

#### DA0

Agregar información Diego Alegria, 2022-01-05T04:11:46.199



 Integrar el módulo de reconocimiento de patrones de señales biomédicas con el módulo de generación de pulsos binaurales, desarrollados en fases previas, y realizar un estudio del impacto del sistema en la calidad del sueño de las personas.

# OBJETIVOS ESPECÍFICOS

I. Realizar un trabajo de integración del módulo de reconocimiento de patrones de señales biomédicas relacionadas a las etapas de sueño con el módulo de implementación de un sistema generador de pulsos binaurales para el estudio del impacto de los pulsos en la calidad de sueño propios de la fase anterior del proyecto.

(Integración de módulos)

2. Mejorar los clasificadores de etapas de sueño basados en algoritmos de aprendizaje automático desarrollados en fases previas del proyecto, y validar los resultados mediante asesoría médica y comparación con estudios similares.

(Mejora de clasificadores)

# OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 3. Definir perfiles de individuos a estudiar y obtener señales bioeléctricas utilizadas en el análisis de etapas de sueño en una clínica. ( Definición de perfiles )
- 4. Realizar un análisis estadístico para determinar si hay un impacto significativo de los pulsos binaurales en las señales bioeléctricas asociadas a las etapas de sueño.

( Diseño de estudio )



¿Por qué investigar la terapia de neuro-retroalimentación para trastornos de sueño?



¿Qué se ha hecho antes en esta línea de investigación en UVG?

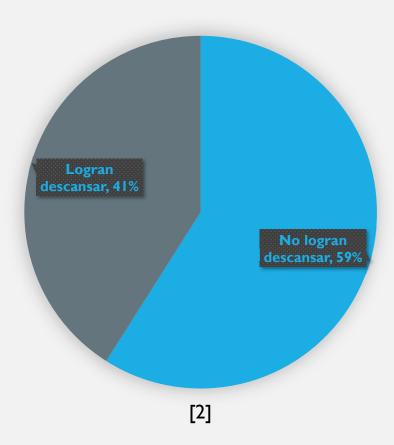


¿Qué alcance se pretendió esta investigación?

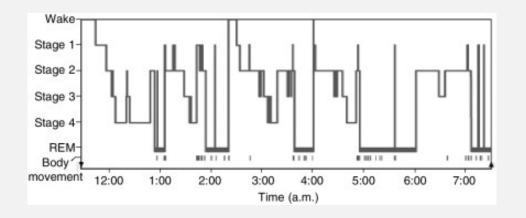
#### INTRODUCCIÓN

¿POR QUÉ INVESTIGAR LA TERAPIA DE NEURO-RETROALIMENTACIÓN PARA TRASTORNOS DE SUEÑO?

#### ¿Concilia el sueño?

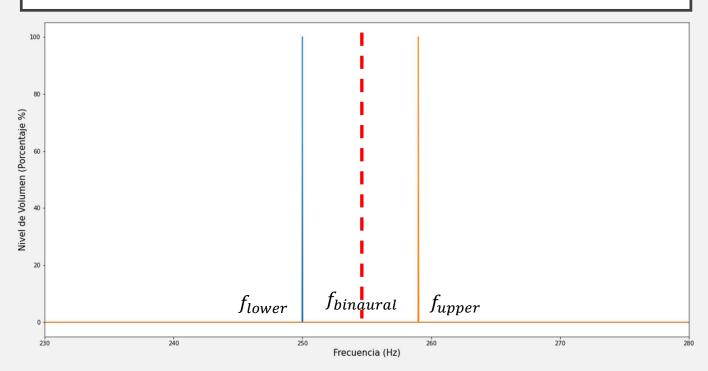


## FASES DEL SUEÑO



Fase de sueño	Cantidad de tiempo (%)
Etapa I (NREM)	5 % ~ 10 %
Etapa 2 (NREM)	35 % ~ 50 %
Etapa 3 / 4 (NREM)	25 % ~ 30 %
Sueño REM	20 % ~ 25 %

#### **PULSOS BINAURALES**

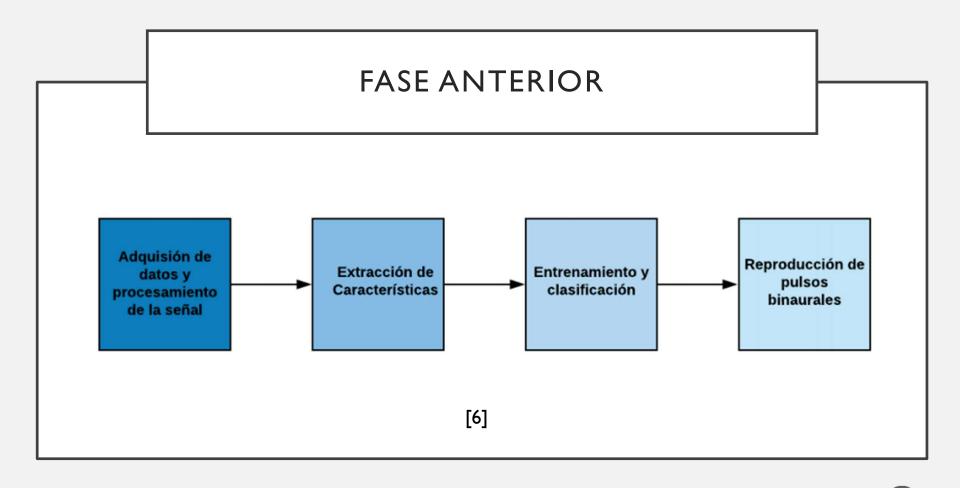


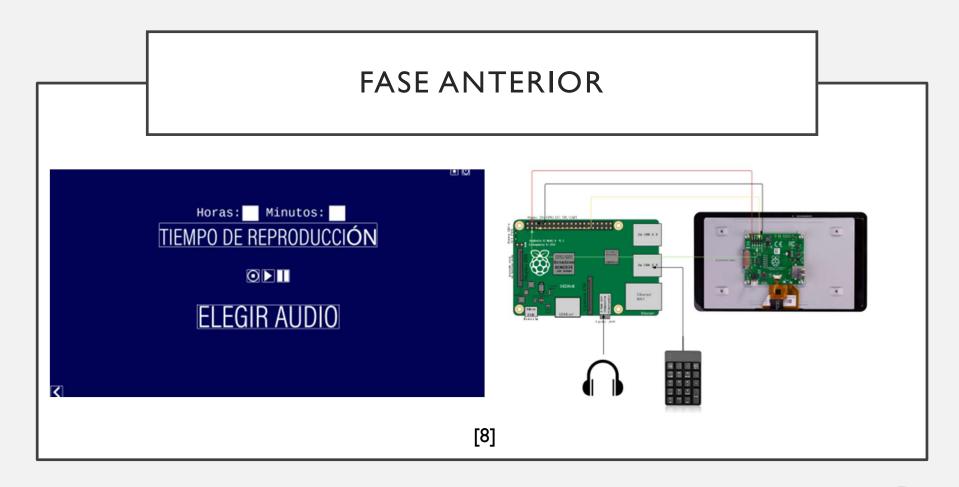
 $f_{binaural} = f_{upper} - f_{lower} = 258 Hz - 250 Hz = 8 Hz$ 

¿QUÉ SE HA HECHO ANTES EN ESTA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN EN UVG? Fase I (2018): Neuro-retroalimentación con pulsos binaurales para inducir estados neurológicos. [4] [5]

Fase II (2019): Terapia de neuroretroalimentación para trastornos de sueño en atletas [6].

Fase III (2020): Clasificador automático de etapas de sueño y generador de pulsos binaurales [7] [8].





# ¿QUÉ ALCANCE SE PRETENDIÓ ESTA INVESTIGACIÓN?

- Utilización de un solo canal EEG para la predicción [9] [10] [11].
- Diseñar herramienta sin costo de diseño de pulsos binaurales.
- Los datos recolectados para el diseño del estudio de impacto se tomaron en una ubicación privada debido a las restricciones impuestas por la pandemia del COVID-19.
- El comité de ética de la Universidad del Valle solicita la participación de un psicólogo en la experimentación por lo que se dejaron sentadas las bases para la convocatoria de sujetos particulares en el experimento.

DISEÑO EXPERIMENTAL Clasificación

Pulsos binaurales

Integración

Diseño de experimento

## **CLASIFICADORES**

## OBTENCIÓN DE DATOS



Base de datos pública Sleep-EDFX [12]



Canales EEG (2), EOG, EMG, Temperatura



Inter-Sujeto



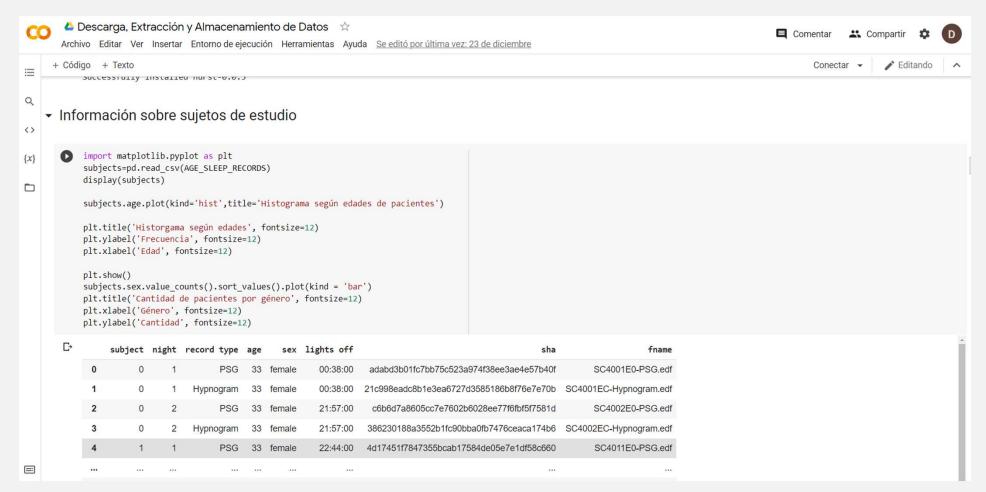
Herramienta en línea Google Colab (Python)

#### Slide 16

#### Agregar fuente y datos públicos Diego Alegria, 2022-01-05T03:53:02.845 DA0

Si la maestría en neuropsicología no está incluida en la investigación no avalan la ejecución del experimento Diego Alegria, 2022-01-05T04:12:42.737 DA1





#### Mencionar diferencias sobre concepción del sueño Diego Alegria, 2022-01-05T03:53:48.864 DA0

### INGENIERÍA DE CARACTERÍSTICAS



Épocas de 30 segundos



Estadísticas



Procesamiento de señales

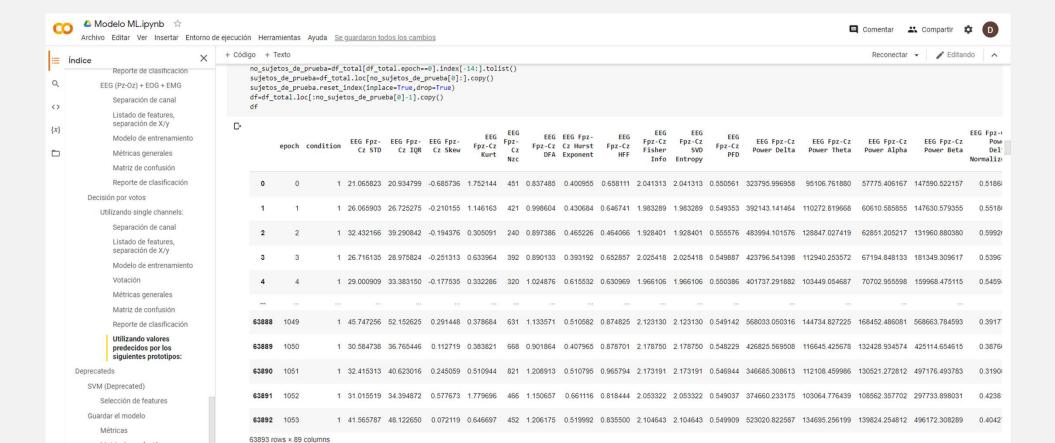
#### **CARACTERÍSTICAS**

#### Estadísticas:

- Media
- Desviación estándar
- Curtosis
- Número de cruces por cero
- Sesgo

#### Procesamiento de señales:

- Densidad espectral de potencia
- Coeficientes de Hjorth
- Dimensión fractal de Higuchi
- Entropía



+ Código - + Texto

Matriz de confusión Código para KFolds (Deprecated)

#### **ALGORITMOS CLASIFICADORES**

**XGBoost** 

Random Forest Naive-Bayes

# Canal único

Multicanal

Votación

**PROTOTIPOS** 

## CANAL ÚNICO Y MULTICANAL

Selección de canal (EEG, EOG, EMG)



Extracción de características



Entrenamiento (80/20)

### VOTACIÓN

Selección de canal (EEG, EOG, EMG)



Extracción de características

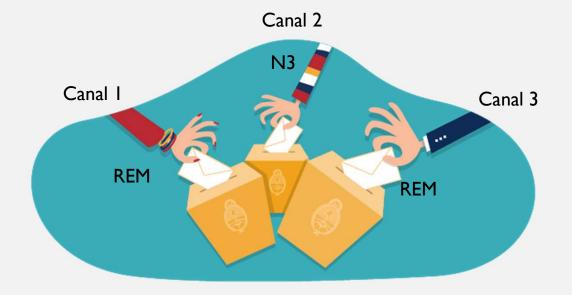


Entrenamiento (80/20)



Votación (Mayoría)

## VOTACIÓN

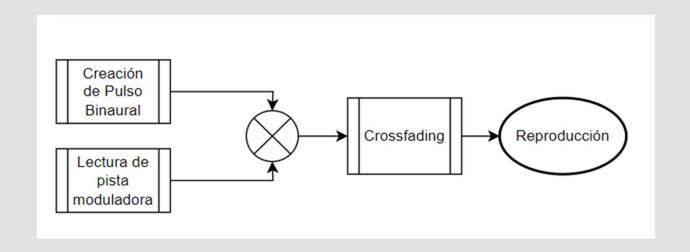


## PULSOS BINAURALES

## CREACIÓN DE PULSO BINAURAL

Utilizando librería AccelBrainBeats la función recibe los siguientes parámetros

- Tiempo de reproducción (30 segundos default)
- Volumen
- Frecuencia superior e inferior
- Tiempos de fade in y fade out



# GENERADOR DE PULSOS BINAURALES MODIFICADO

## INTEGRACIÓN

# ¿QUÉ CAMBIOS SE REALIZARON AL SISTEMA EN ESTA INVESTIGACIÓN?



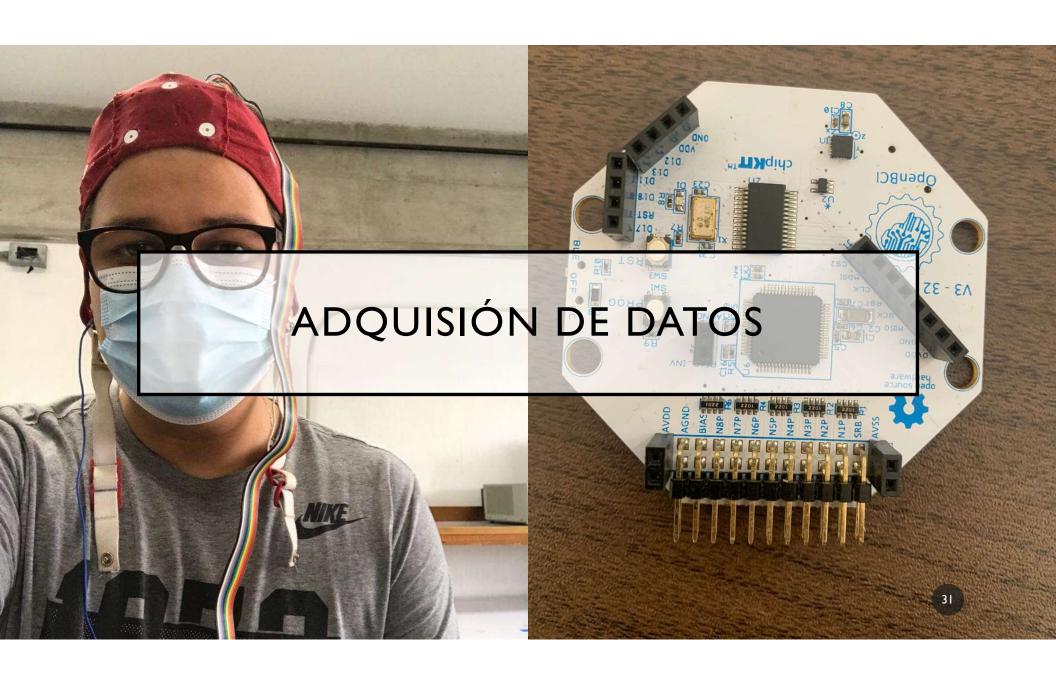
DESARROLLO DE HERRAMIENTA EN LÍNEA EN PYTHON



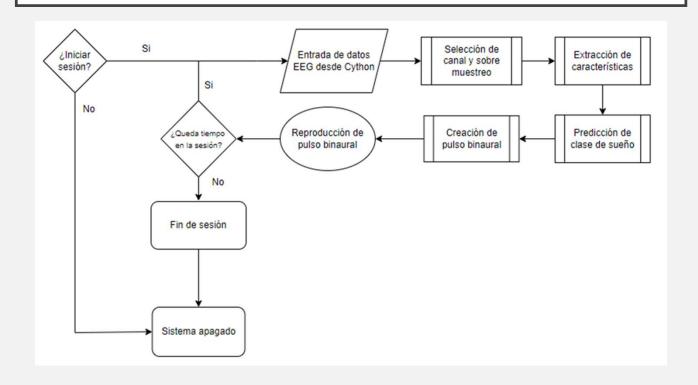
INTEGRACIÓN DE LIBRERÍAS



SISTEMA UNIFICADO EN UN DISPOSITIVO



### ARQUITECTURA DEL SISTEMA



#### CONSIDERACIONES DEL SISTEMA

#### Brainflow

- Implementación de librería que obtiene los datos de tarjetas de procesamiento
- Filtrado y escalamiento

#### Sobremuestreo

 Frecuencia de muestreo en datos de entrenamiento de 100 Hz, Cython Board da 250 Hz

#### **Paralelismo**

- Hilo I: Recibe los datos
- Hilo 2: produce el pulso binaural y reproduce

## DISEÑO DE ESTUDIO

#### CONSIDERACIONES ÉTICAS



CERTIFICADO DE ÉTICA



PROTOCOLO DE INVESTIGACIÓN



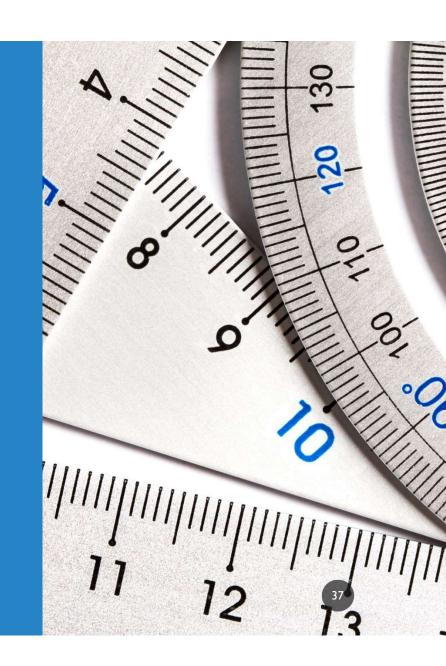
CONSENTIMIENTO INFORMADO

#### EJEMPLO DE ESTUDIO

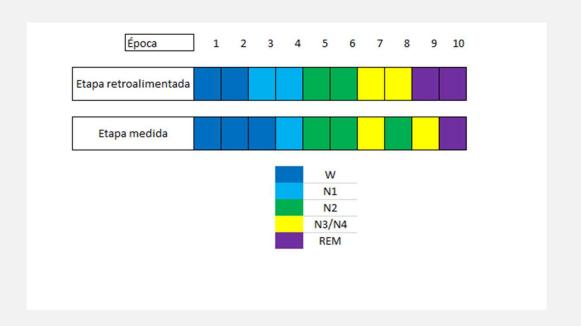
Estudio "Influence of binaural beats in EEG" [13]

- Prueba ANOVA para la diferencia de media en amplitud de la frecuencia del pulso binaural
- Grupo de 20 personas
- Exposición a un pulso de 10 Hz
- Cambios en densidad espectral de potencia
- Estudio a nivel frecuencial

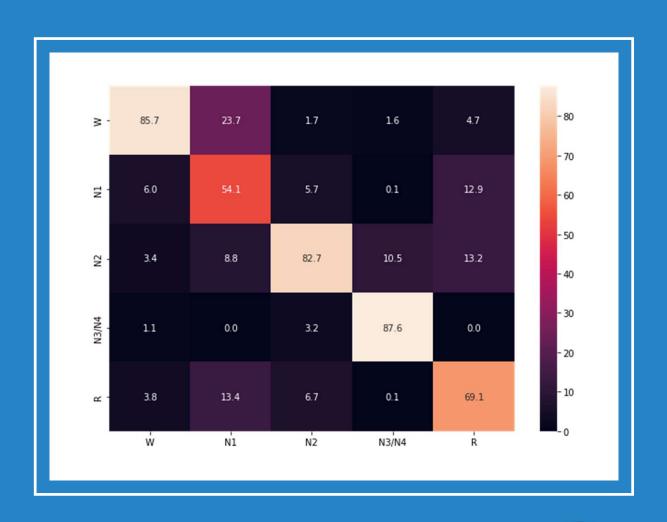
PROPUESTA DE METODOLOGÍA DE MEDICIÓN DE IMPACTO



#### ESTUDIO MACRO DE ETAPAS



HERRAMIENTA MATRIZ DE CONFUSIÓN



# MÉTRICAS DE IMPACTO

- Precisión
- Recall
- FI-Score

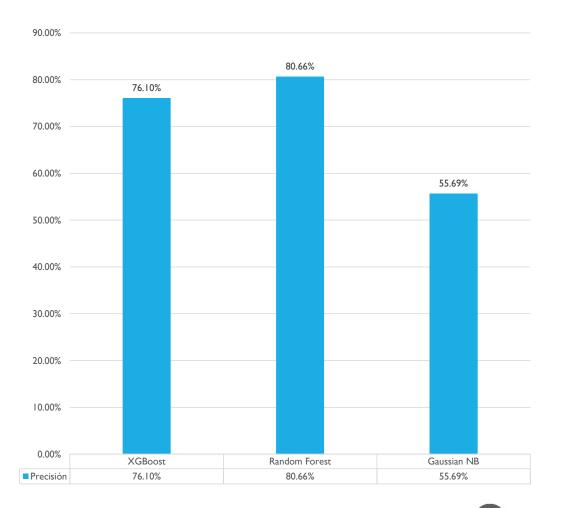
	precision	recall	f1-score
accuracy	0.802753	0.802753	0.802753
macro avg	0.767674	0.691551	0.699719
weighted avg	0.790834	0.802753	0.782624
	precision	recall	f1-score
Sleep stage W	0.883894	0.948343	0.914985
Sleep stage 1	0.610951	0.148459	0.238873
Sleep stage 2	0.789615	0.897925	0.840294
Sleep stage 3/4	0.866621	0.754616	0.806749
Sleep stage R	0.687290	0.708413	0.697692

## **RESULTADOS**

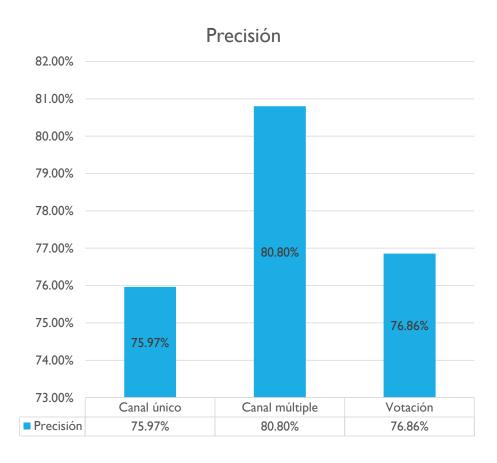


### **CLASIFICADORES**

### PRECISIÓN SEGÚN CLASIFICADOR



### PRECISIÓN SEGÚN TIPO DE PROTOTIPO

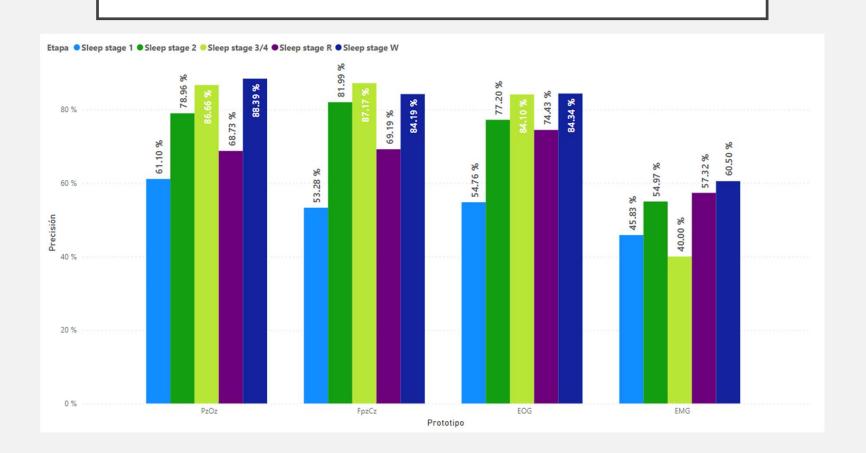


#### PRECISIÓN SEGÚN PROTOTIPO

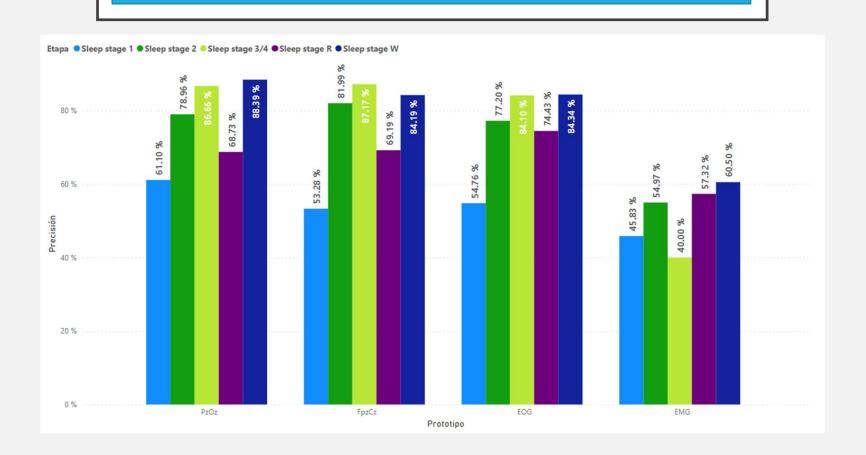
#### Precisión



### ¿QUÉ AÑADE CADA CANAL?



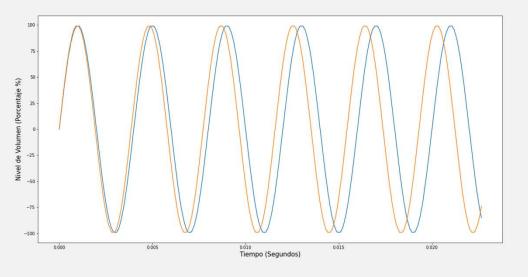
#### Se cumple el objetivo 2 (Mejora de clasificadores)

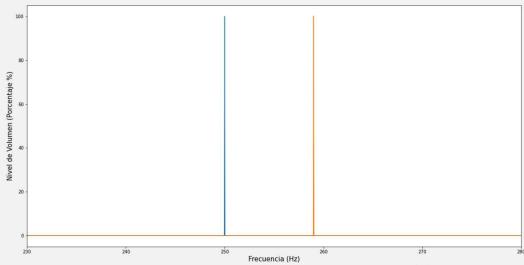




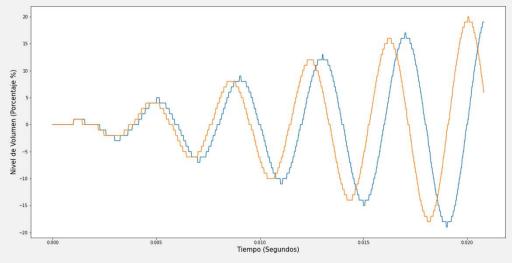
## INTEGRACIÓN

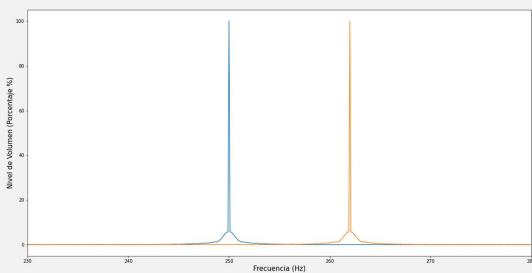
### PULSO ORIGINAL





### PULSO MODIFICADOS





#### **PULSOS MODIFICADOS**

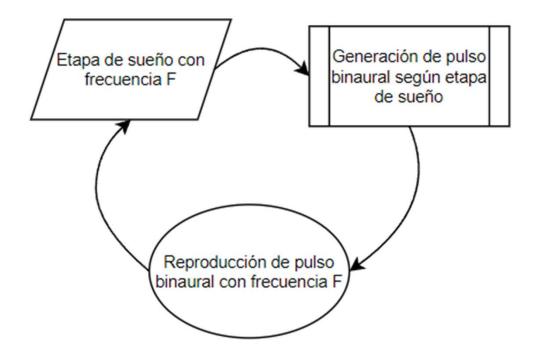
Pulso Original

Pulso Modificado

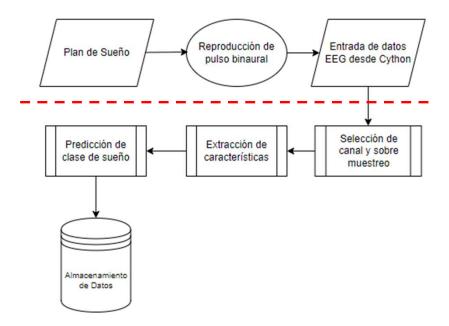




EL PROBLEMA DE DISEÑO EN VERSIONES PASADAS

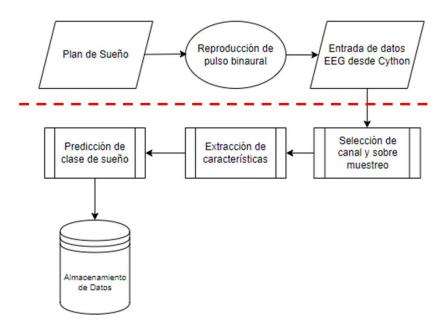


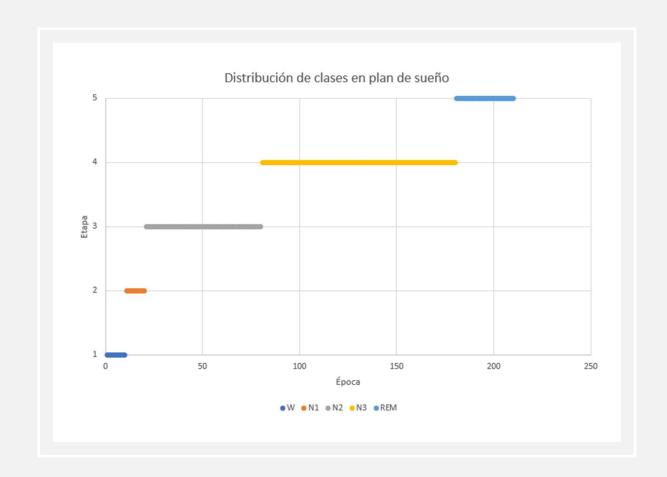
#### NUEVA ARQUITECTURA DE SISTEMA



#### NUEVA ARQUITECTURA DE SISTEMA

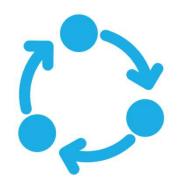
#### Se cumple el objetivo I (Integración de sistema)





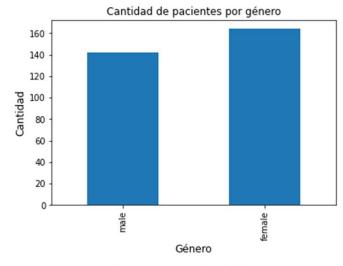
#### PLAN DE SUEÑO

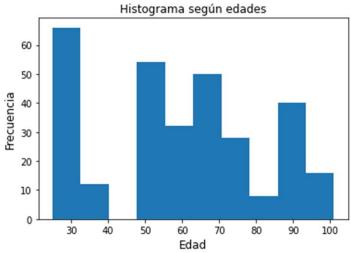
- Inducción secuencial de etapas de sueño utilizando las proporciones teóricas.
- 90 minutos de sueño NREM
  + 15 minutos de sueño REM



# DEFINICIÓN DE PERFILES Y OBTENCIÓN DE DATOS

# INVESTIGACIÓN DE GRUPO DE ESTUDIO





# PERSONAS QUE SE EXCLUYEN DEL EXPERIMENTO

- Mujeres embarazadas
- Menores de edad
- Privados de libertad
- Toda aquella persona que no están de acuerdo con los términos del consentimiento informado

#### CERTIFICADO DE ÉTICA



#### Certificate

December 11, 2021

This is to certify that Mr. Diego Alegria has successfully completed the Macquarie University Human Research Ethics Online Training Module for the Social Sciences and Humanities.

Macquarie University

## FORMATO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO





#### FORMATO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA PARTICIPACIÓN EN INVESTIGACIÓN

Este documento tiene el propósito de explicar todas las cuestiones relativas a la utilización y manejo de la información que se recabe durante las sesiones de evaluación y recolección de datos. Además, el de informar y solicitar su autorización para participar en el presente estudio de investigación. Léalo atentamente y consulte con el encargado de la investigación todas las dudas que tenga al respecto.

#### Información sobre la investigación

Nombre del estudio: Estudio del Impacto de un Sistema Integrado de Detección de Patrones de Señales Biomédicas y de Generación de Pulsos Binaurales en la Calidad del Sueño de las Personas

Lugar y fecha: Guatemala, agosto de 2021.

Número de participantes: 25.

Encargado de la investigación: Diego Alejandro Alegría Ochoa, estudiante del programa de Ingeniería Electrónica en la Universidad del Valle de Guatemala.

#### Propósito y objetivo del estudio

El presente estudio de investigación tiene como objetivo analizar el impacto en la calidad de sueño de un sistema de generación de pulsos binaurales integrado a un clasificador automático de etapas de sueño. Los resultados de este estudio permitirán obtener información preliminar sobre las terapias de neuro-retroalimentación y cómo estas pueden ser útiles para mitigar la privación de sueño. Esto es de mucha importancia ya que la privación de sueño contribuye en una gran parte al desarrollo de trastornos a niveles moleculares, inmunes y neurológicos.

60

# CONDICIONES PARA OBTENCIÓN DE DATOS

- · Habitación con las mismas condiciones de:
  - Iluminación
  - Mobiliario
  - No pantallas
  - Audio utilizando audifonos inalámbricos

ELECTROCAP +AIRPODS



#### PERFILES DE SUEÑO OBTENIDOS

4 noches de sueño (1 por individuo)

3 perfiles masculinos y uno femenino

Edades: (20,22,25,45)

Condición de salud sana

#### Se cumple objetivo 3 (Definición de perfiles)

4 noches de sueño (1 por individuo)

3 perfiles masculinos y uno femenino

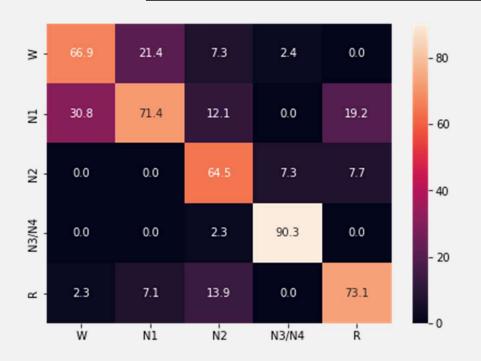
Edades: (20,22,25,45)

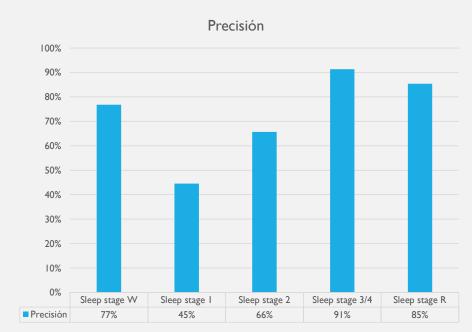
Condición de salud sana



### DISEÑO DE EXPERIMENTO

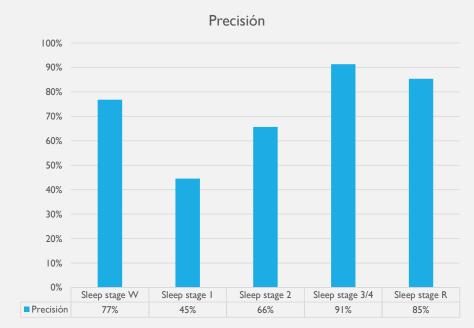
#### REPORTE DE CLASIFICACIÓN





#### Se cumple objetivo 4 (Diseño de estudio)





#### **CONCLUSIONES**

Se integró de forma exitosa el módulo clasificador y el módulo generador de pulsos binaurales utilizando programación multihilos obteniendo un buen desempeño en el sistema integrado.

Se realizó una mejora considerable en el clasificador no solo en la precisión para diferenciar las etapas de sueño sino también en el cambio hacia una metodología entre-sujetos que nos añade variabilidad y robustez al variar la edad y el género del paciente.

Se recolectaron datos de sujetos siguiendo las mejores prácticas tanto éticas como técnicas que se utilizarían en una clínica siguiendo los perfiles recomendados según los estándares de experimentación en humanos

Se diseñó un estudio de impacto de los pulsos binaurales en la actividad cerebral de una persona y se realizaron pruebas de este estudio con los datos obtenidos de sujetos.

#### CONCLUSIONES

Se desarrolló un conjunto de herramientas para la descarga, procesamiento, extracción de características y visualización de datos electroencefalográficos. Se puede acceder ala herramienta en un navegador web sin procesos de instalación en computadora local.

Se renovó el sistema generador de pulsos binaurales para la reproducción desde la computadora con audífonos inalámbricos y una pista moduladora de los pulsos binaurales para mayor estímulo del sueño, añadiendo también comodidad al paciente.

Se dio inicio a un proceso de validación con el comité de ética de la Universidad del Valle de Guatemala, estableciendo un protocolo de investigación y un consentimiento informado para la ejecución de experimentos con pacientes.

El estudio del impacto de los pulsos binaurales debe ser robusto tanto en el procedimiento de clasificación automática, el preprocesamiento de los datos y como interpretarlo puesto que los resultados se prestan a una conclusión confusa.

#### **RECOMENDACIONES**

Se recomienda para una futura fase la integración de un módulo de EMG para barbilla, EOG y más canales EEG utilizando ISRUC-SLEEP. Esto con el motivo de mejorar los procesos de clasificación especialmente para etapa I del sueño NREM que fue el que presentó una clasificación más complicada.

En una futura implementación sería interesante poder determinar si es posible inducir Complejos-K y husillos de sueño para inducir la etapa 2 del sueño NREM y ondas diente de sierra a través de pulsos binaurales para inducir la etapa REM.

La investigación con potenciales evocados es clave en el análisis de neuro-retroalimentación por lo que sería bueno poder reproducir dos noches de sueño teniendo una como grupo control sin los pulsos y otra con la escucha de los pulsos binaurales.

#### **RECOMENDACIONES**

La reclutación de sujetos para el estudio debe de ser un proceso acompañado con la dirección de la maestría en neuropsicología. Esto con motivo de seleccionar no solo en base a variables sociodemográficos sino que también en la parte conductual de la psicología.

Para llegar a una conclusión robusta el sistema debe de incluir sensores de EOG y EMG, sumado a un sistema de clasificación de árbol utilizando múltiples canales.

## **ISRUC-SLEEP**

Details	of sul	bgrou	p-I of ISRUC-Sleep dataset															
	Subgroup-I Percentage of each stage Visual Scoring-First					-		Percentage of each stage based on Visual Scoring-Second Expert										
Subject	Age	Sex	Diagnosis	Other problems	Epoches	W%	N1%	N2%	N3%	REM%	Date of recording	W%	N1%	N2%	N3%	REM%	Medication	EEG alterations
1	64	M	SAOS	Depression	880	30	8.3	22.1	26.3	13.41	18/5/2009	30.9	4.77	24.1	26.3	13.98	SSRI; trazodona	
2	52	M	SAOS	Restless leg syndrome	964	25.4	11.9	35.8	16.3	10.58	6/08/2009	22	11.9	44.4	11.1	10.58		
3	38	M	REM Sleep Behaviour Disorder	PLMS	943	14	17.5	26.1	18.4	24.07	21/5/2009	12.7	4.45	39.2	15.7	27.89	Risperidona; Tegretol	
4	27	M	SRVAS	Epilepsy	963	2.91	6.75	44.2	22.2	23.88	18/6/2009	2.7	3.43	43.6	25.7	24.61		Paroxistic activity left fronto-parieta
5	58	F	SAOS	Insomnia	875	33.8	12.3	30.3	18.7	4.8	25/5/2009	35.7	4.69	35.7	18.9	5.14	BZD	
6	22	M	PLMS	Epilepsy; brain tumour	897	80.5	1.78	6.69	11	0	18/5/2009	80.3	1.67	5.24	12.8	0	Valproato	
7	70	M	SAOS	Cheyne-Stokes	933	14.4	18.3	22	25.1	20.26	6/01/2009	15.4	11	29.9	25.1	18.54		Slower amplitude alfa; electrode instab
8	76	M	SAOS	Parkinson; Central apneas	904	24.5	13.9	31.1	23.7	6.86	6/01/2009	26	5.53	27.1	33.6	7.74	Ropirinol	
9	61	M	SAOS	Cheyne-Stokes	969	15.5	17.9	35.2	16.4	15.07	29/5/2009	15.5	9.29	36.8	22.7	15.69		Cardiac artifact
10	53	F	SAOS	AVC; depression	842	38	10.7	36.6	11.4	3.33	16/6/2009	36.3	5.58	35.6	16.8	5.7	SSRI	Rapid activity in EEG; cardiac artifact; swea
11	80	M	SAOS		997	6.32	17.9	43.7	21.1	10.93	6/01/2015	4.39	21	43.1	18.9	12.65	BZD; Quetiapina, Bupropion	Rapid activity in EEG
12	79	M	REM Sleep Behaviour Disorder		850	19.7	9.29	17.5	39.3	14.24	6/12/2009	20.2	8.35	19.9	36	15.53	SSRI	Slower amplitude alfa; 79 yrs
13	65	M	SAOS		882	73.7	12.6	4.42	7.26	1.93	1/10/2011	77.9	7.14	5.78	7.26	1.93		
14	66	M	D. Afectiva		906	50.8	12.4	20	11.5	5.41	13/4/2011	53	9.16	19.1	13	5.74	Gabapentina; Tricyclic; SSRI	Teta activity in transition wake-sleep

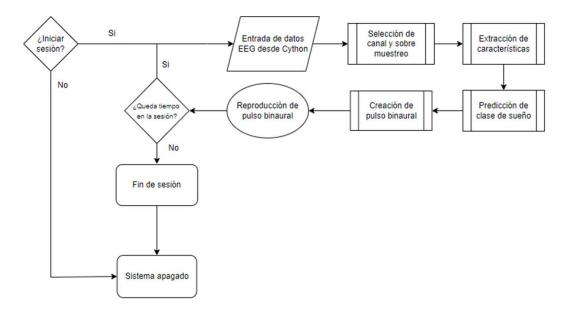
### **REFERENCIAS**

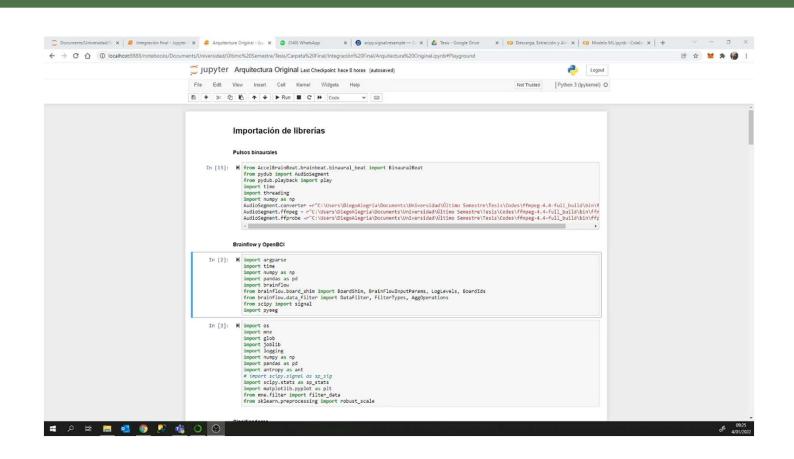
- [I] R. Vallat y M. P. Walker, "A universal, open-source, high-performance tool for auto-mated sleep staging," bio Rxiv, 2021
- [2] B. M. Altevogt, H. R. Colten y col., "Sleep disorders and sleep deprivation: an unmet public health problem," 2006.
- [3] J. F. Gaultney, "The prevalence of sleep disorders in college students: impact on aca-demic performance, "Journal of American College Health, vol. 59, n.o2, págs. 91-97,2010.
- [4] J. Aguirre, "Diseño, Análisis, y Desarrollo de un Sistema de Entrenamiento para Mejorar el Desempeño de los Atletas del Comité Olímpico Guatemalteco," Tesis de Licenciatura, Universidad del Valle de Guatemala, 2018.
- [5] M. Godoy, "Sistema de Neurofeedback para mejorar el rendimiento de los Atletas del Comité Olímpico Guatemalteco. Diseño e implementación de módulo de recopilación de señales y módulo de retroalimentación," Tesis de Licenciatura, Universidad del Valle de Guatemala, 2018.
- [6] J. Muñoz, "Diseño de un sistema inteligente de monitoreo de ondas EEG y generador de pulsos binaurales para combatir desórdenes de sueño en los atletas," Tesis de Licenciatura, Universidad del Valle de Guatemala, 2019.
- [7] O. López, "Análisis y Reconocimiento de Patrones de Señales Biomédicas Relacionadas a las Etapas de Sueño," Tesis de Licenciatura, Universidad del Valle de Guatemala,2020.
- [8] L. Guerrero, "Diseño e Implementación de un Sistema Generador de Pulsos Binaurales para el Estudio del Impacto de los Pulsos en la Calidad de Sueño," Tesis de Licenciatura, Universidad del Valle de Guatemala, 2020.

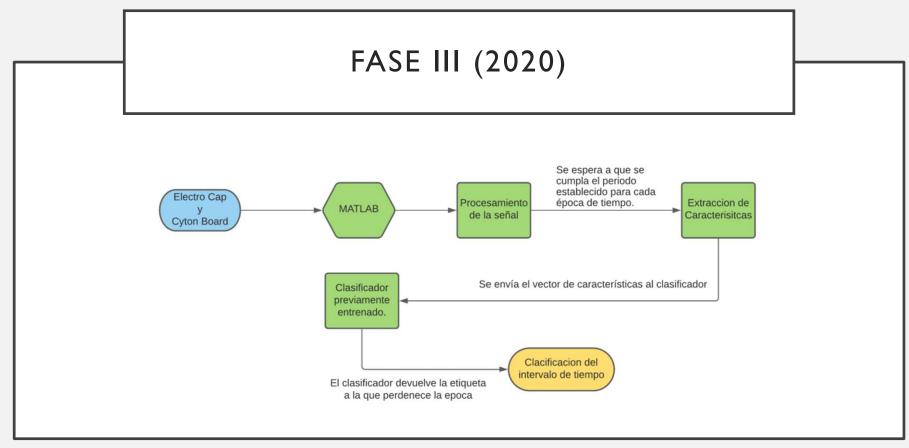
#### **REFERENCIAS**

- [9] O.Tsinalis, P. M. Matthews, Y. Guo y S. Zafeiriou, "Automatic sleep stage scoringwith single-channel EEG using convolutional neural networks," arXiv preprint ar-Xiv:1610.01683, 2016.
- [10] A. Supratak, H. Dong, C. Wu e Y. Guo, "DeepSleepNet: A model for automatic sleepstage scoring based on raw single-channel EEG," IEEE Transactions on Neural Sys-tems and Rehabilitation Engineering, vol. 25, n.o. 11, págs. 1998-2008, 2017.
- [11] B. Koley y D. Dey, "An ensemble system for automatic sleep stage classificationusing single channel EEG signal," Computers in biology and medicine, vol. 42, n.o12, págs. 1186-1195, 2012
- [12] S.A. Imtiaz y E. Rodriguez-Villegas, "An open-source toolbox for standardized useof PhysioNet Sleep EDF Expanded Database," en2015 37th Annual InternationalConference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), IEEE,2015, págs. 6014-601
- [13] C. Kasprzak, "Influence of binaural beats on EEG signal," Acta physica polonica A, vol. 119, n.o6, págs. 986-990, 2011.

#### ARQUITECTURA ORIGINAL



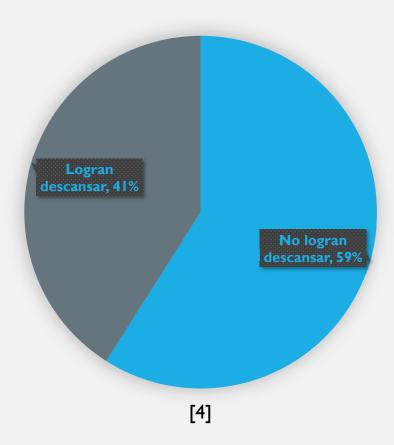




## ¿POR QUÉ INVESTIGAR LA TERAPIA DE NEURO-RETROALIMENTACIÓN?

"El 59% de los adultos de 18 a 29 años se describen a sí mismos como noctámbulos. Al no poder conciliar el sueño más temprano en la noche, no pueden dormir lo suficiente si deben levantarse temprano" [4].

#### ¿Concilia el sueño?



## REINGENIERÍA







Integración de librerías



Sistema unificado en un dispositivo

¿QUÉ CAMBIOS SE REALIZARON?

# Reingeniería del proyecto

Nueva arquitectura de sistema

## **CLASIFICADORES**

#### **XGBOOST**

#### precision recall f1-score accuracy 0.761011 0.761011 0.761011 0.705628 0.667131 0.671598 macro avg weighted avg 0.744011 0.761011 0.745709 precision recall f1-score 0.805394 0.859127 0.831393 Sleep stage W Sleep stage 1 0.470455 0.168704 0.248350 Sleep stage 2 0.780972 0.856433 0.816964 Sleep stage 3/4 0.844694 0.830684 0.837631 Sleep stage R 0.626626 0.620704 0.623651

#### Random Forest

#### Gaussian NB

	precision	recall	f1-score
accuracy	0.556923	0.556923	0.556923
macro avg	0.519780	0.527580	0.498860
weighted avg	0.592013	0.556923	0.552969
	precision	recall	f1-score
Sleep stage W	0.752780	0.436508	0.552590
Sleep stage 1	0.266779	0.129584	0.174438
Sleep stage 2	0.647171	0.636971	0.642031
Sleep stage 3/4	0.574736	0.789219	0.665114
Sleep stage R	0.357432	0.645619	0.460126