

Datos e instrumentos para experimentos de comportamiento

Descripción e instrucciones de uso - NeuroPolicy Lab

Autor: Bastián Henríquez Jara
Sebastián Muñoz Delaveau
Versión: v0.0
9 de octubre de 2025
Santiago de Chile

Resumen

Este documento pretende servir de guía para el uso de instrumentos para capturar indicadores psicofisiológicos, de atención visual y de actividad cerebral. Esta primera versión se limita a tres instrumentos específicos. Futuras actualizaciones incorporarán un mayor número de instrumentos. Como complemento, se encuentra disponible un repositorio Github con códigos para la extracción, procesamiento de datos e implementación. Este apunte busca ser utilizado por estudiantes del curso *CI6316 - Modelación y Diseño Experimental de Comportamiento Humano*, *IN5633 - Neurociencia del consumidor* y *CI6312 - Modelos Avanzados de Demanda por Transporte*, además de para cualquier estudiante interesado/a en realizar investigación experimental en temas relacionados con comportamiento humano.

Índice de Contenidos

1. Introducción	1
2. Eye tracking	1
2.1. Introducción	1
2.2. Configuración	2
2.2.1. Instalación dispositivo	2
2.2.2. Configuración eye-tracker	2
2.2.3. Calibración	5
2.2.4. Prueba	5
2.3. PsychoPy	6
3. Electroencefalograma	6
3.1. Introducción	7
3.2. Configuración de la medición	7
3.2.1. Sistema 10/20	7
3.3. Topografía de la corteza	8
3.4. Ondas cerebrales	8
3.5. Relación entre EEG y estímulos	9
3.6. Artefactos	10
3.7. Uso de BrainAccess EEG	10
4. Señales fisiológicas	11
4.1. Introducción	11
4.2. Frecuencia cardíaca	12
4.3. La actividad electrodermal	13
4.4. Agregación de datos	14
4.5. Uso de Empatica Embrace Plus	14
Referencias	15

Índice de Figuras

1. Seleccionar dispositivo a instalar.	2
2. Dónde poner el dispositivo en pantalla.	3
3. Dónde hacer click para crear una configuración en pantalla.	3
4. Elegir tipo de configuración.	3
5. Selección de monitor.	4
6. Poner distancia vertical del dispositivo relativo a pantalla.	4
7. Alineamiento horizontal.	4
8. Nombrar configuración.	5

9.	Botón para calibrar el dispositivo.	5
10.	Muestra de calibración, observando el punto blanco hasta que desaparezca.	5
11.	Punto desapareciendo, registrando posición del ojo en el sistema.	5
12.	Cómo probar el seguimiento.	6
13.	Cómo probar el seguimiento.	6
14.	Dónde hacer click para instalar plugin.	6
15.	Buscar el plugin de Tobii.	6
16.	Distribución de electrodos - sistema 10/20	8
17.	Diagrama regiones corteza cerebral	8
18.	Ejemplo Event Related Potentials (ERP)	9
19.	Instrumentos de medición de PPIs. a) Empatica Embrace Plus, b) Shimmer, c) Biomonitor.	12
20.	Ejemplo de señal de PPG (Rosadio, 2024)	13
21.	Componentes del SCR	13

Índice de Tablas

1.	Relación entre indicadores psicofisiológicos (PPI) y estímulos	11
----	--	----

1. Introducción

Los avances actuales en computación afectiva han abierto el camino a técnicas novedosas para evaluar los estados afectivos de las personas (Picard, 2000). Al utilizar datos fisiológicos periféricos e información contextual, estas técnicas pueden identificar características multimodales para explicar de manera objetiva los estados psicológicos de los individuos. Existe evidencia empírica sobre la correlación entre los estímulos psicológicos y las respuestas fisiológicas, que regulan el sistema nervioso (Kreibig, 2010, Pessoa, 2008).

Varias señales fisiológicas periféricas reflejan estos estados, tales como la actividad electrodérmica (EDA), el electrocardiograma (ECG), la fotopletismografía (PPG), el electroencefalograma (EEG), la temperatura, la dilatación pupilar, la electromiografía (EMG), entre otras (Cacioppo et al., 2007, Davis et al., 2012). El surgimiento de sensores miniaturizados integrados en dispositivos portátiles hace posible detectar estas bioseñales, las cuales pueden alimentar algoritmos de aprendizaje automático para clasificar el estado psicofisiológico del usuario (Jimenez-Molina et al., 2018). Además, técnicas de seguimiento ocular han mostrado ser útiles para obtener información de los procesos cognitivos que subyacen la toma de decisión, y aumentar la capacidad predictiva de los modelos de elección (Bansal et al., 2024).

Con base en esta evidencia, Castro et al. (2020) y Hancock and Choudhury (2023) propusieron el uso de indicadores psicofisiológicos (PPIs) para corregir la endogeneidad en modelos híbridos. Esto fue extendido por Henríquez-Jara and Guevara (2025) para modelar la utilidad instantánea, es decir, las variaciones momentáneas en estados emocionales, y el efecto dinámico de las experiencias en las decisiones. Asimismo, los PPIs se han utilizado en contextos de viaje en estudios correlacionales (para revisiones, ver Hancock and Choudhury (2023) y Conceição et al. (2022)), así como para modelar emociones declaradas (Barria et al., 2022) y en experimentos de viaje en realidad virtual (VR) (Bogacz et al., 2021, Henríquez-Jara et al., 2025).

Este apunte describe tres fuentes de datos cognitivos y fisiológicos usados para estudiar comportamiento: seguimiento ocular, electroencefalografía, y datos fisiológicos (e.g. EDA y HR). Dentro de cada capítulo se encuentran una breve descripción del indicador fisiológico, las instrucciones para implementar los instrumentos correspondientes, y una breve revisión de modelos de elección que usan estos indicadores.

2. Eye tracking

2.1. Introducción

Los modelos de elección clásicos ignoran completamente la existencia de mecanismos cognitivos basados en heurísticas que pueden llevar al tomador de decisión a ignorar atributos o alternativas. Esto puede generar resultados sesgados sobre los parámetros de preferencias de los individuos (Bansal et al., 2024). Existen formas de solucionar este problema. Por ejemplo, un modelo de clases latentes puede estimar las probabilidades asociadas a que cada individuo considere una cierta combinación de atributos (e.g. Campbell et al., 2011). Sin

embargo, sin información exógena sobre la probabilidad de atender un atributo, se pueden obtener resultados sesgados (Hess et al., 2013, Yegoryan et al., 2020).

Los datos de seguimiento ocular, o *eye-tracking* han mostrado buenos resultados en la recuperación del proceso de búsqueda de información y de las preferencias de los tomadores de decisiones. Estos instrumentos permiten una medición precisa y no invasiva de movimientos oculares. Capturan trayectorias de atención visual, tamaño de las pupilas, conteos de fijaciones (los puntos específicos de la pantalla en que están siendo atendidos) y duración de las fijaciones.

Los sistemas de seguimiento ocular utilizan cámaras y sensores infrarrojos para detectar la posición de los ojos y calcular el punto de fijación visual sobre una pantalla u objeto del entorno. En un experimento, es necesario determinar las áreas de interés (AOI), para obtener los indicadores de fijaciones agregados espacialmente en regiones que sean relevantes para el estudio.

2.2. Configuración

El eye-tracker disponible en el laboratorio es un de la marca Tobii. Para configurar y hacer uso del dispositivo Tobii, antes es necesario:

- Descargar e instalar el controlador (https://connect.tobii.com/s/etm-downloads?language=en_US).
- Descargar PsychoPy (<https://www.psychopy.org/download.html>).

2.2.1. Instalación dispositivo

Una vez instalado el controlador, se les pedirá que instalen el dispositivo Tobii correspondiente (Figura 1).

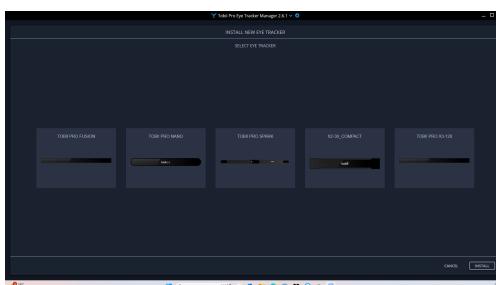


Figura 1: Seleccionar dispositivo a instalar.

2.2.2. Configuración eye-tracker

Se sugiere poner el dispositivo en pantalla (inferior de preferencia) para empezar a configurar el Tobii (Figura 2).



Figura 2: Dónde poner el dispositivo en pantalla.

Para configurar el dispositivo, se necesita una configuración en pantalla (Figura 3).

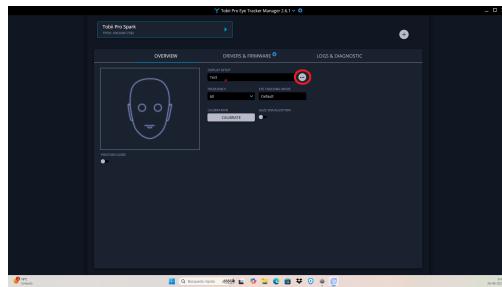


Figura 3: Dónde hacer click para crear una configuración en pantalla.

Seleccione el tipo de configuración, indicando dónde se encuentra en dispositivo, en o fuera del monitor (Figura 4).

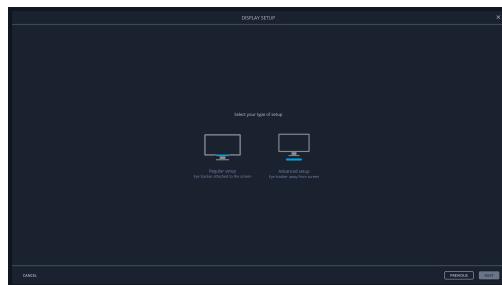


Figura 4: Elegir tipo de configuración.

Seleccione el monitor donde se utilizará y medirá el dispositivo (Figura 5).

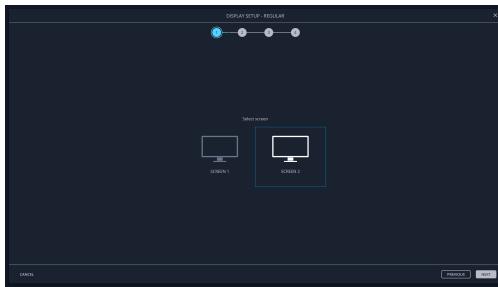


Figura 5: Selección de monitor.

Indicar distancia del dispositivo relativo a la pantalla en el caso de que el dispositivo esté sobre o debajo del monitor (Figura 6).

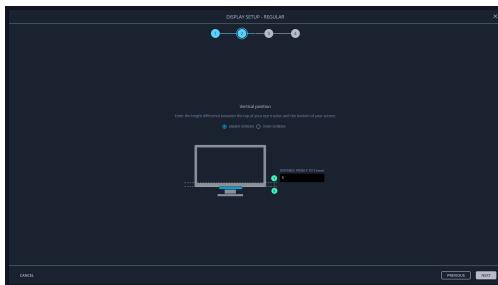


Figura 6: Poner distancia vertical del dispositivo relativo a pantalla.

Ajustar horizontalmente el dispositivo, alineando tanto el monitor con el Tobii (Figura 7).



Figura 7: Alineamiento horizontal.

Finalizando con el nombre de esta configuración (Figura 8).

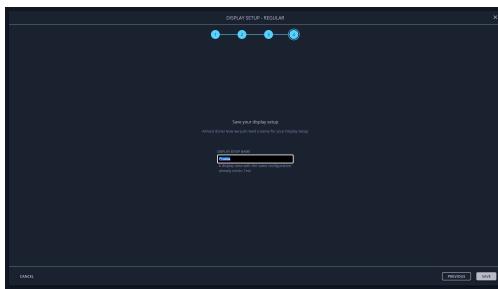


Figura 8: Nombrar configuración.

2.2.3. Calibración

Una vez configurado, se puede calibrar haciendo click en calibrar (Figura 9):

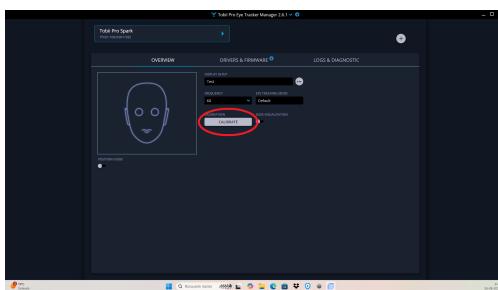


Figura 9: Botón para calibrar el dispositivo.

Con cabeza fija, evitando rotaciones y movimientos de silla, mirar los puntos blancos hasta que exploten (Figura 10 y Figura 11).



Figura 11: Punto desapareciendo, registrando posición del ojo en el sistema.

Observación: el sistema no tiene problemas calibrando con lentes, pero una vez calibrado con ellos el participante los tiene que mantener puestos.

2.2.4. Prueba

Para hacer una prueba del dispositivo, sólo basta con hacer click en sample, como en Figura 12.

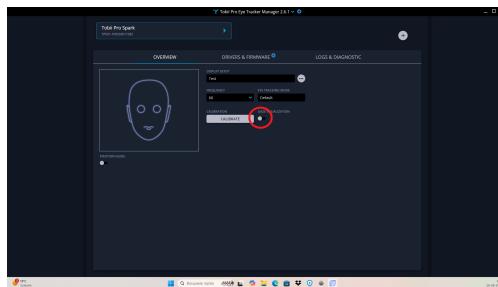


Figura 12: Cómo probar el seguimiento.

2.3. PsychoPy

Una vez instalado PsychoPy, para conectar el dispositivo se necesita instalar el componente (Figura 13).

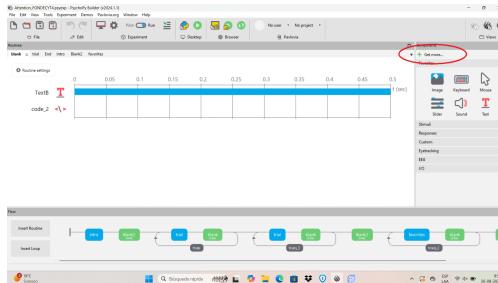


Figura 13: Cómo probar el seguimiento.

Una vez instalado PsychoPy, para conectar el dispositivo se necesita instalar el plugin (Figura 14 y Figura 15).

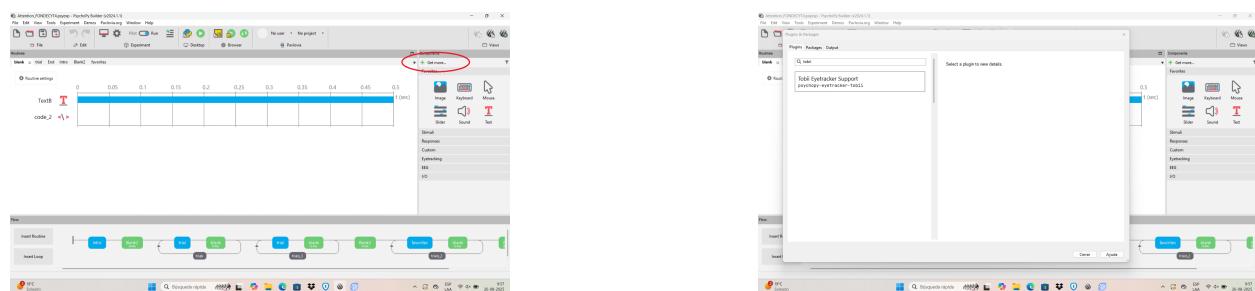


Figura 15: Buscar el plugin de Tobii.

3. Electroencefalograma

3.1. Introducción

El electroencefalograma (EEG) es una técnica no invasiva para medir la actividad eléctrica de la corteza cerebral. Se mide como una diferencia de voltaje variable en el tiempo entre electrodos colocados en el cuero cabelludo de una persona. El EEG generalmente monitoriza la actividad de las neuronas en la corteza cerebral, ya que es la más cercana a los electrodos (BrainAccess / Neurotechnology, 2025). El potencial eléctrico generado por una sola neurona es demasiado pequeño para ser detectado mediante EEG, y por lo tanto mide la actividad sincrónica de miles o millones de neuronas. La diferencia de voltaje medida entre los electrodos está en el rango de microvoltios y necesita ser amplificada para realizar los registros. La contribución de las neuronas más alejadas del cuero cabelludo es aún más débil, y por ello el EEG no puede medir estructuras cerebrales profundas. No obstante, la corteza cerebral es probablemente la parte más interesante del cerebro, la que nos hace humanos, permitiéndonos pensar, sentir y experimentar el mundo que nos rodea.

3.2. Configuración de la medición

El registro convencional de EEG se realiza colocando electrodos en el cuero cabelludo y aplicando gel conductor entre ellos para establecer el contacto eléctrico. Normalmente también se prepara el cuero cabelludo con una ligera abrasión para reducir la impedancia debida a células muertas de la piel.

3.2.1. Sistema 10/20

Es un enfoque estandarizado usado para la notación de la colocación de electrodos (Figura 16). Garantiza que los electrodos con el mismo nombre se ubiquen en la misma localización relativa respecto de los demás, independientemente del tamaño de la cabeza o del número de electrodos usados. Un ejemplo de la colocación de 19 electrodos y su nomenclatura se muestra en la Figura correspondiente. La notación estándar ayuda a clínicos, investigadores y otros a comparar fácilmente sus mediciones, conociendo exactamente la localización topográfica sobre la cual se realizó el registro.

Cada sitio de colocación de electrodos tiene una letra que identifica el lóbulo o área del cerebro desde la cual registra: prefrontal (Fp), frontal (F), temporal (T), parietal (P), occipital (O) y central (C). Nótese que no existe un “lóbulo central”; debido a su posición y dependiendo del individuo, los electrodos “C” pueden reflejar actividad típica frontal, temporal o incluso parietal-occipital, y se utilizan siempre en polisomnografía para la determinación de las etapas del sueño.

También existen los sitios (Z): una “Z” (cero) se refiere a un electrodo colocado en la línea media sagital del cráneo (FpZ, Fz, Cz, Oz) y se usa principalmente como punto de referencia. Estos electrodos no necesariamente reflejan la actividad cortical lateral, ya que están situados sobre el cuerpo calloso. Los electrodos con número par (2,4,6,8) se ubican en el lado derecho de la cabeza, mientras que los números impares (1,3,5,7) se ubican en el lado izquierdo.

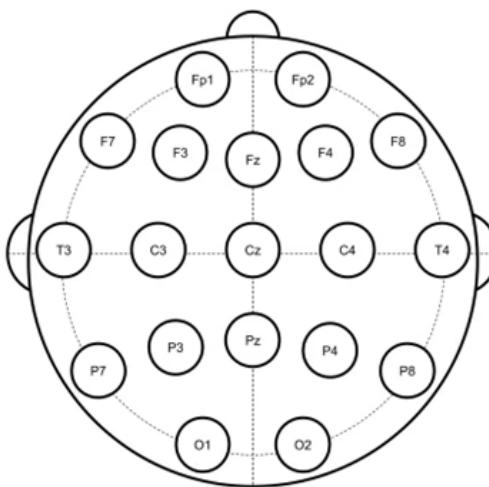


Figura 16: Distribución de electrodos - sistema 10/20

3.3. Topografía de la corteza

La corteza se puede dividir en diferentes regiones (Figura 17), llamadas lóbulos, cada una responsable de diversas funciones cerebrales. Conocer la topografía cortical es importante al elegir la colocación de electrodos para experimentos con EEG.

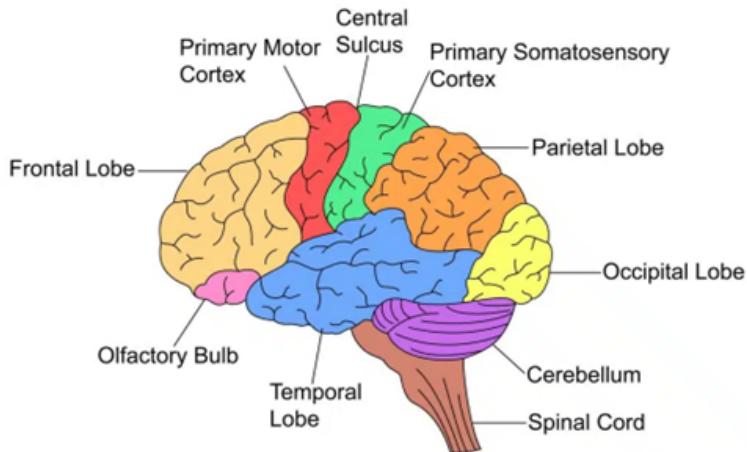


Figura 17: Diagrama regiones corteza cerebral

3.4. Ondas cerebrales

Las ondas cerebrales son oscilaciones eléctricas observadas en los registros de EEG. Estas oscilaciones reflejan estados mentales tales como cansancio, relajación o concentración, y

también se asocian a las etapas del sueño. Se clasifican en distintas bandas de frecuencia, cada una vinculada con funciones cognitivas o estados de conciencia específicos:

- **Ondas Delta (0.5 – 4 Hz):** Asociadas con sueño profundo, inconsciencia y algunos estados cerebrales anormales.
- **Ondas Theta (4 – 8 Hz):** Asociadas con ensoñación, creatividad, meditación y relajación profunda.
- **Ondas Alpha (8 – 13 Hz):** Asociadas con relajación en vigilia, ensoñación y calma mental.
- **Ondas Beta (13 – 30 Hz):** Asociadas con conciencia normal, concentración y tareas cognitivas.
- **Ondas Gamma (30 – 100 Hz):** Asociadas con funciones cognitivas superiores, percepción y conciencia.

3.5. Relación entre EEG y estímulos

El EEG se utiliza ampliamente para medir *Event Related Potentials* (ERP). Un ERP es la actividad neural sincronizada con un evento sensorial, motor o cognitivo específico. Es, en esencia, la respuesta del cerebro a un estímulo.

Algunos componentes comunes de ERP incluyen:

- **P300:** Componente positivo típicamente elicitado por estímulos inesperados o novedosos. Refleja la respuesta del cerebro a la sorpresa o expectativa.
- **N170:** Componente negativo asociado a la presentación de rostros, reflejando el procesamiento temprano de rasgos faciales.
- **LPP (Late Positive Potential):** Componente positivo tardío, comúnmente asociado a estímulos auditivos y a la atención sostenida.

Los ERP son herramientas poderosas para estudiar la dinámica temporal de los procesos cognitivos y tienen aplicaciones en neurociencia básica y aplicada.

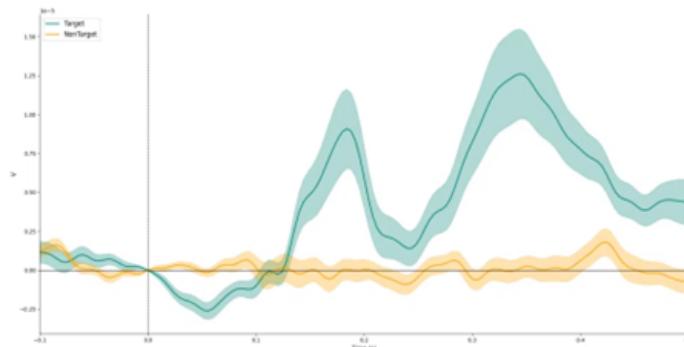


Figura 18: Ejemplo Event Related Potentials (ERP)

3.6. Artefactos

Los registros de EEG capturan no solo actividad neural, sino también señales eléctricas de otras fuentes más potentes llamadas *artefactos*, que pueden confundir la interpretación. Se busca minimizarlos o eliminarlos mediante diversas técnicas de procesamiento. Sus principales fuentes son:

- **Parpadeos y movimientos oculares:** Señales de alta amplitud, especialmente en lóbulos frontales.
- **Actividad muscular:** Movimientos de cuello, mandíbula y lengua generan señales de amplio espectro en las bandas Beta y Gamma, difíciles de remover.
- **Actividad cardíaca:** El potencial cardíaco puede ser registrado accidentalmente, sobre todo cerca de vasos sanguíneos. Puede eliminarse registrando simultáneamente un ECG.
- **Ruido ambiental:** Generalmente de equipos eléctricos conectados a la red (50/60 Hz). Se reduce con blindaje, electrodos activos y filtrado digital.

3.7. Uso de BrainAccess EEG

1. Descargar e instalar BrainAccess Board desde: <https://www.brainaccess.ai/software/brainaccess-board/>
2. Descargar e instalar BrainAccess SDK desde: <https://www.brainaccess.ai/software/brainaccess-sdk/>
3. Abrir *BrainAccess Board*.
4. Ir a: **resources → settings** (esquina inferior izquierda) → **Open app directory**.
5. En el directorio, abrir la terminal y ejecutar:

```
pip install .
```

6. En *BrainAccess Board*, grabar datos.
7. Usar la API para acceder a los datos. También es posible acceder manualmente leyendo el directorio de almacenamiento.
8. Se recomienda usar el notebook `EEG_processing.ipynb` para procesar los datos.

4. Señales fisiológicas

4.1. Introducción

En la literatura de psicología está ampliamente aceptada la relación entre ciertos indicadores psicofisiológicos (PPI) con reacciones emocionales (Cacioppo et al., 2007). En el campo de la modelación de comportamiento, los PP tienen utilidad práctica para capturar componentes emocionales no observables que influyan en las decisiones (Castro et al., 2020, Hancock and Choudhury, 2023), o que puedan ayudar a medir la satisfacción que un individuo experimenta luego de tomar una decisión (Henriquez-Jara and Guevara, 2025).

A pesar de que para ciertos indicadores hay mayor consenso sobre su relación con las reacciones emocionales (por ejemplo la actividad electrodermal en general se usa como indicador de activación emocional o estrés), en otros casos la relación no es clara. La siguiente tabla resume las relaciones que son más comunes en la literatura.

Tabla 1: Relación entre indicadores psicofisiológicos (PPI) y estímulos

Indicador PP	Relación con los estímu- los	Referencia
HR	Menor en respuesta a estí- mulos desagradables	Anttonen and Surakka (2005), Vos et al. (2012)
HRV	Mayor desaceleración en respuesta a estímulos des- agradables	Anttonen and Surakka (2005), Vos et al. (2012)
EDA	El aumento de la activación potencia la señal. Los estí- mulos negativos incremen- tan la EDA	Scheirer et al. (2002), Vos et al. (2012)
SKT	El estrés provoca vasocon- tricción periférica, causando una caída rápida y de corta duración en la tempera- tura de la piel. Las emocio- nes negativas se relacionan con una temperatura cutá- nea más baja. Las emocio- nes activadoras y negativas disminuyen la temperatura, mientras que las emociones calmadas y positivas la au- mentan	Herborn et al. (2015), McFar- land (1985), Schaefer (2017), Vinkers et al. (2013)

Existen distintos instrumentos para medir PPI. Por ejemplo, el *Shimmer*, la pulsera *Empatica* o el *Biomonitor*. En este documento se entregan detalles respecto al uso de la Empatica Embrace Plus. Además, se profundiza en aspectos necesarios a considerar para el trabajo con la actividad electrodermal y la frecuencia cardíaca.



Figura 19: Instrumentos de medición de PPIs. a) Empatica Embrace Plus, b) Shimmer, c) Biomonitor.

4.2. Frecuencia cardíaca

En dispositivos portátiles, la frecuencia cardíaca se estima a partir de la fotopletismografía (PPG): una medida óptica del volumen arterial de la sangre. Se emite luz con un LED hacia la piel, y la cantidad de luz reflejada en un fotodiodo refleja los cambios en el volumen sanguíneo (Rosadio, 2024). Esta fluctuación está determinada por el pulso cardíaco, que determina los picos en la señal de PPG.

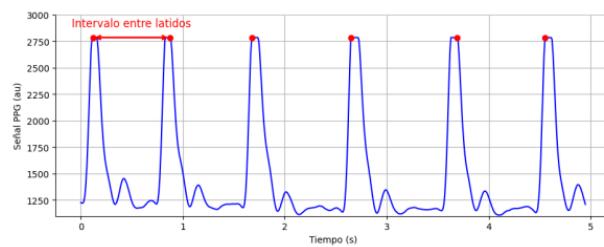


Figura 20: Ejemplo de señal de PPG (Rosadio, 2024)

A partir del análisis de PPG, se puede obtener: la frecuencia cardíaca (HR) y la variabilidad de la frecuencia cardíaca (HRV). El primero indica la cantidad de latidos por minuto, y el segundo refleja la variabilidad en los intervalos entre latidos sucesivos del corazón, y se ha utilizado ampliamente como un indicador de la actividad del sistema nervioso autónomo, el estrés mental, y la salud cardiovascular (Rosadio, 2024). Distintas medidas pueden representar la variabilidad de la frecuencia cardiaca, como la desviación estandar de los intervalos, o la raiz cuadrada de las diferencias cuadradas de intervalos sucesivos. Ver Rosadio (2024) para mayor detalle.

4.3. La actividad electrodermal

La actividad electrodermal (EDA) tiene dos componentes claves: la tónica y la fásica. La primera, formalmente llamada Nivel de conductividad de la piel (SCL), está relacionada con procesos generales en cambios de actividad eléctrica, o reaccion a procesos lentos y prolongados en el tiempo. Por otro lado, la componente fásica o Respuesta de conductancia de la piel (SCR), representa la reacción a estímulos puntuales y rápidos. Para estudiar reacciones emocionales a estímulos externos, lo más utilizado es el SCR.

Hay 3 componentes del SCR que nos interesan: la amplitud, el tiempo de subida (*rise time*) y el tiempo de recuperación (*recovery time*). Para una guía exhaustiva sobre el análisis de actividad electrodermal, ver (Braithwaite et al., 2013). Se recomienda usar el paquete *Neurokit* (Makowski et al., 2021) para el procesamiento de señales.

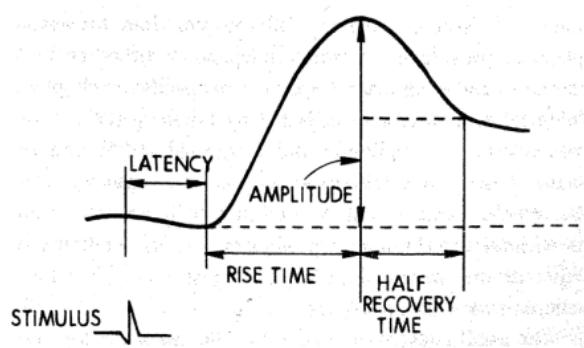


Figura 21: Componentes del SCR

skin conductance responses (SCRs) along with their parameters: *Amplitude*, *RiseTime*,

and *RecoveryTime*.

4.4. Agregación de datos

Los instrumentos generalmente usados miden a altas frecuencias, sobre 60 Hz. Por otro lado, como investigadores queremos relacionar este registro quasi-continuo con eventos discretos. Esto genera la necesidad de agregar las señales en el entorno del instante en que ocurren los estímulos. La decisión de qué función usar para agregar los datos no es trivial.

Estudios enfocados en aprendizaje de máquinas usan decenas de formas funcionales, para luego seleccionar los que predigan mejor alguna etiqueta emocional. Otro enfoque, es calcular un conjunto de agregaciones usando distintas formas funcionales, y luego seleccionar los que capturen la mayor proporción de varianza de los datos usando análisis factorial exploratorio. En experiencias previas, la logsuma de la señal en el entorno de 6 segundos alrededor del estímulo ha resultado ser un buen indicador (Barria et al., 2022, Henríquez-Jara et al., 2025, Henríquez-Jara et al., 2025).

4.5. Uso de Empatica Embrace Plus

1. Descargar e instalar **Amazon Web Service Command Line Interface (AWS CLI)**: <https://docs.aws.amazon.com/cli/latest/userguide/getting-started-install.html>
2. Abrir la terminal y ejecutar:

```
aws configure set aws_access_key_id "key_id"
aws configure set aws_secret_access_key "secret_key_id"
```
3. Ingresar a: <https://carelab.empatica.com/>
4. Crear un participante y obtener sus credenciales.
5. Descargar la aplicación móvil **Care Lab** desde App Store o Play Store.
6. Ingresar a la aplicación con credenciales de participante.
7. Encender pulsera Empatica Embrace Plus. Encender bluetooth celular (revisar cumplir con requerimientos).
8. Emparejar con app. Con esto ya se empiezan a registrar datos.
9. Los datos pueden descargarse directamente desde <https://carelab.empatica.com>, pero estarán agregados por minuto.
10. Para obtener datos en crudo, utilizar la API de Empatica con las credenciales del participante.

Referencias

- Jenni Anttonen and Veikko Surakka. Emotions and heart rate while sitting on a chair. *CHI 2005: Technology, Safety, Community: Conference Proceedings - Conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 491–499, 2005. ISSN 02749696. doi: 10.1145/1054972.1055040.
- Prateek Bansal, Eui-Jin Kim, and Semra Ozdemir. Discrete choice experiments with eye-tracking: How far we have come and ways forward. *Journal of Choice Modelling*, 51:100478, 2024. ISSN 1755-5345. doi: 10.1016/j.jocm.2024.100478. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1755534524000101>.
- Carlos Barria, Angelo Guevara, Angel Jimenez, and Sebastian Seriani. Relating Emotions, Psychophysiological Indicators and Context in Public Transport Trips: Case Study and a Joint Framework for Data Collection and Analysis. [Unpublished manuscript]. 2022.
- Martyna Bogacz, Stephane Hess, Chiara Calastri, Charisma F. Choudhury, Faisal Mush-taq, Muhammad Awais, Mohsen Nazemi, Michael A.B. van Eggermond, and Alexander Erath. Modelling risk perception using a dynamic hybrid choice model and brain-imaging data: Application to virtual reality cycling. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 133, 12 2021. ISSN 0968090X. doi: 10.1016/j.trc.2021.103435.
- BrainAccess / Neurotechnology. Brainaccess board. <https://www.brainaccess.ai/software/brainaccess-board/>, 2025. Accessed: 2025-10-06.
- Jason J Braithwaite, Derrick G Watson, Robert Jones, and Mickey Rowe. A guide for analysing electrodermal activity (eda) & skin conductance responses (scrs) for psychological experiments. *Psychophysiology*, 49(1):1017–1034, 2013.
- John Cacioppo, Louis Tassinary, and Gary Berntson. *Handbook of psychophysiology*. Cambridge University Press, 2007. doi: 10.13140/2.1.2871.1369.
- Danny Campbell, David A Hensher, and Riccardo Scarpa. Non-attendance to attributes in environmental choice analysis: a latent class specification. *Journal of environmental planning and management*, 54(8):1061–1076, 2011.
- Marisol Castro, C Angelo Guevara, and Angel Jimenez-Molina. A methodological framework to incorporate psychophysiological indicators into transportation modeling. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 118:102712, 2020. ISSN 0968-090X. doi: 10.1016/j.trc.2020.102712. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0968090X20306276>.
- M. A. Conceição, M. M. Monteiro, D. Kasraian, P. E.W. van den Berg, S. Haustein, I. Alves, C. Lima Azevedo, and B. Miranda. The effect of transport infrastructure, congestion and reliability on mental wellbeing: a systematic review of empirical studies. *Transport Reviews*, 0(0):1–39, 2022. ISSN 14645327. doi: 10.1080/01441647.2022.2100943. URL <https://doi.org/10.1080/01441647.2022.2100943>.
- S F Davis, J J Palladino, and K Christopherson. *Psychology*. Pearson, 2012.

- Thomas O. Hancock and Charisma F. Choudhury. Utilising physiological data for augmenting travel choice models: methodological frameworks and directions of future research. *Transport Reviews*, 2023. ISSN 14645327. doi: 10.1080/01441647.2023.2175274.
- Bastian Henriquez-Jara and C Angelo Guevara. An experience-based choice model (ebcm): Formulation, identification, behavioural insights and well-being assessment. *Journal of choice modelling*, 55:100552, 2025.
- Bastian Henriquez-Jara, C Angelo Guevara, and Angel Jimenez-Molina. Identifying instant utility using psychophysiological indicators in a transport experiment with ecological validity. *Transportation*, pages 1–25, 2025.
- Bastián Henríquez-Jara, Thomas O Hancock, Albert Solernou, Jorge Garcia, C Angelo Guevara, and Charisma Choudhury. Modelling the effect of travel experiences in modal choice using virtual reality and physiological sensor data. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 178:105178, 2025.
- Katherine A. Herborn, James L. Graves, Paul Jerem, Neil P. Evans, Ruedi Nager, Dominic J. McCafferty, and Dorothy E.F. McKeegan. Skin temperature reveals the intensity of acute stress. *Physiology and Behavior*, 152:225–230, 2015. ISSN 1873507X. doi: 10.1016/j.physbeh.2015.09.032. URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.physbeh.2015.09.032>.
- Stephane Hess, Amanda Stathopoulos, Danny Campbell, Vikki O'Neill, and Sebastian Causade. It's not that i don't care, i just don't care very much: confounding between attribute non-attendance and taste heterogeneity. *Transportation*, 40(3):583–607, 2013.
- Angel Jimenez-Molina, Cristian Retamal, and Hernan Lira. Using psychophysiological sensors to assess mental workload during web browsing. *Sensors (Switzerland)*, 18(2):1–26, 2018. ISSN 14248220. doi: 10.3390/s18020458.
- Sylvia D Kreibig. Autonomic nervous system activity in emotion: a review. *Biological psychology*, 84:394–421, 7 2010. ISSN 1873-6246 (Electronic). doi: 10.1016/j.biopsych.2010.03.010.
- Dominique Makowski, Tam Pham, Zen J. Lau, Jan C. Brammer, François Lespinasse, Hung Pham, Christopher Schölzel, and S. H. Annabel Chen. Neurokit2: A python toolbox for neurophysiological signal processing. *Behavior Research Methods*, 53(4):1689–1696, February 2021. ISSN 1554-3528. doi: 10.3758/s13428-020-01516-y. URL <http://dx.doi.org/10.3758/s13428-020-01516-y>.
- Richard A. McFarland. Relationship of skin temperature changes to the emotions accompanying music. *Biofeedback and Self-Regulation*, 10(3):255–267, 1985. ISSN 03633586. doi: 10.1007/BF00999346.
- Luiz Pessoa. On the relationship between emotion and cognition. *Nature reviews. Neuroscience*, 9:148–158, 2 2008. ISSN 1471-0048 (Electronic). doi: 10.1038/nrn2317.
- Rosalind W Picard. *Affective Computing*. The MIT Press, 2000. ISBN 9780262281584. doi: 10.7551/mitpress/1140.001.0001. URL <https://doi.org/10.7551/mitpress/1140.001.0001>.
- Maximiliano Rosadio. Estudio observacional para medir los efectos del estrés y la fatiga en las

- decisiones de los ciclistas mediante un modelo híbrido con señales fisiológicas y análisis de vídeo con gpt. Tesis de magíster / memoria para optar al título de ingeniero civil industrial, Universidad de Chile, 2024. URL <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/204137>. Acceso abierto — Repositorio Universidad de Chile.
- Hans Eckhardt Schaefer. Music-evoked emotions-Current studies. *Frontiers in Neuroscience*, 11(NOV):1–27, 2017. ISSN 1662453X. doi: 10.3389/fnins.2017.00600.
- Jocelyn Scheirer, Raul Fernandez, Jonathan Klein, and Rosalind W Picard. Frustrating the User On Purpose: A Step Toward Building an Active Computer. 14(509):93–118, 2002. URL <http://hd.media.mit.edu/tech-reports/TR-509.pdf>.
- Christiaan H. Vinkers, Renske Penning, Juliane Hellhammer, Joris C. Verster, John H.G.M. Klaessens, Berend Olivier, and Cor J. Kalkman. The effect of stress on core and peripheral body temperature in humans. *Stress*, 16(5):520–530, 2013. ISSN 10253890. doi: 10.3109/10253890.2013.807243.
- Pieter Vos, Paul De Cock, Vera Munde, Katja Petry, Wim Van Den Noortgate, and Bea Maes. The tell-tale: What do heart rate; skin temperature and skin conductance reveal about emotions of people with severe and profound intellectual disabilities? *Research in Developmental Disabilities*, 33(4):1117–1127, 2012. ISSN 08914222. doi: 10.1016/j.ridd.2012.02.006. URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.ridd.2012.02.006>.
- Narine Yegoryan, Daniel Guhl, and Daniel Klapper. Inferring attribute non-attendance using eye tracking in choice-based conjoint analysis. *Journal of Business Research*, 111:290–304, 2020.