







## RESUMO

A presente investigação teve como objetivo determinar se os pulsos alfa binaural reduzem os níveis de estresse subseqüentemente induzidos por uma situação de realidade virtual, fazendo uma comparação com um grupo de controle em uma amostra de estudantes universitários. A amostra era não-probabilística e tinha um total de 32 participantes entre 18 e 28 anos de idade, que eram estudantes universitários da cidade de La Paz, Bolívia. Eles foram divididos aleatoriamente em dois grupos com um total de 16 alunos em cada grupo. O grupo experimental ouviu os pulsos binaurais, enquanto o grupo de controle ouviu o som de controle, obtendo como dados o eletrocardiograma e os sinais de eletroencefalograma, além das respostas do Manequim de Auto-Avaliação (SAM) para conhecer suas percepções emocionais com respeito aos estímulos. Dois modelos de classificação relacionados ao estresse também foram desenvolvidos com o *Machine Learning*. Os resultados não mostraram diferenças significativas entre os dois grupos

*Palavras-chave:* Pulso Binaural, Tensão, Eletrocardiograma, Eletroencefalograma, Eletroencefalograma, Aprendizagem de Máquina.

## INTRODUCCIÓN

Las condiciones actuales de vida implican un ritmo acelerado que enfrenta a las personas con situaciones altamente demandantes en ausencia de mecanismos de respuestas adaptativos. Esto ocasiona daño a nivel orgánico y psicológico, con tendencia a la cronicidad (Spangenberg, 2015).

Según McEwen (2007), el estrés es un término que sirve para describir experiencias que presentan retos emocionales y psicológicos. Estos pueden ser, según Pelletier (2004) citado en Rosete (2013), la ansiedad, el miedo y el enojo, así como también el *arousal* fisiológico y la dificultad para adaptarse a las condiciones estresantes. Según Zárate et al. (2014), las respuestas fisiológicas emitidas ante situaciones de estrés se relacionan con las actividades del sistema nervioso autónomo y el eje hipotálamo-hipofisario-adrenal (HPA). Si la activación ante estas reacciones es transitoria, se considerará un fenómeno agudo. No obstante, cuando las demandas ambientales exceden las habilidades adaptativas del organismo haciendo que la respuesta se prolongue debido a que el estímulo estresor persiste, la activación del HPA es mantenida en el tiempo siendo considerado un fenómeno crónico (Zárate et al., 2014).

El estrés también actúa sobre el sistema cardiovascular, el respiratorio y el digestivo, así como en la musculatura, la piel y el sistema inmunológico. Las reacciones fisiológicas ante una situación estresante se relacionan de alguna forma con la etiopatología de varias enfermedades, debido a la prolongación y/o reiteración de los cambios fisiológicos generados por la demora en que se recuperan los niveles iniciales de las respuestas alteradas (Rosete, 2013).

Un grupo de estudios han utilizado los Pulsos Binaurales (PB) como niveladores de estrés, utilizando en especial las ondas alfa y theta para generar un estado de relajación en los participantes (Wahbeh et al., 2007; Norhazman et al., 2019).

Del mismo modo, los PB han sido usados en estudios como ansiolíticos en varios entornos hospitalarios previos al procedimiento de sedación farmacológica no deseable (Padmanabhan et al., 2005). Además, los sonidos binaurales fueron eficaces para reducir los niveles de ansiedad en estudiantes peruanos que fueron expuestos a exámenes de admisión universitaria (Ccama, 2015). Los PB se generan cuando se presenta a cada oído de forma separada, dos tonos sinusoidales con intensidades constantes y frecuencias levemente diferentes, haciendo que la información presentada a cada oído se combine para producir una percepción unificada con una frecuencia percibida que será igual a la media entre ambos tonos, generando una integración binaural (García-Argibay, 2018). Por ejemplo, un tono portador de 444 Hz de frecuencia presentado en un oído y un tono modulador de 434 Hz presentado en el otro, produce un batimiento que será percibido por el cerebro con una frecuencia de 10 Hz (Oster, 1973).

Los PB son artefactos de la audición, producto de la manera en cómo el cerebro procesa la información proveniente del oído (Reyes-Rivas y Velasco, 2014). Tienen el potencial de ser moduladores de la cognición o del estado de ánimo, convirtiéndose en un candidato interesante para fines de investigación (Gil López, 2020). No obstante, existen también estudios que señalan no haber obtenido resultados significativos en los efectos de estimulación de los PB tanto a nivel emocional como cognitivo (Petrovich, 2018; López-Caballero, 2017). Es importante señalar que los mecanismos cerebrales de esta estimulación acústica y cómo estos

generan cambios psicofisiológicos, aún no se encuentran bien definidos. Por consiguiente, se requieren de mayor investigación para confirmar las áreas en las que, este proceso, se podría aplicar con mayor eficacia (Gil López, 2020).

Otro ámbito a explorarse es la Computación Afectiva (CA), que es un campo multidisciplinar que abarca la informática, la ingeniería, la psicología, la educación, la neurociencia y otras disciplinas. La investigación en CA implica el estudio de cómo los factores afectivos influyen en las interacciones entre los seres humanos y la tecnología, cómo las técnicas de detección y generación de afectos pueden influir nuestra comprensión del afecto humano, y el diseño, la implementación y la evaluación de sistemas que lo explican (Calvo et al., 2015). Gran parte de la tecnología utilizada en la CA puede aplicarse directamente en la detección del estrés, especialmente las tecnologías no invasivas más modernas. Estos modos de CA, junto con la tecnología de Realidad Virtual (RV), podrían ser revolucionarios en la evaluación e intervención del estrés (Greene et al., 2016).

Por otro lado, se ha utilizado la RV cómo una herramienta para el tratamiento de trastornos de estrés postraumático y como evocadora de ansiedad generada por la exposición a situaciones estresantes. Ha permitido también el análisis de los cambios de la actividad cardiovascular (Rothbaum et al., 2001; Villani et al., 2017; Cho et al., 2017).

El *Machine Learning* es una herramienta tecnológica definida como un campo de las ciencias de la computación cuyo objetivo es extraer información de los datos. Proporciona un marco atractivo para descubrir relaciones estables entre conjuntos de datos y se la ha sugerido como una herramienta que pueden revelar los correlatos neurales de la música y la emoción (Daly et al., 2014). Los algoritmos de *Machine Learning* (ML) han demostrado ser prometedores para ofrecer soluciones a problemas complejos (Rebala et al., 2019), como por ejemplo la identificación de patrones fisiológicos asociados al estado emocional (Giannakakis et al., 2019). En el marco de esta problemática, a continuación, se señalan las siguientes preguntas que se espera que guíen la presente investigación: a) ¿Ejercen los pulsos binaurales, una influencia significativa en el cambio de los niveles de estrés inducido en una muestra de estudiantes universitarios? b) ¿Es posible elaborar un modelo de clasificación en *machine learning* de los resultados obtenidos durante la investigación?

## MÉTODOS

### *Tipo de Investigación*

Se realizó un diseño cuasi-experimental con grupos preexistentes no equivalentes (Núñez, 2011). Asimismo, se manipularon los pulsos binaurales y se observó su influencia sobre el estrés inducido. La variable independiente fue intervenida de forma aleatoria en uno de los dos grupos, mientras que el otro operó como control, escuchándose un sonido que no presentó la diferencia de frecuencias en cada oído. Asimismo, se realizó un pre-test a todos los participantes de ambos grupos para saber si sus niveles de estrés se encontraban dentro del mismo rango. Asimismo, se aplicó un post-test en ambos grupos para conocer la influencia que ejerció la variable independiente y el estímulo inductor de estrés.

### *Participantes*

Los participantes fueron 32 jóvenes universitarios elegidos convenientemente, con edades entre los 18 a 28 años de edad, con una media de 21,22 años y una  $DE = 2,459$ . Trece fueron varones (40.6%) y 19 mujeres (59.4%). Diez y seis participantes (7 varones y 9 mujeres) fueron asignados aleatoriamente a la condición experimental, y el resto (6 varones y 10 mujeres), al grupo de control. Todos los participantes se encontraban sanos, no mostraron deficiencias auditivas y ninguno había consumido sustancias estimulantes, al menos 2 horas antes de la prueba.

### *Ambiente*

La investigación se llevó a cabo en el laboratorio de Conducta Humana de la Unidad de Investigación Experimental (UIE) de la Universidad Católica Boliviana. Dicho laboratorio cuenta con varias salas de trabajo, una cámara Gesell, un espacio especializado para trabajar con la realidad virtual y condiciones de iluminación y temperatura adecuadas.

### *Instrumentos y materiales*

*Cuestionario de estrés percibido (Perceived Stress Questionnaire (PSQ, Levenstein et al., 1993).* El PSQ valora el estrés percibido en el último año (General) o en el último mes (Reciente). Mide los niveles cognitivo y emocional del estrés percibido a través de una escala Likert de 4 puntos (de “casi nunca” a “casi siempre”). Sus dimensiones son las siguientes: hostigamiento o acoso, sobrecarga, irritabilidad, falta de alegría, cansancio, preocupación y tensión. La validez convergente del PSQ arrojó los siguientes coeficientes: Ansiedad ( $r = 0.75$ ); Escala de Estrés Percibido de Cohen ( $r = 0.73$ ), Depresión ( $r = 0.56$ ) y Estrés Comunicado ( $r = 0.56$ ). Por otro lado, la fiabilidad presentó una media de consistencia interna con un alfa de Cronbach  $> 0.90$ , y el índice general de test-retest fue de 0.82. (Levenstein et al., 1993; Lahoz y Forms, 2013).

*Maniquí de Autoevaluación (Self Assessment Manikin SAM, Bradley y Lang, 1994).* El SAM es una técnica de evaluación gráfica no verbal que mide el placer, activación y dominancia que la persona presenta en su reacción afectiva ante una variedad de estímulos. Se lo utiliza para cuantificar y obtener los valores numéricos de las siguientes dimensiones: a) *Valencia*, cataloga la emoción como agradable o desagradable; b) *Activación*, hace referencia al nivel de energía que contiene la emoción que puede ir desde activado o relajado; y c) *Dominancia*, que es el grado de control percibido sobre la respuesta emocional (Reyes-Rivas y Velasco, 2014).

*Electroencefalograma.* Se utilizó un EEG de la marca OpenBCI de 4 canales, los cuales estuvieron colocados en las posiciones O1, O2, T3 y T4 con el sistema 10-20. El equipo se conforma por las placas OpenBCI para medir y registrar la actividad eléctrica producida por el cerebro, el OpenBCI GUI, es una herramienta de software para visualizar, grabar y transmitir datos desde las placas OpenBCI. Los datos se pueden mostrar en tiempo real, reproducir y guardar en la computadora en formato .txt. Se operó también el Ganglion Board, modelo hardware, que es un dispositivo alto en calidad de bio-detección, compatible con código abierto de OpenBCI software y puede conectarse a un electrodo de referencia para medir EEG. Los datos se muestrean a 200 Hz en cada uno de los 4 canales.

*Electrocardiograma.* Se utilizó el *Biopac Student Lab*, software y hardware que permiten el análisis de datos en forma de señales fisiológicas. Cuenta con los electrodos necesarios para

captar información cardíaca, miográfica así como la conductancia eléctrica de la piel. Asimismo, se usó el *Acqknowledge*, un software de la empresa BioPac, para registrar, analizar y filtrar los datos en tiempo real y posteriormente después de su obtención. Los datos pueden ser impresos en formato continuo, como diagrama X-Y o gráficamente.

*Visor de Realidad Virtual.* El visor de realidad virtual, *Oculus Quest 1*, con lentes ajustables con una resolución OLED de 1.600 x 1.400 píxeles. Posee 4 sensores externos de movimiento, con 6 grados de libertad y su sistema operativo está basado en Android; el sonido se encuentra integrado en el visor sin la asistencia de auriculares y posee dos controles (*Oculus Touch*).

*Face Your Fears.* Es un juego que presenta una experiencia terrorífica, a través de escenas que inducen miedos comunes. Mediante el *Haunting*, una de sus aplicaciones, los jugadores experimentan la emoción y el miedo inducidos por eventos aterradores.

*Audacity 3.0.2.* Es un software de edición y grabación de audio de código abierto para Windows, Mac y Linux. Esta herramienta es utilizada para grabar, componer y producir una variedad de grabaciones de audio. Permite grabar un audio nuevo a través de un micrófono, crea y edita sonidos y reduce o amplifica su volumen.

*Audífonos.* Stereo Sony MDR-EX15AP con micrófono. Posee una sensibilidad de 100dB/mW, una respuesta de frecuencia de 8 Hz - 22.000 Hz, un cable de 1,2 m tipo-y, y almohadillas *small, medium y large*.

Los pulsos binaurales administrados en la presente investigación se caracterizaron por tener las frecuencias de 140 Hz para el oído derecho y de 130 Hz para el izquierdo, obteniéndose una diferencia de 10 Hz entre ambos. Se trató de un pulso binaural alfa, con una amplitud de 0,2 dB. La forma de onda fue sinusoidal con una duración de exposición de audio de 5 minutos y 30 segundos.

Por otro lado, el sonido control (sin pulso binaural), tuvo la frecuencia de 135 Hz en ambos parlantes de los audífonos, una amplitud de 0,2 dB. La duración del audio fue de 5 minutos y 30 segundos aproximadamente.

### *Procedimiento*

En primer lugar, se aplicó a los participantes el PSQ para identificar los niveles de estrés durante el mes previo y disponer de un grupo con los mismos niveles de estrés para convocarlos el día de la intervención. Los participantes elegidos fueron divididos aleatoriamente en un grupo experimental y uno control y se obtuvo su consentimiento informado para ser parte del experimento. A continuación se les colocaron los electrodos del EEG y ECG, y se registró una línea base de 7 minutos. En seguida, los participantes del grupo experimental individualmente, recibieron los pulsos binaurales Alfa, y los asignados al grupo de control, un sonido de un solo tono (no binaural), con una duración de 5 minutos y 30 segundos; acto seguido, todos respondieron el SAM. Finalmente, los participantes se expusieron durante 5 minutos al juego *Face Your Fears* con la ayuda del dispositivo de realidad virtual, no sin antes haber recibido las instrucciones de manejo correspondientes. Antes de finalizar la sesión, los participantes volvieron a responder el SAM.



La hipótesis de trabajo de la presente investigación planteó que los pulsos binaurales alfa de 10 Hz administrados durante 5 minutos antes de una situación altamente emocional inducida a través de realidad virtual, facilitan la regulación o control de los niveles de estrés inducido.

## RESULTADOS

### *Estrés Percibido (PSQ)*

La prueba de Shapiro-Wilk de los datos de estrés percibido, muestra un valor de significancia de 0,509, que evita el rechazo de la hipótesis nula de la normalidad. En consecuencia, la Tabla 1 presenta los valores de *t* que comparan las medias de estrés entre los grupos experimental y control.

**Tabla 1**

*Comparación de los valores de t del grado de estrés percibido entre los grupos experimental y control.*

	<i>N</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>D</i>	<b>Sig. Levene</b>
<b>PSQ</b>	32	0,930	0,360	0.339	0.397

La Tabla 1 muestra similitudes entre los valores medios de ambos grupos ( $t = 0,930$ .  $p > ,05$ ), confirmando la inexistencia de diferencias en los niveles de estrés en las circunstancias previas a la intervención.

### *Maniquí de Autoevaluación (SAM)*

En las tablas 2 y 3, se puede advertir que la media de la valencia del sonido es de 2,3 para el grupo experimental y de 2,1 para el control, mostrando un acercamiento al nivel de agrado para ambos grupos, debido a que la valencia positiva es menor a 3. Por otro lado, en la activación se puede observar que la media del grupo experimental fue de 3,5, contra un 4,1 del grupo control, demostrando que el grupo control presenta una mayor tendencia a la relajación que el grupo experimental. Nótese también que se obtuvo una media de dominancia 3,4 en ambos grupos con un nivel neutro de control.

**Tabla 2**

*Estadística descriptiva del Maniquí de Autoevaluación (SAM) del Grupo Experimental cuando escucharon el Pulso Binaural.*

<i>Dimensión</i>	<i>N</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Media</i>	<i>Mediana</i>	<i>DS</i>	<i>Varianza</i>
<b>Valencia</b>	16	1	3	2,3	2	0,7	0,5
<b>Activación</b>	16	2	5	3,5	4	1,1	1,2
<b>Dominancia</b>	16	1	5	3,4	3,5	1,1	1,2

**Tabla 3**

*Estadística descriptiva del Maniquí de Autoevaluación (SAM) del Grupo Control cuando escucharon el Sonido Control.*

<i>Dimensión</i>	<i>N</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Media</i>	<i>Mediana</i>	<i>DS</i>	<i>Varianza</i>
<b>Valencia</b>	16	1	5	2,1	2	1,1	1,2
<b>Activación</b>	16	2	5	4,1	4	0,8	0,6
<b>Dominancia</b>	16	2	5	3,4	3,5	0,9	0,8

En relación a la situación de realidad virtual, las tablas 4 y 5 muestran que la media en la valencia del grupo experimental fue de 3,1 contra un 2,9 del grupo control. Así, estos datos se encontrarían dentro del nivel indiferenciado de agrado por estar cerca de 3. Respecto a la activación, la media del grupo experimental fue de 2,1 y la del control fue de 2,4, ubicándose en el nivel cercano al activo, debido a que ambos puntúan menos de 3. La dominancia media del grupo experimental fue de 3,1 contra 3,5 del grupo control lo que indica ambigüedad en el nivel de control por encontrarse muy cerca de 3.

**Tabla 4**

*Estadística descriptiva del Maniquí de Autoevaluación (SAM) del Grupo Experimental en la situación de Realidad Virtual.*

<b>Dimensión</b>	<i>N</i>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Media</b>	<b>Mediana</b>	<i>DS</i>	<b>Varianza</b>
<b>Valencia</b>	16	1	5	3,1	3	1,1	1,2
<b>Activación</b>	16	1	4	2,1	2	1,1	1,3
<b>Dominancia</b>	16	1	5	3,1	3	1,3	1,7

**Tabla 5**

*Estadística Descriptiva del Maniquí de Autoevaluación (SAM) del Grupo Control en la situación de Realidad Virtual.*

<b>Dimensión</b>	<i>N</i>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Media</b>	<b>Mediana</b>	<i>DS</i>	<b>Varianza</b>
<b>Valencia</b>	16	1	4	2,9	3	0,9	0,8
<b>Activación</b>	16	1	5	2,4	2	1,2	1,4
<b>Dominancia</b>	16	1	5	3,5	3	1,2	1,5

Debido a que estas dimensiones, con la excepción de Dominancia Sonido y Valencia RV, no poseían una distribución normal y a que sus datos fueron medidos en una escala ordinal se utilizó para su análisis el estadístico U de Mann Whitney.

**Tabla 6**  
*Comparaciones de los valores de valencia, activación y dominancia, en los grupos experimental y control*

<b>Dimensión</b>	<b>Grupo</b>	<b>N</b>	<b>Rango Promedio</b>	<b>Z</b>	<b>p</b>	<b>d</b>
<b>Valencia</b>	Experimental	16	18	-0,963	0,336	0.205
	Control	16	15			
<b>Activación</b>	Experimental	16	13,88	-1,691	0,091	-0.650
	Control	16	19,13			
<b>Dominancia</b>	Experimental	16	16,53	-0,020	0,984	-0.063
	Control	16	16,47			

La Tabla 6 muestra en las cuatro valencias, la ausencia de una diferencia significativa en la percepción emocional entre ambos grupos ( $p > 0.05$ ).

Resultados similares fueron obtenidos en ambos grupos (experimental y control) cuando fueron sometidos a la situación de realidad virtual (ver Tabla 7).

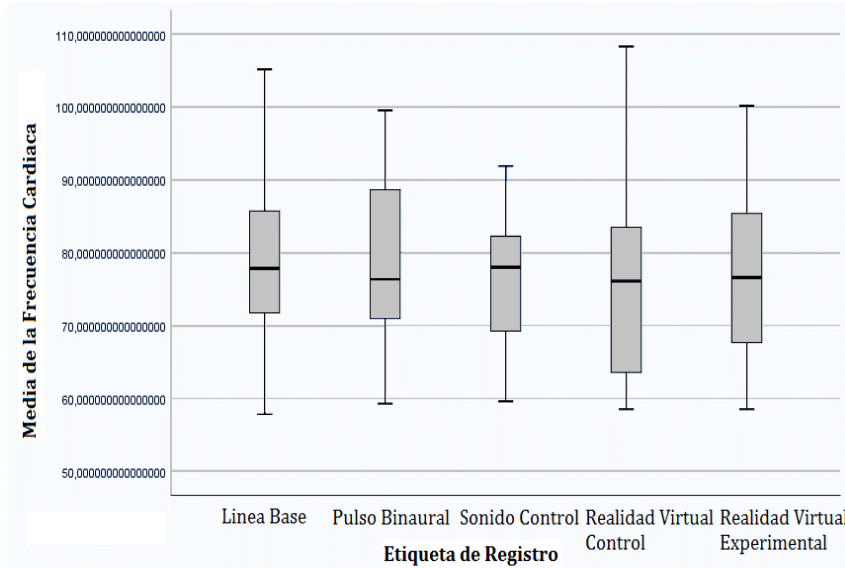
**Tabla 7**  
*Comparaciones de los valores de valencia, activación y dominancia en los grupos experimental y control*

<b>Dimensión</b>	<b>Grupo</b>	<b>N</b>	<b>Rango Promedio</b>	<b>Z</b>	<b>p</b>	<b>d</b>
<b>Valencia</b>	Experimental	16	17,44	-0,597	0,550	0.252
	Control	16	15,56			
<b>Activación</b>	Experimental	16	15,50	-0,628	0,530	-0.213
	Control	16	17,50			
<b>Dominancia</b>	Experimental	16	14,94	-0,993	0,321	-0.297
	Control	16	18,06			

### *Análisis de Bioseñales*

La Figura 1 presenta los valores de frecuencia cardiaca obtenidos en las diferentes condiciones a las que fueron expuestos los participantes.

Debe notarse que la mediana del grupo experimental (que escuchó los pulsos binaurales), es menor al obtenido para el grupo control. Asimismo, con respecto a la condición de realidad virtual, se puede observar que la mediana del grupo control es mayor a la experimental.



**Figura 1** Cajas y bigotes de frecuencia cardiaca media entre las distintas situaciones experimentales.

Complementariamente, la Tabla 8 muestra los valores de la comparación de medias de frecuencia cardiaca en los grupos experimental y control. Como puede advertirse no existe diferencia en la frecuencia cardiaca media en ambos grupos, tanto para sonido ( $t = 0,753$ ,  $p > 0.05$ ), como para realidad virtual ( $t = -0,318$ ,  $p > 0.05$ ). Por lo tanto, no es posible rechazar la hipótesis nula en ambas mediciones.

**Tabla 8**

*Comparaciones de medias de frecuencia cardiaca entre los grupos experimental y control (condicione de sonido y Realidad Virtual).*

	<i>N</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>d</i>	Sig. Levene
<b>PB-SC</b>	31	0,767	0,449	0.28	0,275
<b>RV</b>	32	-0,318	0,753	-0.12	0,843

Con respecto a los datos de la variabilidad de la frecuencia cardiaca, se tomaron en cuenta los valores de Baja Frecuencia de la Variabilidad Cardíaca y Alta Frecuencia de la Variabilidad Cardíaca.

La Tabla 9 presenta los valores de comparación de rangos en las situaciones experimentales pulso binaural y sonido control y realidad virtual experimental y control. En ambos casos no se encontraron diferencias significativas de baja frecuencia de la variabilidad cardiaca ( $Z = -0,514$ ,  $p > 0,05$  y  $Z = -0,603$ ,  $p > 0,05$ , respectivamente).

**Tabla 9**  
*U de Mann Whitney de la Baja Frecuencia de la Variabilidad Cardiac*

Situación Experimental	N	Rango Promedio	Z	p	d
<b>Pulso Binaural</b>	15	16,9			
<b>Sonido Control</b>	16	15,2	-0,514	0,607	0.191
<b>RV Experimental</b>	16	15,5			
<b>RV Control</b>	16	17,50	-0,603	0,546	-0.094

En la misma dirección de las comparaciones anteriores, la mediana del grupo control resultó ser mayor que la del grupo experimental en lo que respecta a la exposición del sonido. Tratándose de la situación de realidad virtual, entre la mediana de ambos grupos se encuentra solo una diferencia irrelevante. Finalmente, la Tabla 10, expone los resultados de la comparación de las situaciones experimentales (Pulso binaural y sonido control), con respecto a la alta frecuencia de variabilidad cardiaca. Como se puede observar dichos valores no arrojaron resultados significativos que permitan el rechazo de la Ho.

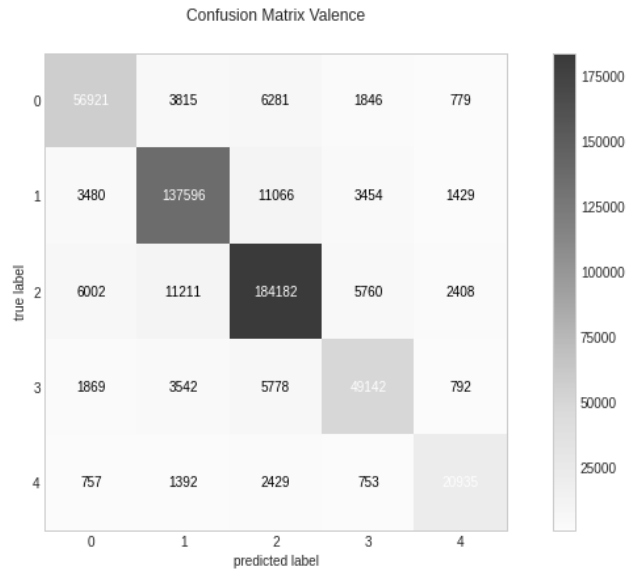
**Tabla 10**  
*U de Mann Whitney de la Alta Frecuencia de la Variabilidad Cardiac*

Situación Experimental	N	Rango Promedio	Z	p	d
<b>Pulso Binaural</b>	15	15,33			
<b>Sonido Control</b>	16	16,63	-0,395	0,693	-0.348
<b>RV Experimental</b>	16	16,13			
<b>RV Control</b>	16	16,88	-0,226	0,82	-0.103

*Modelos de Clasificación.*

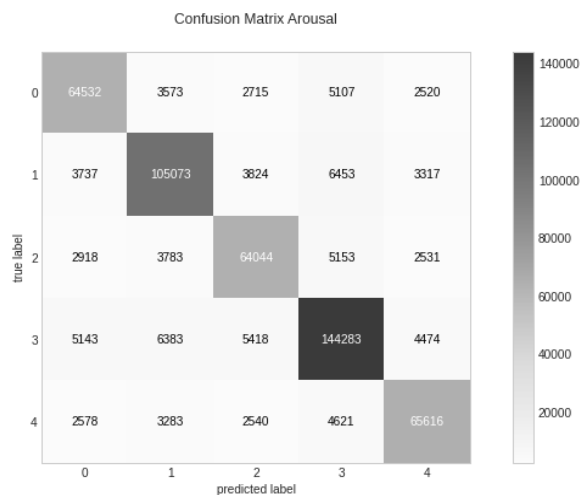
*Modelo de Clasificación con Señales del Electroencefalograma (EEG).* Se utilizaron los datos brutos del EEG de los cuatro canales O1, O2, T3 y T4, muestreados a 200 Hz en cada uno, y las respuestas del SAM que presentaron los participantes de ambos grupos. El clasificador que se utilizó fue el KNN (*k-nearest neighbors* o k vecinos más próximos), que forma parte del *Machine Learning* de tipo supervisado. Se utilizó K=1 debido a que este parámetro posee mayor precisión y porque sólo utiliza un vecino cercano para hacer la comparaciones. La exactitud media del objetivo previsto frente al objetivo real fue de 0.81. Se usó el 80% de los datos para

hacer el entrenamiento y el 20% para hacer la prueba. Se puede observar que para cada dimensión la exactitud fue de 0.85 en la activación y de 0.86 en la valencia y dominancia.



**Figura 3** Matriz de Confusión Valencia que muestra de manera explícita si alguna de las clases es confundida con otra. Las filas representan las clases reales de clasificación y las columnas son las clases que el modelo ha previsto en la dimensión de Valencia.

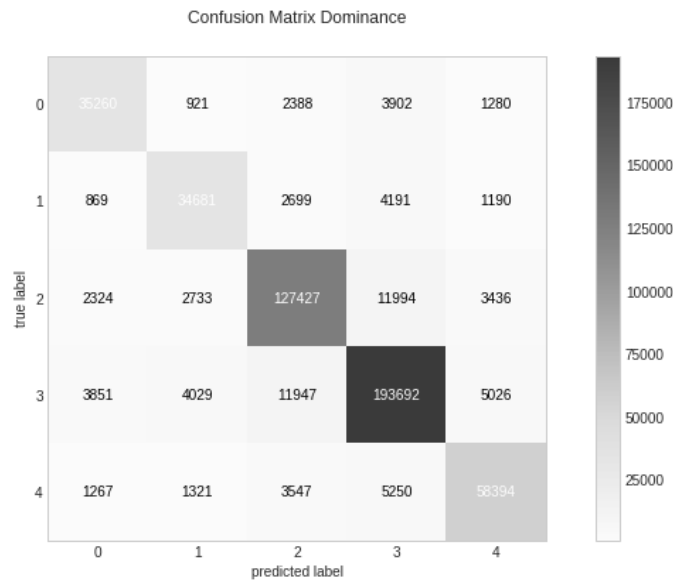
Como se puede observar en la Figura 3 la diagonal con el degradado de colores grises más oscuros posee los valores estimados correctamente por el modelo. La diagonal presenta la mayor cantidad de valores en comparación con la otra diagonal que muestra los valores erróneos de la predicción del modelo para la dimensión de valencia.



**Figura 4** Matriz de Confusión Activación, que muestra de manera explícita si alguna de las clases es confundida con otra. Las filas representan las clases reales de clasificación y las columnas son las clases que el modelo ha previsto en la dimensión de Activación.

Del mismo modo, en la Figura 4 se puede observar que la diagonal con el degradado de grises más oscuros posee los valores estimados correctamente por el modelo, conteniendo la mayor

cantidad de valores en comparación con la otra diagonal que señala los valores erróneos de la predicción, para la dimensión de activación.



**Figura 5** Matriz de Confusión Dominancia, que muestra de manera explícita si alguna de las clases es confundida con otra. Las filas representan las clases reales de clasificación y las columnas son las clases que el modelo ha previsto en la dimensión de Dominancia.

Asimismo, la Figura 5 exhibe que la diagonal con el degradado de colores grises más oscuros, presenta los valores estimados correctamente por el modelo. Nótese que posee la mayor cantidad de valores en comparación con la otra diagonal que muestra los valores erróneos de la predicción del modelo para la dimensión de dominancia.

*Modelo de Clasificación con Señales del Electrocardiograma (ECG).* Se utilizaron señales crudas del ECG muestreados a 500 Hz; asimismo, se utilizó el PCA (*Principal Component Analysis*) que es un algoritmo que ayuda a extraer las características más relevantes del modelo. Para reforzar la clasificación, se utilizó el XGBoost, un algoritmo que funciona en base a un árbol de decisiones. En la Tabla 11 se puede observar un resumen del modelo de clasificación que se desarrolló en base al árbol de decisiones. Se utilizó el 80% de los datos para el entrenamiento y un 20% para la prueba. La exactitud que presentó este modelo fue de 0.42, es decir que pudo alcanzar un 42% de precisión.

**Tabla 11**  
 Resumen del Modelo de Clasificación con señales de Electrocardiograma utilizando el XGBoost.

Número de Árboles	Número de Árboles Internos	Tamaño del Modelo en bytes	Profundidad Min	Profundidad Máx	Profundidad Media	Min Hojas	Máx Hojas	Media de Hojas
35.0	175.0	32739.0	3.0	11.0	5.7429	6.0	16.0	10.2857

## CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

El objetivo general del presente estudio fue determinar si los pulsos binaurales alfa reducen los niveles de estrés inducidos por una situación en realidad virtual. En esta dirección se formuló la hipótesis de que los pulsos binaurales alfa de 10 Hz ejercen regulación en los niveles de estrés inducido en jóvenes universitarios. Los resultados obtenidos desestiman la posibilidad de rechazar la hipótesis nula debido a la ausencia de diferencias significativas entre los grupos experimental y control.

Esto podría deberse al tiempo de exposición de los participantes al pulso binaural, pues en algunos estudios su escucha fue de 10 minutos (Isik et al., 2017; Padmanabhan et al., 2005). En otros trabajos similares, la exposición fue estudiada después de la escucha diaria, a lo largo de una semana (Gantt et al., 2017; Wahbeh et al., 2007).

Los resultados del SAM no mostraron desagrado ni con el pulso binaural ni con el sonido control. Los participantes del grupo control reportaron estar más relajados que los del grupo experimental. Este resultado se complementa con los registros de ECG que para el grupo control presentó un valor menor que para el grupo experimental, con relación a la media de la frecuencia cardiaca. Con respecto a la dominancia, ambos grupos no percibieron que el estímulo sonoro haya controlado su respuesta emocional. Asimismo, las respuestas de los participantes de ambos grupos a la realidad virtual no hicieron referencia a sensaciones de agrado o desagrado. El estímulo estresor se sintió claramente tanto en el grupo experimental como en el de control. En relación a la dominancia el grupo control se percibió más controlado que el grupo experimental, con respecto a la situación de realidad virtual.

Los resultados mostraron que, ante el estímulo sonoro y el estresor, la diferencia entre los grupos no fue significativa. Esto puede deberse presumiblemente, a que el estímulo sonoro no tuvo el tiempo necesario para causar un efecto significativo. Finalmente, el estímulo estresor no causó el mismo efecto en todos los participantes, los varones no parecieron ser afectados tanto como las mujeres en la prueba del SAM.

Las señales del ECG mostraron, contrariamente a lo reportado en otras investigaciones (Kelton, 2020; McConnell et al., 2014) que la media de la frecuencia cardiaca fue mayor en el grupo experimental, tanto en relación al pulso binaural como respecto a la situación de realidad virtual. Otras investigaciones, al igual que la presente, reportaron también no haber obtenido resultados significativos con las mediciones fisiológicas (Hautus et al., 2021; López-Caballero & Escera, 2017).



Con respecto a las medias de frecuencia de variabilidad cardiaca, su aumento en situaciones experimentales sucesivas fue paulatinamente mayor, tanto en la condición del sonido como en realidad virtual. Esto muestra que si bien hubo diferencias entre las medias de baja frecuencia en la situación del sonido y de realidad virtual, los participantes no mostraron impactos en el sistema simpático, pero sí en el parasimpático porque ambas frecuencias se encontraban presentes, con diferencias mínima entre ellas (Hernando et al., 2016; Camm, 1996; Ishaque et al., 2020).

Otro objetivo del presente estudio fue desarrollar un modelo de clasificación con *machine learning*, utilizando los datos obtenidos en la investigación. Para ello se desarrollaron dos modelos de clasificación, el primero utilizó las señales del EEG y las respuestas del SAM, y el segundo sólo utilizó las señales del ECG. El modelo que obtuvo una mayor precisión fue el del EEG debido a que éste alcanzó un valor de 85%; el modelo en base al ECG, en cambio, alcanzó solo una precisión de 42%. Esto pudo deberse a la cantidad de datos que lograron facilitar la clasificación en un modelo y a la calidad de las señales seleccionadas para su clasificación.

Es importante discutir las razones del porqué la presente investigación no pudo rechazar la hipótesis nula. Una puede ser la variabilidad intrasujeto de la muestra, es decir las diferencias en las características de los participantes de la investigación. No puede descartarse, por ejemplo, el que algunos de ellos puedan haberse sentido más a gusto escuchando los pulsos binaurales y otros no.

El presente estudio también presentó ciertas limitaciones derivadas de los materiales utilizados para la toma de señales del EEG y ECG. La duración de escucha de los pulsos binaurales no pudo ser mayor a 5 minutos debido a que los electrodos secos del EEG generaban cierta molestia a los participantes. Por lo tanto, se optó recortar el tiempo de exposición al estímulo sonoro de 10 a 5 minutos.

Un tercer tema que permanece en discusión es el proceso utilizado para la inducción de estrés mediante realidad virtual. Resultó evidente la percepción de activación en los participantes cuando fueron expuestos al estímulo inductor, activación verificada en las diferencias de las frecuencias cardiacas al momento de presentarse el estímulo inductor de estrés. En la investigación de Liao et al (2019), se pudo observar que el miedo tuvo significancia al momento de ser inducido mediante la realidad virtual. Esto aconseja seguir explorando la realidad virtual como una herramienta experimental en futuras investigaciones similares. No obstante, hay dudas sobre si el juego para inducir miedo fuera lo suficientemente efectivo para muchos participantes, en especial para los varones, quienes manifestaron la expectativa de tener mayor interacción con el juego. Finalmente, pese a haberse realizado una cuidadosa limpieza de los artefactos generados por las señales crudas del EEG, el ruido permaneció en el momento de clasificar las señales con el *machine learning*, haciendo que sea menos precisa.

### ***Recomendaciones***

Se recomienda que en futuras investigaciones se verifique la existencia de diferencias en la duración del pulso binaural para constatar la significancia en su efecto. También se recomienda llevar a cabo una mayor cantidad de pruebas piloto si es que se utiliza un estímulo estresor nuevo. Esto permitirá verificar si las respuestas de los participantes varían según sus características personales y su grado de familiaridad con los video-juegos. Se recomienda

finalmente, utilizar una muestra más amplia para mejorar la exactitud y potencia del modelo de clasificación.

## REFERENCIAS

- Bradley, M. M., y Lang, P. J. (1994). Measuring emotion: The self-assessment manikin and the semantic differential. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, 25(1), 49–59. [https://doi.org/10.1016/0005-7916\(94\)90063-9](https://doi.org/10.1016/0005-7916(94)90063-9)
- Calvo, R. A., D’Mello, S., Gratch, J. M., y Kappas, A. (2015). *The Oxford Handbook of Affective Computing*. Oxford University Press.
- Camm, A. J., Malik, M., Bigger, J. T., Breithardt, G., Cerutti, S., Cohen, R. J., Coumel, P., Fallen, E. L., Kennedy, H. L., Kleiger, R. E., Lombardi, F., Malliani, A., Moss, A. J., Rottman, J. N., Schmidt, G., Schwartz, P. J., & Singer, D. H. (1996). Heart Rate Variability. *Circulation*, 93(5), 1043–1065. <https://doi.org/10.1161/01.cir.93.5.1043>
- Ccama Cruz, L. A. (2015) *Sonidos Binaurales y Niveles de Ansiedad Ante los Exámenes* [Tesis de Pregrado, Universidad Católica de Santa María]
- Cho, D., Ham, J., Oh, J., Park, J., Kim, S., Lee, N. K., y Lee, B. (2017). Detection of Stress Levels from Biosignals Measured in Virtual Reality Environments Using a Kernel-Based Extreme Learning Machine. *Sensors*, 17(10). <https://doi.org/10.3390/s17102435>
- Daly, I., Roesch, E. B., Weaver, J., y Nasuto, S. J. (2014). Machine Learning to Identify Neural Correlates of Music and Emotions. En *Guide to Brain-Computer Music Interfacing* (pp. 89–104). Springer Publishing. Daly, I., Williams, D., Hwang, F., Kirke, A., Miranda, E. R., y Nasuto, S. J. (2019). Electroencephalography reflects the activity of sub-cortical brain regions during approach-withdrawal behaviour while listening to music. *Scientific Reports*, 9(1), 1–22. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-45105-2>
- Gantt, M. A., Dadds, S., Burns, D. S., Glaser, D., y Moore, A. D. (2017). The Effect of Binaural Beat Technology on the Cardiovascular Stress Response in Military Service Members With Post Deployment Stress. *Journal of Nursing Scholarship*, 49(4), 411–420. <https://doi.org/10.1111/jnu.12304>
- García-Argibay, M. (2018). *Efecto de la sincronización de las oscilaciones memoria, atención, ansiedad y percepción del dolor*. [Tesis de Doctorado, Universidad Internacional de Valencia]
- Giannakakis, G., Marias, K., y Tsiknakis, M. (2019, septiembre). A stress recognition system using HRV parameters and machine learning techniques. *2019 8th International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction Workshops and Demos (ACIIW)*, 269–272. <https://doi.org/10.1109/aciw.2019.8925142>
- Gil López, C. (2020) *Binaural Beats as Brain Enhancers: is there any Scientific Proof?* Disponible en: <https://cristinagillopez.com/2020/11/22/binaural-beats-as-brain-enhancers-is-there-any-scientific-proof/> Recuperado el: 19/05/2021.
- Greene, S., Thapliyal, H., y Caban-Holt, A. (2016). A Survey of Affective Computing for Stress Detection: Evaluating technologies in stress detection for better health. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 5(4), 44–56. <https://doi.org/10.1109/mce.2016.2590178>
- Hautus, M. J., Shepherd, D., Giang, E., & Landon, J. (2021). Can binaural beats facilitate autonomic recovery following exposure to an acute stressor? *Complementary Therapies in Clinical Practice*, 45, 101485. <https://doi.org/10.1016/j.ctcp.2021.101485>
- Hernando, A., Lázaro, J., Gil, E., Arza, A., Garzón, J. M., Lopez-Anton, R., de la Camara, C., Laguna, P., Aguilo, J., & Bailon, R. (2016). Inclusion of Respiratory Frequency Information in Heart Rate Variability Analysis for Stress Assessment. *IEEE Journal of*

- Biomedical and Health Informatics*, 20(4), 1016–1025.  
<https://doi.org/10.1109/jbhi.2016.2553578>
- Ishaque, S., Rueda, A., Nguyen, B., Khan, N., & Krishnan, S. (2020). Physiological Signal Analysis and Classification of Stress from Virtual Reality Video Game. *2020 42nd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC)*. <https://doi.org/10.1109/embc44109.2020.9176110>
- Isik, B., Esen, A., Büyükerkmen, B., Kilinç, A., & Menziletoglu, D. (2017). Effectiveness of binaural beats in reducing preoperative dental anxiety. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 55(6), 571–574. <https://doi.org/10.1016/j.bjoms.2017.02.014>
- Kelton, K., Weaver, T. L., Willoughby, L., Kaufman, D., y Santowski, A. (2020). The Efficacy of Binaural Beats as a Stress-buffering Technique. *Alternative therapies in health and medicine*, AT5990. Advance online publication.
- Lahoz i Ubach, S., y Forns i Santacana, M. (2013). Adaptación y validación de la versión española del Cuestionario de Estrés Percibido (PSQ) aplicado al proceso migratorio. *Ansiedad estrés*, 27-39.
- Levenstein, S., Prantera, C., Varvo, V., Scribano, M., Berto, E., Luzi, C., & Andreoli, A. (1993). Development of the perceived stress questionnaire: A new tool for psychosomatic research. *Journal of Psychosomatic Research*, 37(1), 19–32. [https://doi.org/10.1016/0022-3999\(93\)90120-5](https://doi.org/10.1016/0022-3999(93)90120-5)
- Liao, D., Zhang, W., Liang, G., Li, Y., Xie, J., Zhu, L., Xu, X., y Shu, L. (2019). Arousal evaluation of VR affective scenes based on HR and SAM. *2019 IEEE MTT-S International Microwave Biomedical Conference (IMBioC)*. <https://doi.org/10.1109/imbioc.2019.8777844>
- López-Caballero, F., y Escera, C. (2017). Binaural Beat: A Failure to Enhance EEG Power and Emotional Arousal. *Frontiers in Human Neuroscience*, 11. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00557>
- McConnell, P. A., Froeliger, B., Garland, E. L., Ives, J. C., & Sforzo, G. A. (2014). Auditory driving of the autonomic nervous system: Listening to theta-frequency binaural beats post-exercise increases parasympathetic activation and sympathetic withdrawal. *Frontiers in Psychology*, 5. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01248>
- McEwen, B. S. (2007). Physiology and Neurobiology of Stress and Adaptation: Central Role of the Brain. *Physiological Reviews*, 87(3), 873–904. <https://doi.org/10.1152/physrev.00041.2006>
- Norhazman, H., Zaini, N., Taib, M. N., Jailani, R., & Latip, M. F. A. (2019). Alpha and Beta Sub-waves Patterns when Evoked by External Stressor and Entrained by Binaural Beats Tone. *2019 IEEE 7th Conference on Systems, Process and Control (ICSPC)*. <https://doi.org/10.1109/icspc47137.2019.9068008>
- Núñez Peña, M. I. (2011). *Diseños de investigación en Psicología*.
- Oster, G. (1973). Auditory Beats in the Brain. *Scientific American*, 229(4), 94–102. <https://doi.org/10.1038/scientificamerican1073-94>
- Padmanabhan, R., Hildreth, A. J., y Laws, D. (2005). A prospective, randomised, controlled study examining binaural beat audio and pre-operative anxiety in patients undergoing general anaesthesia for day case surgery. *Anaesthesia*, 60(9), 874–877. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2044.2005.04287.x>
- Petrovich, O. (2018). The Effects of Binaural Beats on Emotion and Cognition. [Tesis de Maestría, Universidad del Sur de Florida San Petersburgo]
- Rebala, G., Ravi, A., y Churiwala, S. (2019). *An Introduction to Machine Learning*. Springer Publishing.

- Reyes Rivas, M. F. & Velasco Vivas, J. S. (2014). Análisis Psicoacústico a Partir de Estímulos Auditivos Generados por Medio de Pulsos Binaurales en Relación al Rango de Frecuencia en una Composición Sonora. [Trabajo de Pregrado, Universidad de San Buenaventura sede Bogotá]
- Rosete, H. S. (2013). Evaluación psicofisiológica de los efectos de la música posterior a la ejecución de una tarea estresante: Efectos de la música posterior una tarea estresante. [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México] <https://repositorio.unam.mx/contenidos/136198>
- Rothbaum, B. O., Hodges, L. F., Ready, D., Graap, K., y Alarcon, R. D. (2001). Virtual Reality Exposure Therapy for Vietnam Veterans With Posttraumatic Stress Disorder. *The Journal of Clinical Psychiatry*, 62(8), 617–622. <https://doi.org/10.4088/jcp.v62n0808>
- Spangenberg Morelli, A. (2015). *Neurobiología del estrés* [Trabajo final de Pregrado, Universidad de la República de Uruguay]. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/7901>
- Villani, D., Rotasperti, C., Cipresso, P., Triberti, S., Carissoli, C., y Riva, G. (2016). Assessing the Emotional State of Job Applicants Through a Virtual Reality Simulation: A Psycho-Physiological Study. *Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering*, 119–126. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-49655-9\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-319-49655-9_16)
- Wahbeh, H., Calabrese, C., y Zwickey, H. (2007). Binaural Beat Technology in Humans: A Pilot Study To Assess Psychologic and Physiologic Effects. *The Journal of Alternative and Complementary Medicine*, 13(1), 25–32. <https://doi.org/10.1089/acm.2006.6196>
- Zárate, S., Cardenas, F. P., Acevedo-Triana, C., Sarmiento-Bolaños, M. J., y León, L. A. (2014): Efectos del estrés sobre los procesos de plasticidad y neurogénesis: Una revisión. *Universitas Psychologica*, 13(3), 1181-1214. <http://dx.doi.org/10.11144/Javeriana.UPSY13-3.eepp>