requerimientos funcionales que no hayan sido cumplidos, y corrección de fallas reportadas por los usuarios o diagnosticadas por los desarrolladores.

La aplicación será desarrollada a través del motor de videojuego Unity3D y la lógica de desarrollo se ajustará a las funcionalidades de procesamiento de audio de la versión 2018.3.8f1 que sean soportadas por la plataforma WebGL.

La existencia de fallas en la conexión del servidor web que aloje el aplicativo y fallas en el funcionamiento de los módulos de entrenamiento auditivo limitarán la recopilación de datos. La metodología Scrum permitirá corregir estas fallas y continuar con el proceso regular.

## **2 Marco Teórico**

### **2.1 Parámetros físicos del sonido**

Desde la posición objetiva de los físicos Chris Chiaverina y Tom Rossing, el sonido se define como una forma de energía que existe, sea o no escuchado (Hewitt, 2007).

El sonido es la propagación física de una perturbación en un medio (Berg, 1998). Esta propagación mecánica está caracterizada por la vibración de las partículas del medio alrededor de su posición de estado de reposo, es decir, son desplazadas y regresan a su posición inicial (Lorenzi & Chaix, 2016). El desplazamiento de las partículas en el aire genera cambios de presión que se transmiten hasta el oído y son interpretadas por el cerebro como sonido. Es importante enfatizar que el medio no se mueve de un lugar a otro junto con el sonido, es decir, hay transmisión de energía, pero no traslado de materia.

La velocidad de propagación depende de las propiedades elásticas e inerciales del medio. La elasticidad es la propiedad de los materiales para modificar su forma en respuesta a una fuerza aplicada, y regresar continuamente a su forma inicial cuando esta fuerza de distorsión es retirada (Hewitt, 2007), mientras que la inercia se conoce como la capacidad de transferencia de energía y conservación del estado energético.

Las ondas sonoras en líquidos y gases son principalmente ondas longitudinales. Es decir, las partículas del medio se desplazan a lo largo de la dirección de propagación. Por otro lado, las ondas sonoras en medios sólidos desplazan las partículas del medio de forma longitudinal y transversal a la dirección de propagación, pues las acciones intermoleculares son más fuertes que en fluidos (Wilson et al., 2007).

El ejemplo básico de visualización de ondas sonoras es el comportamiento de un diapasón. Los brazos metálicos vibran al ser golpeados y estas vibraciones perturban el aire produciendo regiones de mayor o menor número de moléculas llamadas compresión y rarefacción, respectivamente.

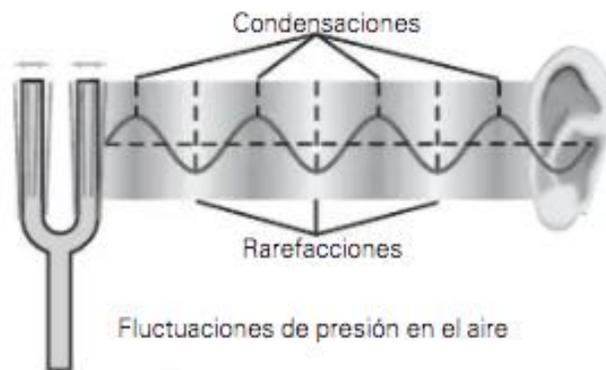


Figura 1. Fluctuaciones de presión en el aire. Recuperado de (Wilson et al., 2007)

### **Frecuencia**

El intervalo tiempo de separación existente entre dos estados de vibración consecutivos, ya sea compresión o rarefacción, de una onda sonora se conoce como 'periodo'. El periodo es denominado  $T$  dado en segundos ( $s$ ). Ahora bien, la cantidad total de periodos por unidad de tiempo es conocida como 'frecuencia', correspondiente con el inverso del periodo, cuya unidad se denomina *Hertz* ( $Hz$ ) (Lorenzi & Chaix, 2016).

$$f = \frac{1}{T} [\text{Hz}]$$

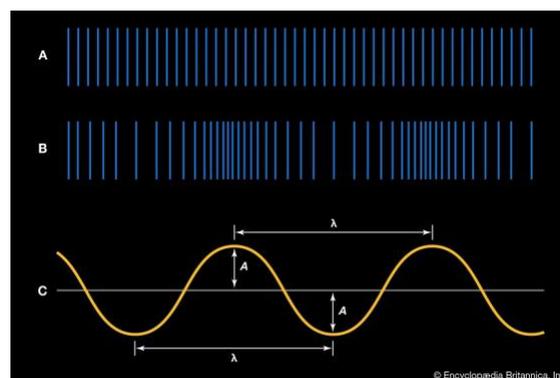
*Ecuación 1. Frecuencia*

$$\text{Hz} = \frac{1}{\text{s}} = \text{s}^{-1}$$

*Ecuación 2. Hertz*

Las características fisionómicas del oído humano limitan la percepción del sonido, pues solo las frecuencias existentes entre 20 Hz y 20000 Hz son capaces de iniciar impulsos nerviosos que el cerebro interpreta como sonidos. Este intervalo de frecuencias se conoce como la región audible del ‘espectro de frecuencias’ del sonido. Este espectro posee una región de frecuencias por encima y por debajo de la región audible, llamadas región ultrasónica e infrasónica, respectivamente. (Wilson et al., 2007)

Los objetos vibrantes poseen una frecuencia de resonancia. Esta frecuencia es una frecuencia natural de vibración determinada por los parámetros físicos propios del objeto. La frecuencia de resonancia más baja de un objeto vibrante se conoce como frecuencia fundamental y esta frecuencia posee múltiplos enteros de sí misma llamados armónicos. Los objetos vibrantes utilizados en instrumentos musicales, por ejemplo, vibran a frecuencias armónicas de la fundamental llamada sobretonos. Sin embargo, las membranas vibrantes producen también frecuencias resonantes que no son armónicas, llamados sobretonos no armónicos (Hewitt, 2007).



*Figura 2. Representación gráfica de una onda sonora. A - Aire en equilibrio, sin perturbación del medio. B – Compresión y rarefacción de las partículas del medio. C- Representación transversal de la onda: Amplitud  $A$  y longitud de onda  $\lambda$ . Recuperado de (Berg, 1998)*

### ***Longitud de onda***

En el caso de una onda periódica, la distancia entre dos crestas (punto elevado de la onda) o dos valles (punto bajo de la onda) sucesivas se llama longitud de onda (Ver *Figura 2 – Gráfica C*). Aunque suelen usarse las posiciones de cresta y valle por conveniencia, en realidad, es la distancia entre dos partes sucesivas de la onda cualesquiera que se encuentren en fase (es decir, en puntos idénticos de la forma de onda) (Wilson et al., 2007). Se representa con  $\lambda$  y su unidad de medida está dada en metros ( $m$ ).

### ***Intensidad y niveles de intensidad sonora***

Los movimientos ondulatorios implican la transferencia de energía. La energía acústica proveniente de una fuente sonora en un intervalo de tiempo dado se conoce como potencia sonora  $P$ , medida en watts  $W$ .

$$P = \frac{E}{\Delta t} [W]$$

*Ecuación 3. Potencia Sonora*

La energía, expresada como potencia por área unitaria, que viaja cada segundo perpendicular a la onda sonora, se llama intensidad del sonido  $I$ .

$$I = \frac{P}{A} \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

*Ecuación 4. Intensidad del sonido en términos de potencia*

Esta intensidad depende de las características de la fuente, las cuales determinan la potencia sonora que es capaz de transmitir, y la distancia que separa esta fuente del punto de medición (Lorenzi & Chaix, 2016).

La intensidad de una onda sonora además está determinada por la amplitud de esta, pues esta se mide en pascuales. La amplitud presentada con la letra  $A$ , como se evidencia en la gráfica  $C$  de la *Figura 2*, es la distancia entre el punto de desplazamiento máximo respecto al equilibrio. Esta es una representación gráfica en el tiempo de la variación de presión existente en el medio cuando un sonido es emitido. La razón del cuadrado de la amplitud con el doble de la impedancia del medio define al oído humano cuán fuerte o débil es un sonido, como se puede evidenciar en la *Ecuación 4*, donde  $\rho$  representa la densidad del aire y  $C$  la velocidad del sonido (Berg, 1998).

$$I = \frac{A^2}{2\rho C} \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

*Ecuación 5. Intensidad del sonido en términos de amplitud*

El oído humano es capaz de percibir 1000  $Hz$  en una mínima intensidad de  $10^{-12} \frac{W}{m^2}$ . Este nivel de intensidad se conoce como el umbral de audición. En términos de variación de presión, este umbral de audición corresponde a  $10^{-5} Pa$ . Cuando este valor de intensidad es incrementado, el sonido percibido se vuelve más fuerte. Una intensidad de  $1 \frac{W}{m^2}$  o  $10 Pa$ , se le conoce como umbral de dolor. (Wilson, Buffa & Lou, 2007)

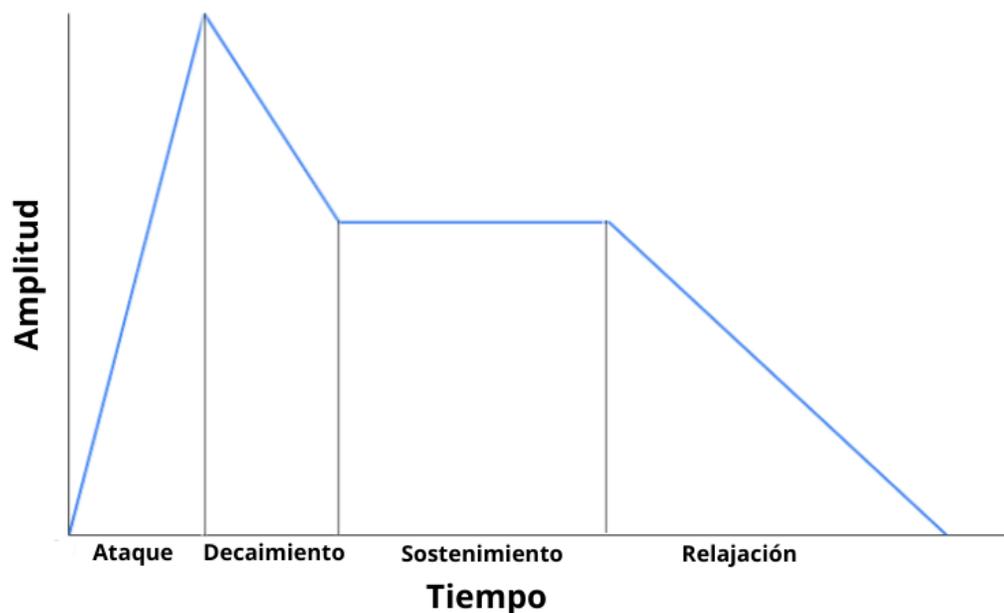
Estos umbrales difieren entre sí por un factor de  $10^{12}$ . Por consiguiente, es necesario comprimir el intervalo de intensidades del sonido al utilizar una escala logarítmica en factores de 10 para expresar niveles de intensidad. Se requiere una intensidad estándar de referencia, la cual es interpretada como el umbral de audición. De esta forma, el nivel de intensidad para cualquier intensidad  $I$  será igual al logaritmo de la relación entre la intensidad  $I$  y el umbral de audición. La unidad de esta escala es conocida como ‘bel ( $B$ )’ en honor a Alexander Graham Bell. Una unidad de la intensidad más fina se obtiene usando una unidad más pequeña, llamada ‘decibel ( $dB$ )’, una décima de bel ( $B$ ) (Hewitt, 2007).

Se diferencia la intensidad del sonido del nivel de intensidad del sonido pues la primera es dimensional ( $\frac{W}{m^2}$  o  $Pa$ ), mientras que los niveles de intensidad no tienen dimensiones.

### *Envolvente acústica*

El envolvente acústico es una manera de definir, desglosado en cuatro parámetros generales, la evolución temporal en amplitud de cualquier señal sinusoidal (Lysloff & Kvifte, 1991). Estos parámetros son los siguientes:

- **Ataque (*Attack*):** Se entiende como el tiempo que tarda en escucharse el sonido después de haberse emitido.
- **Decaimiento (*Decay*):** Se entiende como el tiempo que tarda la amplitud en reducirse a la de sostenimiento, luego de haber alcanzado la amplitud máxima.
- **Sostenimiento (*Sustain*):** Se entiende como la amplitud que se mantiene constante hasta que la vibración cesa.
- **Relajación (*Release*):** Se entiende como el tiempo que tarda el sonido en disminuir toda su amplitud una vez cesó su vibración.



*Figura 3. Representación gráfica de la envolvente acústica*

### *Duración*

La duración de un sonido depende de la cantidad de tiempo en la que el medio está en perturbación. Este tiempo es medido en segundos (s). (Lorenzi & Chaix, 2016)

## 2.2 Psicoacústica

La psicoacústica es una rama de la psicofísica que realiza el estudio de la respuesta psicológica y psicopatológica de un estímulo físico sonoro, donde el cerebro analiza los parámetros físicos del sonido y los transforma en un mensaje con reacciones física-mentales y física-corporales interpretado por el humano (Núñez, 2011)

La percepción del sonido es cognitivamente neutral, mientras que la interpretación auditiva refleja el nivel de apreciación del oyente. El primero depende del mecanismo fisiológico de la audición, mediante el cual se extrae información de los contenidos espectrales, patrones temporales y distribución espacial de las señales acústicas que llegan a los oídos. La interpretación del sonido, por otro lado, se basa en las funciones de nivel superior del sistema auditivo. Esto se ve influenciado por factores conscientes e inconscientes orientados a actividades y pensamientos cotidianos del individuo y a su familiaridad con los sonidos (Universidad de Barcelona, 2019)

Como disciplina empírica, la psicoacústica hace sus conclusiones a partir del análisis estadístico de resultados obtenidos en experimentos de medición de la respuesta subjetiva del humano a estímulos de propiedades físicas del sonido cuantificadas.

Algunos objetivos de la psicoacústica (Ayelo, 2017) son la determinación de:

- La relación existente de magnitud relacionados con sonoridad o intensidad sonora. Sensación producida por un estímulo y la magnitud física del mismo donde el oído puede diferenciar entre un sonido fuerte y débil. El nivel de sonoridad no solo depende de la presión del sonido sino también de la frecuencia.
- Los umbrales (absolutos) de sensación en cada parámetro, como frecuencia e intensidad. Los umbrales absolutos de la audición son aquellos valores de uno de los parámetros del estímulo físico a estudiar a partir del cual la sensación comienza o deja de producirse.
- Los umbrales diferenciales de percepción en cada parámetro del estímulo. Es decir, la mínima variación y diferencia perceptible.

- Estudiar la capacidad de resolución del sistema para separar sonidos de diversas fuentes sonoras, independientemente de que estas se encuentren en un mismo rango de frecuencias o tengan una misma intensidad sonora.

Otro de los factores que estudia la psicoacústica es la localización auditiva, logrando analizar el movimiento del sonido en un eje de coordenadas horizontales, verticales y de profundidad o distancia (Núñez, 2011).

Generalmente se utilizan cualidades subjetivas para describir los parámetros físicos de un sonido. A continuación, se presentan algunas de ellas:

### ***Sonoridad***

Se denomina sonoridad a la medida subjetiva de la intensidad con que el oído humano percibe un sonido. Esta permite ordenar sonidos en una escala del más fuerte al más débil. Sin embargo, también es dependiente de la frecuencia del sonido, su ancho de banda, y su contenido frecuencial. No es un parámetro físico, dado que la percepción de un “nivel de sonoridad” está dada subjetivamente por el oyente; pero han sido normalizadas por las curvas isofónicas propuestas por Fletcher y Munson, y recalculadas por Robinson y Dadson, determinando el nivel de presión sonora necesario para que el humano pueda percibir distintas frecuencias con la misma intensidad. (Ayelo, 2017)

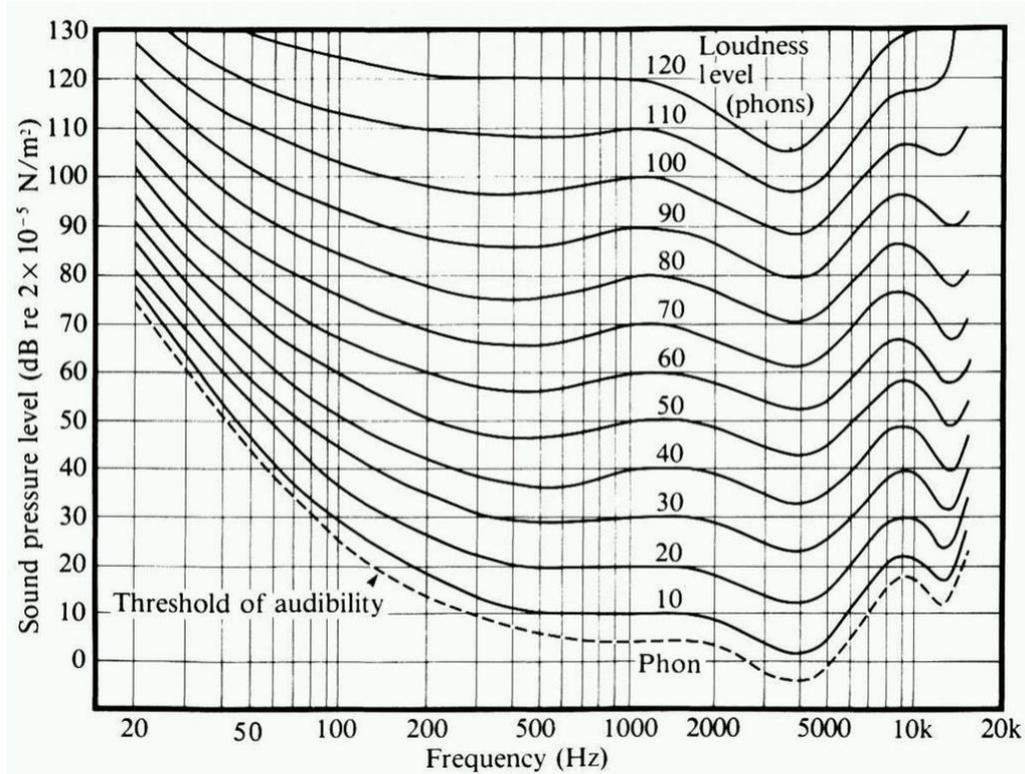


Figura 4. Curvas isofónicas de Fletcher-Munson. Representación de la sensibilidad del oído en el espectro de frecuencias. Recuperado de: (Domingo, 2005)

### ***Tono o Altura***

Es la medida subjetiva del sonido que depende de la frecuencia de este, es decir, varía según el número de vibraciones por segundo del sonido incidente. Mientras mayor sea el número de vibraciones por segundo, mayor será la frecuencia y más agudo será el sonido. Asimismo, mientras más pequeño sea el número de vibraciones por segundo, menor será la frecuencia y más grave será el sonido (Hewitt, 2007).

### ***Timbre***

El timbre o “calidad” del sonido describe aquellas características del sonido que permiten que el oído humano diferencie una fuente sonora de otra, independientemente de que estas tengan una misma intensidad, duración y altura. Por lo tanto, es una terminología general de las características distinguibles de un tono.

El timbre está determinado por el contenido armónico de un sonido y el envolvente acústico. Los sobretonos determinan la forma de onda de la señal sonora cuando esta se muestra en función del tiempo. Por ejemplo, el oído interno identifica los timbres de voz humana al hacer un análisis del contenido armónico (Velankard, 2013).

### ***Localización en el eje horizontal***

El sistema auditivo está compuesto por dos oídos ubicados a ambos costados de la cabeza humana, esto permite determinar la posición en el espacio de las fuentes sonoras que emiten señales de excitación (Dixon, 2019). Luego de capturar los estímulos que arriban a cada uno de los oídos, forman canales receptores independientes entre sí, sin interferencias. El cerebro los interpreta haciendo una correlación entre las señales capturadas y, determinando sus diferencias en tiempo y niveles de llegada, localiza la proveniencia del sonido (Ayelo, 2017).

### ***Duración subjetiva***

La duración del sonido es pensada objetivamente como la duración física medida en segundos ( $s$ ). Sin embargo, a través de la escucha se puede medir duración de sonidos: duración de música, de pausas en lectura. Si estas duraciones se miden con la escucha, deben ser mediciones subjetivas pues corresponden a sensaciones. Se utiliza una unidad de medición llamada “dura”, definida como la duración subjetiva de un tono puro de  $1000\text{ Hz}$  a  $60\text{ dB}$ , cuya duración objetiva es igual a un segundo. Al realizar estudios se descubrió que para sonidos de igual o menor duración objetiva de 100 milisegundos, son interpretados por el oído como un sonido de aproximadamente 200 milisegundos en frecuencias bajas y ruido blanco, y de 400 milisegundos para frecuencias medias-altas. Por otro lado, para sonidos de una duración superior a 100 milisegundos, la duración subjetiva es significativamente aproximada a la objetiva (Zwicker & Fastl, 2007).

Parámetro Físico	Característica subjetiva				
	Sonoridad	Tono	Timbre	Duración	Espacialidad
Presión	+++	+	+	+	+++
Frecuencia	+	+++	++	+	++
Espectro	+	+	+++	+	+
Duración	+	+	+	+++	+
Envolvente	+	+	++	+	+++

*Figura 5. Parámetros físicos del sonido y características subjetivas. Recuperado de (Sierra, 2020)*

La *Figura 5* establece una relación de los parámetros físicos del sonido y las características subjetivas a las cuales son atribuidas. La relación está delimitada con el símbolo ‘+’ donde ‘+’ es el mínimo y ‘+++’ el máximo.

### 2.3 Entrenamiento auditivo técnico

El entrenamiento auditivo técnico se enfoca en la correlación de la percepción de los atributos y propiedades físicas del sonido específicamente en el contexto de aplicaciones como la grabación, edición y mezcla de sonido, desarrollo y diseño de sistemas de sonido, composición musical digital, y procesamiento de señales de audio.

Históricamente, el primer entrenamiento auditivo existente enfoca un entrenamiento tímbrico, y lo comparaban este proceso con el entrenamiento auditivo musical y el solfeo (Letowski, 1985). El primer autor en utilizar el término “entrenamiento auditivo técnico” fue René Quesnel y lo refiere a cualquier programa que desarrolle habilidades de escucha crítica técnica en

el oyente. Este término encapsula exclusivamente escucha crítica orientada a la producción en audio, separándolo de escucha analítica y teoría musical (Quesnel, 2001).

A principios del siglo XXI, la contribución al entrenamiento auditivo técnico estuvo dada por la propuesta de métodos asistidos por computadora para el desarrollo de la memoria tímbrica, el incremento de sensibilidad para los cambios tímbricos y el incremento de la velocidad para identificarlos. (Corey, 2010)

Los programas de entrenamiento auditivo técnico se categorizan en función del usuario al que esté destinado. Las tres categorías principales de usuarios destino son estudiantes, empleados y consumidor. Existen superposiciones entre estos pues un estudiante, por ejemplo, puede ser usuario de un programa de entrenamiento auditivo técnico en la academia y ser usuario consumidor.

Los programas destinados a estudiantes son utilizados como parte de la estructura del contenido académico que, en función del momento en que sea aplicado, el conocimiento de terminologías de sonido y audio que el estudiante posee varía significativamente. El programa de entrenamiento auditivo técnico debe vincularse con los contenidos propios del curso para alcanzar los objetivos finales del mismo (Bassett, 2018)

Existen tres metodologías fundamentales de entrenamiento auditivo técnico: comparación (que se divide en activa, pasiva y de memoria), identificación y eliminación.

### ***Método de comparación activa y pasiva***

En la escucha comparativa se le presenta al oyente un sonido de referencia *A*, el cual tiene unas características particulares, y un sonido de comparación *B* (Quesnel, 2001). El usuario continuamente deberá aplicar los cambios necesarios al sonido de comparación *B* para que sea lo más idéntico posible al sonido de referencia *A*. Al oyente se le permitirá cambiar entre los sonidos *A* y *B*. Esta comparación, donde el oyente debe realizar cambios se conoce como comparación activa. El autor Jason Corey diseñó un método de comparación activa donde el oyente es privado de cambiar entre los sonidos, por lo que debe memorizar el sonido *A* para poder modificar el *B*. Corey bautizó este método como “comparación de memoria”, y lo categoriza como un nivel de dificultad mayor (Corey, 2013; Letowski, 1985).

Por otro lado, existe un tipo de comparación en la que el oyente puede elegir cuál sonido, entre varios, es igual al sonido de referencia *A*. Esta metodología se conoce como comparación

pasiva, o *multi-alternative forced choice* (elección forzada de múltiples alternativas). El oyente puede alternar la escucha entre las opciones de respuesta y el sonido de referencia para determinar su diferencia (Bassett, 2018; Corey, 2013).

### ***Método de eliminación***

Existe una metodología de entrenamiento llamada “eliminación” o “*bring to flat*” (Quesnel & Woszczyk, 1994), la cual básicamente consiste en la tarea inversa de la comparación activa. El sonido de referencia *A* no posee ninguna cualidad característica que deba ser igualada en el sonido de comparación *B*, sino que el oyente debe eliminar todo procesamiento que este sonido *B* posea para convertirlo en el sonido original sin procesamiento. El objetivo de este método es que el oyente pueda reconocer los cambios que se han realizado.

### ***Método de identificación absoluta***

El método de identificación absoluta, a diferencia de los métodos activos de comparación, eliminación y de memoria, no solicita que el oyente modifique parámetros del sonido, sino que debe identificar una cualidad del sonido de referencia *A* versus el sonido *B* que no tiene procesamiento, y determinar entre múltiples opciones cuál cualidad es la correcta. Sin embargo, el oyente no recibirá retroalimentación auditiva del cambio que está asegurando que existe. (Bassett, 2018; Corey, 2013; Letowski, 1985)

## **2.4. Desarrollo de software**

### ***Metodología de desarrollo Scrum***

Se conoce como Scrum a una estrategia de desarrollo de software ágil, incremental, basada en hechos, desarrollada por Nonaka Ikujiro en 1986. En esta metodología se desarrollan varias etapas del proyecto que se solapan entre sí.

Esta metodología maneja papeles que cumplen los participantes que hacen parte del proyecto a desarrollar. Estos roles son los siguientes: El *manager*, es el asesor y líder del proyecto, el *product owner* es la empresa o institución que la fundamenta, y el *team* es entonces el conjunto de miembros y desarrolladores del proyecto *per se* (Láinez, 2014).

Este proyecto es desarrollado en periodos de tiempo dados entre una y cuatro semanas, llamados “*sprint*”, donde se crea un segmento de este proyecto entregable para ser presentado en el siguiente *sprint*. En estos *sprint* se evalúan los cambios realizados y la cantidad de trabajo que ha sido entregada. El objetivo de un *sprint* debe expresarse en pocas palabras de forma que se facilite su recordación, y debe ajustarse a un tiempo dado (ya sea por la necesidad del cambio en el proyecto, la facilidad del cumplimiento de la meta)

La ventaja de esta metodología está en su fácil adaptación a cambios durante el proceso de realización, pues está enfocada a la productividad del *team* para la creación de segmentos efectivos y funcionales.

Scrum consta de tres fases de desarrollo (Peralta, 2003):

- ***Pregame***: Consiste en la definición del sistema que se construirá. En esta etapa se definen los requerimientos prioritarios, así como el tiempo y personal necesario para alcanzar el objetivo.
- ***Game***: En esta fase se espera que ocurran imprevistos que identifiquen las variables que deben ser cambiadas durante los *sprints*. Esto permite adaptar el sistema a cambios de manera flexible.
- ***Postgame***: Consiste en el cierre, donde el *team* acuerda que el sistema puede ser liberado y todos los requerimientos fueron completados.

### ***Requisitos funcionales***

Los requisitos funcionales son declaraciones de los servicios que presta o no un sistema de software, en la forma que responde a distintas entradas y a situaciones particulares. Las entradas pueden estar dadas por entradas de usuarios, por la interacción con otros sistemas o por otros procesos previamente definidos.

La declaración de los requerimientos funcionales tiene como objetivo principal la comprensión de lo que los usuarios esperan que el sistema haga. En pocas palabras, define el "qué" del sistema desarrollado.

Estas declaraciones pueden ser negativas mientras el resultado de su comportamiento sea una respuesta funcional al usuario o a otro sistema. Si lo anterior se cumple, el requisito funcional

es correcto y es imprescindible que sea especificado. Esta especificación garantiza que todos los servicios solicitados por el usuario o sistema sean definidos y coherentes (Fuentes Gómez, 2011).

### ***Interfaz de Usuario Unity (Unity UI)***

*Unity UI* es un kit de herramientas para desarrollar interfaces de usuario para videojuegos y aplicaciones en *Unity3d*. Es un sistema basado en *GameObjects*, que son los objetos fundamentales de *Unity3d*, los cuales representan cada elemento interactivo y visual de la aplicación que se desarrolla. Estos objetos portan componentes que determinan su funcionalidad, características visuales y ubicación espacial. (Unity, 2019)

#### **Componentes interactivos:**

- ***Button***: Consiste en un botón, el cual posee un evento '*OnClick UnityEvent*' que define qué función se cumplirá al interactuar con él.
- ***Toggle***: Consiste en una casilla de verificación, la cual posee un estado '*IsOn*' que determina su estado encendido o apagado. Este estado alterna cuando el usuario interactúa con el *Toggle*. Adicionalmente, posee un evento '*OnValueChanged UnityEvent*', el cual define qué función se cumplirá cuando el estado varíe.
- ***Slider***: Consiste en una barra que incorpora un control deslizante. Este control puede ser arrastrado a la izquierda o a la derecha para establecer un valor '*Value*' entre un valor mínimo y máximo. Puede ser vertical u horizontal. Adicionalmente, posee un evento '*OnValueChanged Unity Event*', el cual define qué función se cumplirá cuando este valor sea modificado.
- ***Dropdown***: Consiste en una lista de opciones elegibles. Se especifica una cadena de caracteres o una imagen que identifique cada opción. Posee un evento '*OnValueChanged UnityEvent*', el cual define qué función se cumplirá cuando una opción es seleccionada.
- ***Input Field***: Consiste en una casilla de ingreso de caracteres alfanuméricos. Posee un evento '*UnityEvent*' el cual define qué función se cumplirá cuando el contenido del texto sea modificado, y otro que define qué función se cumplirá cuando el usuario termine de modificar este contenido.

## ***Dirección IP***

*IP* son las siglas de *Internet Protocol* (Protocolo de Internet). Este protocolo se encarga de establecer la comunicación en la mayoría de las redes, al asignar una dirección única e irrepetible a todo dispositivo que trata de comunicarse en Internet. Estas direcciones son nombres numéricos asignados a los dispositivos para poder ser llamado por otros dispositivos. Es imprescindible que un dispositivo posea una dirección *IP* para poder comunicarse con otro vía Internet. (A. S. Sánchez, 2018)

## **2.5. Evaluación de aprendizaje**

La evaluación de aprendizaje es un componente del proceso educativo en la que a través de la observación se extrapola información relevante del desempeño, potencial y falencias del aprendiz; en aras de adquirir criterios para la optimización de las metodologías de aprendizaje (Ministerio de Educación del Perú, s/f). El autor M. David Miller lo define como "un término genérico que incluye un rango de procedimientos para adquirir información sobre el aprendizaje del estudiante, y la formación de juicios de valor respecto al proceso de aprendizaje" (Linn & Miller, 2014) .

Existen diversos tipos de evaluación del aprendizaje, según su objetivo (diagnóstica, formativa y cuantitativa) y según la interpretación de resultados (referida a criterio y norma).

### ***Evaluación diagnóstica***

Esta evaluación es realizada al inicio de una actividad académica y busca determinar el nivel de conocimiento previo y las habilidades del aprendiz. Esta información permite al educador ajustar los contenidos y actividades académicas a las capacidades de sus pupilos (Ministerio de Educación del Perú, s/f).

### ***Evaluación formativa***

Esta evaluación permite llevar seguimiento del aprendizaje y retroalimentar al aprendiz su potencial, debilidades y logros alcanzados, permitiéndole mejorar a partir de su proceso. Adicionalmente, esta evaluación permite al docente reflexionar y adecuar el desempeño de sus

pupilos al establecer estrategias pedagógicas que permita alcanzar sus objetivos. Esta evaluación puede ser formal, si es programada, e informal si es espontánea (Ministerio de Educación Nacional de Colombia, 2017).

### ***Evaluación cuantitativa***

Esta evaluación se compone de la suma de valoraciones cuantitativas realizadas durante un proceso académico. Estos determinan el grado de cumplimiento de los objetivos de enseñanza y permite otorgar calificaciones al estudiante (M. Sánchez, 2018).

### ***Evaluación con referencia a norma o relativa***

En esta evaluación, los resultados son descritos en términos del desempeño del grupo y de la posición relativa de cada estudiante evaluado. Permite hacer listados de puntaje y rendimiento en cada grupo evaluado. La puntuación obtenida por cada estudiante es determinada en relación al rendimiento general del grupo (Linn & Miller, 2014).

### ***Evaluación con referencia a criterio o absoluta***

Esta evaluación describe el resultado encontrado en función de criterios o metas preestablecidas. Este método compara el desempeño del estudiante con relación a un nivel establecido previamente.

Este método exige que la dificultad de los exámenes debe calibrarse para plantear metas de evaluación congruentes con la realidad. Esto permite desentenderse de calificaciones, pues no es importante la cantidad de estudiantes que hayan logrado los objetivos, sino la confirmación de que estos se hayan logrado (M. Sánchez, 2018).

La evaluación con referencia a criterios surgió a partir de la tecnología educativa, equiparando el proceso de aprendizaje con un sistema. Esta evaluación tiene tres componentes básicos:

- **Entradas:** Corresponden a la especificación de los objetivos.
- **Procesos:** Corresponde a las instrucciones.

- **Salidas:** Corresponden a la evaluación

Esta metodología no descarta que si no todos los estudiantes alcanzan el objetivo planteado simultáneamente, estos puedan alcanzarlo en un tiempo determinado con un seguimiento dado (Peñuela & López, 2013).

### 3 Diseño Metodológico

#### 3.1 Tipo y enfoque de la investigación

La presente investigación es de tipo empírico-analítico, pues un planteamiento teórico dará desarrollo a un modelo de entrenamiento auditivo integral para ingenieros de sonido. Adicionalmente, emplea una metodología cuantitativa para la recopilación de datos que permitirá hacer un análisis estadístico de los mismos. Los resultados se tomarán como respaldo para la composición de las conclusiones generales de la investigación.

#### 3.2 Diseño

Se utilizó un diseño de investigación de tipo experimental. El diseño incluye dos grupos: Un grupo experimental  $G_1$  (Grupo 1), el cual recibe un tratamiento experimental  $X$  (Entrenamiento auditivo con la aplicación web), y un grupo de control  $G_2$  (Grupo 2) que no lo recibe. Para determinar los efectos de las condiciones experimentales; en este caso el desarrollo de habilidades de escucha crítica; y realizar el análisis estadístico pertinente, se aplicará una posprueba  $O$  a cada grupo.

$RG_1$	$X$	$O_1$
$RG_2$	—	$O_2$

*Figura 6. Diagrama de diseño con posprueba únicamente y grupo de control. Recuperado de (Hernández et al., 2014)*

### 3.3 Participantes

A través de un muestreo no probabilístico (Hernández et al., 2014), participaron 41 estudiantes del programa de Ingeniería de Sonido de la Universidad de San Buenaventura, sede Bogotá: 36 hombres (16-23 años) y 5 mujeres (17-21).

La selección de estos estudiantes estuvo condicionada por su asistencia al curso ‘Entrenamiento Auditivo’ correspondiente al segundo semestre del plan de estudios del programa, y su permanencia en el mismo durante la séptima semana del semestre académico.

Una población de veinticinco estudiantes cursó la asignatura durante el segundo semestre académico del 2019 y otra de dieciséis estudiantes durante el primer semestre académico del 2020. La primera población corresponde al grupo que recibió el tratamiento experimental  $X$ , el cual será denominado  $G_1$  (Grupo 1), y la segunda a un grupo de control que será denominado  $G_2$  (Grupo 2). Para igualar el tamaño de las poblaciones se realizó una selección aleatoria de 16 individuos de  $G_1$ .

En la séptima semana del segundo semestre académico del 2019, el coautor de la presente investigación Ismael López hizo un acercamiento *vía* teleconferencia al  $G_1$  en el que informó a la población que sería partícipe de esta investigación bajo el consentimiento de la maestra Andrea Landínez, docente encargada del curso.

En la octava semana del primer semestre académico del 2020, el ingeniero Miguel Ángel Olivares, asesor de la presente investigación hizo un acercamiento *vía* teleconferencia al  $G_2$  en el que informó a la población su participación en la prueba  $O_2$ .

A pesar de ser poblaciones con un reducido número de muestras, ambos grupos son interpretados como poblaciones independientes, pues se les aplicó el estudio en tiempos cronológicos diferentes.

El registro en la base de datos de la aplicación web tuvo un apartado de Términos y Condiciones, donde se presentó un consentimiento informado que proporcionó al usuario información sobre los objetivos de la investigación, la ausencia de riesgos a la integridad del participante y el anonimato de los resultados obtenidos. Los individuos del  $G_2$  llenaron una casilla de verificación como aceptación de su participación en la investigación y aprobación del uso de los datos recopilados para los fines de esta (ver Anexo D). Los individuos del  $G_1$ , por el contrario, recibieron la misma información en un documento físico, el cual fue firmado para dar la misma constancia de aprobación (ver Anexo D).

### 3.4 Instrumento

El proyecto requirió de tres elementos para la recolección de datos: la aplicación web de entrenamiento auditivo, el desarrollo de la Posprueba 0 y una base de datos.

#### *Aplicación web de entrenamiento auditivo*

La aplicación web de entrenamiento auditivo contó con tres módulos de entrenamiento (dinámica, frecuencia y localización en el eje horizontal). Esta aplicación permitió que la población hiciera un entrenamiento auditivo durante siete semanas como complemento al curso ‘Entrenamiento Auditivo’.

#### *Posprueba 0*

La posprueba 0 fue presentada como un módulo adicional de la aplicación web. Esta prueba se realizó al finalizar el entrenamiento auditivo. Consistió en una prueba de treinta preguntas de opción múltiple con única respuesta, de las cuales diez preguntas correspondían a cada módulo de entrenamiento (dinámica, frecuencia y localización en el eje horizontal). La administración de preguntas fue aleatoria, con la restricción de que no se repitieran más de una vez consecutivamente. Sin embargo, las opciones de respuesta fueron constantes. Cabe resaltar que las opciones de respuesta del módulo de frecuencia se limitaron a las frecuencias por banda de octava y tercio de octava estandarizadas por la *International Organization for Standardization (ISO)* (Bassett, 2018)

Se aplicó la metodología de entrenamiento auditivo de identificación absoluta (como se explica en el apartado 2.4), como método de evaluación de cada módulo. En esta posprueba no hubo retroalimentación al individuo de resultados de respuesta (correcta o incorrecta).

Las preguntas eran administradas de manera aleatoria. El total de opciones de respuesta de cada módulo fue el siguiente:

- **Módulo de entrenamiento en dinámica:** 5 opciones de respuesta
- **Módulo de entrenamiento en frecuencia:** 6 opciones de respuesta
- **Módulo de entrenamiento en localización en el eje horizontal:** 8 opciones de respuesta

Antes de iniciar la evaluación de cada módulo se presentó un simulacro de tres preguntas, a manera de explicación para que el participante entendiera el funcionamiento de elección de respuesta para cada módulo de la prueba. Cuando la tercera pregunta de esta simulación fuera respondida, se informaría al individuo que no habría retroalimentación del resultado de su respuesta durante la prueba.

La prueba inició con el módulo de dinámica, continuó al módulo de frecuencia y finalizó con el módulo de localización en el eje horizontal. Al finalizar la prueba de cada módulo, la prueba siguiente inició inmediatamente. Al concluir la prueba, se le informó al individuo que había finalizado la aplicación.

### ***Base de datos***

Por medio de un consentimiento informado se expresó a los participantes que sus resultados serían anónimos y solo serían utilizados para llevar a cabo la presente investigación. Se llevó registro de los datos recopilados en la posprueba mediante una base de datos conectada a la aplicación web. En esta base de datos se registró la siguiente información:

1. Código de usuario (asignado por los investigadores)
2. Total de respuestas correctas e incorrectas para cada módulo evaluado
3. Tiempo total de la prueba para cada módulo evaluado (en minutos)

### **3.5 Procedimiento**

#### ***Tratamiento experimental X***

A partir de la octava semana del segundo semestre académico del 2019, el coautor de la presente investigación Ismael López estuvo presente en el Laboratorio de Preproducción del Edificio Guillermo de Ockham de la Universidad de San Buenaventura, sede Bogotá durante siete sesiones del curso ‘Entrenamiento Auditivo’ como supervisor del proceso de acumulación de datos.

Durante los últimos 15 minutos de siete sesiones del curso ‘Entrenamiento Auditivo’, el  $G_1$  hizo uso de la aplicación web de entrenamiento auditivo técnico. En esta aplicación se realizó un entrenamiento total de 5 minutos en el módulo de entrenamiento en dinámica, 5 minutos en el módulo de entrenamiento en frecuencia y 5 minutos en el módulo de localización en el eje horizontal. Este tiempo fue cronometrado por el supervisor. En caso de que un individuo del  $G_1$  no completara el ejercicio de entrenamiento cuando el tiempo de entrenamiento terminara, sus datos acumulados serían registrados al salir del módulo de entrenamiento.

Algunos individuos hicieron uso de la aplicación voluntariamente como actividad extracurricular, y no se tuvo control del tiempo de entrenamiento realizado en cada módulo de entrenamiento.

En los tres módulos se aplicaron las metodologías de entrenamiento auditivo de identificación absoluta y comparación activa y pasiva mencionados anteriormente. Siguiendo el orden de dificultad sugerido por los autores, el entrenamiento inició con el implemento de las metodologías de entrenamiento de comparación, alternando semanalmente con entrenamiento de identificación absoluta. Adicionalmente, el aumento de dificultad de estos módulos se reguló por la cantidad de opciones de respuesta posibles, manejando un aumento gradual de dos opciones.

Los entrenamientos tuvieron un mínimo de 10 preguntas. Este número aumentó en la unidad con cada respuesta incorrecta. El individuo del  $G_1$  debió responder correctamente el 80% del total de preguntas para dar finalización al entrenamiento.

El módulo informó al individuo del  $G_1$  el resultado de sus respuestas (correcto o incorrecto) durante el entrenamiento, el total de preguntas, total de respuestas correctas e incorrectas y el porcentaje de respuestas correctas.

### ***Posprueba 0***

En la décima-quinta semana del segundo semestre académico del 2019, durante la penúltima sesión del curso ‘Entrenamiento Auditivo’ se realizó una posprueba  $0_1$  para determinar el efecto de la aplicación de entrenamiento auditivo en las habilidades de escucha crítica del  $G_1$ .

En la octava semana del primer semestre académico del 2020, el  $G_2$  realizó la posprueba  $0_2$ .

Se realizaron dos análisis estadísticos: descriptivo e inferencial. El análisis descriptivo realizado constó de una prueba  $t$  de Student para muestras independientes, a través del software de

análisis estadístico *SPSS* (Statistical Package for the Social Sciences) *Statistics* desarrollado por la *IBM*. Por otro lado, el análisis estadístico inferencial se realizó a través del software abierto de análisis estadístico *R* y su complemento *RStudio*. Este software permitió hacer el análisis de varianza ANOVA, la prueba de Levene para evaluar la homogeneidad de las varianzas y la prueba de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad de los resultados.

## 4 Desarrollo Ingenieril

### 4.1 Requerimientos funcionales

A través de un estudio detallado de la teoría propuesta por los autores Jason Corey, René Quesnel, Zhi Liu y Mark Bassett, sobre las metodologías de entrenamiento auditivo por identificación absoluta, comparación activa y comparación pasiva, la implementación de estas en herramientas asistidas por computadora y su correcta aplicación en programas académicos orientados al sonido, audio y música; se determinaron los requerimientos funcionales básicos para el diseño y desarrollo de la aplicación web.

Continuamente, se hizo un acercamiento a varias aplicaciones de entrenamiento auditivo gratuitas y por suscripción existentes, tales como *Train Your Ears*; *SoundGym*; *Technical Ear Trainer*; *iZotope Pro Audio Essentials*; *SAE Parametric Equaliser Training*; entre otros, que emplearan al menos una metodología de entrenamiento auditivo, con el fin de evidenciar su funcionamiento y determinar requisitos funcionales más específicos. Asimismo, con este acercamiento se logró determinar qué elementos informativos y dinámicos serían requeridos para garantizar que el usuario recibiera la información correcta, tuviera retroalimentación de su interacción con los elementos de la interfaz gráfica y pudiera navegar en ella de forma organizada; así como también permitió determinar de qué elementos prescindir en el diseño.

#### *Método de Identificación Absoluta*

- La interfaz gráfica debe imprimir el nombre del módulo de entrenamiento que se está trabajando.

- La interfaz gráfica debe permitir seleccionar la reproducción del audio de referencia por medio de un objeto.<sup>1</sup>
- El software debe permitir la reproducción de audios.<sup>2</sup>
- El software debe permitir la reproducción del audio de referencia tantas veces el usuario interactúe con el objeto encargado de la reproducción.<sup>3</sup>
- El software debe incluir un banco de audios para generar las preguntas.
- La interfaz gráfica debe permitir generar una nueva pregunta por medio de un objeto
- El software debe seleccionar aleatoriamente un audio de referencia al generar una nueva pregunta del entrenamiento.
- El software no debe repetir más de 2 veces consecutivas la pregunta aleatoria.
- La interfaz gráfica debe presentar al usuario las opciones de respuesta de tipo opción múltiple con única respuesta.
- La interfaz gráfica debe permitir seleccionar la respuesta por medio de un objeto.
- La interfaz gráfica debe permitir enviar la respuesta por medio de un objeto.
- El software debe comparar la pregunta con la opción de respuesta.
- La interfaz debe imprimir un mensaje de resultado (correcta o incorrecta) de las respuestas.
- La interfaz gráfica debe indicar la respuesta correcta y la opción de respuesta enviada.
- El software debe permitir reproducir el audio de referencia cuando la respuesta correcta y la opción de respuesta enviada hayan sido señaladas.
- La interfaz gráfica debe imprimir el total de preguntas, respuestas correctas, respuestas incorrectas y porcentaje de aciertos.
- El software debe finalizar el entrenamiento cuando el total de respuestas correctas sea equivalente al 80% del total de preguntas.
- La interfaz gráfica debe tener un objeto que permita al usuario salir del módulo de entrenamiento cuando lo desee.

<sup>1</sup> En caso de requerirse, el software también debe permitir la reproducción del audio de referencia sin procesamiento por medio de un objeto.

<sup>2</sup> En caso de requerirse, el software debe permitir la pausa de audios. La interfaz gráfica debe permitir seleccionar la la pausa del audio de referencia por medio de un objeto.

<sup>3</sup> En caso de requerirse, el software también debe permitir reproducción del audio de referencia sin procesamiento tantas veces el usuario interactúe con el objeto encargado de la reproducción.

- El software debe registrar los datos de tiempo de entrenamiento, respuestas correctas y respuestas incorrectas.

### *Método de Comparación Activa*

- La interfaz gráfica debe imprimir el nombre del módulo de entrenamiento que se está trabajando.
- La interfaz gráfica debe permitir seleccionar la reproducción del audio de referencia o el audio de comparación por medio de un objeto.
- El software debe permitir la reproducción de audios.<sup>4</sup>
- El software debe permitir alternar la reproducción del audio de referencia y de comparación en tiempo real.
- El software debe permitir alternar la reproducción entre el audio de referencia y de comparación tantas veces el usuario interactúe con los objetos encargados de la reproducción.
- El software debe restringir la reproducción del audio de comparación cuando el audio de referencia es reproducido, y viceversa.
- La interfaz debe permitir la modificación del audio de comparación por medio de un objeto.<sup>5</sup>
- El software debe realizar las modificaciones del audio de comparación en tiempo real.
- El software debe incluir un banco de audios para generar las preguntas.
- El software debe seleccionar aleatoriamente un audio de referencia al generar una nueva pregunta del entrenamiento.
- El software no debe repetir más de 2 veces consecutivas la pregunta aleatoria.
- La interfaz gráfica debe presentar al usuario las opciones de respuesta de tipo opción múltiple con única respuesta.
- El software debe permitir la selección de solo una respuesta.
- La interfaz gráfica debe permitir seleccionar la respuesta por medio de un objeto.

<sup>4</sup> En caso de requerirse, el software debe permitir la pausa de audios. La interfaz gráfica debe permitir seleccionar la pausa del audio de referencia por medio de un objeto.

<sup>5</sup> Cambio del parámetro según el módulo de entrenamiento

- La interfaz gráfica debe indicar la respuesta correcta y la opción de respuesta enviada.
- El software debe permitir reproducir el audio de referencia cuando la respuesta correcta y la opción de respuesta enviada hayan sido señaladas.
- La interfaz gráfica debe imprimir el total de preguntas, respuestas correctas, respuestas incorrectas y porcentaje de aciertos.
- La interfaz gráfica debe tener un objeto que permita al usuario salir del módulo de entrenamiento cuando lo desee.
- El software debe finalizar el entrenamiento cuando el total de respuestas correctas sea equivalente al 80% del total de preguntas.
- El software debe registrar los datos de tiempo de entrenamiento, respuestas correctas y respuestas incorrectas.

### ***Método de Comparación Pasiva***

- La interfaz gráfica debe imprimir el nombre del módulo de entrenamiento que se está trabajando.
- La interfaz gráfica debe imprimir preguntas orientadas a la comparación de los audios de comparación con el de referencia. Ejemplo: “Con respecto al audio de referencia ¿cuál audio de comparación tiene mayor nivel de intensidad?”
- La interfaz gráfica debe permitir seleccionar la reproducción del audio de referencia y los audios de comparación por medio de un objeto.
- El software debe permitir la reproducción de audios.
- El software debe permitir la reproducción del audio de referencia y los de comparación tantas veces el usuario interactúe con el objeto encargado de la reproducción.
- El software debe incluir un banco de audios para generar las preguntas.
- La interfaz gráfica debe permitir generar una nueva pregunta por medio de un objeto
- El software debe seleccionar aleatoriamente un audio de referencia al generar una nueva pregunta del entrenamiento.
- El software no debe repetir más de 2 veces consecutivas la pregunta aleatoria.
- La interfaz gráfica debe presentar al usuario las opciones de respuesta de tipo opción múltiple con única respuesta.

- La interfaz gráfica debe permitir seleccionar la respuesta por medio de un objeto.
- La interfaz gráfica debe permitir enviar la respuesta por medio de un objeto.
- El software debe comparar la pregunta con la opción de respuesta.
- La interfaz debe imprimir un mensaje de resultado (correcta o incorrecta) de las respuestas.
- La interfaz gráfica debe indicar la respuesta correcta y la opción de respuesta enviada.
- El software debe permitir reproducir el audio de referencia cuando la respuesta correcta y la opción de respuesta enviada hayan sido señaladas.
- La interfaz gráfica debe imprimir el total de preguntas, respuestas correctas, respuestas incorrectas y porcentaje de aciertos.
- La interfaz gráfica debe tener un objeto que permita al usuario salir del módulo de entrenamiento cuando lo desee.
- El software debe finalizar el entrenamiento cuando el total de respuestas correctas sea equivalente al 80% del total de preguntas.
- El software debe registrar los datos de tiempo de entrenamiento, respuestas correctas y respuestas incorrectas.

Desarrollar un aplicativo web haciendo uso de la metodología scrum, que implemente entrenamiento de habilidades de escucha crítica en reconocimiento de frecuencias, cambios de dinámica y localización espacial en el eje horizontal.

## **4.2 Metodología Scrum**

Haciendo uso de la metodología scrum como herramienta de desarrollo de software, el proyecto fue dividido en tres etapas fundamentales.

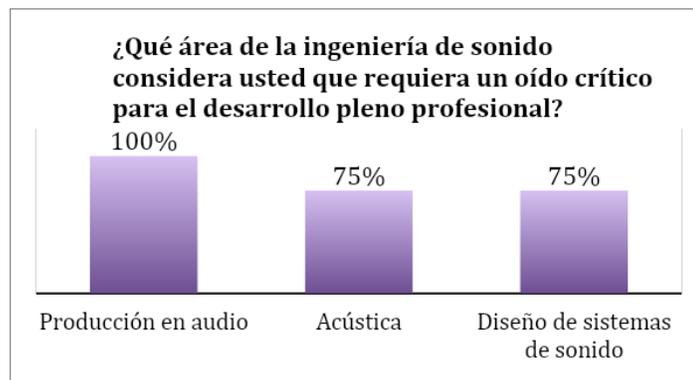


Figura 7. Etapas de desarrollo de software mediante el uso de la metodología Scrum de desarrollo ágil

### *Pregame*

Esta primera fase consistió en la elección de los módulos de entrenamiento, modelado de escenarios de uso e interfaz, y agendado de *sprints*.

**Elección de módulos de entrenamiento.** En primera instancia, se realizó un cuestionario a los docentes de la Universidad de San Buenaventura, sede Bogotá, para determinar qué área de la ingeniería de sonido requería un mayor desarrollo de un oído crítico, bajo su criterio profesional. Los resultados se muestran en la siguiente gráfica:



*Figura 8. Resultado de la pregunta: “¿Qué área de la ingeniería de sonido considera usted que requiera un oído crítico para el desarrollo pleno profesional?”, según los docentes del programa de ingeniería de sonido de la Universidad San Buenaventura*

Hubo cuestionamientos acerca de parámetros físicos orientados a estas áreas (ver Anexo A), en aras de determinar el enfoque de los módulos de entrenamiento. Finalmente, con los resultados del cuestionario, la referencia de los autores Jason Corey, Akira Nishimura y Fernando Ayelo, y los contenidos contemplados en el microcurrículo del curso ‘Entrenamiento Auditivo’, se tomó la decisión de delimitar el desarrollo de una aplicación web con tres módulos de entrenamiento frecuencia, dinámica y localización en el eje horizontal.

**Modelado de escenarios de uso e interfaz gráfica.** Continuamente se procedió a determinar el funcionamiento general del sistema. Se presentaron los casos de uso. Es importante tener en cuenta que el software se encuentra dividido por secciones de casos de uso, las cuales corresponden a: registro e ingreso, menú principal y funcionamiento general de los módulos de entrenamiento basados en los requerimientos funcionales del apartado 4.1.

*Registro e Ingreso.* El diagrama de caso de uso de la *Figura 9* presenta la interacción de los objetos de las secciones de registro de usuarios e ingreso a la plataforma.

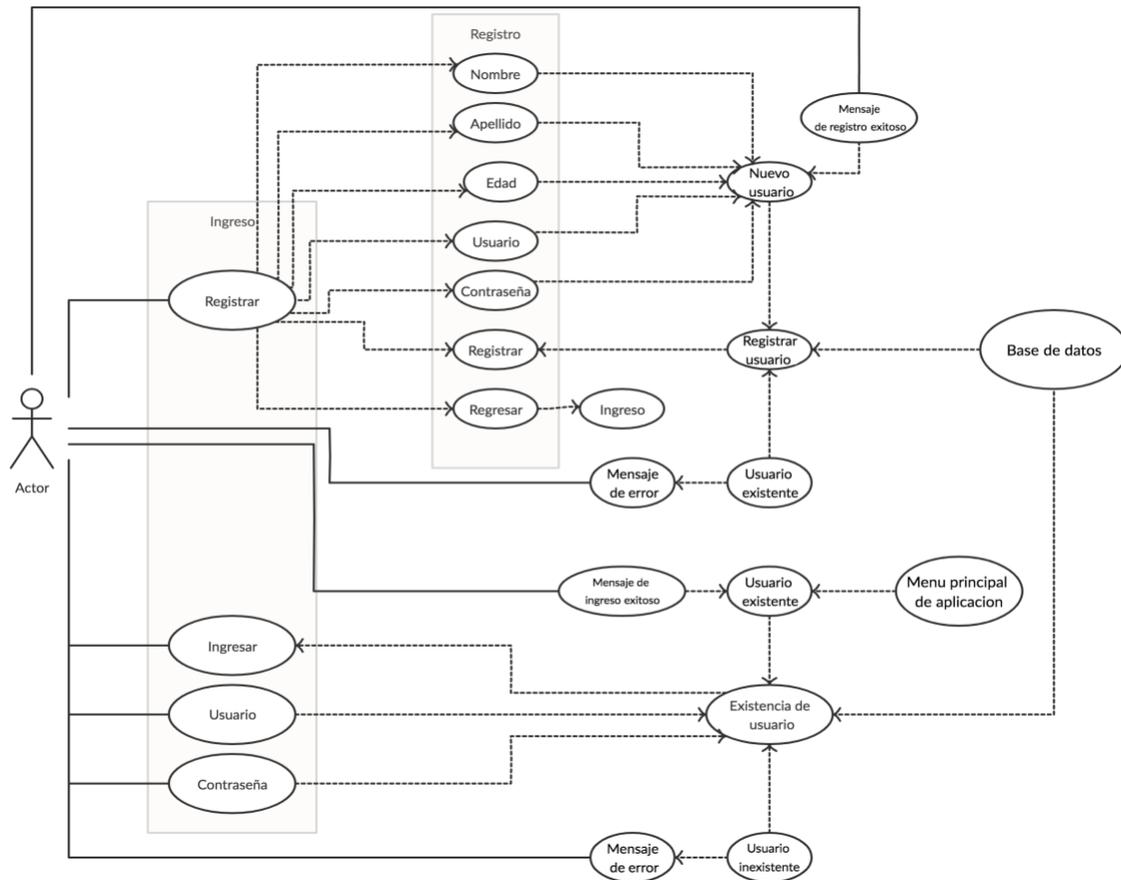


Figura 9. Diagrama de caso de uso de módulo de registro e ingreso

Tabla 2.

Opciones de módulo de registro e ingreso

Opción	Definición
Registrar <sup>6</sup>	Permite al usuario acceder al módulo de registro de nuevos usuarios.
Ingresar	Permite al usuario hacer el proceso de autenticación de nombre de usuario y contraseña para acceder a la aplicación
Usuario <sup>6</sup>	Permite al usuario digitar el nombre de usuario que ha registrado
Contraseña <sup>6</sup>	Permite al usuario digitar la contraseña de acceso que ha registrado con su nombre de

<sup>6</sup> Correspondiente al módulo de ingreso

---

	usuario.
Nombre	Permite al usuario digitar su nombre en el proceso de registro de nuevo usuario
Apellido	Permite al usuario digitar su apellido en el proceso de registro de nuevo usuario.
Edad	Permite al usuario digitar su edad en el proceso de registro de nuevo usuario.
Usuario <sup>7</sup>	Permite al usuario digitar su nombre de usuario en el proceso de registro de nuevo usuario.
Contraseña <sup>7</sup>	Permite al usuario digitar la contraseña de acceso a su cuenta en el proceso de registro de nuevo usuario.
Registrar <sup>7</sup>	Permite al usuario hacer el proceso de verificación de disponibilidad de nombre de usuario y contraseña para registrar un nuevo usuario.
Mensaje de registro exitoso	Indica al usuario que el usuario se ha registrado satisfactoriamente, al confirmar la disponibilidad del nombre de usuario y contraseña digitados.
Mensaje de ingreso exitoso	Indica al usuario que el usuario ha ingresado a la aplicación satisfactoriamente, al confirmar la existencia del nombre de usuario y contraseña digitados.
Mensaje de error	En el proceso de registro de usuario indica al usuario que el nombre de usuario digitado ya ha sido registrado y debe digitarse uno nuevo. En el proceso de ingreso a la aplicación indica que el usuario no ha sido registrado o que los datos ingresados (nombre de usuario y contraseña) han sido digitados incorrectamente.
Regresar	Permite que el usuario regrese al módulo de ingreso a la aplicación

---

*Menú principal.* El diagrama de caso de uso de la *Figura 10* presenta la interacción de los objetos del menú principal y los módulos de entrenamiento.

<sup>7</sup> Correspondiente al módulo de ingreso

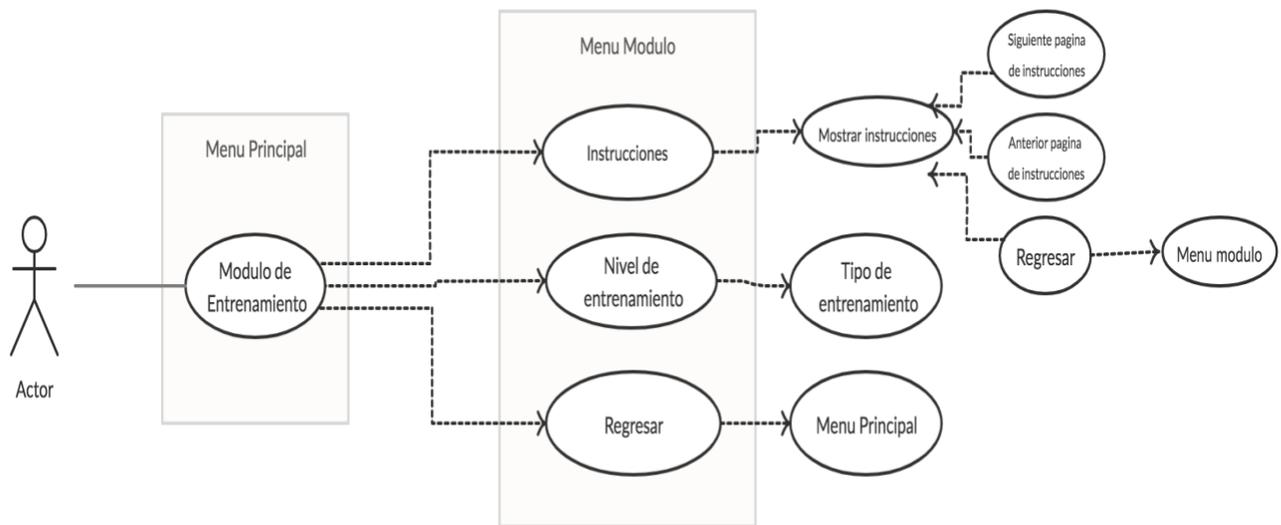


Figura 10. Diagrama de caso de uso del menú principal

Tabla 3.

Opciones de menú principal

Opción	Definición
Módulo de entrenamientos	Permite ingresar al menú del módulo de entrenamiento
Instrucciones	Permite ver una guía instructiva del funcionamiento del módulo
Siguiete página de instrucciones	Permite pasar a la siguiete página de información de la guía instructiva del funcionamiento del módulo
Anterior página de instrucciones <sup>9</sup>	Permite pasar a la anterior página de información de la guía instructiva del funcionamiento del módulo
Nivel de entrenamiento	Permite que el usuario ingrese al entrenamiento auditivo, según el nivel de dificultad que seleccione

<sup>8</sup> Hay una opción de módulo de entrenamiento independiente para el módulo de dinámica, el módulo de frecuencia y el módulo de localización en el eje horizontal.

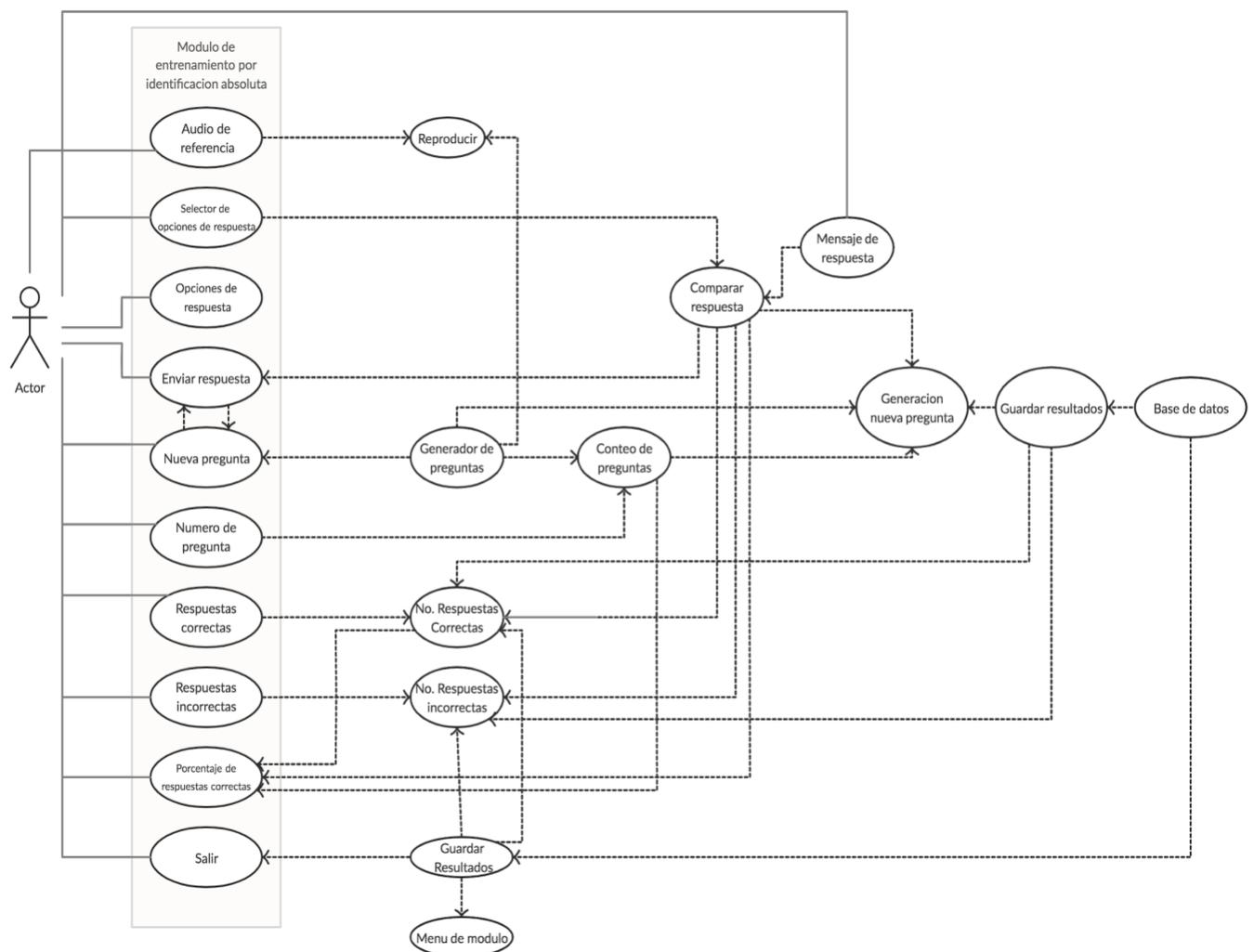
<sup>9</sup> No aplica cuando el usuario está en la primera página de la guía instructiva.

Regresar

Permite que el usuario regrese al menú del módulo anterior<sup>10</sup>

*Funcionamiento general de los módulos de entrenamiento.* Los diagramas presentados a continuación representan gráficamente el funcionamiento general de los módulos de entrenamiento, basados en los requerimientos funcionales demandados por las metodologías de entrenamiento auditivo. Se presentan en el siguiente orden:

- Método de entrenamiento de identificación absoluta



<sup>10</sup> Si el usuario está en la guía instructiva, regresa al menú del módulo de entrenamiento. Por otro lado, si el usuario está en el menú del módulo de entrenamiento, regresa al menú principal de la aplicación.

*Figura 11. Diagrama de caso de uso módulo de entrenamiento con método de entrenamiento de identificación absoluta*

*Tabla 4.*

*Opciones de módulo de entrenamiento con método de entrenamiento identificación absoluta*

<b>Opción</b>	<b>Definición</b>
Audio de referencia	Permite reproducir el audio de referencia.
Audio de comparación	Permite reproducir el audio de comparación. <sup>11</sup>
Selector de opciones de respuesta	Permite seleccionar la opción de respuesta a la pregunta que el usuario crea correcta.
Opciones de respuesta	Presenta al usuario las opciones de respuesta a la pregunta.
Enviar Respuesta	Permite enviar la respuesta seleccionada, realizar la comparación pregunta-respuesta y determinar el resultado de respuesta entre correcto e incorrecto. Muestra la opción Nueva pregunta.
Mensaje de respuesta	Indica al usuario el estado de su respuesta (correcta o incorrecta).
Nueva pregunta	Permite generar una nueva pregunta. Muestra la opción Enviar respuesta. pregunta.
Número de pregunta	Muestra al usuario la cantidad de preguntas que han sido generadas.
Respuestas correctas	Muestra al usuario la cantidad de respuestas correctas sumadas.
Respuestas incorrectas	Muestra al usuario la cantidad de respuestas incorrectas sumadas.
Porcentaje de respuestas correctas	Muestra al usuario el porcentaje de respuestas correctas sumadas.
Salir	Permite al usuario salir del módulo alternativamente y guardar los datos acumulados hasta el momento.

- Método de entrenamiento de comparación activa

<sup>11</sup> En el módulo de dinámica, este es el audio de referencia con un nivel de intensidad permanente, equivalente a 0 dB. Este audio sin procesamiento funciona como guía al usuario para determinar el nivel de intensidad del audio de referencia

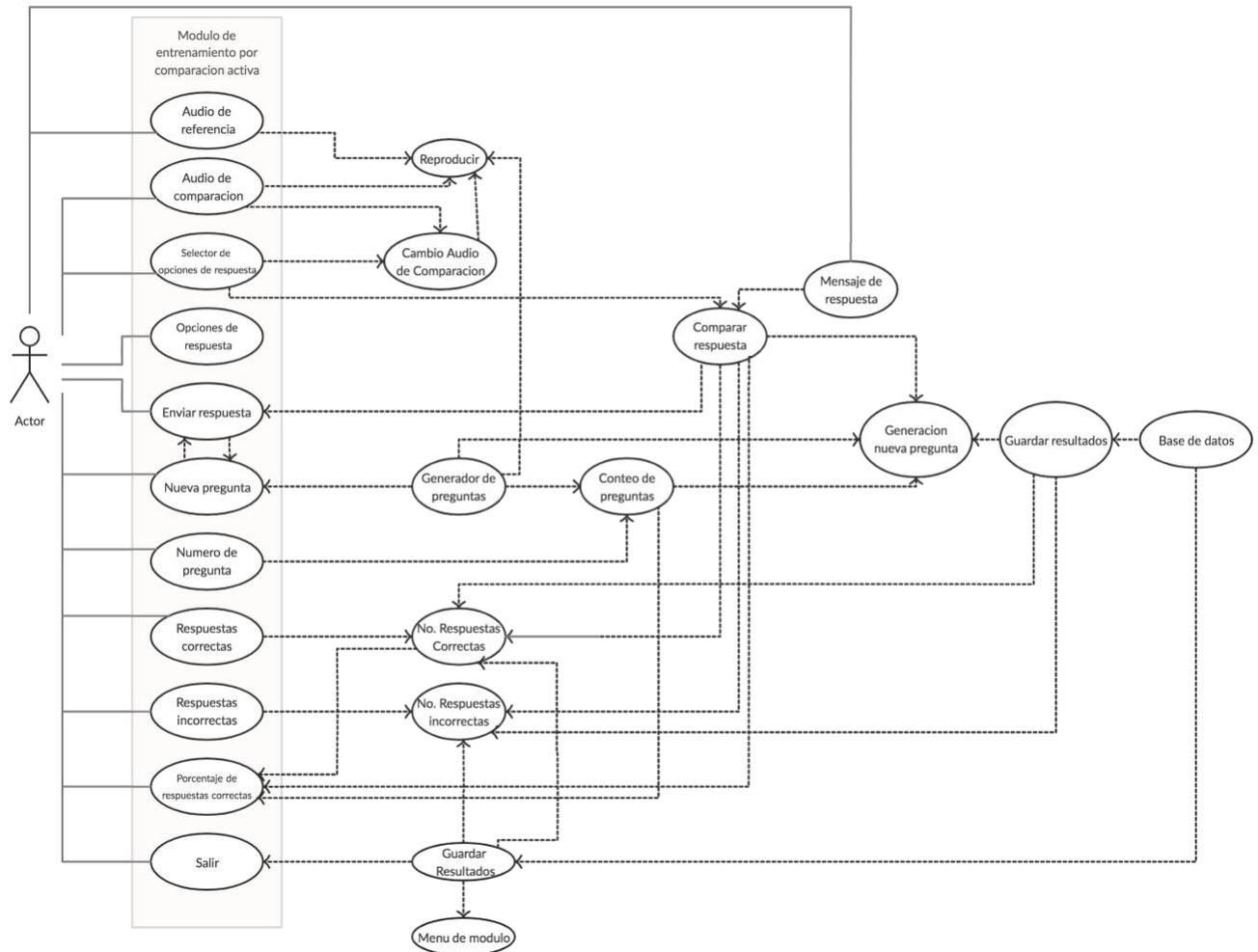


Figura 12. Diagrama de caso de uso módulo de entrenamiento con método de entrenamiento de comparación activa

Tabla 5.

Opciones de módulo de entrenamiento con método de entrenamiento de comparación activa

Opción	Definición
Audio de referencia	Permite reproducir el audio de referencia.
Audio de comparación	Permite reproducir el audio de comparación.
Selector de opciones de respuesta	Permite seleccionar la opción de respuesta a la pregunta que el usuario crea correcta. Permite modificar el audio de comparación.
Opciones de respuesta	Muestra al usuario cuales son las opciones de respuesta.

---

Enviar respuesta	Permite enviar la respuesta seleccionada, realizar la comparación. pregunta-respuesta y determinar el resultado de respuesta entre correcto e incorrecto. Muestra la opción Nueva pregunta.
Mensaje de respuesta	Indica al usuario el estado de su respuesta (correcta o incorrecta).
Nueva pregunta	Permite generar una nueva pregunta. Muestra la opción enviar respuesta.
Número de pregunta	Muestra al usuario la cantidad de preguntas que han sido generadas.
Respuestas correctas	Muestra al usuario la cantidad de respuestas correctas sumadas.
Respuestas incorrectas	Muestra al usuario la cantidad de respuestas incorrectas sumadas.
Porcentaje de respuestas correctas	Muestra al usuario el porcentaje de respuestas correctas sumado.
Salir	Permite al usuario salir del módulo alternativamente y guardar los datos acumulados hasta el momento.

---

- Método de entrenamiento de comparación pasiva

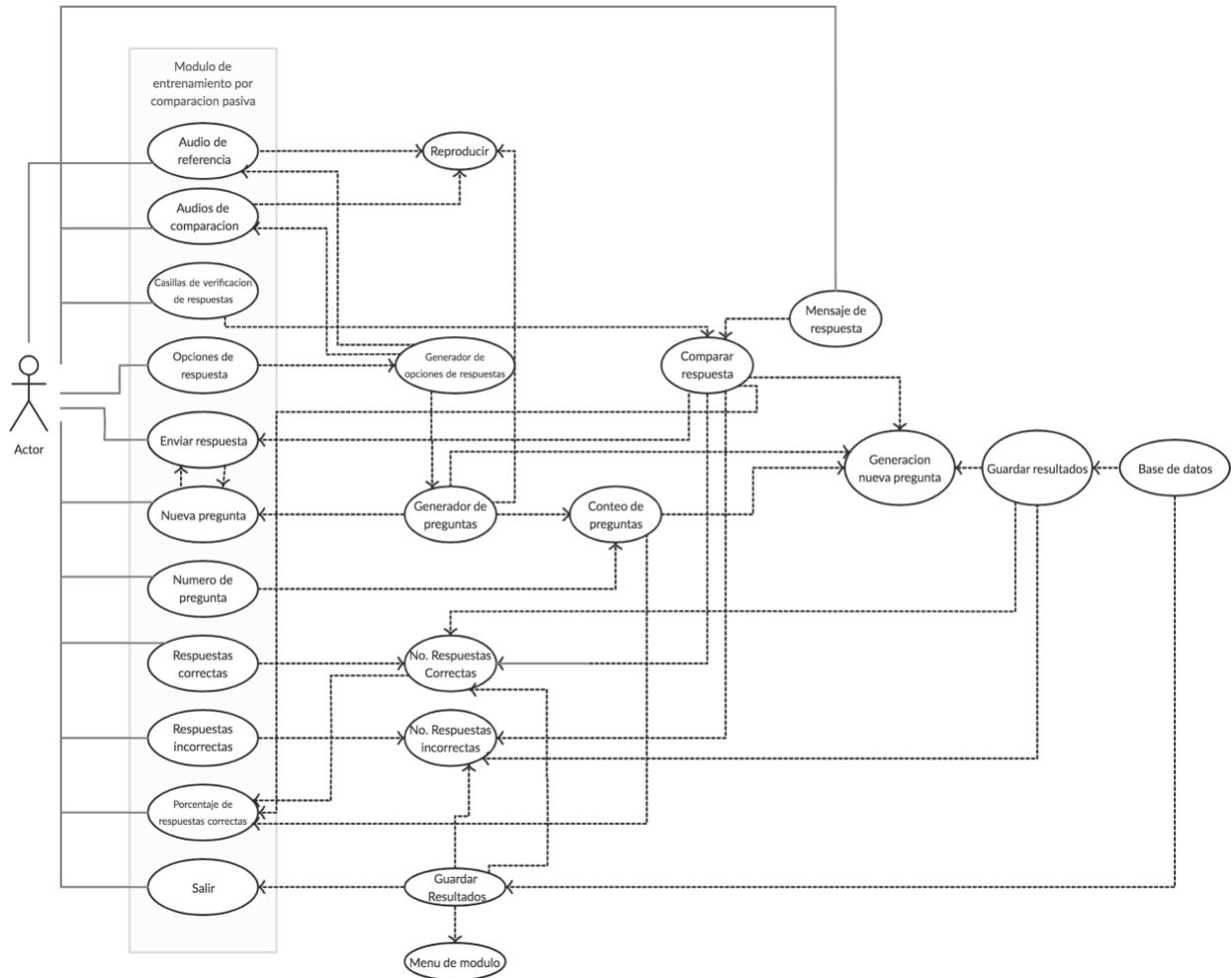


Figura 13. Diagrama de caso de uso módulo de entrenamiento con método de entrenamiento comparación pasiva

Tabla 6.

Opciones de módulo de entrenamiento con método de entrenamiento de comparación pasiva

Opción	Definición
Audio de referencia	Permite reproducir el audio de referencia.
Audios comparación	Permite reproducir los audios de comparación.
Casillas de verificación de respuesta	Permite seleccionar la opción de respuesta a la pregunta que el usuario crea correcta.
Opciones de respuesta	Muestra al usuario cuales son las opciones de respuesta.

Enviar respuesta	Permite enviar la respuesta seleccionada, realizar la comparación pregunta-respuesta y determinar el resultado de respuesta entre correcto e incorrecto. Muestra la opción Nueva pregunta.
Mensaje de respuesta	Indica al usuario si su respuesta fue correcta o incorrecta.
Nueva pregunta	Permite generar una nueva pregunta. Muestra la opción Enviar respuesta.
Número de pregunta	Muestra al usuario la cantidad de preguntas que han sido generadas.
Respuestas correctas	Muestra al usuario la cantidad de respuestas correctas sumadas.
Respuestas incorrectas	Muestra al usuario la cantidad de respuestas incorrectas sumadas.
Porcentaje de respuestas correctas	Muestra al usuario el porcentaje de respuestas correctas sumado.
Salir	Permite al usuario salir del módulo alternativamente y guardar los datos acumulados hasta el momento.

*Agendado de sprints.* En la *Tabla 7* se presenta el agendado de entrega de sprints durante las primeras siete semanas del segundo semestre académico del 2019, en relación con el miembro del team encargado de llevarla a cabo.

*Tabla 7.*

*Agendado de sprints.*

<b>Agendado de sprints - Segundo semestre académico 2019</b>		
<b>Semana</b>	<b><i>Sprint</i></b>	<b>Encargado</b>
Semana 1	Mock ups de interfaz gráfica	Ismael López
	Desarrollo registro e ingreso	Ismael López
Semana 2	Desarrollo de módulo de entrenamiento en frecuencia	Raúl Páez
	Evaluación de funcionamiento del módulo de entrenamiento en frecuencia	Ismael López
Semana 3	Desarrollo de módulo de entrenamiento en dinámica	Raúl Páez
	Evaluación de funcionamiento del módulo de entrenamiento en dinámica	Ismael López
Semana 4	Correcciones del módulo de entrenamiento en frecuencia	Raúl Páez
	Desarrollo de base de datos	Ismael López

Semana 5	Correcciones del módulo de entrenamiento en dinámica	Raúl Páez
	Conexión de base de datos y transferencia de datos de la aplicación	Ismael López
Semana 6	Desarrollo del módulo de entrenamiento de localización en el eje horizontal	Raúl Páez
	Correcciones del módulo de entrenamiento de localización en el eje horizontal	Ismael López
Semana 7	Integración de los módulos de entrenamiento y publicación del producto final	Ismael López y Raúl Páez

### **Game**

Esta segunda fase consistió en el desarrollo general de la aplicación web y la entrega progresiva de sprints orientados a la misma. Se realizó el diseño y creación de la interfaz gráfica de la aplicación. Posteriormente se realizó la programación y la documentación del funcionamiento de los módulos de entrenamiento. Se hizo conexión de la aplicación con una base de datos para el registro de datos acumulados, y finalmente se subió a un servidor web para garantizar su funcionamiento en línea. A través de la metodología scrum se logró hacer una depuración de los errores de navegabilidad diagnosticados durante la acumulación de datos, sin comprometer los datos obtenidos.

Cada etapa del mencionado procedimiento es presentada a continuación:

**Diseño y modelo de interfaz gráfica.** Debido a la búsqueda de que la aplicación tuviera una navegabilidad sencilla para el usuario, se hizo entrega de múltiples fotomontajes llamados *Mock Ups*. Estos permiten visualizar el diseño general antes de su finalización. La entrega de estos diseños permitió hacer la elección de colores de la aplicación, el logotipo de esta y la estructuración de la presentación inicial de la interfaz gráfica de los módulos de registro e ingreso, el menú principal de la aplicación, menú de cada módulo de entrenamiento y los módulos de instrucciones. (Ver *Figuras 14 – 21*)

La selección de colores y el contraste entre ellos permitió hacer una identificación de la jerarquía de los elementos de la interfaz gráfica. Esto garantiza que el usuario identifique qué elementos son interactivos y su relación con el resto de los elementos

visibles. Adicionalmente, se buscó que todos los elementos de la interfaz gráfica necesaria estuvieran debidamente etiquetados, en caso de que usuarios con daltonismo no pudieran identificarlos correctamente.

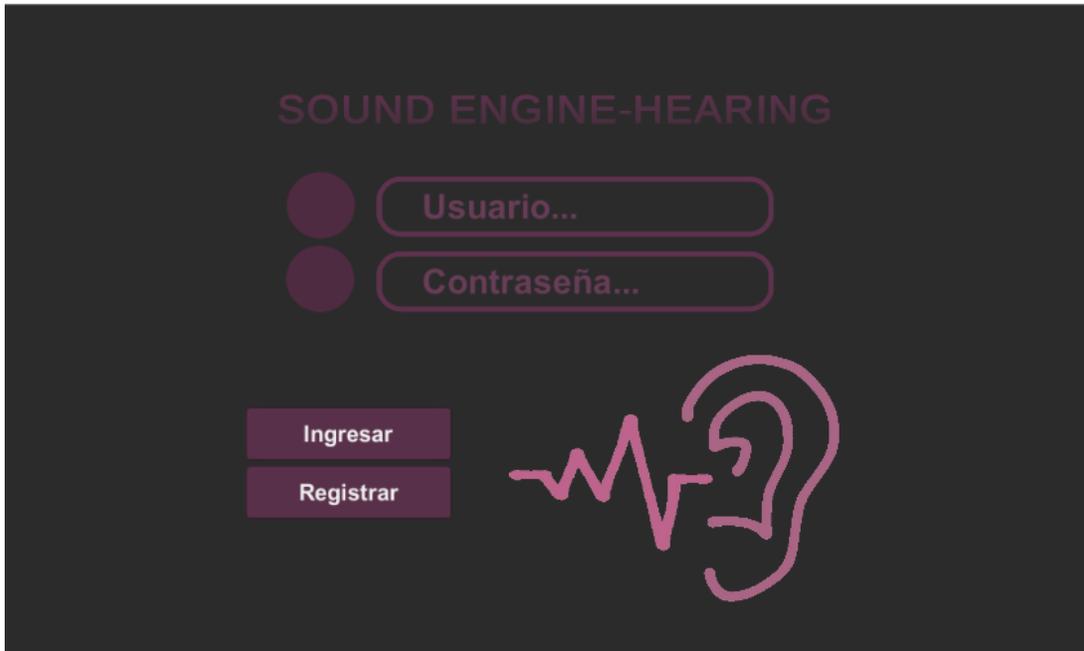


Figura 14. Diseño de interfaz gráfica de la aplicación web. Módulo de ingreso



Figura 15. Diseño de interfaz gráfica de la aplicación web. Módulo de registro



Figura 16. Diseño de interfaz gráfica de la aplicación web. Menú principal



Figura 17. Diseño de interfaz gráfica de la aplicación web. Menú del módulo de entrenamiento en frecuencia



Figura 18. Diseño de interfaz gráfica de la aplicación web. Menú del módulo de entrenamiento en dinámica

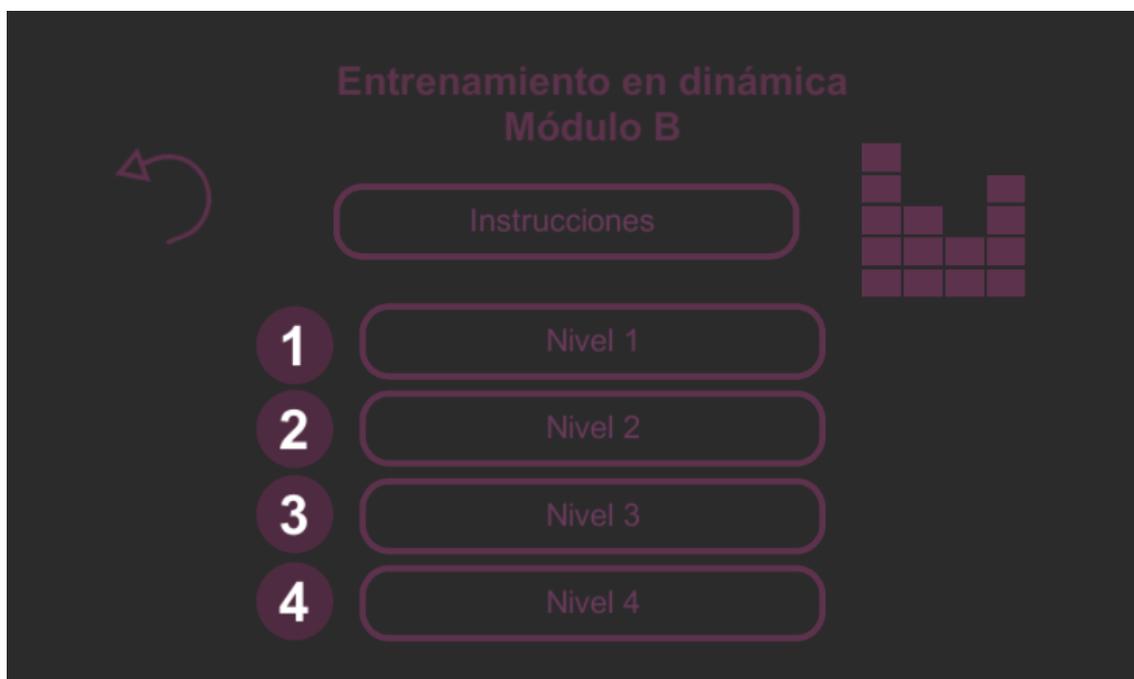


Figura 19. Diseño de interfaz gráfica de la aplicación web. Menú del módulo de entrenamiento en dinámica. Módulo B

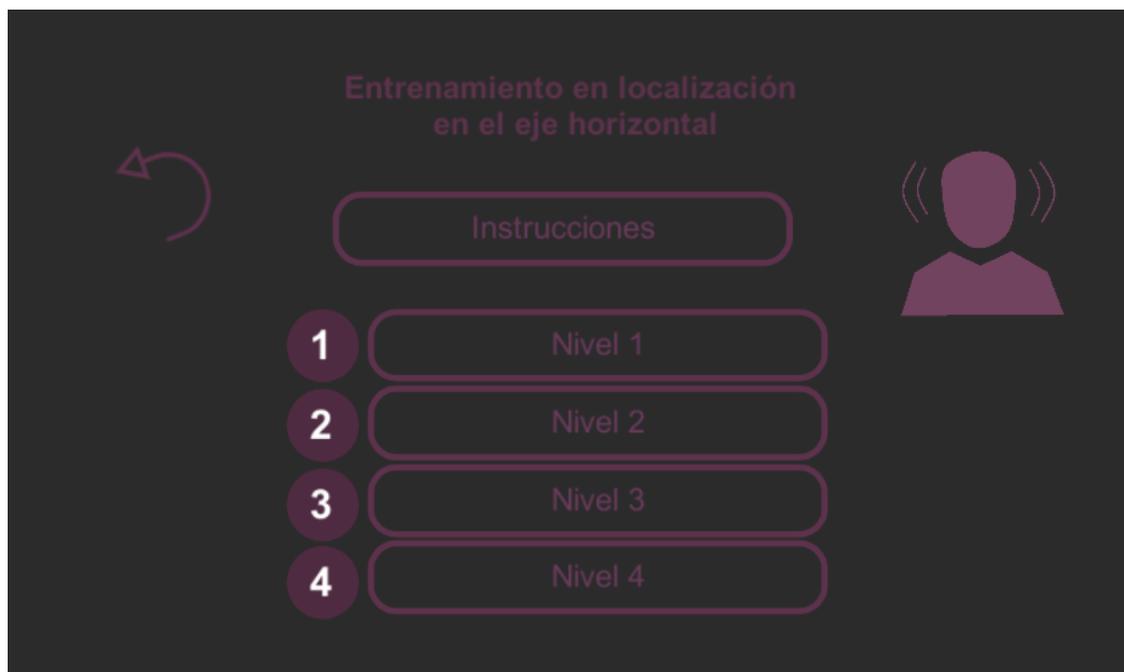


Figura 20. Diseño de interfaz gráfica de la aplicación web. Menú del módulo de entrenamiento en localización en el eje horizontal

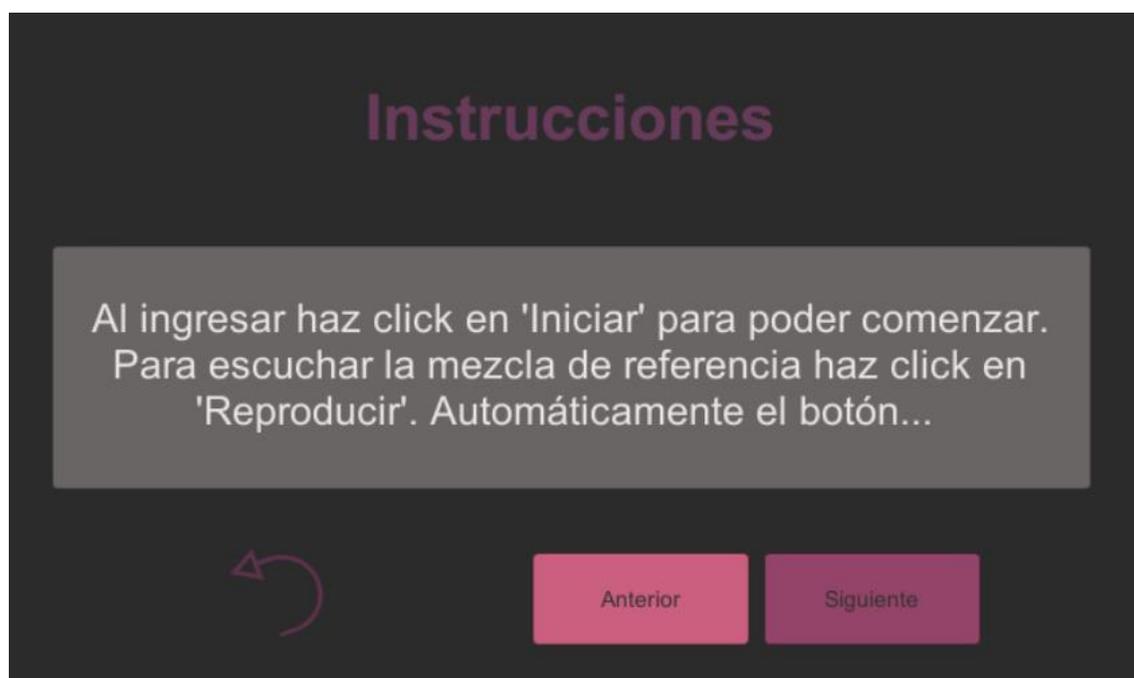


Figura 21. Diseño de interfaz gráfica de la aplicación web. Módulo de instrucciones

A partir de los requerimientos funcionales que se mencionan en el apartado 4.1 y los casos de uso del apartado 4.2, se llevó a cabo el diseño de la interfaz gráfica de los módulos de entrenamiento *per se*. Se realizó la elección y ubicación de los objetos que compondrán cada una de las secciones de la aplicación, y fueron agrupados según su función. Adicionalmente, cada mensaje informativo se ubicó conforme al flujo de movimiento del usuario sobre la interfaz, y se utilizó un código de colores en función de la información que contenga el mensaje.

***Documentación del funcionamiento de los módulos de entrenamiento.*** Una vez definidos los requerimientos funcionales, los casos de uso y la interfaz gráfica el siguiente paso consistió en realizar una documentación del funcionamiento de los módulos. A continuación, se presenta la definición del funcionamiento de los módulos:

*Módulo de entrenamiento en frecuencia.* Este módulo se desarrolló bajo el funcionamiento de los requerimientos funcionales de los métodos de comparación activa e identificación absoluta.

En el método de entrenamiento por comparación activa en la interfaz gráfica se le presenta al usuario:

1. Dos botones denominados *Freq A* (reproductor del audio de referencia) y *Freq B* (reproductor del audio de comparación) que el usuario puede alternar para reproducir un audio u otro.
2. Un *slider* con las opciones de respuesta al costado derecho, con el cual puede seleccionar la respuesta considere correcta. Este *slider* modifica la frecuencia que será reproducida por *Freq B* cada vez que el usuario tenga interacción con el objeto. Por otro lado, en el método de entrenamiento de identificación absoluta en la interfaz gráfica se le presenta al usuario:
3. Un botón denominado *Freq A* que el usuario utiliza para reproducir el sonido de referencia.

4. Un *slider* vertical con las opciones de respuesta al costado derecho, con el cual puede seleccionar la respuesta considere correcta. Este *slider* funciona exclusivamente para hacer la elección de la opción de respuesta.

Los requerimientos comunes entre ambos métodos de entrenamiento se presentan a continuación:

5. La interfaz gráfica imprime el nombre del módulo de entrenamiento
6. Se genera un tono puro de frecuencia<sup>12</sup> aleatoria con un segundo de duración asignado a Freq A. El valor de esta frecuencia se encuentra entre las opciones de respuesta presentadas al usuario.
7. El software restringe la reproducción del audio de comparación cuando el audio de referencia es reproducido, y viceversa.<sup>13</sup>
8. La interfaz gráfica indica la respuesta correcta y la opción de respuesta enviada.
9. El software permite reproducir el audio cuántas veces el usuario interactúe con el objeto encargado.
10. La interfaz gráfica permite generar una nueva pregunta por medio de un objeto.
11. El software no repite más de 2 veces consecutivas la pregunta aleatoria.
12. La interfaz gráfica presenta al usuario las opciones de respuesta de tipo opción múltiple con única respuesta.
13. La interfaz gráfica permite seleccionar la respuesta por medio de un objeto.
14. La interfaz gráfica permite enviar la respuesta por medio de un objeto.
15. El software compara la pregunta con la opción de respuesta.
16. La interfaz imprime un mensaje de resultado de las respuestas (correcta o incorrecta), con mensajes de felicitación o motivación y ánimo. <sup>14</sup>
17. La interfaz gráfica imprime el total de preguntas, respuestas correctas, respuestas incorrectas y porcentaje de aciertos.
18. El software permite reproducir el audio de referencia cuando la respuesta correcta y la opción de respuesta enviada hayan sido señaladas.

<sup>12</sup> Las frecuencias generadas se limitaron a frecuencias por banda de octava (63 Hz- 4000 Hz) y banda de tercio de octava (400 Hz - 3150), estandarizadas por la *ISO*.

<sup>13</sup> Para el caso del método de entrenamiento absoluto se selecciona únicamente el audio de referencia.

<sup>14</sup> El banco de mensajes de felicitación y motivación puede encontrarse en el Anexo B del presente documento.

19. La interfaz gráfica permite al usuario salir del módulo de entrenamiento cuando lo desee a través de un objeto.
20. La interfaz gráfica permite al usuario subir los resultados finales por medio de un objeto.

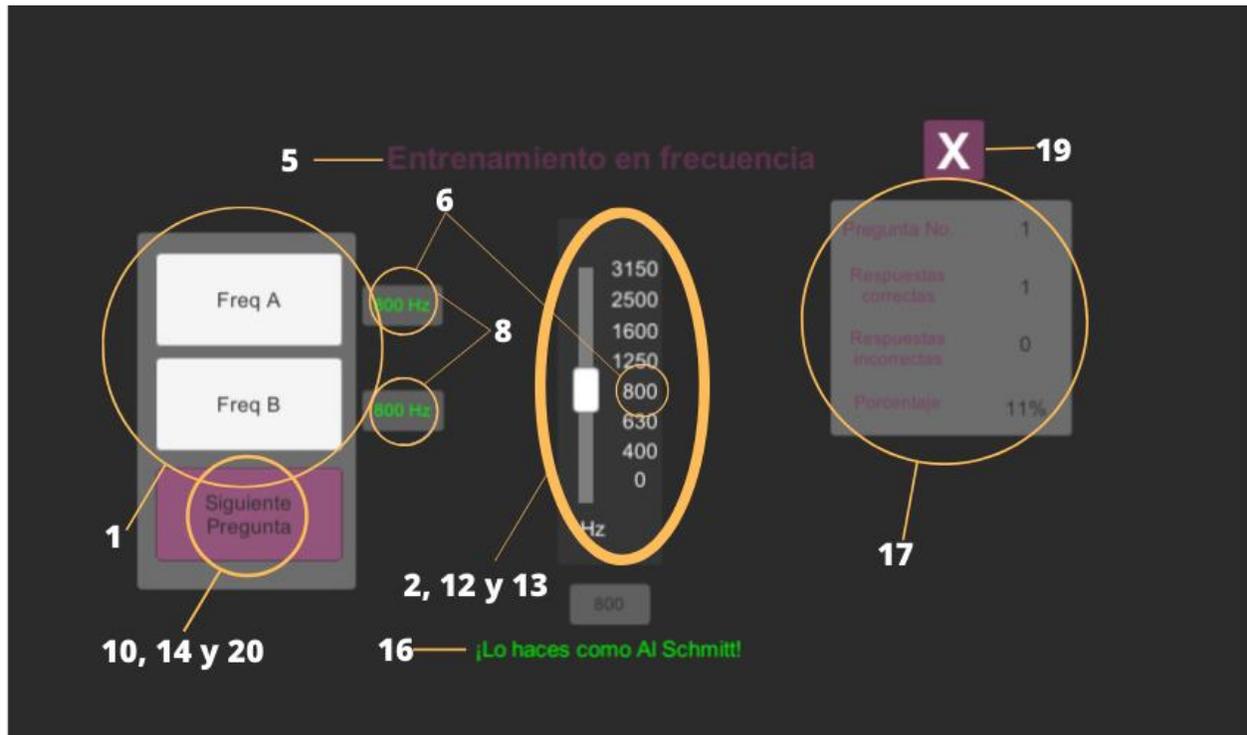


Figura 22. Diseño de interfaz gráfica de la aplicación web. Módulo de entrenamiento en frecuencia. Método de comparación activa

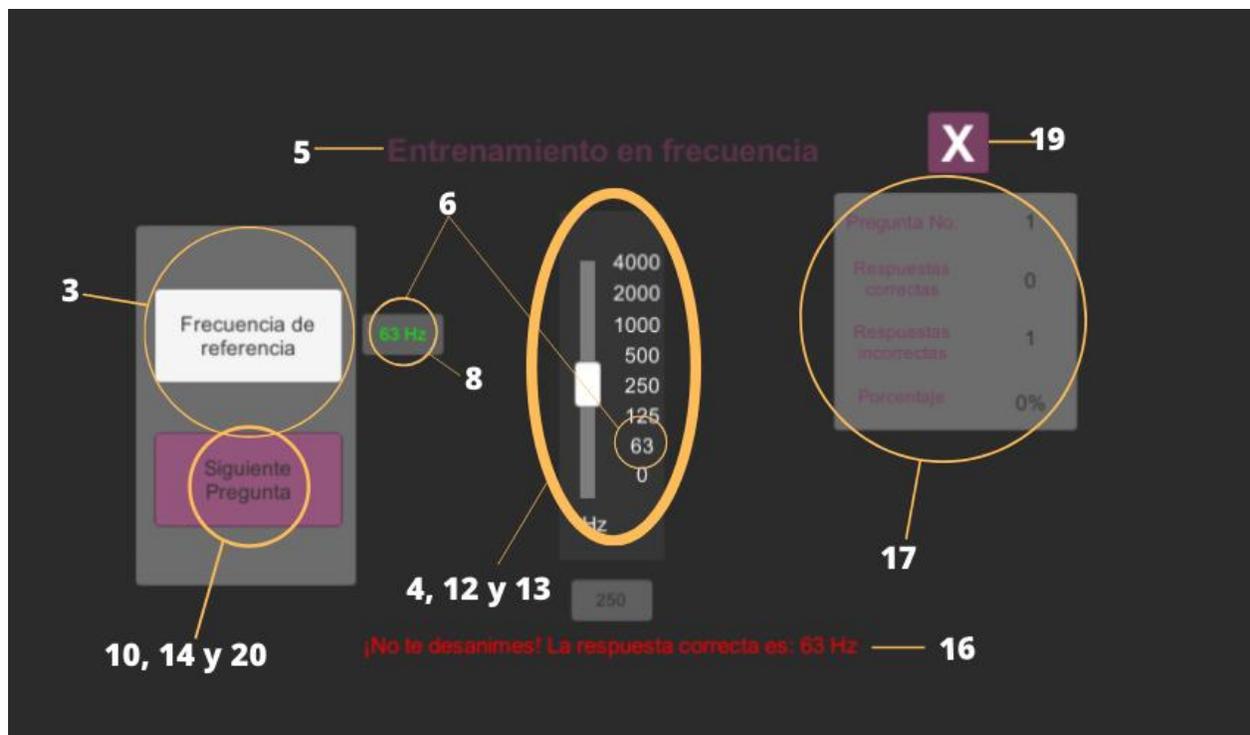


Figura 23. Diseño de interfaz gráfica de la aplicación web. Módulo de entrenamiento en frecuencia. Método de identificación absoluta

*Módulo de entrenamiento en dinámica.* El funcionamiento de este módulo se desarrolló bajo los requerimientos funcionales de los métodos de entrenamiento de comparación pasiva, comparación activa e identificación absoluta.

En el método de entrenamiento por comparación pasiva la interfaz presenta al usuario:

1. Tres botones denominados 'Referencia' (reproductor del audio de referencia), 'Audio A' y 'Audio B' (reproductores de sonidos de comparación).
2. Tres *toggles* para la selección de la opción de respuesta
3. Tres mensajes aleatorios correspondientes a las opciones de respuesta a la pregunta. Estas opciones relacionan el nivel de intensidad del audio reproducido en 'Audio A' y 'Audio B' con referencia al reproducido en 'Referencia'
4. Un botón denominado 'Sigüiente pregunta', encargado de renovar la pregunta aleatoria, las opciones de respuesta y desactivar los *toggles*.

El software genera un tono puro de frecuencia<sup>15</sup> aleatoria con un segundo de duración asignado a 'Referencia', 'Audio A' y 'Audio B'. El nivel de intensidad de los tonos puros reproducidos por cada botón es aleatorio.<sup>16</sup>

Por otro lado, en el método de entrenamiento por comparación activa, la interfaz presenta al usuario:

5. Dos botones denominados 'Mix A' (reproductor del audio de referencia) y 'Mix B' (reproductor del audio de comparación) que el usuario puede alternar para reproducir un audio u otro, con variaciones de nivel de intensidad en tiempo real.
6. Un *slider* vertical con las opciones de respuesta al costado derecho, con el cual puede seleccionar la respuesta considere correcta. Este slider modifica el nivel de intensidad del audio reproducido por 'Mix B' cada vez que el usuario tenga interacción con el objeto.
7. Un *dropdown* de múltiples opciones, correspondientes a géneros musicales. Según el género musical que se seleccione, se modificará el audio reproducido al interactuar con 'Mix A' y 'Mix B'.

Finalmente, en el método de entrenamiento de identificación absoluta, la interfaz gráfica presenta:

8. Un botón denominado 'Mix A' que el usuario utiliza para reproducir el sonido de referencia.
9. Un botón denominado 'Mix Guía (0 dB)' que reproduce el audio de referencia con un nivel de intensidad permanente, equivalente a 0 dB. Este botón es utilizado como guía para determinar el nivel de intensidad del audio reproducido por 'Mix A'.
10. Un *slider* con las opciones de respuesta al costado derecho, con el cual puede seleccionar la respuesta considere correcta. Este slider funciona exclusivamente para hacer la elección de la opción de respuesta.

<sup>15</sup> Las frecuencias generadas se limitaron a frecuencias por banda de octava (500 Hz- 2000 Hz), estandarizadas por la ISO.

<sup>16</sup> Los niveles de intensidad posibles son los siguientes: 5dB, 3dB, 1dB, 0dB, -1dB, -3dB y -5dB.

11. Un *dropdown* de múltiples opciones, correspondientes a géneros musicales. Según el género musical que se seleccione, se modificará el audio reproducido al interactuar con ‘*Mix A*’ y ‘*Mix Guía (0 dB)*’.

Los requerimientos comunes entre los dos últimos métodos de entrenamiento se presentan a continuación:

12. Un botón que reproduce o pausa un audio en bucle de un género musical al seleccionarlo en un *dropdown*.<sup>17</sup>
13. Se obtiene un nivel de intensidad<sup>18</sup> aleatoria asignada al audio en bucle reproducido en ‘*Mix A*’. El valor de este nivel de intensidad se encuentra entre las opciones de respuesta presentadas al usuario.
14. La interfaz gráfica indica la respuesta correcta y la opción de respuesta enviada.

Los requerimientos comunes entre todos los métodos de entrenamiento se presentan a continuación:

15. La interfaz gráfica imprime el nombre del módulo de entrenamiento.
16. El software restringe la reproducción del audio de comparación cuando el audio de referencia es reproducido, y viceversa.
17. El software permite reproducir el audio cuántas veces el usuario interactúe con el objeto encargado.
18. La interfaz gráfica permite generar una nueva pregunta por medio de un objeto.
19. El software no repite más de 2 veces consecutivas la pregunta aleatoria.
20. La interfaz gráfica presenta al usuario las opciones de respuesta de tipo opción múltiple con única respuesta.
21. La interfaz gráfica permite seleccionar la respuesta por medio de un objeto.
22. La interfaz gráfica permite enviar la respuesta por medio de un objeto.
23. El software compara la pregunta con la opción de respuesta.
24. La interfaz imprime un mensaje de resultado de las respuestas (correcta o incorrecta), con mensajes de felicitación o motivación y ánimo.

<sup>17</sup> Los géneros musicales utilizados son: funk, indie, rock, hip hop y reggae

<sup>18</sup> Los niveles de intensidad posibles se limitaron entre -12dB y 12dB, en intervalos de 3dB.

25. La interfaz gráfica imprime el total de preguntas, respuestas correctas, respuestas incorrectas y porcentaje de aciertos.
26. El software permite reproducir el audio de referencia cuando la respuesta correcta y la opción de respuesta enviada hayan sido señaladas.
27. La interfaz gráfica permite al usuario salir del módulo de entrenamiento cuando lo desee a través de un objeto.
28. La interfaz gráfica permite al usuario subir los resultados finales por medio de un objeto.

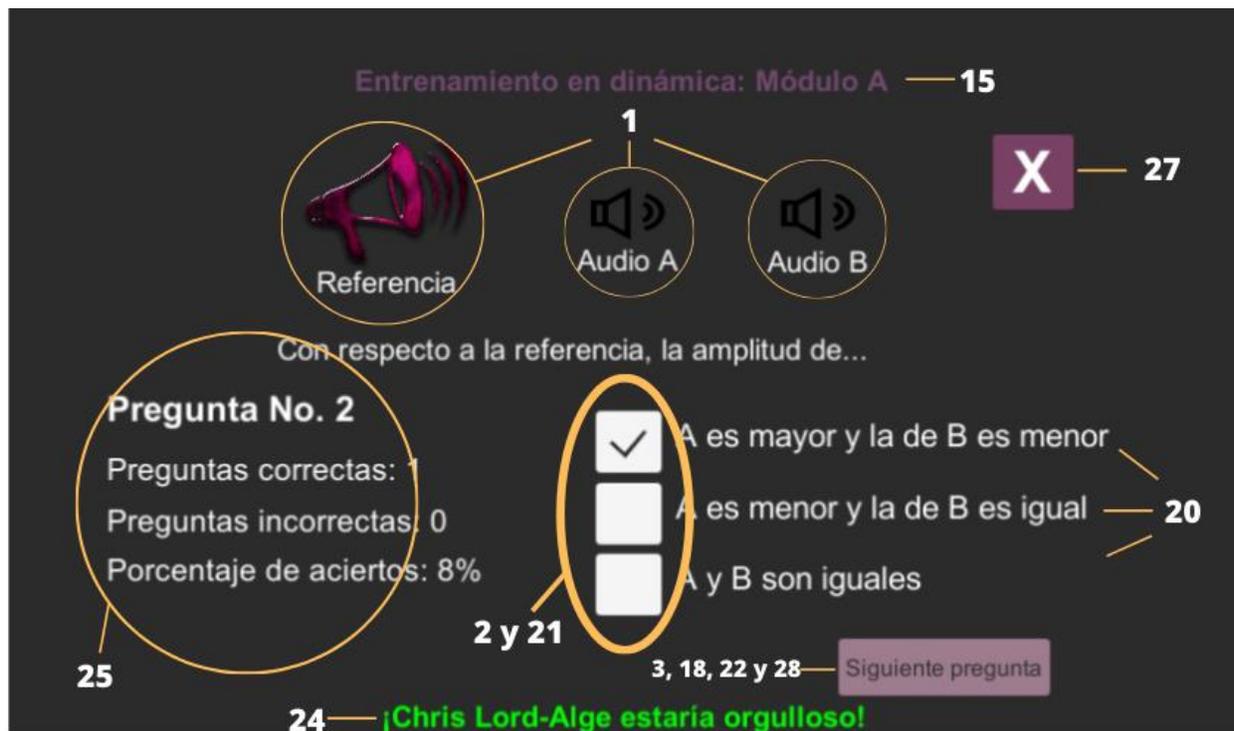


Figura 24. Diseño de interfaz gráfica de la aplicación web. Módulo de entrenamiento en dinámica. Método de comparación pasiva.

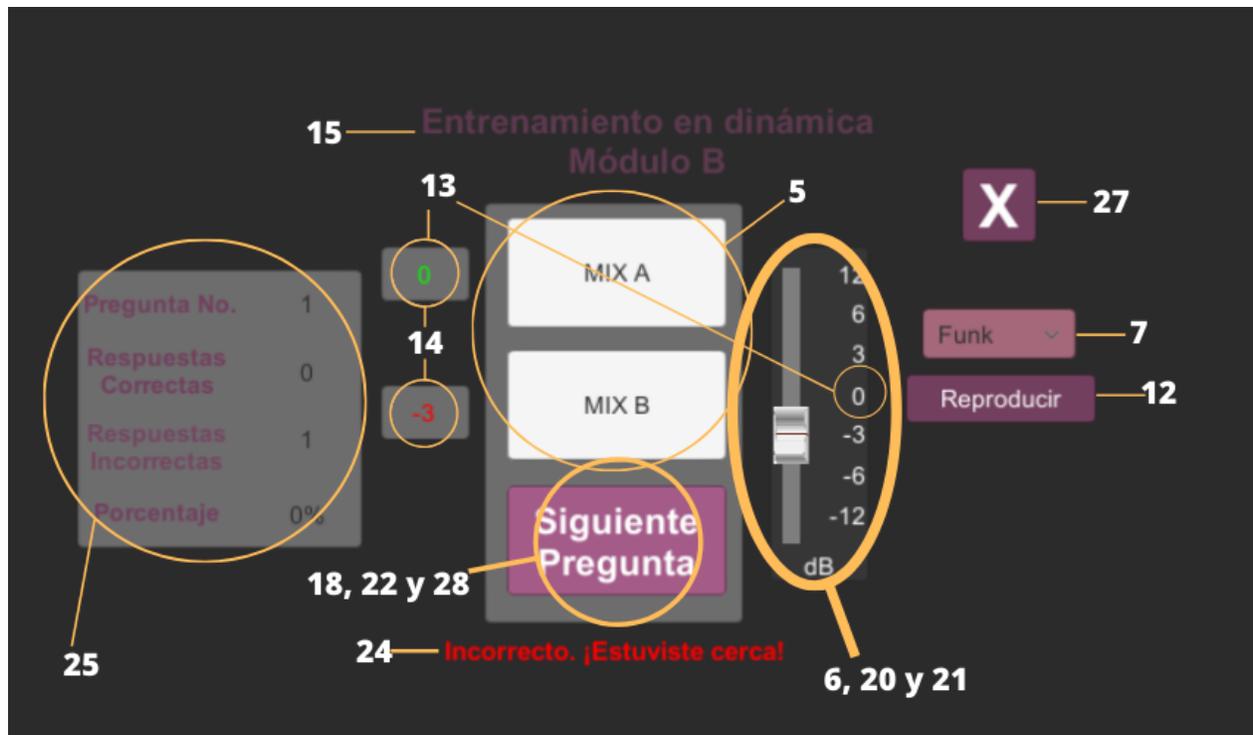
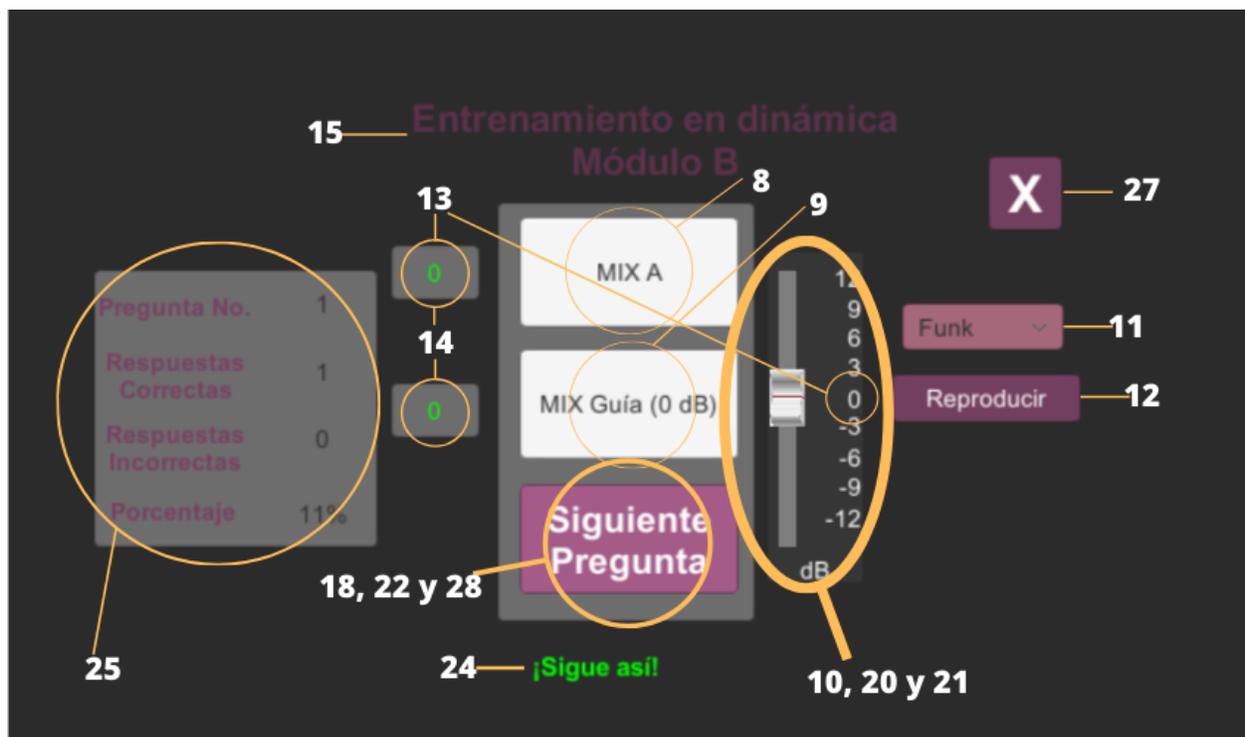


Figura 25. Diseño de interfaz gráfica de la aplicación web. Módulo de entrenamiento en dinámica. Método de comparación activa



*Figura 26. Diseño de interfaz gráfica de la aplicación web. Módulo de entrenamiento en dinámica. Método de identificación absoluta*

*Módulo de entrenamiento en localización en el eje horizontal.* Este módulo se desarrolló bajo el funcionamiento de los requerimientos funcionales de los métodos de comparación activa e identificación absoluta.

En el método de entrenamiento por comparación activa en la interfaz gráfica se le presenta al usuario:

1. Dos botones denominados '*Pan A*' (reproductor del audio de referencia) y '*Pan B*' (reproductor del audio de comparación) que el usuario puede alternar para reproducir un audio u otro.
2. Un *slider* horizontal con las opciones de respuesta en la parte inferior, con el cual puede seleccionar la respuesta considere correcta. Este *slider* modifica la posición en el eje horizontal del sonido (*sample* de redoblante) reproducido por '*Pan B*' cada vez que el usuario tenga interacción con el objeto.

Por otro lado, en el método de entrenamiento de identificación absoluta en la interfaz gráfica se le presenta al usuario:

3. Un botón denominado *Pan Referencia* que el usuario utiliza para reproducir el sonido de referencia.
4. Un *slider* horizontal con las opciones de respuesta al costado derecho, con el cual puede seleccionar la respuesta considere correcta. Este *slider* funciona exclusivamente para hacer la elección de la opción de respuesta.

Los requerimientos comunes entre ambos métodos de entrenamiento se presentan a continuación:

5. La interfaz gráfica imprime el nombre del módulo de entrenamiento
6. Se obtiene una posición en el eje horizontal aleatoria asignada a un *sample* de redoblante reproducido en el audio de referencia. El porcentaje de ubicación en el eje horizontal

- (izquierda o derecha) se encuentra entre las opciones de respuesta presentadas al usuario.<sup>19</sup>
7. El software restringe la reproducción del audio de comparación cuando el audio de referencia es reproducido, y viceversa.<sup>20</sup>
  8. La interfaz gráfica indica la respuesta correcta y la opción de respuesta enviada.
  9. El software permite reproducir el audio cuántas veces el usuario interactúe con el objeto encargado.
  10. La interfaz gráfica permite generar una nueva pregunta por medio de un objeto.
  11. El software no repite más de 2 veces consecutivas la pregunta aleatoria.
  12. La interfaz gráfica presenta al usuario las opciones de respuesta de tipo opción múltiple con única respuesta.
  13. La interfaz gráfica permite seleccionar la respuesta por medio de un objeto.
  14. La interfaz gráfica permite enviar la respuesta por medio de un objeto.
  15. El software compara la pregunta con la opción de respuesta.
  16. La interfaz imprime un mensaje de resultado de las respuestas (correcta o incorrecta), con mensajes de felicitación o motivación y ánimo.
  17. La interfaz gráfica imprime el total de preguntas, respuestas correctas, respuestas incorrectas y porcentaje de aciertos.
  18. El software permite reproducir el audio de referencia cuando la respuesta correcta y la opción de respuesta enviada hayan sido señaladas.
  19. La interfaz gráfica permite al usuario salir del módulo de entrenamiento cuando lo desee a través de un objeto.
  20. La interfaz gráfica permite al usuario subir los resultados finales por medio de un objeto.

<sup>19</sup> Para el caso del método de entrenamiento absoluto se selecciona únicamente el audio de referencia.

<sup>20</sup> Estos valores corresponden a 100%, 66%, 33% hacia la izquierda y derecha, y el punto central llamado 0%.

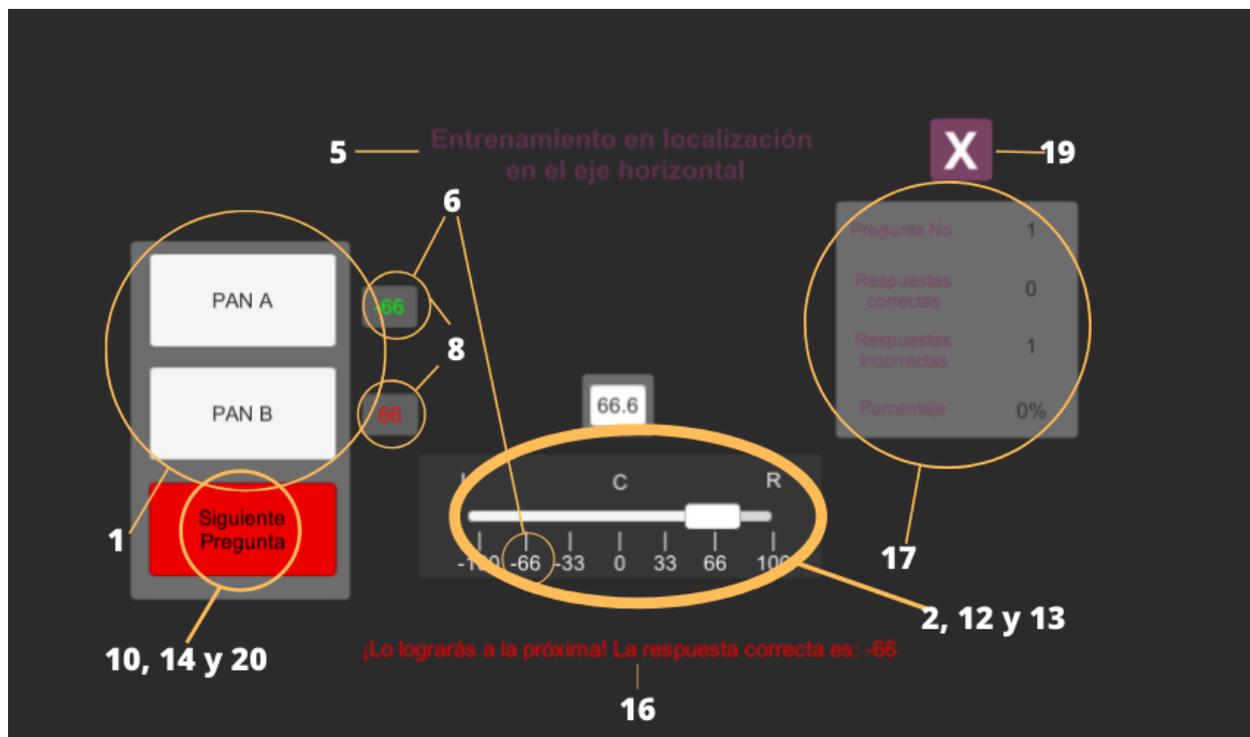


Figura 27. Diseño de interfaz gráfica de la aplicación web. Módulo de entrenamiento en localización en el eje horizontal. Método de comparación activa.

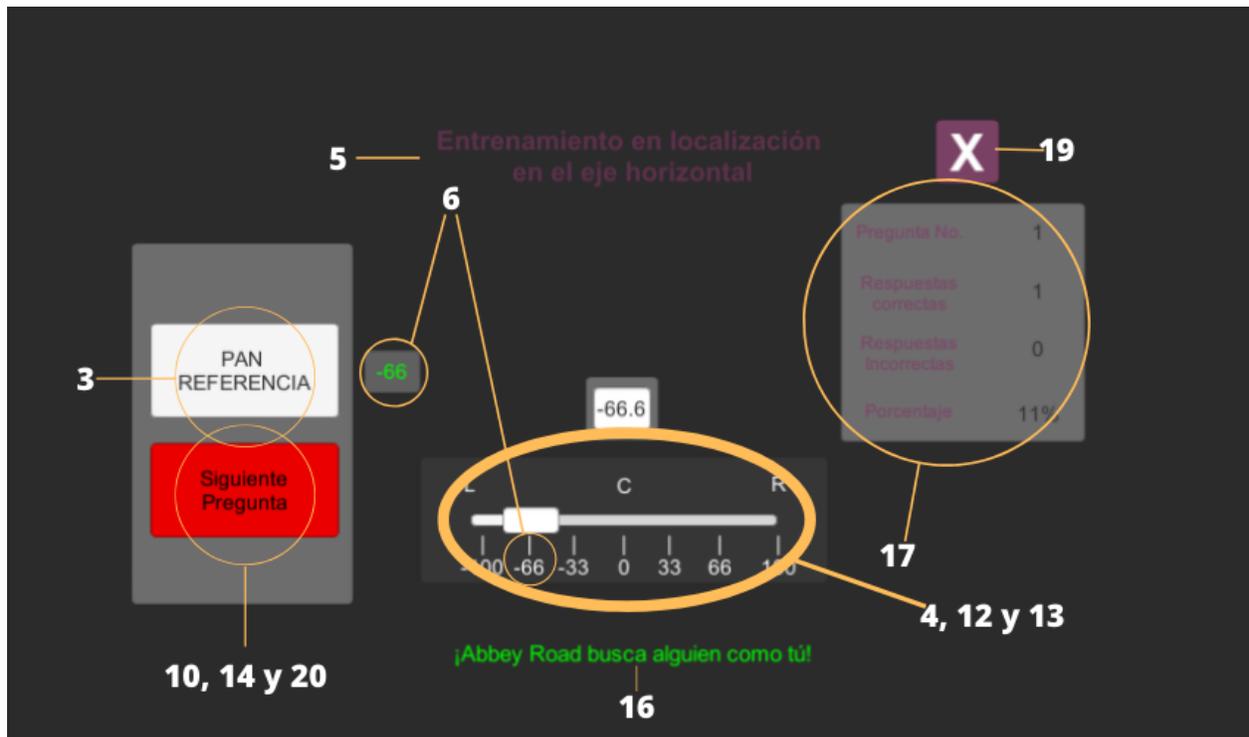


Figura 28. Diseño de interfaz gráfica de la aplicación web. Módulo de entrenamiento en localización en el eje horizontal. Método de identificación absoluta.

**Desarrollo de software.** Para el desarrollo de software de la aplicación, se utilizó el motor de videojuego Unity3D en su versión gratuita, disponible en el sitio web [store.unity.com](https://store.unity.com). Esta plataforma permite el diseño y desarrollo de juegos y aplicaciones interactivas en dos y tres dimensiones. Una de las ventajas que Unity3D ofrece, la cual motivó su elección como plataforma de desarrollo, es la facilidad de desarrollo de contenidos ejecutables para navegadores web, a través de WebGL. La programación para Unity3D fue codificada en el lenguaje C#, en el entorno de programación Visual Studio, y se ajustó a las funcionalidades de procesamiento de audio soportadas por WebGL.

**Análisis y diagramas de clases.** Teniendo en cuenta los requerimientos funcionales de los métodos de entrenamiento y los casos de uso de los módulos de entrenamiento según el

método de entrenamiento auditivo, se presenta a continuación el análisis de las clases que participan en el funcionamiento de los módulos de entrenamiento.

### *Módulo entrenamiento en frecuencia*

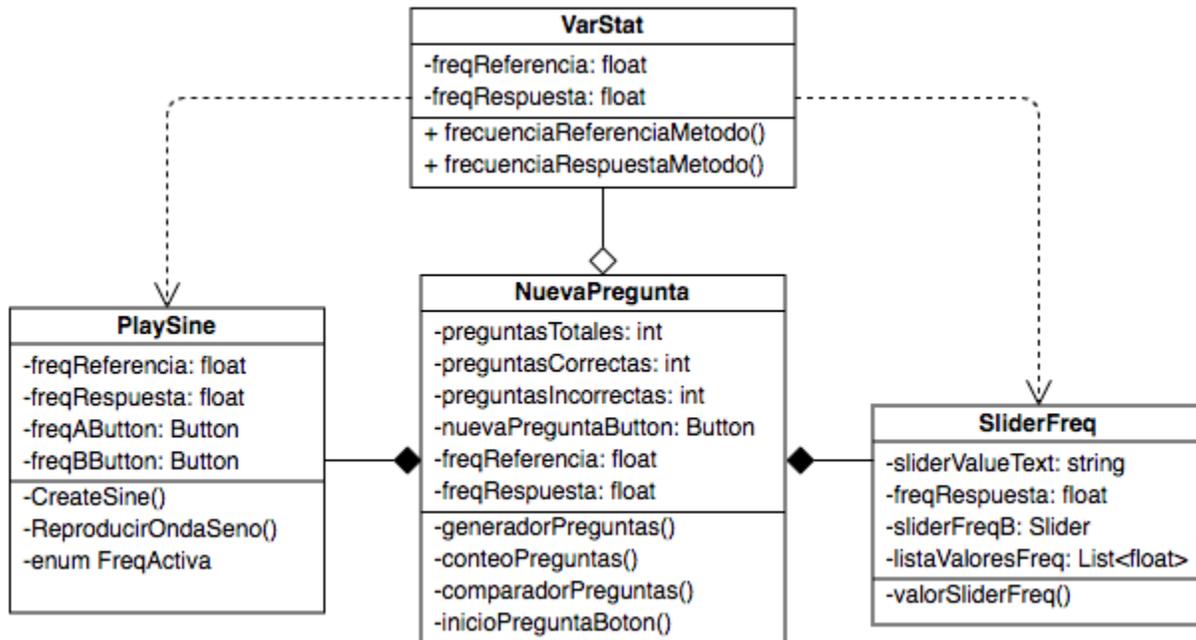


Figura 29. Diagrama de clases - Módulo de entrenamiento en frecuencia, método de identificación absoluta y comparación activa.

La clase *NuevaPregunta.cs* es la clase encargada de dar inicio al funcionamiento del módulo, de la generación de preguntas aleatorias<sup>21</sup> y de llevar el conteo de estas. Adicionalmente, esta clase realiza la correspondiente comparación de respuestas y la impresión de resultados (respuestas correctas, respuestas incorrectas y porcentaje de respuestas correctas) en la interfaz gráfica. En esta clase se hace uso del método *generadorPreguntas()* para generar aleatoriamente valores de tipo *float* y enviarlos al método *frecuenciaRespuestaMetodo()* de la clase *VarStat.cs* donde son almacenados en la variable estática *freqRespuesta*. Esta variable es utilizada por la clase *PlaySine.cs* para

<sup>21</sup> Las preguntas aleatorias corresponden a la generación de un nuevo audio de referencia.

generar el tono puro reproducido al interactuar con el botón *freqAButton*, representado como *Freq A* en la interfaz gráfica.

La clase *SliderFreq.cs* toma los valores de la variable *sliderFreqB* que se representa como un objeto *slider* en la interfaz gráfica. Estos valores están limitados por una lista de valores flotantes preestablecidos llamada *listaValoresFreq* los cuales se presentan en *Hz* al costado derecho del objeto *slider* en la interfaz gráfica. En el método *valorSliderFreq()* los valores de *sliderFreqB* son convertidos en flotantes y enviados al método *frecuenciaRespuestaMetodo()* de la clase *VarStat.cs* donde son almacenados en la variable estática *freqRespuesta*. La variable estática *freqRespuesta* es luego utilizada en la clase *NuevaPregunta.cs* por el método *comparadorPreguntas()* para la comparación de respuestas y en la clase *PlaySine.cs* para generar el tono puro reproducido al interactuar con el botón *freqBButton*, representado como *Freq B* en la interfaz gráfica.

La clase *PlaySine.cs* se encarga de recibir los datos de las variables tipo *float*, *freqReferencia* y *freqRespuesta* para reproducir tonos puros. El *enum FreqActiva* indica qué frecuencia se está reproduciendo instantáneamente. Cuando el botón *Freq A* es activado, el valor de *FreqActiva* es igual a *FreqActiva.Freq\_A*, y el tono puro es generado con el valor de *freqReferencia*. Por otro lado, cuando el botón *Freq B* es activado, *FreqActiva* es igual a *FreqActiva.Freq\_B* y el tono puro es generado con el valor de *freqRespuesta*. De esta forma se discrimina qué dato es enviado a las funciones *CreateSine()* y *ReproducirOndaSeno()*. La primera genera una onda senoidal de 1 segundo de duración cuya frecuencia es definida como *freqReferencia* o *freqRespuesta* en un valor tipo *float*, y la segunda se encarga de la reproducción de esta onda senoidal.

Una vez la respuesta es enviada haciendo interacción con el botón *Enviar Respuesta* de la interfaz gráfica, se instancia el método *comparadorPreguntas()* para realizar la comparación de *freqReferencia* y *freqRespuesta*, y entregar los resultados al usuario. Con esta misma interacción se instancia al método *inicioPreguntaBoton()* que cambia el estado del botón *Enviar Respuesta* a *Siguiente Pregunta* visible en la interfaz. Al interactuar con este botón, se instancia el método *generadorPreguntas()*, genera una nueva pregunta aleatoria y el botón cambia su estado nuevamente a *Enviar Respuesta*.

Este algoritmo funciona cíclicamente mientras el total de respuestas correctas sea menor al 80% del total de preguntas. Cuando este porcentaje es alcanzado, el botón *Enviar*

*Respuesta* cambia su estado a *Subir Resultados*. Al interactuar con este botón, se instancia el método *SubirResultados()*, el cual se encarga de enviar los datos acumulados a la tabla *Frecuencia* de la base de datos ‘*SoundEnginehearing*’.

*Módulo entrenamiento en dinámica - Módulo A*

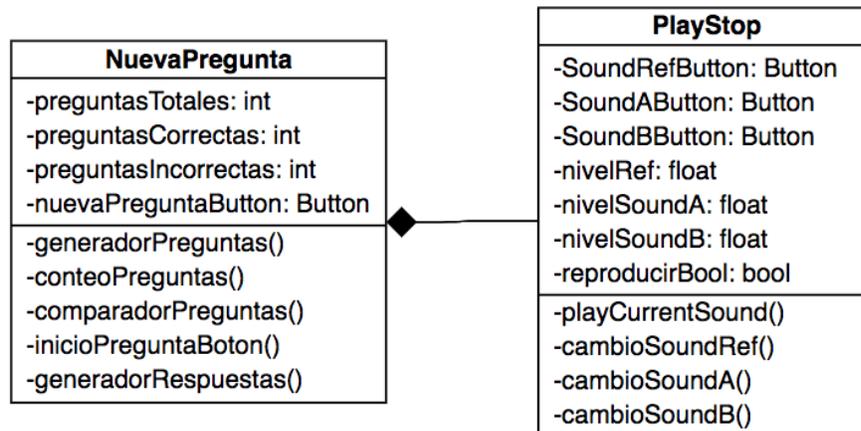


Figura 30. Diagrama de clases - Módulo de entrenamiento en dinámica, método de comparación pasiva.

Este módulo es controlado por la clase ‘*NuevaPregunta.cs*’. Esta clase posee seis listas de *clips de audio*. Las listas de *clips de audio* se componen por tres clips de tonos puros de igual nivel de intensidad en tres bandas de frecuencia de octava diferentes. El nivel de intensidad de cada lista es diferente.

Con la instancia de la función *generadorPreguntas()*, se instancia el método *generadorRespuestas()*, encargado de tomar aleatoriamente tres inferencias de una lista llamada *PreguntasComparativas*. Una de estas inferencias representa la respuesta correcta y el resto las respuestas incorrectas. El método *generadorPreguntas()* adicionalmente elige aleatoriamente una banda de frecuencia por pregunta. Se crea una lista *VolumenesBandaObtenidaAudios* con los *clips de audio* de este tono puro en los seis niveles de intensidad posibles.

Al interactuar con los botones *SoundRefButton*, *SoundAButton* y *SoundBButton*, representados en la interfaz gráfica como *Referencia*, *Audio A* y *Audio B*, respectivamente, se instancia el método *playCurrentSound()* de la clase *PlayStop.cs*. Este método reproduce

las fuentes de audio *refSoundMix*, *SoundAMix* y *SoundBMix*, las cuales portan *clips de audio* de la lista *VolumenesBandaObtenidaAudios*. Los elementos de esta lista son identificados como valores flotantes y son obtenidos aleatoriamente para que cada fuente de audio las reproduzca. Continuamente, al interactuar con los botones mencionados, *playCurrentSound()* reproduce el *clip de audio* correspondiente al valor flotante obtenido aleatoriamente para cada fuente de audio. Estos valores son denominados *nivelRef*, *nivelSoundA* y *nivelSoundB*.

Sin embargo, el *clip de audio* que debe ser reproducido al interactuar con cada botón depende de la información contenida en la inferencia correcta. A continuación, se presentan los distintos casos y condiciones:

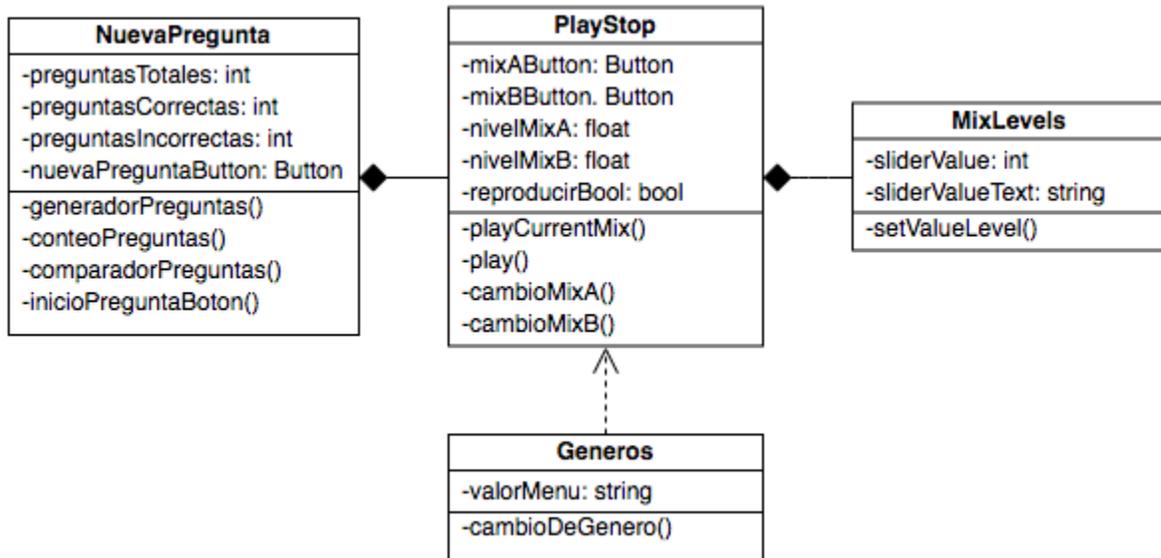
- Si la inferencia obtenida es: “A y B son iguales”, únicamente se obtiene aleatoriamente un *clip de audio*, pues los tres botones reproducen el mismo nivel de intensidad del tono puro. Los valores *nivelSoundA* y *nivelSoundB* son iguales a *nivelRef*.
- Si la inferencia obtenida es “A es mayor y el de B es igual”, “A es menor y el de B es igual”, “A es igual y el de B es mayor” o “A es igual y el de B es menor”, se obtienen aleatoriamente dos *clips de audio*, pues dos botones reproducen el mismo nivel de intensidad del tono puro. Un valor (*nivelSoundA* o *nivelSoundB*) es igual a *nivelRef*, el tercero es diferente.
- Si la inferencia obtenida es “A es mayor y el de B es menor” o “A es menor y el de B es mayor”, se obtienen aleatoriamente tres *clips de audio*, pues cada botón reproduce un nivel de intensidad del tono puro diferente. Los valores *nivelSoundA*, *nivelSoundB* y *nivelRef* son distintos.

Una vez la respuesta es enviada haciendo interacción con el botón Enviar Respuesta de la interfaz gráfica, se instancia el método *comparadorPreguntas()* para corroborar el estado del *Toggle* donde está impresa la inferencia correcta, y entregar los resultados al usuario. Con esta misma interacción se instancia al método *generadorPreguntas()* que genera una nueva pregunta aleatoria y desactiva los *Toggle*.

Este algoritmo funciona cíclicamente mientras el total de respuestas correctas sea menor al 80% del total de preguntas. Cuando este porcentaje es alcanzado, el botón Enviar Respuesta cambia su estado a Subir Resultados. Al interactuar con este botón, se instancia

el método `SubirResultados()`, el cual se encarga de enviar los datos acumulados a la tabla *Dinámica* de la base de datos ‘*SoundEnginehearing*’.

*Módulo entrenamiento en dinámica - Módulo B*



*Figura 31. Diagrama de clases - Módulo de entrenamiento en dinámica, método de identificación absoluta y comparación activa.*

La clase `NuevaPregunta.cs` es la clase encargada de dar inicio al funcionamiento del módulo, de la generación de preguntas aleatorias y de llevar el conteo de estas. Adicionalmente, esta clase realiza la correspondiente comparación de respuestas y la impresión de resultados (respuestas correctas, respuestas incorrectas y porcentaje de respuestas correctas) en la interfaz gráfica.

En listas de *clips de audio* se almacenan *loops* de audio de tres instrumentos, correspondientes a distintos géneros musicales. La clase ‘`Generos.cs`’ se encarga de tomar el valor tipo *string* ‘`valorMenu`’ del *dropdown*, identificado como ‘*Género musical*’ en la interfaz gráfica, para determinar qué valor de las listas de clips de audio serán asignados para la reproducción en las fuentes de audio *mixA* y *mixB* del mezclador de audio propio de Unity3D.

La clase ‘MixLevels.cs’ toma los valores de la variable *sliderValue*, que se representa como un objeto *slider* en la interfaz gráfica. Estos valores están limitados por una lista de valores flotantes preestablecidos llamada *CambiosVol*, los cuales se presentan en decibeles (*dB*) al costado derecho del objeto *slider* en la interfaz gráfica. En el método *setValueLevel()* de la clase *MixLevels.cs*, esta variable *sliderValue* es utilizada para modificar el volumen de la fuente de audio *mixB* en el mezclador de audio integrado de Unity3D.

La clase ‘playStop.cs’ se encarga de la reproducción en bucle y la pausa de los *clips de audio* de las fuentes de audio *mixA* y *mixB*, que hayan sido seleccionados en la clase *Generos.cs*. Su variable booleana ‘reproducirBool’ es verdadera cuando el usuario interactúa con el botón *botonReproducir* presentado como *Reproducir* en la interfaz gráfica, y falsa cuando se interactúa una segunda vez, presentado como ‘Pausa’ en la interfaz gráfica. Cuando el usuario interactúa con el botón *mixAButton* o el *mixBButton*, presentados como *Mix A* y *Mix B* en la interfaz gráfica, se instancia el método *cambioMixA()* y *cambioMixB()* donde se identifica cuál fuente de audio está activa y se instancia al método ‘playCurrentMix()’. Este método gestiona la reproducción y *mute* (silencio) de la fuente de audio *mixA* o *mixB*, dependiendo de cual esté seleccionada.

Una vez la respuesta es enviada haciendo interacción con el botón Enviar Respuesta de la interfaz gráfica, se instancia el método *comparadorPreguntas()* para realizar la comparación del nivel de volumen de *mixA* y *mixB* obtenidos del mezclador integrado de Unity3D, y entregar los resultados al usuario. Con esta misma interacción se instancia al método *inicioPreguntaBoton()* que cambia el estado del botón Enviar Respuesta a Siguiente Pregunta visible en la interfaz. Al interactuar con este botón, se instancia el método *generadorPreguntas()*, genera una nueva pregunta aleatoria y el botón cambia su estado nuevamente a Enviar Respuesta.

Este algoritmo funciona cíclicamente mientras el total de respuestas correctas sea menor al 80% del total de preguntas. Cuando este porcentaje es alcanzado, el botón Enviar Respuesta cambia su estado a Subir Resultados. Al interactuar con este botón, se instancia el método *SubirResultados()*, el cual se encarga de enviar los datos acumulados a la tabla *DinámicaActiva* de la base de datos ‘*SoundEnginehearing*’.

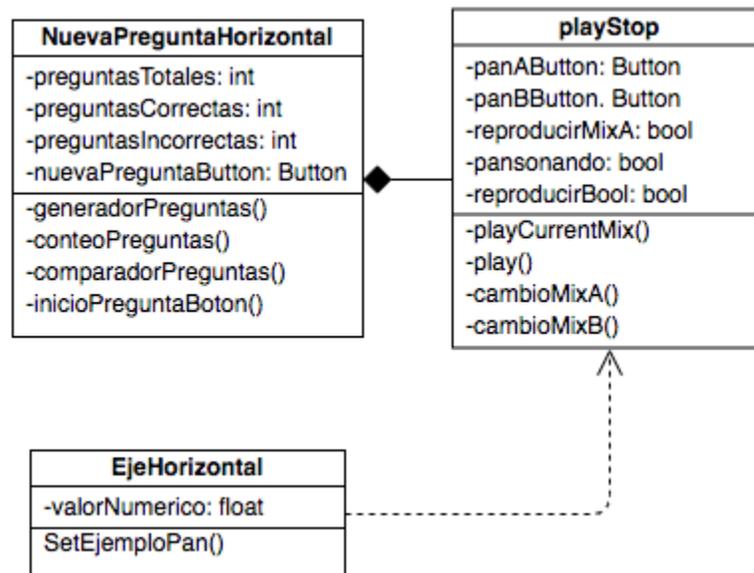
*Módulo entrenamiento en localización en el eje horizontal*

Figura 32. Diagrama de clases - Módulo de entrenamiento en localización en el eje horizontal, método de identificación absoluta y comparación activa.

La clase *NuevaPreguntaHorizontal.cs* es la clase encargada de dar inicio al funcionamiento del módulo, de la generación de preguntas aleatorias y de llevar el conteo de estas. Adicionalmente, esta clase realiza la correspondiente comparación de respuestas y la impresión de resultados (respuestas correctas, respuestas incorrectas y porcentaje de respuestas correctas). En esta clase se instancia el método *generadorPreguntas()* para generar aleatoriamente variables de tipo float, dentro de un límite de valores. Estos valores están limitados por una lista de *clips de audio* llamada *instruList*. Esta lista contiene audios estéreo de un segundo de duración, de *samples* de un redoblante con diferentes ubicaciones en el eje horizontal. Esta variable es utilizada para reproducir un determinado *clip de audio* estéreo de la lista *instruList* al interactuar con el botón *panAButton*, representado como *Pan A* en la interfaz gráfica.

La clase *EjeHorizontal.cs* toma los valores de la variable *valorNumerico* que se representa como un objeto *slider* en la interfaz gráfica. Estos valores también están limitados por la lista de *clips de audio instruList*. El *slider* presenta textos informativos según el valor de su posición. Estos textos representan el porcentaje de ubicación a la

izquierda o derecha del redoblante del audio. Según el valor de *valorNumerico* determina qué *clip de audio* estéreo de la lista *instruList* debe reproducirse al interactuar con el botón *panBButton*, representado como *Pan B* en la interfaz gráfica.

La clase *playStop.cs* se encarga de reproducir fuentes de audio. Cuando el método *generadorPregunta()* de la clase *NuevaPreguntaHorizontal.cs* es instanciado, se determina qué *clip de audio* debe ser reproducido por una fuente de audio llamada *panMixA*. Cuando se interactúa con el botón *panAButton* (*Pan A* en la interfaz gráfica), se instancia el método *Play()* encargado de reproducir *panMixA*, fuente de audio portadora del clip de audio obtenido aleatoriamente. Cuando el botón *panBButton* (representado como *Pan B* en la interfaz gráfica) es presionado, se instancia el método *Play()* encargado de reproducir la fuente de audio *panMixB*, portadora del clip de audio determinado por la *valorNumerico* en el slider.

Una vez la respuesta es enviada haciendo interacción con el botón Enviar Respuesta de la interfaz gráfica, se instancia el método *comparadorPreguntas()* de la clase *NuevaPreguntaHorizontal.cs* para realizar la comparación del *clip de audio* de *panMixA* y el clip de audio de *PanMixB*, y entregar los resultados al usuario. Con esta misma interacción se instancia al método *inicioPreguntaBoton()* que cambia el estado del botón Enviar Respuesta a Siguiente Pregunta visible en la interfaz. Al interactuar con este botón, se instancia el método *genadorPreguntas()*, genera una nueva pregunta aleatoria y el botón cambia su estado nuevamente a Enviar Respuesta.

Este algoritmo funciona cíclicamente mientras el total de respuestas correctas sea menor al 80% del total de preguntas. Cuando este porcentaje es alcanzado, el botón Enviar Respuesta cambia su estado a Subir Resultados. Al interactuar con este botón, se instancia el método *SubirResultados()*, el cual se encarga de enviar los datos acumulados a la tabla *LocHorizontal* de la base de datos '*SoundEnginehearing*'.

**Servidor web y base de datos.** Dado el desarrollo de una aplicación web, fue necesario adquirir un servidor que permitiera alojar el archivo ejecutable obtenido al exportar el proyecto, en un dominio web con una dirección IP pública estática. Esto en aras de poder acceder ilimitadamente al sitio web bajo la autorización del llamado firewall o cortafuegos

de una red informática privada. Por consiguiente, a través de la organización registradora de dominios web GoDaddy este servicio fue adquirido.

El proyecto desarrollado se bautizó ‘Sound Engine-hearing’, haciendo un juego de palabras en inglés entre ‘Ingeniería de Sonido’ y ‘Escucha’. No obstante, para la fácil recordación y economía de escritura, se decidió que el dominio del sitio web fuera soundeh.com, con una abreviación del término “engine-hearing”.

GoDaddy permitió disponer de una cuenta en phpMyAdmin (la plataforma de control de funcionamiento de bases de datos SQL) gestionada por el sistema, y de un *manager* de diferentes tipos de archivo. Este *manager* fue utilizado para mantener los archivos ejecutables de la aplicación de Unity3D y archivos de código en lenguaje PHP, los cuales permiten hacer conexión con la base de datos phpMyAdmin y hacer transferencia de información con ella.

Dada la necesidad de llevar un registro de los datos obtenidos en la aplicación, pertinentes para el análisis propuesto en la investigación, se creó una base de datos de nombre ‘*SoundEnginehearing*’. Se programó un código en PHP con el nombre `DBConnection.php` para verificar la conexión de un servidor con base de datos. Este código conecta con la base de datos al digitar el nombre del anfitrión local, el nombre de usuario y la contraseña de la cuenta de phpMyAdmin.

Para mantener la asociación de la base de datos con la página web soundeh.com, este archivo de conexión `DBConnection.php` debió guardarse en el *manager* mencionado. Finalmente, al acceder a la dirección web `soundeh.com/DBConnection.php`, se verifica el éxito o fracaso de la conexión, con la impresión de un mensaje de confirmación.

Una vez se conecta la aplicación con la base de datos, es posible hacer transmisión de información de forma bidireccional. Cada módulo de entrenamiento de la aplicación y el listado de usuarios registrados contó con una tabla independiente en la base de datos para el almacenamiento de información, así como con un archivo de código en lenguaje PHP independiente encargado de migrarla.

Los datos registrados en la tabla de cada módulo son los siguientes: identificación de usuario, fecha de entrenamiento, tiempo total de entrenamiento, y la cantidad de respuestas correctas e incorrectas acumuladas.

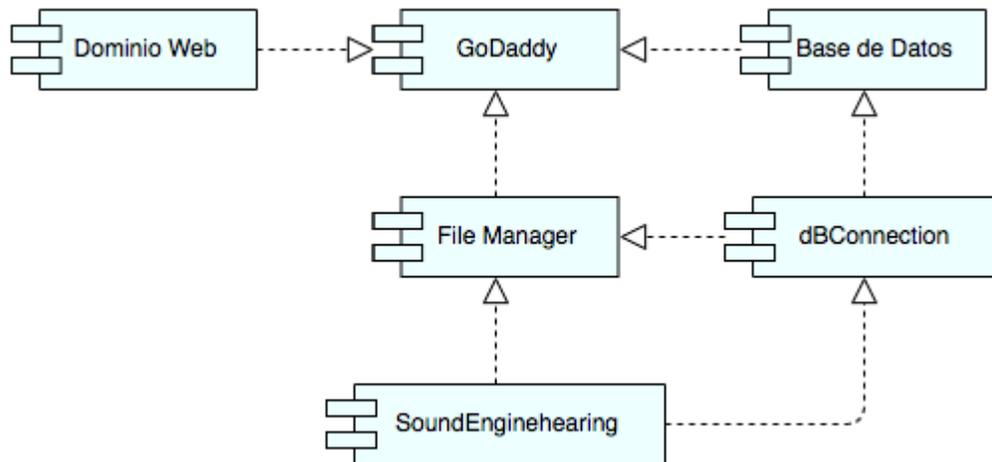


Figura 33. Diagrama de componentes – Sistema GoDaddy

## Postgame

Esta es la última fase del desarrollo. Una vez cumplido los requerimientos funcionales, verificada la funcionalidad de los módulos de entrenamiento, la conexión con el servidor web y la base de datos, se procedió a la etapa de acumulación de datos a través de un tratamiento experimental X y la Posprueba 0.

Este tratamiento experimental X, aplicado al grupo experimental ( $G_1$ ) consistió en un entrenamiento auditivo semanal, durante 7 semanas, de 15 minutos invertidos equitativamente en cada módulo de entrenamiento, implementando las metodologías de entrenamiento auditivo de comparación activa, comparación pasiva y de identificación absoluta.

Por otro lado, la Posprueba 0, aplicada al grupo control ( $G_2$ ) y al grupo experimental ( $G_1$ ) una vez finalizó el tratamiento experimental X, consistió en una prueba de 10 preguntas de cada módulo de entrenamiento. Para aplicar esta prueba se desarrolló un nuevo módulo que incluyó los tres módulos de entrenamiento existentes en su mayor nivel de dificultad. Estos módulos aplicaron exclusivamente la metodología de entrenamiento en identificación absoluta, pues es la utilizada en pruebas evaluativas (Corey, 2013).

La descripción del funcionamiento y el análisis de clases de estos módulos se especifican en el apartado 4.2, y los alcances del módulo de la Posprueba 0 en el apartado 3.5.

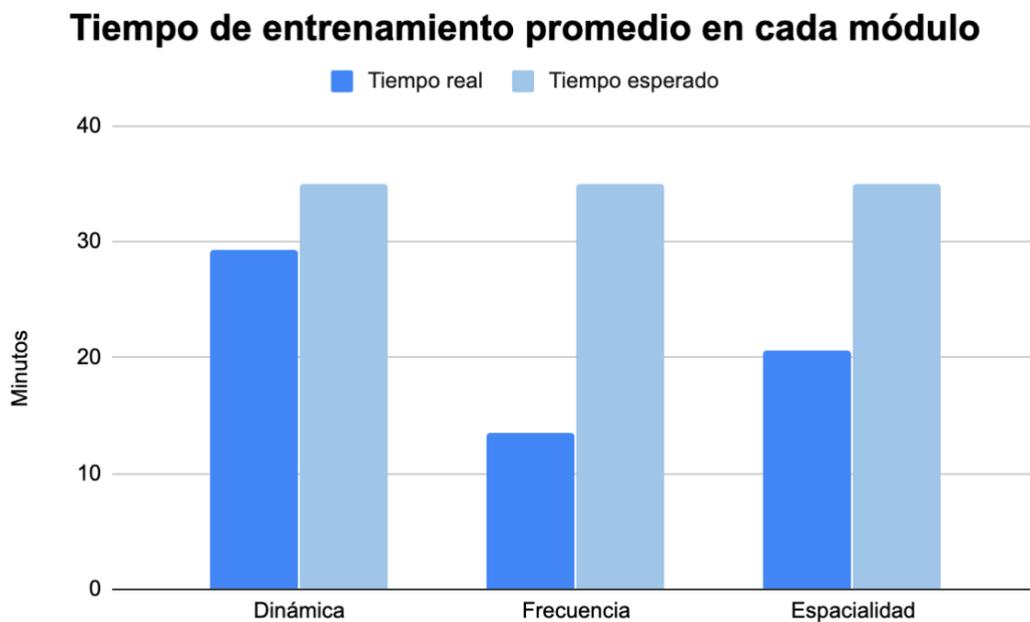
Los datos obtenidos del grupo experimental ( $G_1$ ) y del grupo control ( $G_2$ ) con la aplicación de la Posprueba 0 fueron comparados a través de un análisis estadístico descriptivo e inferencial, para poder determinar qué repercusión tiene el uso de la aplicación desarrollada en las habilidades de escucha crítica de estudiantes de ingeniería de sonido

## 5 Análisis y Resultados

### 5.1 Datos recopilados

#### *Tratamiento Experimental X*

Los datos recopilados de tiempo de entrenamiento obtenidos en el tratamiento experimental *X* se pueden evidenciar en el Anexo C del presente documento. La tabla presenta la relación de tiempo de entrenamiento total acumulado por cada individuo del  $G_1$  en cada módulo de entrenamiento. La *Figura 34* y la *Tabla 8* presentan el promedio de tiempo de entrenamiento realizado en cada módulo de entrenamiento.



*Figura 34. Tiempo de entrenamiento promedio de los individuos de  $G_1$  en cada módulo de entrenamiento.*

*Tabla 8.*

Tiempo de entrenamiento promedio de los individuos del grupo experimental en cada módulo de entrenamiento

<b>Módulo de Entrenamiento</b>	<b>Tiempo promedio [min]</b>
Dinámica	31,802
Frecuencia	14,040
Loc. Horizontal	21,837

Según los datos presentado en dicha figura, se observa que no se consiguió el tiempo mínimo total de entrenamiento en los módulos de entrenamiento. El tiempo de entrenamiento total promedio de todos los individuos del grupo experimental  $G_1$  fue de 31,80 minutos en el módulo de entrenamiento en dinámica, 14,04 minutos en el módulo de entrenamiento en frecuencia y 21,87 minutos en el módulo de entrenamiento de localización en el eje horizontal.

### ***Posprueba 0***

Los datos recopilados en la Posprueba 0 se pueden evidenciar en el Anexo C del presente documento. Se presenta una relación de la cantidad de respuestas correctas obtenidas en cada módulo por cada uno de los individuos participantes de ambos grupos  $G_1$  y  $G_2$ .

## **5.2 Análisis Estadístico**

A partir de los resultados obtenidos a lo largo del proceso de recopilación de datos, se realizó un análisis estadístico descriptivo y un análisis estadístico inferencial. El análisis estadístico descriptivo busca caracterizar las poblaciones que realizaron la Posprueba 0. El análisis estadístico inferencial estudia los datos de una población a partir de una muestra extraída, representada por el grupo experimental y de control, en aras de hacer predicciones e inferencias acerca de los resultados de la población.

### *Estadística Descriptiva*

Para el análisis estadístico de los resultados obtenidos en la Posprueba 0, se hizo uso del software 'IBM SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) *Statistics*'. Se emplearon los estadísticos descriptivos para observar las medias, medianas, desviaciones típicas, varianzas, máximo y mínimos de respuestas correctas obtenidos en la prueba por ambos grupos  $G_1$  y  $G_2$ . Posteriormente, se aplicó la prueba  $t$  de Student para muestras independientes, con el fin de comprobar que las diferencias obtenidas en el análisis fueran estadísticamente significativas.

Los estadísticos descriptivos de los resultados obtenidos en cada módulo de entrenamiento se presentan a continuación.

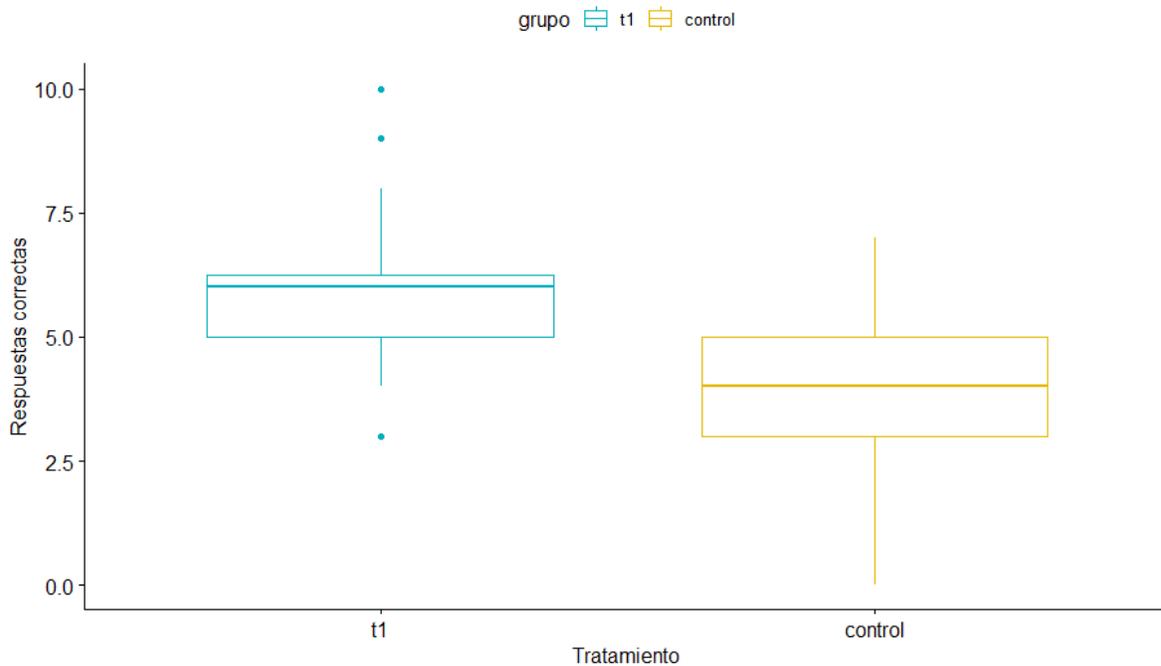
**Resultados del Módulo de Entrenamiento en Dinámica.** Según los resultados estadísticos descriptivos presentados en la tabla 9, se evidencia una diferencia entre el promedio de respuestas correctas acumuladas en la Posprueba 0 en el módulo de entrenamiento en dinámica por el  $G_1$  (5,88) y  $G_2$  (3,81). Se observa que para el caso del  $G_1$  el total de respuestas correctas obtenidos estuvo comprendido en valores de 3 a 10. En cambio, el caso del  $G_2$  estuvo comprendido en valores de 0 a 7.

*Tabla 9.*

*Estadísticos descriptivos de resultados de la Posprueba 0 en el módulo de entrenamiento en dinámica*

<b>Estadísticos descriptivos - Posprueba 0: Módulo de entrenamiento en dinámica</b>				
<b>Estadístico descriptivo</b>	<b>Respuestas correctas - G1</b>	<b>Respuestas incorrectas - G1</b>	<b>Respuestas correctas - G2</b>	<b>Respuestas incorrectas - G2</b>
Media	<b>5,88</b>	4,13	<b>3,81</b>	6,19
Mediana	6,00	4,00	4,00	6,00
Desviación típica	1,93	1,93	1,94	1,94
Varianza	3,72	3,72	3,76	3,76
Mínimo	<b>3</b>	0	<b>0</b>	3
Máximo	<b>10</b>	7	<b>7</b>	10

En el diagrama de cajas de la *Figura 35* se observa una diferencia entre la media del total de respuestas correctas en el módulo de dinámica del  $G_1$ , representado con la caja de color azul; y del  $G_2$ , representado con la caja de color amarillo. En el  $G_1$  se evidencia una media de respuestas correctas entre 5 a 6, con 3 datos atípicos, donde 1 está por debajo de la media y 2 por encima de ella. Por otro lado, en el  $G_2$  se observa una media de respuestas correctas entre 3 a 5.



*Figura 35. Diagrama de cajas – Respuestas correctas del Módulo de Dinámica.*

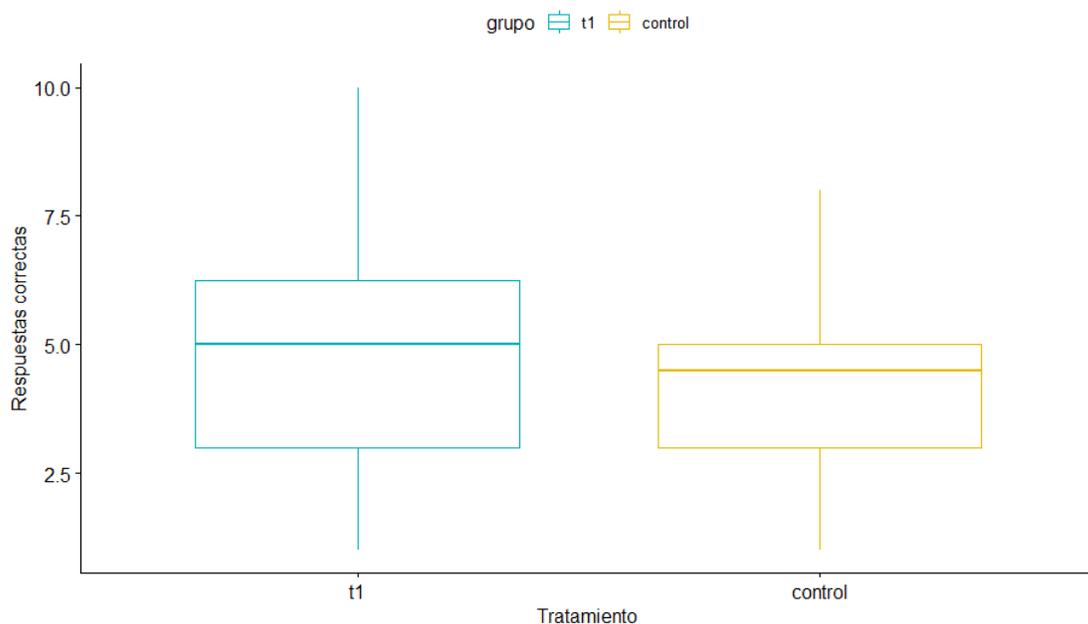
**Resultados del Módulo de Entrenamiento en Frecuencia.** Al igual que en los resultados del módulo de entrenamiento en dinámica, en los resultados estadísticos descriptivos presentados en la Tabla 10 se observa una diferencia entre el promedio de respuestas correctas acumuladas en la Posprueba 0 en el módulo de entrenamiento en frecuencia por el  $G_1$  (5,19) y  $G_2$  (4,19). Se evidencia que para el caso del  $G_1$  el total de respuestas correctas obtenidos estuvo comprendido en valores de 1 a 10, mientras que en el caso del  $G_2$  estuvo comprendido en valores de 1 a 8.

Tabla 10.

*Estadísticos descriptivos de resultados de la Posprueba 0 en el módulo de entrenamiento en frecuencia*

Estadísticos descriptivos - Posprueba 0: Módulo de entrenamiento en frecuencia				
Estadístico descriptivo	Respuestas correctas - G1	Respuestas incorrectas - G1	Respuestas correctas - G2	Respuestas incorrectas - G2
Media	<b>5,19</b>	4,81	<b>4,19</b>	5,81
Mediana	5,00	5,00	4,50	5,50
Desviación típica	2,69	2,69	1,80	1,80
Varianza	7,23	7,23	3,23	3,23
Mínimo	<b>1</b>	0	<b>1</b>	2
Máximo	<b>10</b>	9	<b>8</b>	9

En el diagrama de cajas de la *Figura 36* se puede observar una similitud entre la media del total de respuestas en el módulo de frecuencia del  $G_1$ , representado con la caja de color azul; y del  $G_2$ , representado con la caja de color amarillo. Se evidencia una media de respuestas correctas entre 3 a 6 en el caso del  $G_1$ . En cambio, en el caso del  $G_2$  se observa una media de respuestas correctas entre 3 a 5.



*Figura 36. Diagrama de cajas – Respuestas correctas del Módulo de Frecuencia.*

**Resultados del Módulo de Entrenamiento en Localización en el Eje Horizontal.** Bajo el mismo el mismo análisis de resultados de los módulos de entrenamiento en dinámica y frecuencia, los resultados estadísticos descriptivos presentados en la *Tabla 11* demuestran una diferencia entre el promedio de respuestas correctas acumuladas en la Posprueba 0 en el módulo de entrenamiento en localización en el eje horizontal por el  $G_1$  (6,38) y  $G_2$  (5,94). Se observa que el total de respuestas correctas obtenidos estuvo comprendido en valores de 2 a 9 en el caso del  $G_1$ . Por otro lado, este total estuvo comprendido en valores de 2 a 10 en el caso del  $G_2$ .

*Tabla 11.*

*Estadísticos descriptivos de resultados de la Posprueba 0 en el módulo de entrenamiento en localización en el eje horizontal.*

<b>Estadísticos descriptivos - Posprueba 0: Módulo de entrenamiento en localización en el eje horizontal</b>				
<b>Estadístico descriptivo</b>	<b>Respuestas correctas - G1</b>	<b>Respuestas incorrectas - G1</b>	<b>Respuestas correctas - G2</b>	<b>Respuestas incorrectas - G2</b>
Media	<b>6,38</b>	3,62	<b>5,94</b>	4,06
Mediana	6,00	4,00	6,00	4
Desviación típica	1,630	1,630	1,840	1,84
Varianza	2,66	2,66	3,40	3,4
Mínimo	<b>2</b>	1	<b>2</b>	0
Máximo	<b>9</b>	8	<b>10</b>	8

Se puede observar una similitud entre la media del total de respuestas en el módulo de localización en el eje horizontal del  $G_1$ , representado con la caja de color azul; y del  $G_2$ , representado con la caja de color amarillo, en el diagrama de cajas de la *Figura 37*. En el caso del  $G_1$  se observa una media de respuestas correctas entre 6 a 7, con un dato atípico por debajo de la media. Por otro lado, en el caso de  $G_2$  se observa una media de respuestas correctas entre 5 a 7.

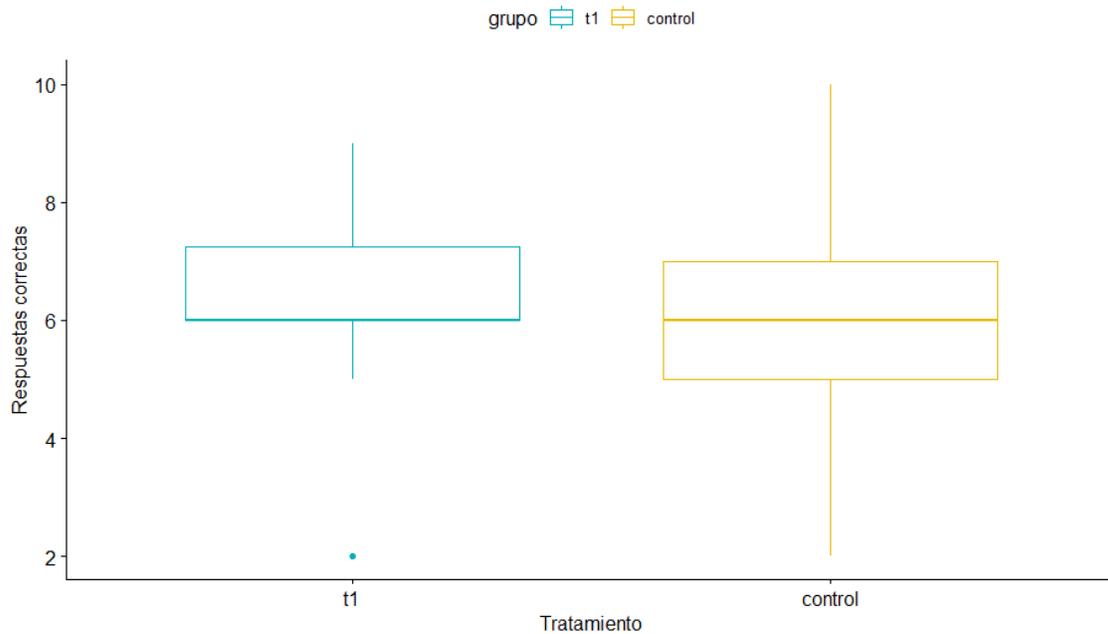


Figura 37. Diagrama de cajas – Respuestas correctas del Módulo de Localización en el Eje Horizontal

**Resultados globales de la Posprueba 0.** Al realizar un análisis estadístico descriptivo de los resultados globales de las respuestas obtenidas en la Posprueba 0, como se presentan en la Tabla 12, se evidencia una diferencia entre el promedio de respuestas correctas acumuladas por el  $G_1$  (17,44) y  $G_2$  (13,94). Se observa que el total de respuestas correctas obtenidos en el  $G_1$  estuvo comprendido en valores de 8 a 28, mientras que en el caso del  $G_2$  este total estuvo comprendido en valores de 8 a 22.

Tabla 12.

Estadísticos descriptivos de resultados globales de la Posprueba 0.

Estadísticos descriptivos - Total de respuestas de Posprueba 0				
Estadístico descriptivo	Respuestas correctas - G1	Respuestas incorrectas - G1	Respuestas correctas - G2	Respuestas incorrectas - G2
Media	17,44	12,56	13,94	16,06

Mediana	17,00	13,00	14,50	15,5
Desviación típica	4,52	4,52	4,14	4,14
Varianza	20,40	20,40	17,13	17,13
Mínimo	<b>8</b>	2	<b>8</b>	8
Máximo	<b>28</b>	22	<b>22</b>	22

En el diagrama de cajas de la *Figura 38* se puede observar una diferencia entre la media del total de respuestas correctas acumuladas por el  $G_1$ , representado con la caja de color azul; y el  $G_2$ , representado con la caja de color amarillo. En el  $G_1$  se observa una media de respuestas correctas entre 15 a 18, con 2 datos atípicos, donde 1 está por debajo de 10 respuestas correctas y 1 por encima de 25 respuestas correctas. Por otro lado, en el caso del  $G_2$  se observa una media de respuestas correctas entre 11 a 16.

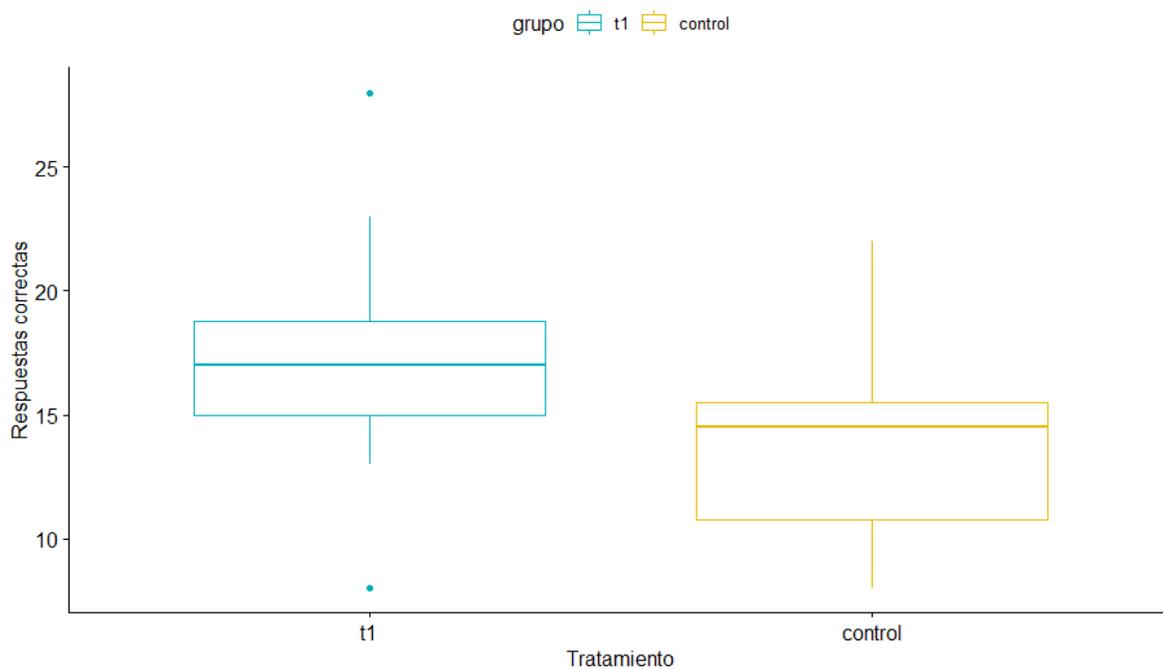


Figura 38. Diagrama de cajas – Total de Respuestas Correctas de la Posprueba 0

En la *Tabla 13* se presenta un resumen comparativo de los estadísticos descriptivos de las respuestas correctas en los tres módulos y los resultados globales de la Posprueba 0.

*Tabla 13.*

*Resumen de estadísticos descriptivos de las respuestas correctas en cada módulo.*

<b>Estadísticos descriptivos - Respuestas Correctas de Posprueba 0</b>						
<b>Módulo</b>	<b>Población</b>	<b>Media</b>	<b>Varianza</b>	<b>Rango de respuestas correctas</b>	<b>Dato atípico por encima de la media</b>	<b>Dato atípico por debajo de la media</b>
<b>Dinámica</b>	G1	5,88	3,72	[3-10]	2	1
	G2	3,81	3,76	[0-7]	0	0
<b>Frecuencia</b>	G1	5,19	7,23	[1-10]	0	0
	G2	4,19	3,23	[1-8]	0	0
<b>Loc. Horizontal</b>	G1	6,38	2,66	[2-9]	0	1
	G2	5,94	3,40	[2-10]	0	0
<b>Global</b>	G1	17,44	20,40	[8-28]	1	1
	G2	13,94	17,13	[8-22]	0	0

**Resultados de prueba t de Student.** Con el fin de verificar la existencia de una diferencia estadísticamente significativa entre los resultados de la Posprueba 0 de  $G_1$  y  $G_2$ , se realizó un análisis mediante la prueba t de Student, evaluando las respuestas correctas e incorrectas de la prueba. Los resultados se presentan en la *Tabla 13*. Los resultados obtenidos en los módulos de entrenamiento en frecuencia y en localización en el eje horizontal no presentaron diferencias significativas entre ambos grupos, debido a que el indicador de significancia bilateral es igual a 0,266 y 0,482, respectivamente.

Por otro lado, el análisis del total de respuestas en el módulo de dinámica presenta una significancia bilateral inferior al valor de aprobación de significancia (0,05), demostrando las diferencias significativas existentes.

Ahora bien, el análisis de Student presenta una diferencia significativa en el total de respuestas correctas acumuladas en la Posprueba 0. Esto permite evidenciar que hay una diferencia existente en los resultados globales de ambos grupos. A partir de lo anterior, se acepta la hipótesis de investigación y se rechaza la hipótesis nula.

*Tabla 14.*

*Estadísticos de Student de resultados de Posprueba 0*

---

**Estadísticos de Student de resultados de Posprueba 0**

---

Respuestas correctas de Posprueba 0	<i>t</i> de Student	Significancia bilateral
Dinámica	3,017	<b>0,005</b>
Frecuencia	1,237	0,226
Loc. Horizontal	0,712	0,482
Total de respuestas	2,285	<b>0,03</b>

### *Estadística Inferencial*

A través del software abierto *R* y su complemento RStudio, se realizó un análisis de varianza ANOVA para determinar el efecto de la aplicación del tratamiento, la prueba de Levene para evaluar la homogeneidad de las varianzas y la prueba de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad de los resultados (ver Figuras 47-54 en el Anexo E).

En este caso, se plantea el siguiente sistema de hipótesis:

- **H<sub>0</sub>**: No hay efecto del tratamiento
- **H<sub>a</sub>**: Hay efecto del tratamiento

**Resultados del Módulo de Entrenamiento en Dinámica.** Al realizar el ANOVA (ver Figura 39) se observó que el *p* valor de la prueba es igual a 0,00517. Por tanto, a un nivel de significancia del 5% hay evidencia estadísticamente significativa para rechazar la hipótesis nula. Esto significa que la media del número de respuestas correctas entre el grupo control y el grupo experimental es diferente. Es decir, hay efecto del tratamiento realizado en el número de respuestas correctas del módulo dinámica.

Se hizo la prueba de Levene para homogeneidad de varianzas y la prueba de Shapiro-Wilk para normalidad, y se observó que ambos supuestos se cumplen (ver Figuras 47-48 del Anexo E).

```

> #-----#
> # ANOVA #
> #-----#
> # Análisis de varianza
> res.aov <- aov(correctas ~ grupo, data = datos_din)
> # Resumen
> summary(res.aov)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
grupo   1  34.03   34.03    9.1 0.00517 **
Residuals 30 112.19    3.74
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
>

```

Figura 39. Resultados de análisis de varianza ANOVA – Módulo de entrenamiento en dinámica

**Resultados del Módulo de Entrenamiento en Frecuencia.** Al repetir el ANOVA (ver *Figura 40*) se observó que el  $p$  valor de la prueba es igual a 0,226. Por tanto, a un nivel de significancia del 5% no hay evidencia estadísticamente significativa para rechazar la hipótesis nula. Esto significa que la media del número de respuestas correctas entre el grupo control y el grupo experimental es igual. Es decir, no hay efecto del tratamiento aplicado en el número de respuestas correctas del módulo en frecuencia.

Se hizo la prueba de Levene para homogeneidad de varianzas y la prueba de Shapiro-Wilk para normalidad y se observó que ambos supuestos se cumplen (ver *Figuras 49-50* del Anexo E)

```

> #-----#
> # ANOVA #
> #-----#
> # Análisis de varianza
> res.aov <- aov(correctas ~ grupo, data = datos_frec)
> # Resumen
> summary(res.aov)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
grupo   1    8.0    8.000    1.53 0.226
Residuals 30 156.9    5.229

```

Figura 40. Resultados de análisis de varianza ANOVA - Módulo de Frecuencia

**Resultados del Módulo de Entrenamiento en Localización en el Eje Horizontal.** Al igual que en los anteriores módulos, a través del ANOVA (ver *Figura 41*) se observó que el  $p$  valor de la prueba es igual 0,482. Por tanto, a un nivel de significancia del 5% no hay evidencia estadísticamente significativa para rechazar la hipótesis nula. Esto significa que la media del número de respuestas correctas entre el grupo control y el grupo experimental es igual. Es decir, no existe un efecto del tratamiento en el número de respuestas correctas del módulo en localización en el eje horizontal.

Igualmente, se realizó la prueba de Levene para homogeneidad de varianzas y la prueba de Shapiro-Wilk para normalidad y se observó que se cumplen ambos supuestos (ver *Figuras 51-52* del Anexo E).

```
> #-----#
> # ANOVA #
> #-----#
> # Análisis de varianza
> res.aov <- aov(correctas ~ grupo, data = datos_loc)
> # Resumen
> summary(res.aov)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F	value	Pr(>F)
grupo	1	1.53	1.531	0.507	0.482	
Residuals	30	90.69	3.023			

Figura 41. Resultados de análisis de varianza ANOVA - Módulo de Localización en el Eje Horizontal

**Resultados Globales de la Posprueba 0.** A través del ANOVA (ver *Figura 42*) se observa que el  $p$  valor de la prueba es igual a 0,0295. Por tanto, a un nivel de significancia del 5% hay evidencia estadísticamente significativa para rechazar la hipótesis nula. Esto significa que la media del número de respuestas correctas entre el grupo control y el grupo experimental es diferente. Es decir, hay efecto del tratamiento en el total de respuestas correctas de la Posprueba 0.

Se hizo la prueba de Levene para homogeneidad de varianzas y la prueba de Shapiro-Wilk para normalidad y se observó que se cumplen ambos supuestos (ver *Figuras 53-54* del Anexo E).

```

> #-----#
> # ANOVA #
> #-----#
> # Análisis de varianza
> res.aov <- aov(correctas ~ grupo, data = datos_tot)
> # Resumen
> summary(res.aov)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
grupo    1   98.0   98.00   5.223 0.0295 *
Residuals 30  562.9   18.76
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

Figura 42. Resultados de análisis de varianza ANOVA – Resultados Globales de la Posprueba 0

### 5.3 Discusión

El tiempo de entrenamiento mínimo esperado en cada módulo de entrenamiento semanalmente es de 5 minutos. La suma de este tiempo durante siete semanas de entrenamiento es igual a 35 minutos. A pesar de haber llevado un control del tiempo de entrenamiento realizado durante las sesiones del curso ‘Entrenamiento Auditivo’, no se garantizó que los individuos cumplieran con el mismo homogéneamente. La inasistencia de los individuos del  $G_1$  a sesiones del curso limitó la acumulación de tiempo de entrenamiento en los módulos, pues no se tuvo control de la realización de entrenamiento auditivo en la aplicación web en contextos externos a estas.

Por medio del análisis estadístico de la mediana y la varianza fue posible evidenciar que en el módulo de entrenamiento en dinámica y en el total de las respuestas correctas en la Posprueba 0, existe una diferencia estadísticamente significativa para rechazar la hipótesis nula. Por el contrario, el análisis de los módulos de entrenamiento en frecuencia y localización en el eje horizontal no hay evidencia estadísticamente significativa para rechazar la hipótesis nula. Esto quiere decir que la aplicación web de entrenamiento auditivo tiene una influencia en el desarrollo de habilidades de escucha crítica en estudiantes de ingeniería de sonido en el módulo de entrenamiento en dinámica. A pesar de no tener un impacto en las habilidades de escucha crítica en los módulos de entrenamiento en frecuencia y localización en el eje horizontal, se evidencia un efecto de la aplicación web cuando se analizan los resultados de una evaluación de 30 preguntas que contempla ejercicios de los tres módulos de entrenamiento equitativamente.

Se evidencia que la media de tiempo total de entrenamiento promedio de los individuos del  $G_1$  en el módulo de entrenamiento en dinámica es cercano al esperado y mayor que el tiempo de entrenamiento en los módulos de frecuencia y localización en el eje horizontal (ver *Figura 34*), lo que permite inferir que la diferencia significativa en la mediana y la varianza de respuestas correctas en este módulo puede atribuirse al entrenamiento total realizado por los participantes. Adicionalmente, dados los requerimientos funcionales que demandan las metodologías de entrenamiento auditivo, este es el único módulo de entrenamiento que implementa las metodologías de entrenamiento por comparación activa y pasiva, y de identificación absoluta. En cambio, los módulos de entrenamiento en frecuencia y en localización en el eje horizontal solo aplican la metodología de entrenamiento por comparación activa y de identificación absoluta. Por lo último, se infiere que implementar las tres metodologías mencionadas en un entrenamiento auditivo tiene un mayor impacto en el desarrollo de habilidades de escucha crítica. Para poder abordar cada metodología de entrenamiento auditivo en los tres módulos es necesario replantear qué atributos del sonido orientados a la frecuencia o a la localización en el eje horizontal deben ser entrenados en la aplicación. Sin embargo, el diseño de la aplicación ‘*Sound Engine-hearing*’ se ajustó a atributos conocidos por los estudiantes del curso ‘Entrenamiento Auditivo’; por lo tanto, asimismo sería necesario una modificación de los contenidos del curso.

Al hacer un análisis de los casos atípicos presentados en los diagramas de cajas (ver *Figura 35*) del módulo de entrenamiento en dinámica, se observa que los individuos que sumaron 10 respuestas correctas no cumplen con el tiempo mínimo de entrenamiento esperado. A partir de lo anterior, se puede decir que, dadas las diferencias individuales en las aptitudes, no es posible determinar el tiempo de entrenamiento mínimo para el desarrollo de habilidades de escucha crítica. Sin embargo, se confirma que con un tiempo de entrenamiento auditivo total igual o cercano al esperado puede haber diferencias estadísticamente significativas en los resultados.

Paralelamente, al observar los resultados presentados en los diagramas de cajas del módulo de entrenamiento en localización en el eje horizontal (ver *Figura 37*), se observa que al menos un individuo del  $G_2$  alcanzó un total de 10 respuestas correctas sin haber recibido el tratamiento.

No se descarta que estos individuos tuviesen un entrenamiento auditivo previo al curso del mismo nombre que permitiera dar exactitud a sus respuestas en un menor tiempo o sin haber realizado entrenamiento auditivo con la aplicación diseñada en la presente investigación.

Es necesario garantizar la igualdad de aptitudes entre los individuos de las poblaciones control para mantener una homogeneidad en los resultados. Estos casos atípicos repercuten considerablemente en los análisis estadísticos al hacer estudios con poblaciones reducidas.

El autor Zhi Liu, por medio de la aplicación de un entrenamiento semanal con las mismas condiciones de tiempo del presente proyecto y la aplicación de pruebas intermedias en el proceso, determinó que la diferencia en las habilidades de escucha crítica de los atributos perceptuales del sonido entrenados era evidente a partir de la octava semana de entrenamiento, y que esta diferencia aumentaba progresivamente con el pasar de las semanas (Liu et al., 2007b). Esto se pudo confirmar con los resultados de la Posprueba 0, pues demuestran que la media de respuestas correctas obtenidas en los tres módulos es mayor para los participantes del  $G_1$  con respecto a  $G_2$ , al hacer una evaluación en la octava semana del tratamiento. Adicionalmente, los resultados globales evidencian una diferencia significativa. Por lo anterior, no se descarta que la aplicación desarrollada pudiera hacer una diferencia significativa mayor en las habilidades de escucha crítica con un entrenamiento realizado durante una mayor cantidad de semanas.

## 6. Conclusiones y Recomendaciones

### 6.1 Conclusiones

La aplicación web desarrollada en Unity permitió realizar un entrenamiento auditivo técnico para el desarrollo de habilidades de escucha crítica en atributos perceptuales del sonido orientados a dinámica y frecuencia, y en localización en el eje horizontal. Esta aplicación constó de tres módulos de entrenamiento dedicado a cada uno de estos, donde fue posible aplicar las metodologías de entrenamiento auditivo de comparación activa y pasiva, y de identificación absoluta.

La determinación de los requerimientos funcionales que estas metodologías de entrenamiento auditivo demandan y la planificación de las tres etapas fundamentales de la metodología de desarrollo de software *Scrum*, permitió sentar las bases para el diseño del aplicativo. Esta metodología de desarrollo garantizó el óptimo funcionamiento de la aplicación,

pues su agilidad permitió hacer entregas de avances con la corrección de errores de programación y navegabilidad detectados por los desarrolladores.

Al realizar un análisis estadístico con los datos obtenidos en la Posprueba 0, se evidenció que el grupo experimental tuvo un mayor promedio de respuestas correctas en las pruebas de los tres módulos de entrenamiento. Con un análisis de promedio y varianza, se detectó que sólo hubo una diferencia estadísticamente significativa en los resultados correspondientes al módulo de dinámica. Asimismo, el promedio de respuestas correctas acumuladas por el grupo experimental en las tres fases de la Posprueba 0 tuvo una diferencia estadísticamente significativa frente al del grupo control. Esto permitió confirmar la efectividad de la aplicación en el desarrollo de habilidades de escucha crítica.

Se observó que con un tiempo de entrenamiento auditivo igual o cercano al mínimo esperado, y con una implementación de las tres metodologías de entrenamiento auditivo se obtienen diferencias estadísticamente significativas en la exactitud de la respuesta de una población en pruebas de escucha crítica.

Los resultados de este proyecto contrastan con los trabajos de (Liu et al., 2007b), quienes aseguran que se evidencian diferencias en las habilidades de escucha crítica de estudiantes de programas académicos orientados al sonido a partir de la octava semana de un entrenamiento auditivo semanal de 15 minutos. En el presente caso, se comparan las habilidades de un grupo control y uno experimental en la octava semana del entrenamiento auditivo, y se evidencian diferencias.

En resumen, la determinación de los requerimientos funcionales para el desarrollo de una aplicación web que implemente distintas metodologías de entrenamiento auditivo permitió desarrollar una herramienta que aporta al curso ‘Entrenamiento Auditivo’ de la Universidad de San Buenaventura. Esta permite realizar la práctica de alguno de los parámetros y atributos perceptuales del sonido que los autores y profesionales del área consideran fundamentales para el desenvolvimiento de un ingeniero de sonido. Asimismo, la aplicación permite la realización de evaluaciones automáticas, dinámicas y exactas orientadas a ello. Adicionalmente, con un seguimiento determinado, esta herramienta permite que el estudiante desarrolle habilidades de escucha crítica dentro de un periodo de tiempo ajustado a calendarios académicos.

## 6.2 Recomendaciones

1. Implementar un sistema condicional de tiempo para el uso de los módulos de entrenamiento. Cuando el tiempo de entrenamiento mínimo en un módulo de entrenamiento no haya sido cumplido, debe restringirse el acceso al módulo de entrenamiento sucesor. Esto en aras de garantizar el cumplimiento de tiempo entrenamiento mínimo en cada módulo de entrenamiento.
2. Optimizar la interactividad e intuición de la interfaz gráfica de la aplicación, así como su funcionalidad, para garantizar la permanencia del usuario dentro de la plataforma.
3. Desarrollar versiones de la aplicación soportadas por múltiples plataformas de ejecución, para motivar al usuario a realizar entrenamiento auditivo fuera de las jornadas académicas.
4. Desarrollar módulos de entrenamiento auditivo alternativos para usuarios con oído crítico más desarrollado, en los que puedan hacer entrenamiento auditivo de otros parámetros del sonido contemplados dentro del contenido del curso 'Entrenamiento Auditivo'.
5. Mantener la presencia de un monitor dentro de las jornadas de entrenamiento auditivo, quien pueda dar asistencia en el uso correcto de la aplicación.
6. Garantizar la habituación básica de los atributos perceptuales y parámetros del sonido entrenados a través de la aplicación antes de cursar la asignatura, para poder realizar un entrenamiento auditivo orientado a ello durante todo el ciclo académico.
7. Hacer apertura de un curso de entrenamiento auditivo semestral dedicado exclusivamente a la práctica. Se espera que la aplicación tenga un mayor impacto en las habilidades de escucha crítica de los usuarios con un entrenamiento realizado durante una mayor cantidad de semanas.
8. Realizar un estudio de comparación del uso de estímulos auditivos musicales versus estímulos auditivos de contenido frecuencial para determinar el impacto de estos en el entrenamiento auditivo.

## Referencias

- Ayelo, F. (2017). *Aplicaciones para el entrenamiento auditivo psicoacústico*.
- Ballou, G. M. (2008). *Handbook for Sound Engineers*.
- Bassett, M. (2018). *The Influence of Training Method on Tone Colour Discrimination*.
- Berg, R. (1998). *Sound / Physics*. 1998. <https://www.britannica.com/science/sound-physics>
- Contreras Bravo, L., Escobar Elizalde, I., & Trisancho Ortiz, J. (2013). Estrategias educativas para el uso de las TIC en educación superior. *Tecnura: Tecnología y Cultura Afirmando el Conocimiento*, 17(1), 161–173.
- Corey, J. (2004). An Ear Training System for Identifying Parameters of Artificial Reverberation in Multichannel Audio. *Journal of The Audio Engineering Society*.
- Corey, J. (2007). *Beyond Splicing : Technical Ear Training Techniques*.
- Corey, J. (2010). *Audio production and critical listening : technical ear training*. Focal Press.
- Corey, J. (2013). Technical ear training: Tools and practical methods. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 133(5), 3413–3413.
- Dixon, D. (2019). *Psychoacoustics: How Perception Influences Music Production*. 2019. <https://www.izotope.com/en/learn/psychoacoustics-how-perception-influences-music-production.html>
- Domingo, A. M. (2005). *Apuntes de Acústica*.
- Fuentes Gómez, M. del C. (2011). *Material Didáctico - Notas del curso Análisis de requerimientos*.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6a ed.). [www.elosopanda.com%7Cjamespoetrodriguez.com](http://www.elosopanda.com%7Cjamespoetrodriguez.com)
- Hewitt, P. G. (2007). *Física Conceptual* (Pearson (ed.); 10th ed.).
- Indelicato, M. J., Hochgraf, C., & Kim, S. (2014). How critical listening exercises complement technical courses to effectively provide audio education for engineering technology students. *137th Audio Engineering Society Convention 2014*, 901–905.
- Kassier, R., Brookes, T., & Rumsey, F. (2006). *A Comparison between Spatial Audio Listener Training and Repetitive Practice*.
- Laínez, J. R. (2014). *Desarrollo de Software ÁGIL: Extreme Programming y Scrum*.
- Letowski, T. (1985). Development of Technical Listening Skills: Timbre Solfeggio. *AES: Journal of the Audio Engineering Society*, 33(4), 240–244.

- Linn, R., & Miller, M. (2014). Measurement and assessment in teaching. *Igarss 2014*, 1.
- Liu, Z., Wu, F., & Yang, Q. (2007a). *The Practice and Study of Ear Training on Discrimination of Sound Attributes*.
- Liu, Z., Wu, F., & Yang, Q. (2007b). *The Training and Analysis on Listening Discrimination of Pure Tone Frequency*.
- Lorenzi, A., & Chaix, B. (2016). *Sound / Cochlea*. <http://www.cochlea.eu/en/sound>
- Lysloff, R. T. A., & Kvifte, T. (1991). Instruments and the Electronic Age: Toward a Terminology for a Unified Description of Playing Technique. *Ethnomusicology*, 35(1), 129.
- Martin, D., & Massenburg, G. (2015). Advanced Technical Ear Training: Development of an Innovative Set of Exercises for Audio Engineers. *139th AES Convention*, 2–5.
- Martin, D., Massenburg, G., & King, R. (2018). Dynamic range controller ear training: Analysis of audio engineering student training data. *144th Audio Engineering Society Convention 2018*, 1–10.
- McKinnon-Bassett, M., & Martens, W. L. (2013). Experimental comparison of two versions of a technical ear training program: Transfer of training on tone colour identification to a dissimilarity-rating task. *Proceedings of the AES International Conference*, 54–63.
- Ministerio de Educación del Perú. (s/f). *La evaluación de los aprendizajes en educación a distancia*. - *Educrea*. Recuperado el 21 de octubre de 2018, de <https://educra.cl/la-evaluacion-de-los-aprendizajes-en-educacion-a-distancia/>
- Ministerio de Educación Nacional de Colombia. (2017). *La evaluación formativa y sus componentes para la construcción de una cultura de mejoramiento*. [http://aprende.colombiaaprende.edu.co/sites/default/files/naspublic/La evaluación formativa y sus componentes para la construcción de una cultura de mejoramiento.pdf](http://aprende.colombiaaprende.edu.co/sites/default/files/naspublic/La%20evaluaci3n%20formativa%20y%20sus%20componentes%20para%20la%20construcci3n%20de%20una%20cultura%20de%20mejoramiento.pdf)
- Nishimura, A. (2013). Ear training for non-technical students using a web-based training system. *Proceedings of the AES International Conference*, 29–35.
- Núñez, A. (2011). *¿QUÉ ES LA PSICOACÚSTICA?*
- Olive, S. (2001). A New Listener Training Software Application Sean. *Aes, Convention(110)*, 1–6.
- Peñuela, F., & López, S. (2013). *Desarrollo de una herramienta de entrenamiento auditivo orientada a mejorar la capacidad de localización de fuentes sonoras en el plano horizontal*.
- Peralta, A. (2003). *Metodología SCRUM*.

- Quesnel, R. (2001). *A Computer-Assisted Method for Training and Researching Timbre Memory and Evaluation Skills*. December, 1–144.
- Quesnel, R., & Woszczyk, W. R. (1994). *A Computer-Aided System for Timbral Ear Training*.
- Rochman, D. (2013). *Critical Listening: How to Train Your Ears*. 2013.  
<https://www.shure.com/en-US/headphones-earphones/amplify/critical-listening-how-to-train-your-ears>
- Sánchez, A. S. (2018). *¿Qué es una dirección IP? ¿Cómo saber mi IP? ¿Pública o privada?* 2018. <https://raiolanetworks.es/blog/que-es-una-direccion-ip/>
- Sánchez, M. (2018, noviembre 6). La evaluación del aprendizaje de los estudiantes: ¿es realmente tan complicada? *Revista Digital Universitaria*. Vol. 19.
- Sierra, J. D. (2020). *¿Qué escuchamos cuando escuchamos?*
- Unity. (2019). *Unity - Manual: Unity User Manual (2019.3)*. 2019.  
<https://docs.unity3d.com/Manual/UnityManual.html>
- Universidad de Barcelona. (2019). *Psychoacoustics*. 2019.  
<https://www.ub.edu/artsoundscapes/psychoacoustics/>
- Velankard, M. (2013). *Study paper for Timbre identification in sound*.
- Wilson, J., Buffa, A., & Lou, B. (2007). *Física*.
- Zwicker, E., & Fastl, H. (2007). *Psycho-Acustics*.

## Anexos

## Anexo A

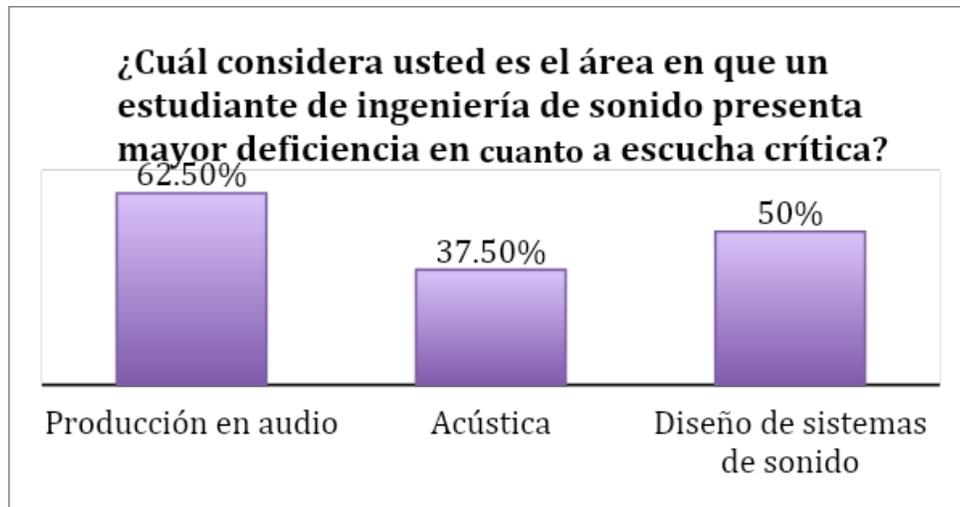


Figura 43. Resultado de la pregunta: “¿Cuál considera usted es el área en que un estudiante de ingeniería de sonido presenta mayor deficiencia en cuanto a escucha crítica?”, según los docentes del programa de ingeniería de sonido de la Universidad San Buenaventura

## Tabla 15.

Resultado de la pregunta: “¿Qué parámetros de los procesos basados en dinámica y ecualización considera que un ingeniero de sonido debe entrenar más activamente para un desarrollo de escucha crítica? – Ecualización”, según los docentes del programa de ingeniería de sonido de la Universidad San Buenaventura

Parámetro	%
Frecuencia de corte	75%
Ancho de banda	62,50%
Ganancia de frecuencia	37,50%
Filtros pasabanda	37,50%
Frecuencias de resonancia	50%

Tabla 16.

*Resultado de la pregunta: “¿Qué parámetros de los procesos basados en dinámica y ecualización considera que un ingeniero de sonido debe entrenar más activamente para un desarrollo de escucha crítica? – Compresión”, según los docentes del programa de ingeniería de sonido de la Universidad San Buenaventura*

<b>Parámetro</b>	<b>%</b>
Threshold	50%
Ratio	62,50%
Attack	62,50%
Decay/Release	87,50%
Knee	25%
Gain	25%

Tabla 17.

*Resultado de la pregunta: “¿Qué parámetros de los procesos basados en dinámica y ecualización considera que un ingeniero de sonido debe entrenar más activamente para un desarrollo de escucha crítica? – Distorsión”, según los docentes del programa de ingeniería de sonido de la Universidad San Buenaventura.*

<b>Parámetro</b>	<b>%</b>
Distorsión en frecuencia	75%
Distorsión armónica en fase	75%
Nivel de ganancia de distorsión	37,50%

Tabla 18.

*Resultado de la pregunta: “¿Qué parámetros de los procesos basados en tiempo considera que un ingeniero de sonido debería identificar en su escucha crítica? – Reverberación”, según los docentes del programa de ingeniería de sonido de la Universidad San Buenaventura*

<b>Parámetro</b>	<b>%</b>
Tamaño de la sala	62,50%
Difusión	50%
Tiempo de reverberación	62,50%
Mezcla (Dry/Wet)	62,50%
Reflexiones tempranas	25%
Sostenimiento	50%

*Tabla 19.*

*Resultado de la pregunta: “¿Qué parámetros de los procesos basados en tiempo considera que un ingeniero de sonido debería identificar en su escucha crítica? - Delay”, según los docentes del programa de ingeniería de sonido de la Universidad San Buenaventura*

<b>Parámetro</b>	<b>%</b>
Tiempo de retraso	87,50%
Tempo Sync	25%
Retroalimentación	25%
Profundidad	62,50%
Mezcla (Dry/Wet)	62,50%
Rate	12,50%
Panning	62,50%
Ping-pong delay	12,50%

*Tabla 20.*

*Resultado de la pregunta: “¿Qué nociones musicales considera que un ingeniero de sonido debe desarrollar para su escucha crítica?”, según los docentes del programa de ingeniería de sonido de la Universidad San Buenaventura*

<b>Parámetro</b>	<b>%</b>
Tempo	100%
Ritmo	87,5%
Armonía	87.5%

Intervalos	62.5%
Escalas	50%

## Anexo B

Tabla 21.

*Banco de mensajes de felicitación impresos al sumar una respuesta correcta*

<b>Mensajes de felicitación</b>
¡Genial!
¡Qué gran oído!
¡Chris Lord-Alge estaría orgulloso!
¡Lo haces como Al Schmitt!
¡Fantástico!
¡Sigue así!
¿Intentas ser el próximo Tony Maserati? ¡Excelente!
¡Increíble!
¡Acierto!
¡Abbey Road busca alguien como tú!
Oye... ¡Tranquilo, Eddie Kramer!
¡Greg Wells piensa que eres asombroso!

Tabla 22.

*Banco de mensajes de motivación impresos al sumar una respuesta incorrecta*

<b>Ánimo</b>
¡No te desanimés!
¡Poco a poco!
¡Lo lograrás a la próxima!
¡Tú puedes lograrlo!
¡Ya casi lo tienes!
¡Estuviste cerca!
¡La práctica hace al maestro!
¡Cree en ti!
¡Vamos, ya casi!
¡Ánimo!

**Anexo C***Tabla 23.**Tiempo de entrenamiento total por módulos*

<b>Tiempo de entrenamiento - G1</b>		
<b>Usuario</b>	<b>Entrenamiento</b>	<b>Tiempo de entrenamiento</b>
<b>G1-1</b>	Dinámica	50,37
	Frecuencia	21,19
	Loc. Horizontal	26,04
<b>G1-2</b>	Dinámica	17,25
	Frecuencia	3,44
	Loc. Horizontal	25,16
<b>G1-3</b>	Dinámica	37,74
	Frecuencia	4,04
	Loc. Horizontal	11,05
<b>G1-4</b>	Dinámica	16,27
	Frecuencia	11,88
	Loc. Horizontal	10,67
<b>G1-5</b>	Dinámica	25,57
	Frecuencia	24,94
	Loc. Horizontal	19,49
<b>G1-6</b>	Dinámica	16,25
	Frecuencia	9,41
	Loc. Horizontal	19,20
<b>G1-7</b>	Dinámica	21,90
	Frecuencia	16,29
	Loc. Horizontal	34,76
<b>G1-8</b>	Dinámica	23,44
	Frecuencia	10,44
	Loc. Horizontal	28,91
<b>G1-9</b>	Dinámica	87,76
	Frecuencia	42,93
	Loc. Horizontal	38,63
<b>G1-10</b>	Dinámica	28,83

	Frecuencia	5,88
	Loc. Horizontal	15,50
	Dinámica	13,53
<b>G1-11</b>	Frecuencia	16,21
	Loc. Horizontal	18,96
	Dinámica	25,65
<b>G1-12</b>	Frecuencia	10,36
	Loc. Horizontal	20,51
	Dinámica	52,17
<b>G1-13</b>	Frecuencia	13,63
	Loc. Horizontal	22,48
	Dinámica	29,50
<b>G1-14</b>	Frecuencia	8,13
	Loc. Horizontal	17,27
	Dinámica	48,65
<b>G1-15</b>	Frecuencia	14,40
	Loc. Horizontal	28,39
	Dinámica	13,96
<b>G1-16</b>	Frecuencia	11,48
	Loc. Horizontal	12,36

Tabla 24.

Resultados de Posprueba 0 – G<sub>1</sub>

Resultados de Posprueba 0 - G1		
Usuario	Entrenamiento	Respuestas Correctas
	Dinámica	5
<b>G1-1</b>	Frecuencia	9
	Loc. Horizontal	7
	Dinámica	3
<b>G1-2</b>	Frecuencia	6
	Loc. Horizontal	8
	Dinámica	6
<b>G1-3</b>	Frecuencia	3
	Loc. Horizontal	8

	Dinámica	4
<b>G1-4</b>	Frecuencia	3
	Loc. Horizontal	6
	Dinámica	7
<b>G1-5</b>	Frecuencia	10
	Loc. Horizontal	6
	Dinámica	6
<b>G1-6</b>	Frecuencia	3
	Loc. Horizontal	7
	Dinámica	5
<b>G1-7</b>	Frecuencia	4
	Loc. Horizontal	8
	Dinámica	6
<b>G1-8</b>	Frecuencia	3
	Loc. Horizontal	6
	Dinámica	5
<b>G1-9</b>	Frecuencia	5
	Loc. Horizontal	5
	Dinámica	5
<b>G1-10</b>	Frecuencia	5
	Loc. Horizontal	7
	Dinámica	9
<b>G1-11</b>	Frecuencia	10
	Loc. Horizontal	9
	Dinámica	6
<b>G1-12</b>	Frecuencia	5
	Loc. Horizontal	6
	Dinámica	3
<b>G1-13</b>	Frecuencia	3
	Loc. Horizontal	2
	Dinámica	10
<b>G1-14</b>	Frecuencia	6
	Loc. Horizontal	6
	Dinámica	8
<b>G1-15</b>	Frecuencia	1
	Loc. Horizontal	6

	Dinámica	6
<b>G1-16</b>	Frecuencia	7
	Loc. Horizontal	5

Tabla 25.

Resultados de Posprueba 0 – G<sub>2</sub>

<b>Resultados de Posprueba 0 - G2</b>		
<b>Usuario</b>	<b>Entrenamiento</b>	<b>Respuestas Correctas</b>
<b>G2-1</b>	Dinámica	1
	Frecuencia	2
	Loc. Horizontal	5
<b>G2-2</b>	Dinámica	7
	Frecuencia	6
	Loc. Horizontal	8
<b>G2-3</b>	Dinámica	5
	Frecuencia	4
	Loc. Horizontal	2
<b>G2-4</b>	Dinámica	7
	Frecuencia	3
	Loc. Horizontal	7
<b>G2-5</b>	Dinámica	4
	Frecuencia	5
	Loc. Horizontal	5
<b>G2-6</b>	Dinámica	6
	Frecuencia	3
	Loc. Horizontal	6
<b>G2-7</b>	Dinámica	4
	Frecuencia	8
	Loc. Horizontal	10
<b>G2-8</b>	Dinámica	3
	Frecuencia	5
	Loc. Horizontal	6
<b>G2-9</b>	Dinámica	3
	Frecuencia	5
	Loc. Horizontal	7

	Dinámica	5
<b>G2-10</b>	Frecuencia	4
	Loc. Horizontal	6
	Dinámica	0
<b>G2-11</b>	Frecuencia	5
	Loc. Horizontal	3
	Dinámica	4
<b>G2-12</b>	Frecuencia	6
	Loc. Horizontal	7
	Dinámica	3
<b>G2-13</b>	Frecuencia	1
	Loc. Horizontal	6
	Dinámica	4
<b>G2-14</b>	Frecuencia	5
	Loc. Horizontal	6
	Dinámica	3
<b>G2-15</b>	Frecuencia	3
	Loc. Horizontal	5
	Dinámica	2
<b>G2-16</b>	Frecuencia	2
	Loc. Horizontal	6

## Anexo D

### REGISTRO

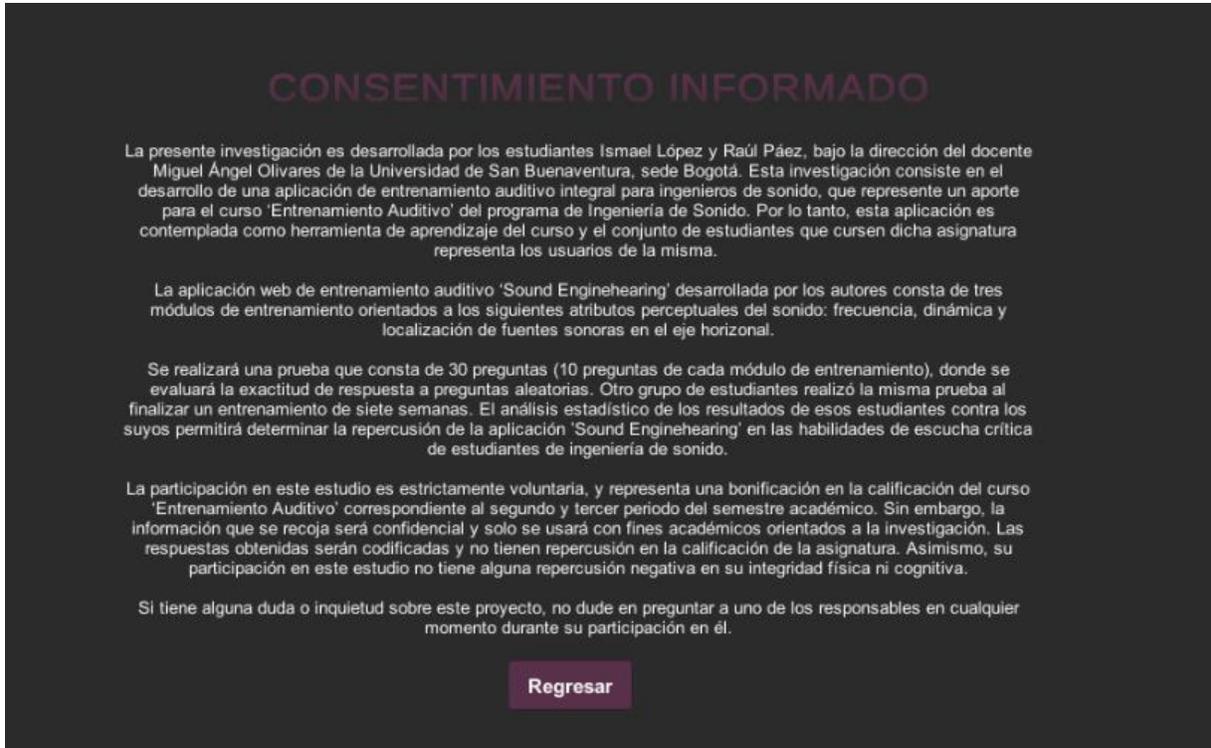
He leído y acepto los términos y condiciones especificados en el [consentimiento informado](#)

Registrar

Regresar



Figura 44. Casilla de confirmación de lectura y aceptación de los términos y condiciones especificados en el consentimiento informado



**CONSENTIMIENTO INFORMADO**

La presente investigación es desarrollada por los estudiantes Ismael López y Raúl Páez, bajo la dirección del docente Miguel Ángel Olivares de la Universidad de San Buenaventura, sede Bogotá. Esta investigación consiste en el desarrollo de una aplicación de entrenamiento auditivo integral para Ingenieros de sonido, que represente un aporte para el curso 'Entrenamiento Auditivo' del programa de Ingeniería de Sonido. Por lo tanto, esta aplicación es contemplada como herramienta de aprendizaje del curso y el conjunto de estudiantes que cursen dicha asignatura representa los usuarios de la misma.

La aplicación web de entrenamiento auditivo 'Sound Enginearing' desarrollada por los autores consta de tres módulos de entrenamiento orientados a los siguientes atributos perceptuales del sonido: frecuencia, dinámica y localización de fuentes sonoras en el eje horizontal.

Se realizará una prueba que consta de 30 preguntas (10 preguntas de cada módulo de entrenamiento), donde se evaluará la exactitud de respuesta a preguntas aleatorias. Otro grupo de estudiantes realizó la misma prueba al finalizar un entrenamiento de siete semanas. El análisis estadístico de los resultados de esos estudiantes contra los suyos permitirá determinar la repercusión de la aplicación 'Sound Enginearing' en las habilidades de escucha crítica de estudiantes de ingeniería de sonido.

La participación en este estudio es estrictamente voluntaria, y representa una bonificación en la calificación del curso 'Entrenamiento Auditivo' correspondiente al segundo y tercer periodo del semestre académico. Sin embargo, la información que se recoja será confidencial y solo se usará con fines académicos orientados a la investigación. Las respuestas obtenidas serán codificadas y no tienen repercusión en la calificación de la asignatura. Asimismo, su participación en este estudio no tiene alguna repercusión negativa en su integridad física ni cognitiva.

Si tiene alguna duda o inquietud sobre este proyecto, no dude en preguntar a uno de los responsables en cualquier momento durante su participación en él.

[Regresar](#)

Figura 45. Apartado de consentimiento informado en el Módulo de Registro

**CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA ESTUDIANTES DE  
ENTRENAMIENTO AUDITIVO – SEMESTRE 2019-II**

El presente documento de consentimiento tiene como propósito proveer a los estudiantes del curso 'Entrenamiento Auditivo' una explicación detallada del proceso de entrenamiento realizado a través de la aplicación 'Sound Enginehearing', y el objetivo del mismo.

La presente investigación es desarrollada por los estudiantes Ismael López y Raúl Páez, bajo la dirección del docente Miguel Ángel Olivares de la Universidad de San Buenaventura, sede Bogotá. Esta investigación consiste en el desarrollo de una aplicación de entrenamiento auditivo integral para ingenieros de sonido, que represente un aporte para el curso 'Entrenamiento Auditivo' del programa de Ingeniería de Sonido. Por lo tanto, esta aplicación es contemplada como herramienta de aprendizaje del curso durante el segundo semestre del calendario académico del 2019, y el conjunto de estudiantes que cursen dicha asignatura representa los usuarios de la misma.

La aplicación web de entrenamiento auditivo 'Sound Enginehearing' desarrollada por los autores consta de tres módulos de entrenamiento orientados a los siguientes atributos perceptuales del sonido: frecuencia, dinámica y localización de fuentes sonoras en el eje horizontal.

Durante 7 semanas, en el transcurso de las sesiones del curso 'Entrenamiento Auditivo', se realizarán 15 minutos de entrenamiento auditivo, distribuidos equitativamente en cada módulo de entrenamiento; para un total de 5 minutos de entrenamiento en cada módulo. En la octava semana del proceso, se realizará una prueba final de 30 preguntas (10 preguntas de cada módulo de entrenamiento), donde se evaluará la exactitud de respuesta a preguntas aleatorias, y permitirá determinar la repercusión de la aplicación 'Sound Enginehearing' en las habilidades de escucha crítica de estudiantes de ingeniería de sonido.

La participación en este estudio es estrictamente voluntaria, y representa una bonificación en la calificación del curso 'Entrenamiento Auditivo' correspondiente al segundo y tercer periodo del semestre académico. Sin embargo, la información que se recoja será confidencial y solo se usará con fines académicos orientados a la investigación. Las respuestas obtenidas serán codificadas y no tienen repercusión en la calificación de la asignatura. Asimismo, su participación en este estudio no tiene alguna repercusión negativa en su integridad física ni cognitiva.

Si tiene alguna duda o inquietud sobre este proyecto antes o durante su participación en él, consulte inmediatamente a uno de los estudiantes responsables.

Agradecemos su activa participación.

---

Acepto participar voluntariamente en este proceso de entrenamiento auditivo, conducido por los estudiantes Ismael López y Raúl Páez de la Universidad de San Buenaventura, sede Bogotá, bajo la dirección del docente Miguel Ángel Olivares Tenorio. He sido informado(a) del objetivo del proceso.

Reconozco que la información que yo provea en el proceso de entrenamiento auditivo y en la evaluación final es estrictamente confidencial y solo será usada con fines académicos. He sido informado(a) que puedo hacer preguntas sobre el proyecto en cualquier momento, y que este no tiene repercusión negativa en mi integridad física y cognitiva.

Si tiene alguna duda o inquietud sobre este proyecto, no dude en preguntar a uno de los responsables en cualquier momento durante su participación en él.

Bogotá D.C., \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ del 2019

\_\_\_\_\_

Firma del estudiante

  
\_\_\_\_\_

Firma del responsable

Figura 46. Consentimiento informado para estudiantes de 'Entrenamiento Auditivo' – Semestre 2019-II

**Anexo E**

```
> leveneTest(correctas ~ grupo, data = datos_din)
Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = median)
      Df F value Pr(>F)
group  1  0.0189 0.8917
      30
... ..
```

Figura 47. Resultados de la prueba de Levene - Módulo de Dinámica

```
> # Prueba Shapiro-Wilk
> shapiro.test(x = aov_residuals )

      Shapiro-Wilk normality test

data:  aov_residuals
W = 0.95778, p-value = 0.2386
```

Figura 48. Resultados de la prueba de Shapiro-Wilk - Módulo de Dinámica

```
> # Test de levene
> library(car)
> leveneTest(correctas ~ grupo, data = datos_frec)
Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = median)
      Df F value Pr(>F)
group  1  1.6199 0.2129
      30
```

Figura 49. Resultados de la prueba de Levene - Módulo de Frecuencia

```
> # Prueba Shapiro-Wilk
> shapiro.test(x = aov_residuals )

Shapiro-Wilk normality test

data:  aov_residuals
W = 0.94353, p-value = 0.09431
```

Figura 50. Resultados de la prueba de Shapiro-Wilk - Módulo de Frecuencia

```
> # Test de levene
> library(car)
> leveneTest(correctas ~ grupo, data = datos_loc)
Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = median)
  Df F value Pr(>F)
group 1  0.0187 0.8922
      30
```

Figura 51. Resultados de la prueba de Levene - Módulo de Localización en el Eje Horizontal

```
> # Prueba Shapiro-Wilk
> shapiro.test(x = aov_residuals )

Shapiro-Wilk normality test

data:  aov_residuals
W = 0.94491, p-value = 0.1033
```

Figura 52. Resultados de la prueba de Shapiro-Wilk - Módulo de Localización en el Eje Horizontal

```
> # Test de Levene
> library(car)
> leveneTest(correctas ~ grupo, data = datos_tot)
Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = median)
      Df F value Pr(>F)
group 1  0.0555 0.8154
      30
```

Figura 53. Resultados de la prueba de Levene – Resultados Globales de la Posprueba 0

```
> # Prueba Shapiro-Wilk
> shapiro.test(x = aov_residuals )

      Shapiro-Wilk normality test

data:  aov_residuals
W = 0.97635, p-value = 0.6888
```

Figura 54. Resultados de la prueba de Shapiro-Wilk - Resultados Globales de la Posprueba 0