

## Apéndice A

### Protocolo

#### **A.1 Sistema de Adquisición**

Este estudio se debe realizar con el sistema de adquisición Enobio 8, de ocho electrodos/canales para 32 opciones de posición en un sistema 10-20 extendido.

#### **A.2 Participantes**

Se requiere 20 voluntarios (14 hombres y 6 mujeres) con edades comprendidas entre los 18 y 40 años. Para ser sujeto de prueba se requiere visión de color normal, la cual será verificada por la prueba de Ishihara. La intensidad o habilidad de imaginación visual de cada sujeto se evaluará con la prueba VVIQ1. Para VVIQ1 se utiliza el promedio de las calificaciones de intensidad de 16 preguntas, en donde un puntaje VVI bajo significa imágenes vívidas y un puntaje alto significa imágenes vagas.

Después de eso se debe obtener el consentimiento informado por escrito de cada sujeto para las pruebas con EEG. Los sujetos deben informar si presentan problemas neurológicos o cansancio. Se debe pedir que duerman bien y que no consuman cafeína la mañana antes del experimento. Los sujetos deben recibir instrucciones para evitar los movimientos corporales y parpadeo de los ojos durante la presentación de los estímulos. Se permitirá el parpadeo entre los estímulos, durante la presentación de una pantalla negra. Todos los procedimientos deben ser aprobados por la junta de ética de la Universidad del Valle.

#### **A.3 Objetos**

A cada sujeto se le presentará 5 tipos de imágenes individuales: Cara, Casa, Silla, Alcancía en forma de cerdo y Dado. Cada tipo de imagen tendrá 6 versiones, cada

una de un color o tono predominante distinto: Amarillo, azul, magenta, morado, rojo y verde. En total, el experimento corresponde a la presentación y captura de 60 imágenes individuales (30 objetos y 30 palabras).

Cada imagen tendrá asociada una palabra que indicará la imagen y cuyo color será el mismo de imagen. Estas palabras serán usadas como señales verbales con el fin de ganar robustez ante la posibilidad de que la imaginación visual sea un remanente de percepción visual durante los ensayos.

#### A.4 Presentación del estímulo

El sujeto debe estar sentado en una silla cómoda, entre 90 cm y 1 m del monitor de 17 ". Las imágenes serán presentadas en un fondo negro. Cada test comienza con 3s de descanso en donde se mostrará la pantalla negra, después de los cuales vendrán 5s de preparación al estímulo representados por un círculo blanco, seguido de la presentación del estímulo por 5s. Después de este periodo, la pantalla mostrará un cuadrado blanco, indicando otro periodo de preparación de 5s, esta vez para la imaginación. Luego de ese periodo de descanso, en la pantalla quedará un fondo negro y el participante deberá imaginar el mismo objeto en la pantalla en negro en la misma ubicación y orientación. El sujeto recibirá 10s para la imaginación visual, al final del cual el sistema emitirá un pitido para indicar el término de la imaginación. Por lo tanto, cada test durará 28s.

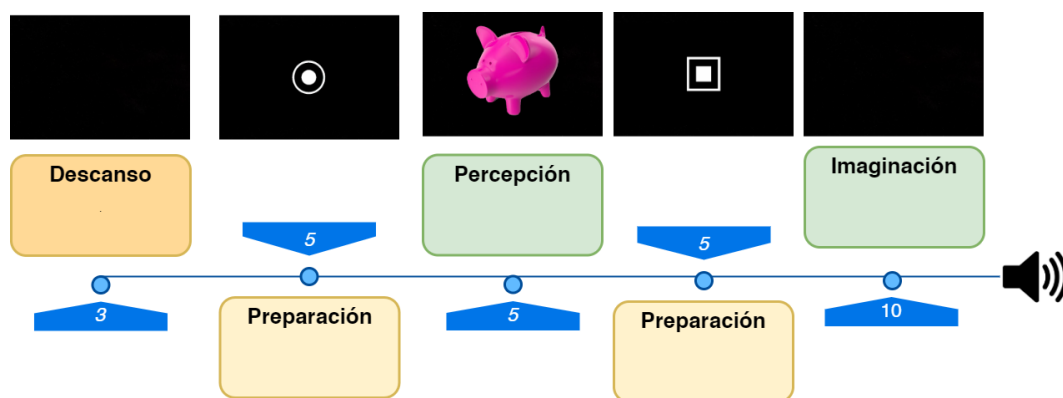


Figura A.1: Test.

## A.5 Experimento

Un tests constituye la presentación del estímulo visual por 5 segundos y su respectiva tarea de imaginación visual por 10 segundos, con dos tiempos de preparación de 5 s cada uno, más 3 s de descanso. Cada test dura 28 segundos. La secuencia de cinco test idénticos constituye una serie, que durará 140 segundos. Habrá un tiempo de descanso de 30 segundos entre una serie y otra. Un bloque estará constituido de cinco series, siendo cada serie de un objeto diferente, pero del mismo color/tono entre ellas, estando de esta manera cada bloque asociado a un color/tono. Cada bloque durará 820 segundos. Habrá un descanso de 2 minutos entre cada bloque. El conjunto de seis bloques constituye una sesión completa, que durará 5540 segundos. Cada sujeto hará dos sesiones, una con estímulos a base de imágenes y la otra a base de palabras.

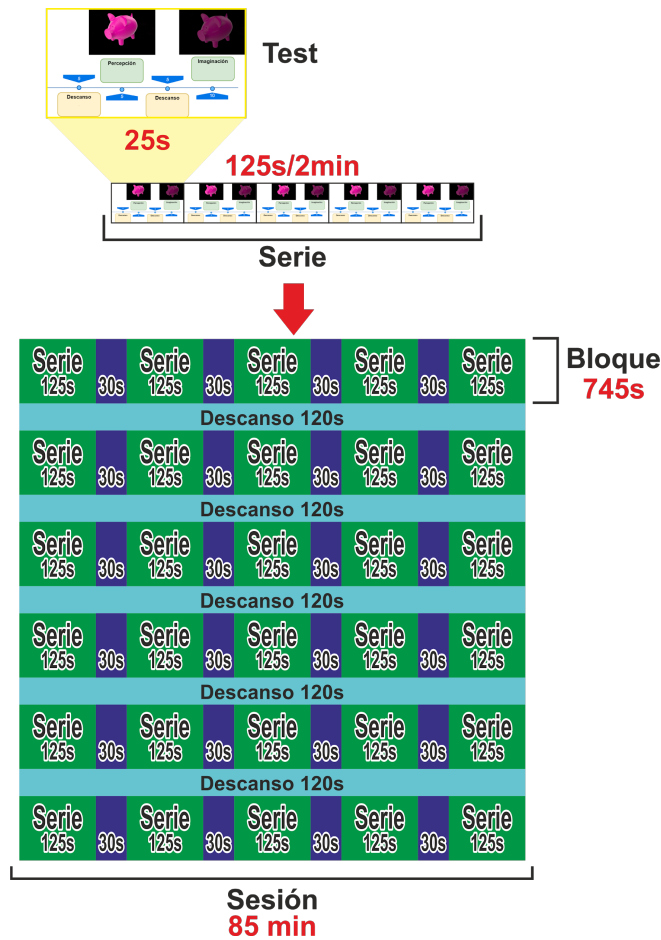


Figura A.2: Protocolo.

## Apéndice B

### Cuestionario de viveza de imágenes visuales - Vividness of Visual Imagery Questionnaire ( VVIQ)

#### B.1 Puntuaciones Totales

Puntuaciones totales	
(a) Ojos abiertos	
(b) Ojos cerrados	
Total (a+b)	

#### B.2 Datos del Participantes

Nombre	
Edad	Sexo
Ocupación	

#### B.3 Introducción

Las imágenes visuales se refieren a la capacidad de visualizar, es decir, la capacidad de formar imágenes mentales o "ver con el ojo de la mente". Se han encontrado marcadas diferencias individuales en la fuerza y claridad de las imágenes visuales reportadas y estas diferencias son de considerable interés psicológico. El objetivo de esta prueba es determinar la intensidad de sus imágenes visuales. Los elementos de la prueba posiblemente le traerán ciertas imágenes a la mente. Se le pide que califique la intensidad de cada imagen con referencia a la escala de 5 puntos que se muestra a continuación. Por ejemplo, si su imagen es "vaga y tenue", de una calificación de 4. Después de cada elemento, escriba el número correspondiente en el cuadro provisto. El primer cuadro es para una imagen obtenida con los ojos abiertos y el segundo cuadro es para una imagen obtenida con los ojos cerrados. Antes de pasar a los elementos de la página siguiente, familiarícese con las diferentes categorías de la escala de calificación. A lo largo de la prueba, consulte la escala de calificación al juzgar la intensidad de cada imagen. Trate de hacer cada elemento por separado,

independientemente de cómo haya hecho otros elementos. Complete todos los ítems de las imágenes obtenidas con los ojos abiertos y luego regrese al comienzo del cuestionario y califique la imagen obtenida para cada ítem con los ojos cerrados. Intente dar su calificación de "ojos cerrados" independientemente de la calificación de "ojos abiertos". Es posible que las dos calificaciones de un artículo determinado no sean las mismas en todos los casos.

#### B.4 Escala de Valoración

La imagen que despierta un elemento podría ser:	Calificación
Perfectamente claro y tan vivo como una visión normal	Calificación 1
Claro y razonablemente vívido	Calificación 2
Moderadamente claro y vívido	Calificación 3
Vago y tenue	Calificación 4
Sin imagen, solo "sabes" que estás pensando en un objeto	Calificación 5

#### B.5 Preguntas

Al responder los puntos 1 a 4, piense en algún familiar o amigo a quien ve con frecuencia (pero que no está con usted en este momento) y considere cuidadosamente la imagen que se le presenta.

1. El contorno exacto de cara, cabeza, hombros y cuerpo.
2. Poses características de la cabeza, actitudes corporales, etc.
3. El carro preciso, la longitud del paso, etc. al caminar.
4. Los diferentes colores usados en algunas ropas familiares.

Visualiza el sol naciente. Considere cuidadosamente la imagen que se presenta ante su mente.

5. El sol se eleva sobre el horizonte hacia un cielo brumoso.

6. El cielo se aclara y rodea al sol de azul.
7. Nubes, una tormenta estalla, con relámpagos.
8. Nubes, una tormenta estalla, con relámpagos.

Piense en el frente de una tienda a la que va a menudo. Considere la imagen que se presenta ante su mente.

9. La apariencia general de la tienda desde el lado opuesto de la calle.
10. Un escaparate que incluye colores, formas y detalles de artículos individuales a la venta.
11. Estás cerca de la entrada. El color, forma un detalle de la puerta.
12. Entrás en la tienda y vas al mostrador. El asistente del mostrador te atiende. El dinero cambia de manos

Finalmente, piense en una escena campestre que involucre árboles, montañas y un lago. Considere la imagen que se presenta ante su mente.

13. Los contornos del paisaje
14. El color y la forma de los árboles
15. El color y la forma del lago
16. Un viento fuerte sopla sobre el árbol y en el lago provocando olas

**El objetivo de esta prueba es juzgar su capacidad de imaginar. Las preguntas de esta prueba le pedirán que forme imágenes mentales de algo en su mente. A continuación, se le pedirá que califique con qué claridad o viveza fue capaz de formar esa imagen mental. Puede asignar esta calificación en una escala de 5 puntos, que se muestra a continuación como**

**ejemplo. Puede mover el control deslizante a cualquier lugar de esta escala de 5 puntos.**

**Recuerde que debe mantener los ojos abiertos mientras imagina.**

Al responder los puntos 1 a 4, piense en algún familiar o amigo a quien ve con frecuencia (pero que no está con usted en este momento) y considere cuidadosamente la imagen que se le presenta.

1. El contorno exacto de cara, cabeza, hombros y cuerpo.
2. Poses características de la cabeza, actitudes corporales, etc.
3. El carro preciso, la longitud del paso, etc. al caminar.
4. Los diferentes colores usados en algunas ropas familiares.

Visualiza el sol naciente. Considere cuidadosamente la imagen que se presenta ante su mente.

5. El sol se eleva sobre el horizonte hacia un cielo brumoso.
6. El cielo se aclara y rodea al sol de azul.
7. Nubes, una tormenta estalla, con relámpagos.
8. Nubes, una tormenta estalla, con relámpagos.

Piense en el frente de una tienda a la que va a menudo. Considere la imagen que se presenta ante su mente.

9. La apariencia general de la tienda desde el lado opuesto de la calle.
10. Un escaparate que incluye colores, formas y detalles de artículos individuales a la venta.

11. Estás cerca de la entrada. El color, forma un detalle de la puerta.
12. Entrás en la tienda y vas al mostrador. El asistente del mostrador te atiende. El dinero cambia de manos

Finalmente, piense en una escena campestre que involucre árboles, montañas y un lago. Considere la imagen que se presenta ante su mente.

13. Los contornos del paisaje
14. El color y la forma de los árboles
15. El color y la forma del lago
16. Un viento fuerte sopla sobre el árbol y en el lago provocando olas



## Apéndice C

### Anexos Adicionales y Otros Resultados

#### C.1 Datos Adicionales

Los anexos software de este trabajo se encuentran en el repositorio GitHub: <https://github.com/MayorChris/BCI-IMAGERY-VISUAL>

#### C.2 Resultados del Preprocesamiento para cada Sujeto de la Base de Datos

Las métricas que se pueden analizar son el número, la identificación y la clasificación de los canales defectuosos realizados por PREP en los datos brutos y *RANSAC* en los datos segmentados. Esto se hizo para cada tarea dentro de cada sesión. En las tablas C.1 y C.2 se muestran los canales ruidosos detectados por PREP antes de la re-referenciación robusta, los canales ruidosos detectados e interpolados por PREP después de la re-referenciación robusta y los canales ruidosos restantes después de la interpolación; además, se presentan los canales detectados e interpolados por *RANSAC* y Spline respectivamente después de la etapa PREP.

Tabla C.1: Tabla de los electrodos defectuosos detectados e interpolados en la sesión 1 para los sujetos.

Subject	Etapa	Percepción		Imaginación	
		Canales	Cant.	Canales	Cant.
01	canales ruidosos originales		0	F7	1
	canales interpolados	TP9	1	TP9	1
	canales aún ruidosos		0		0
	RANSAC	Fp1,Fp2	2	Fp1,Fp2	2
02	canales ruidosos originales	F2,AFz,Pz,FT10,CP3,C3,FC6	7	F2,AFz,FC6,AF3,FT10,C3,Pz	7
	canales interpolados	FT9,FC6,T8,FT10,CP3,C3,Pz	7	FT9,FC6,T8,AF8,Fp1,FT10,C3,AF7,Pz	9
	canales aún ruidosos	Fp1	1	Fp2	1
	RANSAC	Fp1,O2,Fp2,AF7,AFz,P1,AF8	7	Fp1,AFz,AF4,AF8	4
03	canales ruidosos originales		0		0
	canales interpolados	T8	1		0
	canales aún ruidosos		0		0
	RANSAC	Fp1,P8,TP10,Fp2,AF3,AFz,CP3,PO3,AF4,AF8	10	Fp1,P8,TP10,CP3,AF8	5
10	canales ruidosos originales	FC2,FCz,F2,AF8	4	F2,Fp2,AF4,AF8,Fp1	5
	canales interpolados	FT10,AF8	2	Fp2,AF8,Fp1,FT10,AF7,PO4	6
	canales aún ruidosos	PO4	1		0
	RANSAC	Fp1,FT9,T7,Fp2,AF7,AF3,AFz,C5,P6,CPz,AF4	11	F3,FC5,Fp2,AF3,F1,F5,FC3,CPz,AF4	9
11	canales ruidosos originales	FC4,F2,CP4,C3,AF7	5	FC2,Cz,Fp1	3
	canales interpolados	C6,FC4,F2,CP4,TP10,FT8,C3,AF7	8	C6,FC2,Cz,CP4,FT8,Fp1,AF7	7
	canales aún ruidosos		0		0
	RANSAC	F7,AFz,AF4	3	Fp2	1
15	canales ruidosos originales	F2	1	F2,Fp2,F1	3
	canales interpolados	TP10,TP9	2	TP9	1
	canales aún ruidosos		0		0
	RANSAC	Fp1	1	Fp1	1
20	canales ruidosos originales	Fp2,F6,F2,AF8,AF3,F4,AF7,F3,F5,F1,AF4,FC6,FT7	13	CP1,Fp2,F2,AF3,F4,F3,AF7,Fp1,F7,F5,F1,AF4,FC6,F6	14
	canales interpolados	Fp2,FC5,T7,AF8,AF3,AF7,TP10,F5,AF4,FC6,FT9,TP9,FT7	13	CP1,Fp2,T7,AF3,AF7,Fp1,TP10,F5,AF4,FC6,FT9,TP9,FT7	13
	canales aún ruidosos		0		0
	RANSAC	T8,AFz,F6	3	Fp2,AF8	2
26	canales ruidosos originales	F7,F4,F3	3	P4,TP9	2
	canales interpolados	TP10,T7	2	TP10,P4,TP9	3
	canales aún ruidosos		0		0
	RANSAC	T8,AF7	2	Cz,CPz	2
29	canales ruidosos originales	Fp2,F2,CP2,F4,AF7,C2,Fp1,F7,P4,F5,F1,AF4,F6	13	Fp2,CP2,F4,AF7,C2,Fp1,P4,F6	8
	canales interpolados	Fp2,CP2,F4,AF7,C2,F7,P4,F6	8	Fp2,CP2,AF7,C2,Fp1,F7,P4,F6	8
	canales aún ruidosos		0		0
	RANSAC	Fp1,Pz,F5	3	F4,F5,AF4	3
34	canales ruidosos originales	F2,Fp1,P4,CP4,C6,TP8,TP9	7	F2,Fp1,P4,Cz,TP8	5
	canales interpolados	T8,CP2,FT10,Fp1,P4,Cz,C6,P6,TP8,CP4,TP9	11	T8,CP2,FT10,Fp1,P4,Cz,C6,TP8,TP9	9
	canales aún ruidosos		0		0
	RANSAC	T7,F8,C5,TP7,AF8	5	Fp2,F1,TP7	3
38	canales ruidosos originales	Fp2,F2,FCz,Fp1,F1	5	Fp2,AF8,Fp1,F5,F1	5
	canales interpolados	T7,FCz,TP10,Fp1,FT9,FT7	6	Fp2,AF8,FT8,AF7,TP10,Fp1,FT7	7
	canales aún ruidosos		0		0
	RANSAC	T8,Fp2,AF3,F5,TP8,AF8	6	F7,AF3,AFz,F5,F6	5

Tabla C.2: Tabla de los electrodos defectuosos detectados e interpolados en la sesión 2 para los sujetos.

Subject	Etapa	<i>Percepción</i>		<i>Imaginación</i>	
		Canales	Cant.	Canales	Cant.
01	canales ruidosos originales	F2,F8,F4,Fp1	4	F2,AFz,AF4,F4,Fp1	5
	canales interpolados	F2,FT7,Fp1,P6,FT10	5	F2,Fp2,FT7,Fp1,P6	5
	canales aún ruidosos	FT10	1		0
	RANSAC	Fp2,F5,AF4,AF8	4	F8,AF7,C2,AF8	4
02	canales ruidosos originales	P2,C2,F1,Pz	4	AF3,F1,Fp1	3
	canales interpolados	FT9,C2,FT7,P2,Pz	5	FT9,T7,FT7,AF8,Fp1,FT10,AF7	7
	canales aún ruidosos	Fp1	1		0
	RANSAC	T8,FC6,AF7,TP7,C6,AF8	6	CP1,T8,AFz,C5,C6,AF4	6
03	canales ruidosos originales	F3,F1,AF3	3	F3,F1	2
	canales interpolados	F3,AF3,T8,TP10,TP8,FC5,TP9,TP7	8	TP10,TP7	2
	canales aún ruidosos	C5	1		0
	RANSAC	Fp1,F7,AF7,C5,AF8	5	Fp1,AF8	2
10	canales ruidosos originales	F3,F2,F6,F8,AF3,AF4,F4,F5,F1	9	F3,F2,F6,F8,AF3,Fp2,AF4,F4,AF8,Fp1,F5,F1,AF7	13
	canales interpolados	CP2,F3,F6,AF3,T7,C5,AF8,F5,TP9,AF7	10	F3,F6,AF3,T7,Fp2,F4,FT8,AF8,Fp1,F5,TP9,AF7	12
	canales aún ruidosos	F4	1		0
	RANSAC	Fp1,T8,Fp2	3	F8	1
11	canales ruidosos originales	F7,Fp2,F4,P7,F5,FT10,TP8	7	P8,F7,T8,Fp2,Fp1,F5,FT10	7
	canales interpolados	C6,T8,TP10,P7,TP8,FT10	6	P8,F7,T8,Fp2,TP10,P7,Fp1,FT10,O2,TP8	10
	canales aún ruidosos		0		0
	RANSAC	Fp2	1	FT9,POz,CPz	3
15	canales ruidosos originales	F2	1	F2,AFz,Fp2,AF7	4
	canales interpolados	AF7	1	AF7	1
	canales aún ruidosos		0		0
	RANSAC	AF8	1	Fp1,Fp2,AF8	3
20	canales ruidosos originales	AF8,FT10,Fp2,AF7	4	AF8,Fp2,AF7,O2	4
	canales interpolados	Fp2,AF8,FT10,AF7,TP10,FT9,TP9	7	O2,AF8,FT10,FT8,AF7,TP10,FT9,FT7	8
	canales aún ruidosos		0		0
	RANSAC	FC5,T7,F4,F5,AF4	5	FC5,F8,Fp2,AF3,F5,AF4	6
26	canales ruidosos originales	FC3,FCz,F1,AF4	4	FC3,C1,FCz,FC1,F1,AF4,Cz,FC6	8
	canales interpolados	FC3,FC5,TP10,AF4,FT7	5	FC3,FCz,AF4,TP9	4
	canales aún ruidosos	FT9	1		0
	RANSAC	Cz,T8,FC6,AF7	4	T7,Cz,FC6,C1	4
29	canales ruidosos originales	FC4,AF3,F4,AF7,FC1,F7,F1,F8,AFz,F6	10	POz,Fp2,FC4,AF8,AF3,F4,AF7,Fp1,F7,F5,FC1,F1,F8,AFz,TP9,F6	16
	canales interpolados	FC5,FC4,CP5,AF3,CP6,AF7,C5,PO4,FC6,FT9,F6	11	POz,FC4,AF8,CP5,FT7,AF7,F7,TP9,F6	9
	canales aún ruidosos		0		0
	RANSAC	P7,AF4	2	CP6,AF3,AF4	3
34	canales ruidosos originales	F2,TP8	2	TP8	1
	canales interpolados	T8,TP8	2	T8,TP8	2
	canales aún ruidosos		0		0
	RANSAC	T7,AF3,FT7,AF8	4	Fp2,AF8	2
38	canales ruidosos originales	Fp2,AF8,AF7,Fp1,F1	5	Fp2,AF8,AF7,Fp1,F1,F8	6
	canales interpolados	AF8,Fp2,AF7,Fp1	4	Fp2,AF8,T8,FT8,AF7,Fp1,F8	7
	canales aún ruidosos		0		0
	RANSAC	T7,TP9,P7,O1,TP10,T8,TP7,TP8,F6	9	P7,O1,FC6,C6	4

## Apéndice D

### Códigos

Los códigos para el desarrollo de este trabajo se encuentran en el repositorio GitHub siguiente: <https://github.com/MayorChris/BCI-IMAGERY-VISUAL>

La siguiente tabla da una descripción de los codigos.

<b>Codigo/ Archivo</b>	<b>Descripción</b>
NLPCA.py	Libreria de autoria propia donde se implementa el Analisis de Componentes Principales No Lineales
Analisis Temporal.ipynb	Notebook donde se puede observar el comportamiento de las señales EEG en el dominio temporal
Analisis Frecuencial.ipynb	Notebook donde se puede observar el comportamiento de las señales EEG en el dominio frecuencial
Extracción de Caracteristicas.ipynb	Notebook donde se hace la descomposición Tiempo-Frecuencia con Morlet Walevet Compleja
Clasificación.ipynb	Notebook donde se hace una Generalización Temporal de la decodificación entre la precepción y la imaginación