



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA

**TRABAJO FIN DE MASTER EN INGENIERÍA BIOMEDICA**

# **ANÁLISIS DE LA ACTIVIDAD OCULAR Y LA DILATACIÓN PUPILAR DURANTE EL RECONOCIMIENTO DE EXPRESIONES FACIALES EN UNA MUESTRA DE SUJETOS SANOS Y CON ICTUS**

AUTORA: Anny Michelle Maza Pino

TUTORA: Valeriana Naranjo Ornedo

COTUTORES: Roberto Llorens Rodríguez  
Jorge Latorre Grau

**Curso Académico: 2017-18**



# AGRADECIMIENTOS

A mi madre, por ser ella. A mi padre, por ser siempre mi mayor fuente de admiración. A ambos, por esforzarse siempre por ofrecerme lo mejor y por haberme hecho ser quien soy ahora. A mi hermana, por ser mi segunda madre, quererme, aguantarme y por no dejar que me rindiera cada vez que juré que lo haría. A mi hermano, por compartir mis locuras y siempre estar dispuesto a sacar mi mejor sonrisa. A mi cuñado, por dejarme entrar en su hogar y ser parte de su familia.

A Julio, por ser mi refugio.

A mis tutores, por su paciencia y dedicación y por siempre animarme a seguir adelante.

A todos los participantes, por dedicar parte de su tiempo a la realización del estudio. En especial, a todos aquellos que emplearon tiempo de su rehabilitación en la elaboración de la prueba facilitando así la mayor investigación de este tipo de lesión.



# RESUMEN

La detección de emociones es una habilidad innata en el ser humano. Gracias a ella se desarrollan capacidades como la empatía o la compasión, muy necesarias en el proceso de crecimiento personal y a la hora de establecer relaciones sociales e interpersonales. Tras la aparición de un accidente cerebrovascular (CVA), también denominado ictus, las personas pueden experimentar secuelas a nivel emocional pudiendo verse afectada la capacidad de diferenciar, en otras personas, emociones básicas como la alegría, tristeza, ira, asco, sorpresa o miedo. El objetivo de este trabajo es identificar el motivo por el cual, tras un ictus, se presentan más dificultades a la hora de categorizar correctamente diferentes emociones. El planteamiento principal es conocer si los déficits en la detección de emociones vienen dados por la falta de adquisición de información importante o si, por el contrario, la información adquirida es correcta pero el procesamiento cerebral de esta no lo es. Con esta finalidad, se realiza un estudio comparativo, a través de la técnica de *eye-tracking*, del comportamiento visual y la actividad pupilar entre una muestra de controles y una de sujetos con daño cerebral adquirido (ABI) mientras se observan diferentes expresiones faciales. Los resultados obtenidos muestran diferencias, entre controles y pacientes, en los patrones de escaneo facial y la respuesta pupilar. Esto plantea la hipótesis de que la causa de la mayor dificultad de detección de emociones viene dada durante el proceso de adquisición de la información. Sin embargo, la mayoría de las diferencias encontradas no son estadísticamente significativas por lo que son necesarios más estudios y una mayor muestra de sujetos, para poder extraer unas conclusiones definitivas.

**Palabras clave:** emociones, ictus, daño cerebral adquirido, categorización, expresiones faciales, *eye-tracking*, diámetro pupilar, escaneo facial.



# RESUM

La detecció d'emocions és una habilitat innata en l'ésser humà. Gràcies a ella es desenvolupen capacitats com l'empatia o la compassió, molt necessàries en el procés de creixement personal i a l'hora d'establir relacions socials i interpersonals. Després de l'aparició d'un accident cerebrovascular (CVA), també denominat ictus, les persones poden experimentar seqüeles a nivell emocional podent veure's afectada la capacitat de diferenciar, en altres persones, emocions bàsiques com l'alegria, tristesa, ira, fàstic, sorpresa o por . L'objectiu d'aquest treball és identificar el motiu pel qual, després d'un ictus, es presenten més dificultats a l'hora de categoritzar correctament diferents emocions. El plantejament principal és conèixer si els dèficits en la detecció d'emocions venen duts per la falta d'adquisició d'informació important o si, per contra, l'informació adquirida és correcta però el processament cerebral d'aquesta no ho és. Amb aquesta finalitat, es realitza un estudi comparatiu, a través de la tècnica de *eye-tracking*, del comportament visual i l'activitat pupil·lar entre una mostra de controls i una de subjectes amb dany cerebral adquirit (ABI) mentre s'observen diferents expressions facials. Els resultats obtinguts mostren diferències, entre controls i pacients, en els patrons d'escaneig facial i la resposta pupil·lar. Això planteja la hipòtesi que la causa de la major dificultat de detecció d'emocions ve donada durant el procés d'adquisició de la informació. No obstant això, la majoria de les diferències trobades no són estadísticament significatives pel que són necessaris més estudis y una mostra mes extensa de participants per poder extreure unes conclusions definitives.

**Paraules clau:** emocions, ictus, dany cerebral adquirit, categorització, expressions facials, *eye-tracking*, diàmetre pupil·lar, escaneig facial.





# ABSTRACT

The detection of emotions is an innate ability in the human being. Capacities such as empathy or compassion are developed in order to have this ability, which are very necessary in the process of personal growth and when establishing social and interpersonal relationships. After the appearance of a cerebrovascular accident (CVA), also called stroke, people can experience sequelae at emotional level being able to be affected the ability to differentiate, in other people, basic emotions such as joy, sadness, anger, disgust, surprise or fear. The objective of this work is to identify the reason why, after a stroke, there are more difficulties categorizing different emotions in a properly way. The main approach is to know if the deficits in the detection of emotions are given by the lack of acquisition of important information or, on the contrary, the acquired information is correct, but the cerebral processing is not. With this purpose, a comparative study has been made, through the *eye-tracking* technique, of visual behaviour and pupil activity between a sample of controls and subjects with acquired brain damage (ABI) while different facial expressions are observed. The results obtained showed differences, between controls and patients, in the facial scanning patterns and the pupillary response. This raises the hypothesis that the cause of the greatest difficulty in detecting emotions is given during the process of acquiring the information. However, most of the differences found are not statistically significant, so more studies are needed and more subjects must be included in order to draw any definitive conclusions.

**Keywords:** emotions, stroke, acquired brain damage, categorization, facial expressions, eye-tracking, pupillary diameter, facial scanning.



# ÍNDICE

## CONTENIDOS

MEMORIA

PRESUPUESTOS

ANEXOS

BIBLIOGRAFÍA

## MEMORIA

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1	Presentación del trabajo.....	1
1.2	Reconocimiento de expresiones faciales.....	1
1.2.1	Fundamentos anatómicos y fisiológicos.....	1
1.2.2	Procedimiento ocular durante el reconocimiento de expresiones faciales.....	4
1.3	Ictus: principal causa del daño cerebral adquirido.....	6
1.3.1	Definición y situación actual.....	6
1.3.2	Implicaciones en el reconocimiento de expresiones faciales.....	7
1.4	Hipótesis y objetivos planteados.....	9
1.4.1	Justificación, hipótesis generales.....	9
1.4.2	Hipótesis específicas.....	9
<b>2.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>10</b>
2.1	Participantes.....	10
2.2	Materiales.....	11
2.2.1	<i>Eye-tracking</i> .....	11
2.2.2	Estímulos.....	13
2.2.3	Parámetros.....	15
2.2.4	Software.....	15
2.3	Métodos.....	16
2.3.1	Procedimiento general.....	16
2.3.2	Protocolo del experimento.....	16
2.3.3	Preprocesamiento de los datos.....	19
2.3.4	Análisis estadístico.....	30

<b>3.</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>31</b>
3.1	¿Hay diferencias en el patrón de escaneo facial seguido por controles y pacientes? .....	31
3.1.1	Verificación de las principales zonas de interés durante el escaneo facial y comparación entre controles y pacientes .....	31
3.1.2	Estudio genérico de los patrones visuales de controles y pacientes en ojos, nariz y boca.....	33
3.1.3	Estudio de los patrones visuales de controles y pacientes en ojos, nariz y boca en función del tipo de emoción .....	36
3.2	¿Es la capacidad de categorizar emociones desigual entre controles y pacientes? .....	40
3.2.1	Análisis genérico del número de aciertos en controles y pacientes .....	40
3.2.2	Análisis del número de aciertos en controles y pacientes en función del tipo de emoción .....	41
3.3	¿Existe disparidad entre la dilatación pupilar que experimentan controles y pacientes?.....	43
3.3.1	Comparación genérica de la respuesta de la pupila en sanos y pacientes .....	43
3.3.2	Comparación de la respuesta de la pupila en sanos y pacientes en función del tipo de emoción .....	44
<b>4.</b>	<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>46</b>
4.1	Comportamiento visual .....	46
4.2	Diferencias en la categorización de emociones .....	47
4.3	Actividad pupilar .....	49
4.4	Discusión general .....	49
4.5	Limitaciones del estudio .....	51
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>51</b>

## PRESUPUESTOS

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>54</b>
<b>2.</b>	<b>PRESUPUESTOS PARCIALES .....</b>	<b>54</b>
2.1	Mano de obra .....	54
2.2	Software.....	54
2.3	Hardware .....	55
<b>3.</b>	<b>PRESUPUESTO TOTAL.....</b>	<b>56</b>

## ANEXOS

<b>1.</b>	<b>ESTRUCTURA Y ORGANIZACIÓN DE DATOS.....</b>	<b>58</b>
1.1	Comportamiento visual .....	59
1.1.1	Exportación de los datos .....	59
1.1.2	Redistribución y tratamiento de los datos.....	59
1.2	Categorización de emociones mediante expresiones faciales .....	62
1.3	Dilatación pupilar .....	64
<b>2.</b>	<b>TABLAS DE SIGNIFICACIÓN .....</b>	<b>65</b>
2.1	Verificación mayor interés en zona ojos, nariz y boca vs otras zonas .....	65

2.2	Comparación entre patrones visuales de controles y pacientes en la zona de ojos, nariz y boca y otras zonas.....	66
2.3	Comparación entre los patrones visuales de controles y pacientes en la zona de los ojos, la nariz y la boca (separadas) .....	66
2.4	Comparación de todos los parámetros entre controles y pacientes en función de los sentimientos y las zonas .....	67

## BIBLIOGRAFÍA

1.	REFERENCIAS .....	69
----	-------------------	----



# MEMORIA





# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Presentación del trabajo

La detección de expresiones faciales es una parte crucial en la comunicación humana permitiendo el intercambio rápido de información no verbal entre individuos. Estas, pueden reflejar una gran variedad de emociones diferentes como alegría, tristeza, ira, asco, sorpresa o miedo entre muchas otras. Su correcta interpretación favorece el crecimiento personal y refuerza el vínculo con la sociedad. Por el contrario, una mala deducción del estado emocional puede llegar a deteriorar relaciones interpersonales básicas como pueden ser las relacionadas con la familia, la pareja o las amistades. En el caso de las personas que han sufrido un daño cerebral adquirido (ABI), la detección de determinadas emociones en terceras personas se puede ver afectada (Rosenberg, McDonald, Dethier, Kessels, & Westbrook, 2014). Esto puede dificultar sus relaciones interpersonales y, por tanto, condicionar su correcta integración en la comunidad.

El objetivo de este Trabajo de Fin de Máster (TFM) será tratar de esclarecer el motivo por el cual las personas con ABI, más concretamente aquellas que han sufrido un ictus, presentan más dificultades a la hora de detectar diferentes emociones en comparación con individuos sanos. Se realizará a través del análisis de la actividad ocular y dilatación pupilar (mediante *eye-tracking*) durante el reconocimiento de emociones en imágenes que presentan diferentes expresiones faciales y que han sido categorizadas en anteriores estudios (Lundqvist, Flykt, & Öhman, 1998).

Este proyecto se ha llevado a cabo en el *Neurorehabilitation and Brain Research Group* (NRHB) del Instituto de Investigación e Innovación en Bioingeniería (i3B) de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV). Además, se ha contado con la colaboración del Servicio de Neurorehabilitación y Daño Cerebral del Hospital Vithas-NISA Valencia al Mar (NeuroRHB), donde se llevaron a cabo los ensayos.

## 1.2 Reconocimiento de expresiones faciales

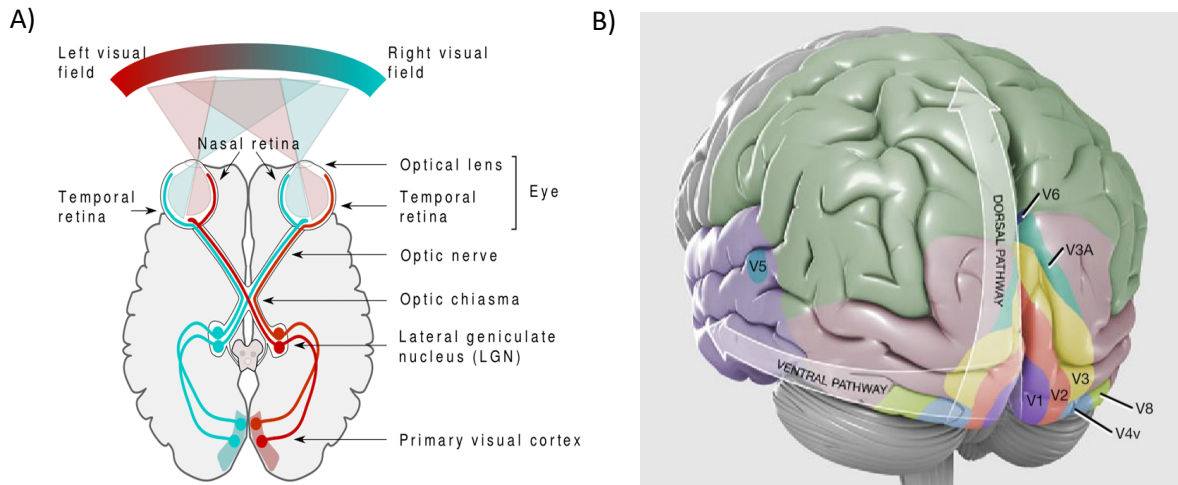
La comunicación se puede realizar de forma verbal o no verbal. Dentro de la no verbal existen varios canales posibles como, por ejemplo, el visual, auditivo o táctil. En función del canal empleado, las zonas cerebrales activadas durante el reconocimiento y procesado de la información son diferentes (Guyton & Hall, 2011; Schirmer & Adolphs, 2017). En este caso, se centrará la atención en el estudio del canal visual.

### 1.2.1 Fundamentos anatómicos y fisiológicos

#### 1.2.1.1 Bases neurales

Fisiológicamente, la información visual es captada por la retina y es enviada, a través del nervio óptico hasta el cerebro. El tálamo (concretamente el núcleo geniculado lateral) es el que recibe esta información y la 'filtra' antes de transmitirla al córtex visual. Esta zona está localizada en el lóbulo occipital del cerebro y es la encargada de recibir, procesar e interpretar la información visual. Esta área se expande por ambos hemisferios procesando cada uno la información obtenida por el campo visual contrario, es decir, el hemisferio izquierdo procesa la información del campo visual derecho y el hemisferio derecho realiza la misma acción con el campo visual izquierdo (Figura 1-A). Tal y como se puede ver en la Figura 1-B, las partes encargadas de procesar la información visual se dividen en ocho zonas principales (V1-V8) en función del tipo

de información que procesan (desde recepción y envío a otras zonas hasta detección de colores y formas, movimiento o posición de los objetos). Así, de manera progresiva, cada zona va analizando y diseccionando cada uno de los diferentes aspectos de la imagen. La información se transmite por las diferentes zonas en dirección dorsal (hacia el lóbulo parietal) o ventral (hacia el lóbulo temporal). Respecto a su localización, como ya se ha comentado, en su gran mayoría se localiza en el lóbulo occipital excepto V5, localizada en el lóbulo temporal, y V6, localizada en el lóbulo parietal (Florida Institute for Neurologic Rehabilitation, n.d.; Guyton & Hall, 2011).

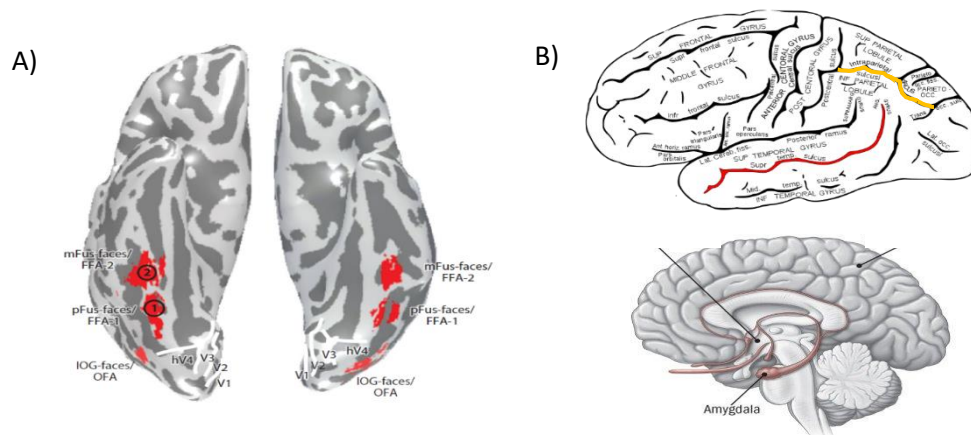


**Figura 1.** Representación de las diferentes áreas anatómicas que intervienen durante el proceso visual. A) Principales vías visuales desde los ojos hasta la corteza. Plano axial del cerebro. B) Principales áreas cerebrales que intervienen en el reconocimiento visual. V1-V8 son las diferentes zonas que forman la corteza visual. Se muestran con flechas el camino dorsal y ventral que puede seguir la información visual. Zona rosa (incluyendo V1, V2, V3, V3A, V4v y V8): lóbulo occipital, zona morada (incluyendo V5): lóbulo temporal y zona verde (incluyendo V6): lóbulo parietal. Imagen A) extraída de “What about fMRI of the visual system?,” n.d. y B) de Florida Institute for Neurologic Rehabilitation, n.d.

Sin embargo, este proceso es general para cualquier tipo de información visual. Cuando el estímulo es un rostro humano, además de estos procesos, existen zonas cerebrales específicas que presentan una mayor actividad que el resto. Es decir, se cree que existen zonas ‘especializadas’ en el reconocimiento facial. En primer lugar, la más destacada es la zona denominada área facial fusiforme (FFA) (Grill-Spector, Knouf, & Kanwisher, 2004). Esta se localiza en el lóbulo occipito-temporal concretamente en la zona más posterior del giro fusiforme y del giro temporal inferior. A su vez, esta zona se divide en dos en función de su localización, aquella zona más posterior se denomina FFA-1 y la más anterior FFA-2. Además de estas zonas, existe una tercera zona importante en el reconocimiento de rostros denominada área facial occipital (OFA) localizada en la parte inferior del lóbulo occipital (Freiwald, Duchaine, & Yovel, 2016; Grill-Spector, Weiner, Kay, & Gomez, 2017; Leopold & Rhodes, 2010). Estas tres zonas, se muestran para cada hemisferio en la Figura 2-A.

Para el caso concreto de la detección de expresiones faciales (que representan diferentes emociones como alegría, tristeza, miedo, etc.) se conoce que las zonas cerebrales que presentan mayor actividad difieren de las que se activan para el reconocimiento únicamente de caras (vistas en el párrafo anterior). Así, las principales zonas que se cree que participan en la interpretación de emociones a través de expresiones faciales son el surco temporal superior (STS) que separa el giro temporal superior y el fusiforme y el surco intraparietal localizado en la superficie lateral del lóbulo parietal (Figura 2-B-superior) (Leopold & Rhodes, 2010). Así mismo, existe una estructura que responde de manera selectiva a la presencia de expresiones de miedo o tristeza. Esta es la amígdala, se localiza en la zona profunda y medial del lóbulo temporal

(Figura 2-B-inferior) (Leopold & Rhodes, 2010; Schirmer & Adolphs, 2017). Hay estudios que consideran que el giro fusiforme también juega un papel importante en la detección de expresiones faciales (Schirmer & Adolphs, 2017; Wegrzyn et al., 2015).

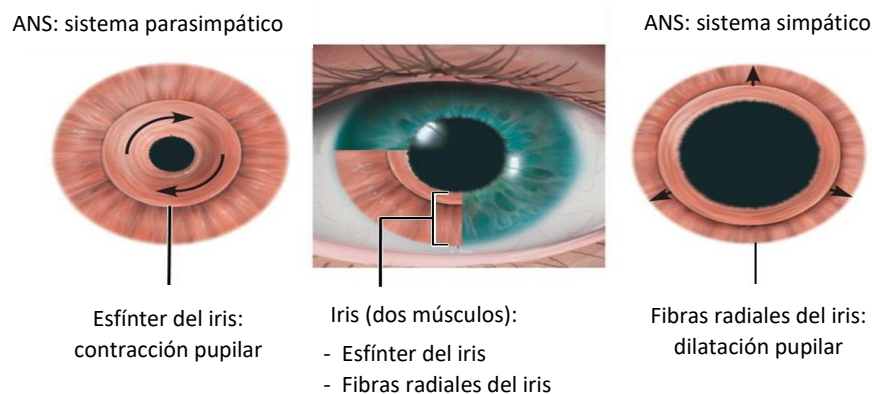


**Figura 2.** Representación de las zonas cerebrales implicadas en el reconocimiento de rostros humanos y en la detección de emociones a través de expresiones faciales. A) Áreas relacionadas con la detección de caras. Vista inferior del cerebro. FFA-1: Área facial fusiforme 1, FFA-2: área facial fusiforme 2, OFA: área facial occipital (Grill-Spector et al., 2017). B) Áreas relacionadas con la interpretación de expresiones faciales según el estudio de Leopold & Rhodes, 2010. B-superior) en rojo el surco temporal superior (STS), en amarillo el surco intraparietal. Plano sagital del cerebro. Imagen modificada de "Superior temporal sulcus," n.d. B-inferior) localización de la amígdala del hemisferio izquierdo. Plano sagital del cerebro. Imagen modificada de "Why does the amygdala grow faster in autistics, and how is an autistic person affected by the growth?" - Quora," n.d.

Por tanto, teniendo en cuenta todo lo mencionado en este apartado, se puede observar cómo el proceso de reconocimiento de expresiones faciales es un sistema complejo que comienza desde la adquisición del estímulo visual en la retina hasta la activación, por ejemplo, del STS. Es decir, son necesarios diversos pasos complementarios y necesarios entre sí para poder realizar la detección de la emoción correctamente.

### 1.2.1.2 Control del diámetro pupilar

El iris y la pupila son dos partes fisiológicamente complementarias y esenciales para poder adquirir información visual del exterior. La pupila es un orificio localizado en el centro del iris, en función del diámetro que presente, permite la entrada de más o menos cantidad de luz al ojo (Guyton & Hall, 2011).



**Figura 3.** Músculos del iris encargados de la contracción y dilatación de la pupila. ANS: Sistema nervioso autónomo. Imagen modificada de "Iris anatomy," n.d.

Tal y como se puede ver en la Figura 3, el diámetro de la pupila (PD) está controlado por dos músculos localizados en el iris: el esfínter y las fibras radiales del iris. El primero se encarga de la contracción pupilar (también denominada miosis) mientras que el segundo controla la dilatación pupilar (denominada midriasis). Estos dos músculos están controlados por el sistema nervioso autónomo (ANS), sin embargo, cada uno está dirigido por subsistemas del ANS diferentes. El esfínter del iris está inervado por fibras nerviosas parasimpáticas nacientes en el troco del encéfalo mientras que las fibras radiales son controladas por fibras nerviosas simpáticas de origen en la médula espinal (Guyton & Hall, 2011).

No obstante, el cambio de tamaño de la pupila no está relacionado únicamente con el control de la luz recibida si no que, varios estudios señalan que también puede vincularse con el procesamiento de información cognitiva y afectiva pudiendo emplearse, por tanto, como indicador del estado emocional (Babiker, Faye, & Malik, 2013; Bradley, Miccoli, Escrig, & Lang, 2008; Duque, Sanchez, & Vazquez, 2014; Lanata, Armato, Valenza, & Scilingo, 2011; Sirois & Brisson, 2014). Más concretamente, se ha sugerido la relación del PD con áreas cerebrales encargadas del reconocimiento emocional como la amígdala (Duque et al., 2014). Por tanto, la variación del tamaño pupilar será objeto de estudio en este trabajo.

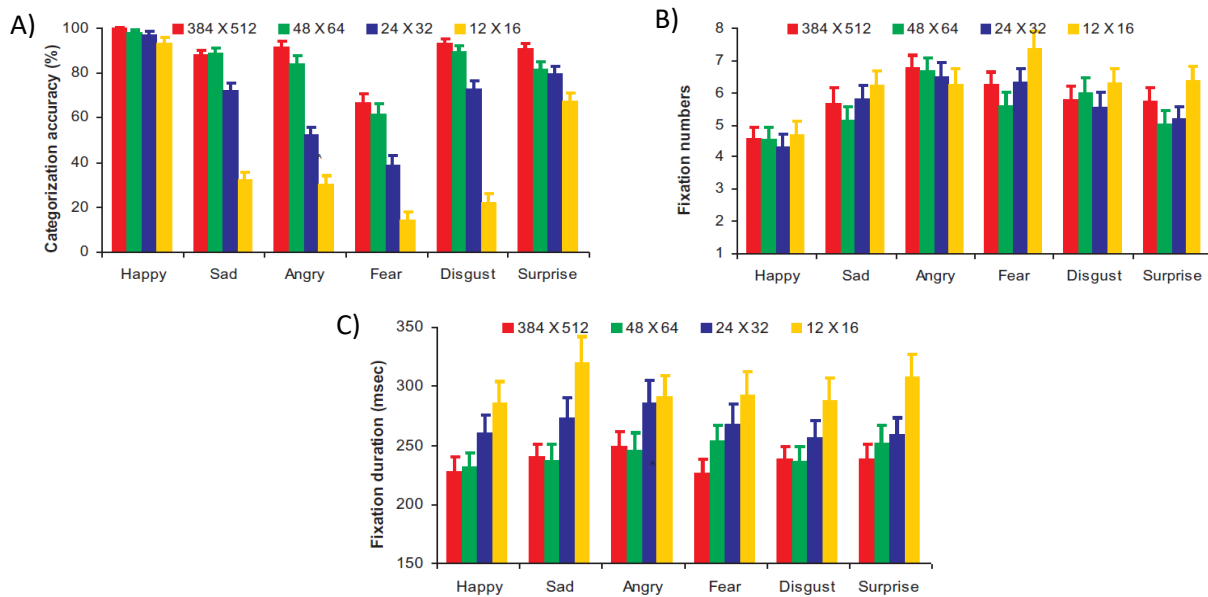
## 1.2.2 Procedimiento ocular durante el reconocimiento de expresiones faciales

### 1.2.2.1 Patrones visuales

La capacidad del cerebro de categorizar correctamente diferentes expresiones faciales puede variar en función de la información que posea al respecto. Si, por ejemplo, se varía la resolución de la imagen mostrada, la capacidad de distinguir ciertas emociones se ve mermada como consecuencia de la pérdida de información (Figura 4-A). Como respuesta a esta falta de información, la cantidad y la duración de fijaciones (se define como fijación el momento en que se centra la visión en una región concreta del estímulo con la finalidad de extraer información de ella) también se ven alteradas aumentando sobre todo en aquellas imágenes donde la resolución es mínima (Figura 4-B y Figura 4-C, respectivamente). Por otro lado, en aquellas imágenes que presentan la misma resolución, los valores de categorización, el número de fijaciones y su duración son diferentes para cada emoción. Por ejemplo, el número de fijaciones en ira (7 fijaciones) no es el mismo que en alegría (4,5 fijaciones) o la correcta categorización de alegría (casi 100%) difiere mucho con la obtenida en miedo (aproximadamente 70%). Esto parece indicar la presencia de diferentes patrones visuales en función de la emoción mostrada (Guo, Soornack, & Settle, 2018).

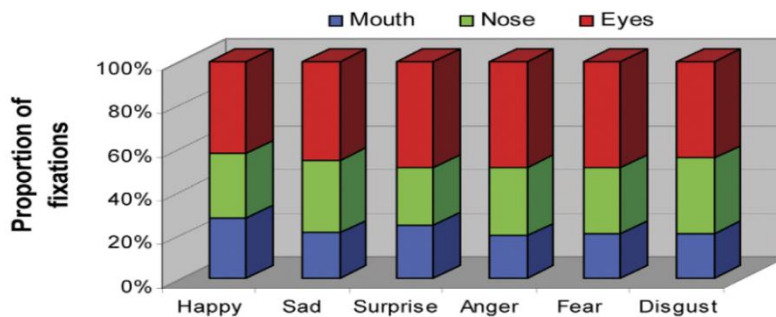
Otro factor a tener en cuenta es la diversidad de zonas (como los ojos, la frente, el pelo o la nariz) en las que se puede centrar la atención cuando se presenta la imagen de un rostro. A pesar de la variedad, hay ciertas áreas que, por lo general, suscitan mayor interés que otras. El 88% de las fijaciones realizadas cuando se mira a un rostro humano van dirigidas a los ojos, la nariz y la boca (Schurgin et al., 2015). Por este motivo, los artículos centran su atención en el estudio de estas tres áreas (Eisenbarth & Alpers, 2011; Green & Guo, 2018; Guo, 2012; Guo & Shaw, 2015; Guo et al., 2018; Schurgin et al., 2015). Estas, son definidas como áreas de interés (AOI). De estas tres AOI, la mayor atención la reciben en primer lugar los ojos, seguidos de la nariz y finalmente la boca (Guo & Shaw, 2015). Además, se ha observado como el grado de atención que se presta a cada una de estas zonas varía en función de la emoción mostrada (Eisenbarth & Alpers, 2011; Guo, 2012; Guo et al., 2018; Schurgin et al., 2015). Así, tal y como se puede observar en la Figura 5, comparando los valores obtenidos para cada zona en función de

la expresión, los ojos reciben mayor atención en ira, miedo y sorpresa, la nariz en asco y tristeza y la boca se mira más en expresiones de alegría (Guo, 2012; Guo & Shaw, 2015).



**Figura 4.** Comportamiento visual durante el reconocimiento de expresiones faciales en función de la resolución de la imagen. A) Porcentaje de categorización correcta de las diferentes emociones. B) Valor medio del número de fijaciones realizadas en cada emoción. C) Valor medio de la duración de las fijaciones para cada emoción. Las barras de error indican el error estándar de la media (SEM) (Guo et al., 2018).

En suma, se observa cómo, en sujetos sanos, el comportamiento visual es diferente tanto a nivel general entre emociones como en función de la AOI estudiada.

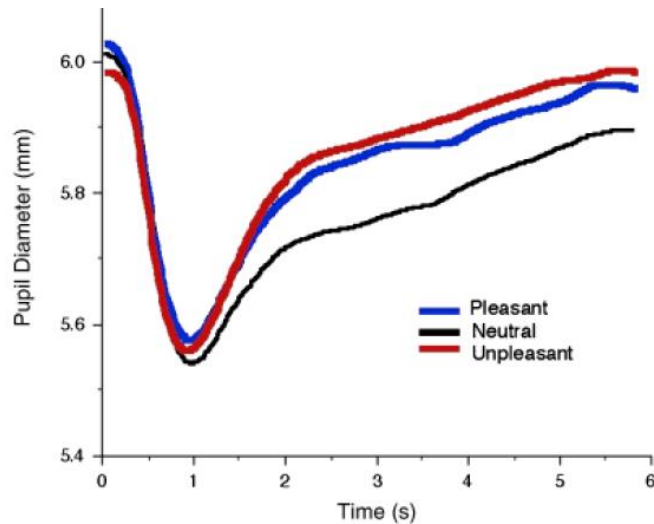


**Figura 5.** Proporción de fijaciones en ojos, nariz y boca en función de la emoción (Guo, 2012).

### 1.2.2.2 Respuesta pupilar

Como consecuencia de la relación entre el PD y el procesamiento de información emocional visto en el apartado 1.2.1.2, se plantea la posibilidad de emplear esta señal biológica para la detección del tipo de emoción presentada (Sirois & Brisson, 2014).

En el estudio de Bradley et al., 2008, las imágenes empleadas únicamente se clasifican como positivas, negativas o neutras (las imágenes no son obligatoriamente de expresiones faciales). Tal y como se puede ver en la Figura 6, la respuesta pupilar tanto para las emociones positivas como para las negativas es claramente superior en comparación con las imágenes neutras. Sin embargo, la diferenciación entre positivas y negativas es más conflictiva.



**Figura 6.** Respuesta pupilar a estímulos emocionales positivos, negativos y neutros (Bradley et al., 2008).

## 1.3 Ictus: principal causa del daño cerebral adquirido

### 1.3.1 Definición y situación actual

El ABI es un tipo de lesión cerebral que sucede súbitamente después del nacimiento. Es decir, no incluye lesiones congénitas o causadas por enfermedades degenerativas. Su aparición repentina y la gran variedad de secuelas presentadas en función de la zona cerebral dañada son las características principales de este tipo de lesión (Federación Española de Daño Cerebral, n.d.-a).

La principal causa de la aparición de ABI son los accidentes cerebrovasculares (CVA) también conocidos como ictus. Estos, se producen debido a la interrupción brusca del flujo sanguíneo en una región del cerebro. La falta de irrigación sanguínea impide la aportación de oxígeno y glucosa al tejido cerebral entrando este en estado isquémico y provocando así daño celular. En consecuencia, las funciones de dicha zona quedan alteradas. La gravedad de la lesión varía en función del tiempo que perdura la isquemia pudiendo incluso provocar la muerte celular (infarto cerebral) (Federación Española de Daño Cerebral, n.d.-b; NEURORHB Hospitales Vithas, n.d.). Existen dos tipos principales de ictus: ictus isquémico e ictus hemorrágico. Aproximadamente el 85% de los CVA son isquémicos. En este caso, la falta de irrigación se da sobre todo como consecuencia de la obstrucción los vasos sanguíneos. Esto se puede originar debido a la formación de un trombo (coágulo de sangre no disuelto que permanece en el vaso sanguíneo donde se ha formado) o una embolia cerebral (el trombo se forma en otra zona del cuerpo y viaja hasta el cerebro a través de la sangre hasta llegar a algún pequeño vaso por el que no puede pasar y lo bloquea). Por otro lado, el ictus hemorrágico se produce por la ruptura de un vaso sanguíneo. Como consecuencia, el área dependiente de esa arteria se ve privada de la irrigación que le corresponde generando un ictus isquémico secundario. Además, la hemorragia comprime las áreas cerebrales y otros vasos sanguíneos circundantes aumentando así el área total afectada (NEURORHB Hospitales Vithas, n.d.).

Según datos de la Organización Mundial de Salud (WHO), en 2016 el ictus fue la segunda causa de muerte a nivel mundial (casi seis millones de fallecimientos) únicamente superado por las enfermedades cardíacas isquémicas (WHO | World Health Organization, n.d.). En España, según la Sociedad Española de Neurología, también es la segunda causa de muerte (siendo la primera en mujeres). Así mismo, la incidencia de los CVAs es de 110.000-120.000 personas/año

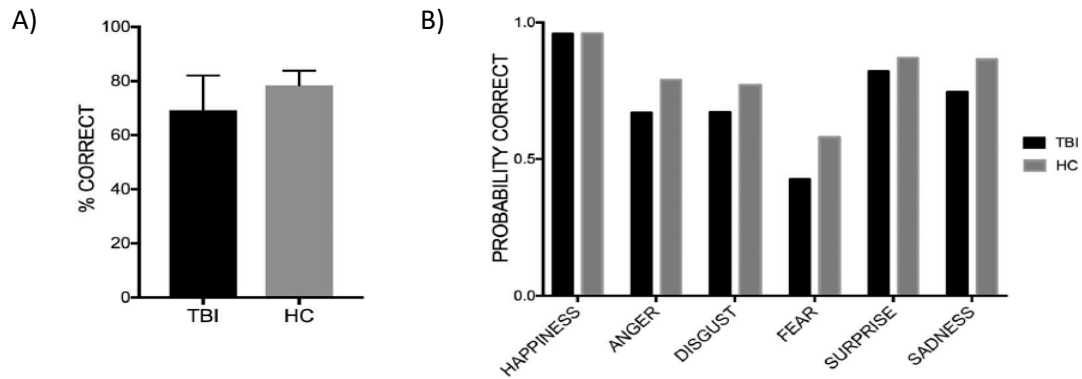
de los cuales el 50% quedan con secuelas o fallecen. Además, aproximadamente el 7% de la población española presenta actualmente alguna limitación a causa de haber sufrido un ictus (Sociedad Española de Neurología, n.d.).

### 1.3.2 Implicaciones en el reconocimiento de expresiones faciales

Como ya se ha mencionado, las secuelas que puede presentar una persona tras sufrir un ictus pueden ser muy variadas y depende en gran medida del área cerebral que se ha visto afectada y de la gravedad de las lesiones (Federación Española de Daño Cerebral, n.d.-b). Así, algunas de las consecuencias de sufrir un CVA pueden ser dificultad en el habla, problemas de atención, pérdida de conciencia, visión doble, dificultades motoras, etc. (NEURORHB Hospitales Vithas, n.d.). Las alteraciones en la conducta y personalidad también son comunes en personas con ABI. Entre una gran variedad de alteraciones de este tipo, destaca un aumento en la irritabilidad y agresividad, la desinhibición conductual (comportamientos inapropiados en diferentes contextos sociales), depresión y ansiedad (Federación Española de Daño Cerebral, n.d.-c).

Estos cambios podrían estar relacionados con déficits en el reconocimiento de emociones. Es decir, se hipotetiza la posibilidad de que, tras sufrir un daño cerebral, la capacidad de interpretación del estado emocional de otras personas se vea disminuida y, como consecuencia de esta carencia, entre otras causas, se sufra un cambio de personalidad y conducta (Genova et al., 2017). Como respuesta, una gran cantidad de estudios han analizado la capacidad de reconocimiento emocional en pacientes con ABI en comparación con sujetos de control (Abbott, Wijeratne, Hughes, Perre, & Lindell, 2014; Babbage et al., 2011; Genova et al., 2017; Milders, Fuchs, & Crawford, 2003; Rapcsak et al., 2000; Rigon, Voss, Turkstra, Mutlu, & Duff, 2018; Rosenberg et al., 2014; Tippett et al., 2018; Yuvaraj, Murugappan, Norlinah, Sundaraj, & Khairiyah, 2013). Cabe destacar que, excepto (Abbott et al., 2014; Tippett et al., 2018; Yuvaraj et al., 2013) donde los estudios se centran en sujetos que han sufrido ictus, el resto de artículos consultados se realizan con pacientes cuyo daño cerebral viene ocasionado por fuerzas externas que hieren el cerebro (como un accidente automovilístico o una caída) denominado traumatismo cerebral (TBI). Sin embargo, al ser un tipo de ABI que supone la causa de déficits similares, se considera oportuno su introducción en la bibliografía.

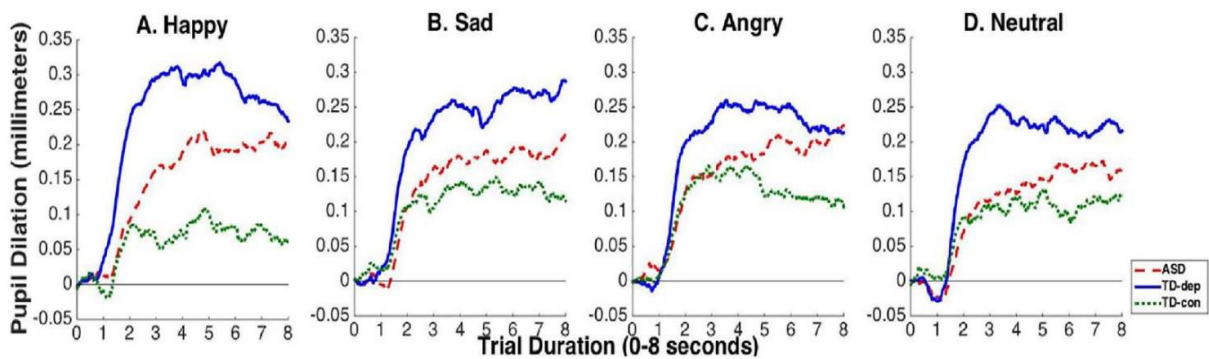
El estudio de la capacidad de discriminación correcta de diferentes emociones se realiza mediante el análisis de la categorización de expresiones faciales que representan emociones básicas (de la misma manera que ya se ha comentado para el caso de controles en el apartado 1.2.2.1). Los resultados obtenidos son muy similares en todos los estudios consultados. Tanto a nivel general (Figura 7-A) como teniendo en cuenta el tipo de emoción (Figura 7-B) los sujetos con ABI suelen presentar valores de categorización correcta inferiores a los controles (Abbott et al., 2014; Babbage et al., 2011; Genova et al., 2017; Milders et al., 2003; Rapcsak et al., 2000; Rigon et al., 2018; Rosenberg et al., 2014; Tippett et al., 2018; Yuvaraj et al., 2013). Además, las emociones que mejor y peor se detectan por parte de ambos grupos son alegría y miedo respectivamente. El orden del resto de emociones puede variar en función del estudio consultado. Sin embargo, el patrón de categorización seguido por controles y sujetos con TBI para cada estudio es muy similar, es decir, el orden de emociones mejor y peor categorizadas es muy parecido para ambos grupos (Babbage et al., 2011; Genova et al., 2017; Milders et al., 2003; Rapcsak et al., 2000; Rigon et al., 2018; Rosenberg et al., 2014). En el caso de sujetos con ictus, la clasificación de las emociones únicamente fue entre positivas o negativas, sin embargo, al igual que en TBI, el patrón entre ambos grupos es el mismo (Abbott et al., 2014; Tippett et al., 2018; Yuvaraj et al., 2013).



**Figura 7.** Representación del grado de categorización de expresiones faciales de sujetos con TC y controles. A) Porcentaje general de aciertos sin tener en cuenta el tipo de emoción. Las barras de error indican la desviación estándar (Rigon et al., 2018). B) Probabilidad de acierto de categorización en función de la emoción mostrada (Rigon et al., 2018). TBI: daño cerebral traumático, HC: grupo de control.

De esta manera, y tras analizar los artículos relacionados con este tema consultados durante el desarrollo de este trabajo, se puede concluir que existen razones suficientes para creer que tras un daño cerebral es más difícil realizar una correcta detección de emociones. Sin embargo, la única emoción donde las diferencias entre sujetos con TBI y controles son estadísticamente significativas es en miedo.

Finalmente, no se han encontrado estudios que analicen el comportamiento visual o los posibles cambios en el tamaño pupilar en sujetos con ABI en función de las diferentes emociones mostradas. Sin embargo, sí existen estudios realizados con sujetos que con depresión o autismo en el que se comparan sus valores de PD con los obtenidos por controles (Figura 8) (Gotham et al., 2018). Otros estudios emplean expresiones faciales en busca de posibles relaciones de PD con trastornos mentales (Burley, Gray, & Snowden, 2017).



**Figura 8.** Respuesta pupilar frente a diferentes expresiones faciales en una muestra de controles (TD-con), sujetos con depresión (TD-dep) y sujetos con autismo (ASD) (Gotham et al., 2018).

Se puede observar cómo existen diferencias entre la respuesta de la pupila del grupo de control en comparación con los sujetos con depresión o autismo. Es reseñable que los sujetos con autismo presentan tamaños de pupila más elevados (Gotham et al., 2018).



## 1.4 Hipótesis y objetivos planteados

### 1.4.1 Justificación, hipótesis generales

Como se ha podido observar en apartados anteriores, además de la correcta o incorrecta categorización de las expresiones faciales también es interesante conocer los patrones de reconocimiento facial usados en la detección de expresiones. Para sujetos sanos, estos patrones son conocidos y han sido ampliamente estudiados (Eisenbarth & Alpers, 2011; Green & Guo, 2018; Guo, 2012; Guo & Shaw, 2015; Guo et al., 2018; Schurgin et al., 2015). Sin embargo, no existen estudios que analicen estos patrones en sujetos que han sufrido un ictus. Los únicos estudios encontrados se centran en el análisis de los aciertos o fallos que cometen en la categorización, pero no tienen en cuenta el motivo por el cual los sujetos con ictus se decantan por la elección de una emoción u otra (Abbott et al., 2014; Tippett et al., 2018; Yuvaraj et al., 2013). Cabe mencionar que hay más artículos que estudian la capacidad de categorización de personas con ABI (Babbage et al., 2011; Genova et al., 2017; Rapcsak et al., 2000; Rigon et al., 2018; Rosenberg et al., 2014) pero la causa del daño cerebral no es ictus.

En este trabajo se hipotetiza la posibilidad de que sujetos con ictus presenten, en comparación con controles, mayores dificultades a la hora de diferenciar las expresiones faciales en terceras personas. Además, se desea conocer el motivo por el cual se producen estas dificultades. Por tanto, se pretende asociar que un fallo de categorización por parte de un paciente puede ser debido a uno de los siguientes motivos:

- La información que el sujeto extrae de las expresiones faciales es normal pero la interpretación que hace de esta no lo es.
- La información que el sujeto extrae de dichas expresiones es anormal, por lo que la información necesaria para realizar una correcta interpretación está alterada desde el origen.

Para poder conocer cuál de estos motivos es el que más se ajusta a la realidad, se plantean diversas hipótesis específicas explicadas en el siguiente apartado.

### 1.4.2 Hipótesis específicas

Para comprobar si realmente se cumple la hipótesis general es necesario plantear hipótesis específicas cuyo cumplimiento o no sirva, en conjunto, como base para extraer conclusiones generales. Estas son:

#### En referencia a los patrones de escaneo facial:

- Durante el escaneo facial la zona de interés principal es la que incluye los ojos, la nariz y la boca. Por tanto, en comparación con el área que incluye el resto de las partes de la cara y el fondo de la imagen, esta zona es de la que se extrae la mayoría de la información necesaria para poder categorizar una expresión facial. Además, existen diferencias entre controles y pacientes.
- De forma genérica, sin tener en cuenta el tipo de emoción, y desglosando la zona de ojos, nariz y boca en tres áreas independientes, existen diferencias entre los patrones visuales de controles y pacientes.
- En función del tipo de emoción y del área de interés (ojos, nariz o boca) existen diferencias entre los patrones visuales de controles y pacientes.

En referencia a la categorización de las emociones:

- Tanto de forma genérica como en función del tipo de emoción existen diferencias en la categorización de las expresiones faciales entre controles y pacientes.

En referencia a la dilatación pupilar:

- Durante el escaneo facial, el grado de dilatación pupilar es diferente entre controles y pacientes de manera genérica y/o en base a las emociones mostradas.

Los objetivos de este trabajo se basarán, por tanto, en la realización de un estudio comparativo entre una muestra de controles y otra de sujetos con ictus con la finalidad de estudiar, a través del análisis de los datos obtenidos, la certeza o no de las hipótesis planteadas y, a partir de los resultados obtenidos, poder extraer conclusiones.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Participantes

Los ensayos se realizaron sobre una muestra total de 74 participantes (39 controles y 35 sujetos con ABI) reclutados en el del Servicio de Neurorrehabilitación y Daño Cerebral del Hospital Vithas-NISA Valencia al Mar.

En referencia al grupo de control, fue requisito indispensable ser mayor de edad y no presentar historial clínico relacionado con déficits cognitivos o trastornos mentales. En relación con la muestra de sujetos con ABI, los criterios de inclusión fueron estar diagnosticados de ABI en fase III (presentan estabilidad clínica y están en proceso de rehabilitación), lesión cerebral causada como consecuencia de un ictus, estado cognitivo bueno y ser mayores de edad. Se excluyeron aquellos sujetos diagnosticados de demencia o afasia severa (dificultades en el entendimiento o empleo del lenguaje), aquellos con déficits visuales incapacitantes o aquellos medicados con fármacos que puedan alterar el tamaño de la pupila o inhibir su reacción frente a un estímulo.

La información demográfica de la muestra de controles y la de sujetos con ABI se muestra a continuación en la Tabla 1.

	Controles	Sujetos con ABI	Significación
<b>Tamaño de la muestra (n)</b>	39	35	-
<b>Sexo (n, %)</b>			p=0.022
Mujer	30 (76.9%)	18 (51.4%)	
Hombre	9 (23.1%)	17 (48.6%)	
<b>Edad (años, M ± SD)</b>	40.90±15.50	50.37±15.04	p=0.010
<b>Etiología (n, %)</b>			-
Ictus isquémico	-	20 (57.1%)	
Ictus hemorrágico	-	15 (42.9%)	
<b>Lateralidad de la lesión (n, %)</b>			-
Izquierda	-	17 (48.6%)	
Derecha	-	10 (28.6%)	
Cerebelo	-	4 (11.4%)	
Troncoencéfalo	-	3 (8.6%)	
Vértebro-basilar	-	1 (2.9%)	
<b>Cronicidad (días, M ± SD)</b>	-	925.69±929.82	-

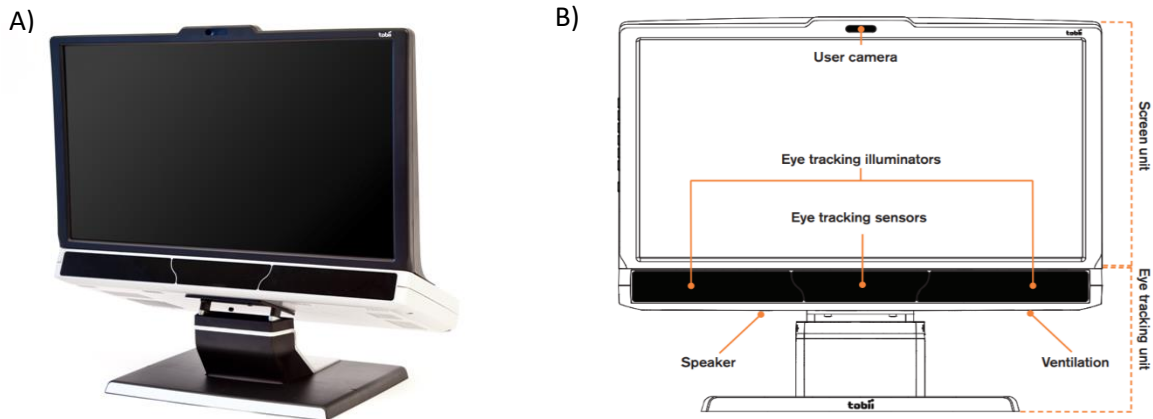
**Tabla 1.** Información demográfica del grupo de control y de los sujetos con ABI participantes en el estudio.  
n: número de sujetos, M: media, SD: desviación estándar

## 2.2 Materiales

### 2.2.1 Eye-tracking

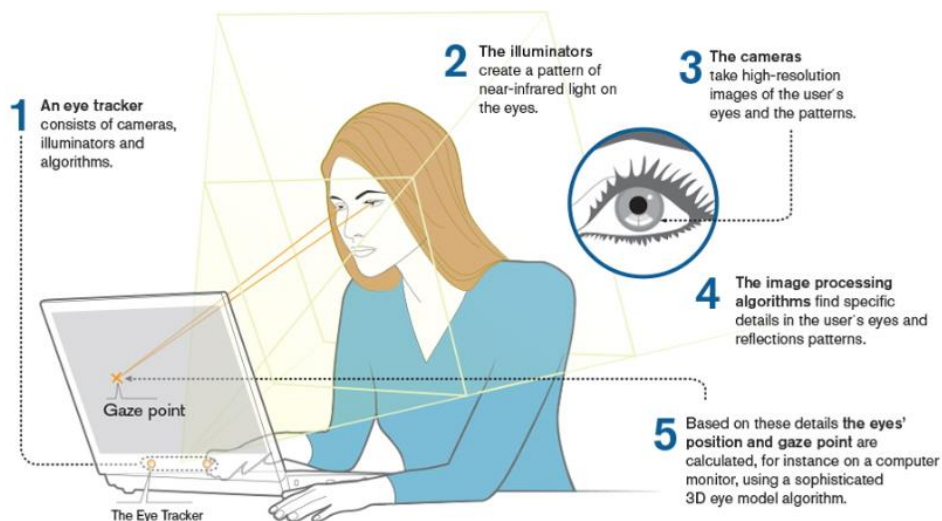
La técnica de *eye-tracking* parte de la premisa de que existe relación entre el comportamiento visual y los procesos cognitivos. A través del seguimiento de la posición de los ojos durante la realización de una tarea (como escanear una imagen o leer) se pueden identificar y analizar los patrones de atención visuales de cada individuo (“What do we study when we use eye tracking data?,” 2015). En el ámbito de la salud, el conocimiento de estos patrones podría, entre otras cosas, ayudar a relacionar cambios en el comportamiento (como mayor agresividad, irritabilidad o apatía) o en la personalidad de los sujetos ante la aparición de un trastorno neurológico.

Con la finalidad de conocer el comportamiento visual de personas que han sufrido un ictus y, además, poder compararlo con el realizado por un grupo control, se empleó un dispositivo *eye-tracker* en este proyecto. El dispositivo empleado fue el Tobii TX300 (Tobii Technology AB, Suecia). Está formado por una pantalla y una unidad *eye-tracker*. La pantalla es de 23” y tiene una resolución de 1920x1080 píxeles, el dispositivo cuenta con iluminadores en los extremos (emisores de rayos infrarrojos) y sensores en su parte central (receptores). La frecuencia de muestreo es de 300 Hz. Una imagen real del dispositivo se muestra en la Figura 9-A, las diferentes partes se indican en la Figura 9-B (*Tobii® Technology Tobii TX300 Eye Tracker Revision 2 User Manual*, n.d.).



**Figura 9.** A) Imagen real de un dispositivo Tobii TX300 (“Eyetrackers,” n.d.). B) Representación de las diferentes partes que componen el eye-tracker (Tobii® Technology Tobii TX300 Eye Tracker Revision 2 User Manual, n.d.).

Respecto al funcionamiento, la forma de detección de la posición ocular puede variar en función del *eye-tracker*. Para el caso del Tobii TX300, puesto que funciona de manera remota y no intrusiva emplea el método del centro de la pupila y el reflejo corneal. El procedimiento interno del dispositivo para la detección de los movimientos oculares es el siguiente: 1) los rayos infrarrojos emitidos por el dispositivo iluminan el ojo generando reflexiones en la córnea, 2) el sensor (cámara) captura una imagen del ojo, 3) a partir de la imagen se extrae la posición del centro de la pupila y del centro de la reflexión en la córnea, 4) la dirección del vector que se forma entre el centro de la pupila y el de reflexión de la córnea junto con otras características geométricas se emplean para obtener la dirección de la mirada (“How do Tobii Eye Trackers work? - Learn more with Tobii Pro,” 2015). Un esquema gráfico de este procedimiento se muestra en la Figura 10. Finalmente, el dispositivo se conecta a un PC y a una pantalla extra útil para poder controlar el ensayo de manera remota (inicio de la prueba, proceso de calibración, almacenamiento de la información adquirida).



**Figura 10.** Esquema gráfico del procedimiento de obtención de la posición de los ojos por Tobii TX300 (“How do Tobii Eye Trackers work? - Learn more with Tobii Pro,” 2015) .

### 2.2.2 Estímulos

En relación los estímulos empleados durante la prueba, en este proyecto se utilizaron imágenes extraídas de la base de datos *Karolinska Directed Emotional Faces* (Lundqvist et al., 1998). Esta, fue desarrollada en 1998 por el departamento de Neurociencia Clínica del Instituto Karolinska de Estocolmo, Suecia. Presenta un total de 4900 imágenes de rostros humanos interpretando diferentes emociones a través de expresiones faciales. Cuenta con 70 individuos, cada uno categorizando 7 expresiones diferentes (alegría, tristeza, ira, sorpresa, neutral, miedo y asco) fotografiadas dos veces desde 5 ángulos distintos. Esta base de datos ha sido ampliamente utilizada en el ámbito de investigación médica y psicológica como material para la realización de experimentos de percepción, emoción, atención o memoria (Karolinska Institutet, n.d.).

Para la realización de este estudio, se eligieron las imágenes de las 7 expresiones faciales de 4 de los modelos de la base de datos (dos hombres y dos mujeres) elegidos aleatoriamente, haciendo un total de 28 imágenes. Algunas de las fotografías empleadas como estímulo se muestran en la Figura 11.

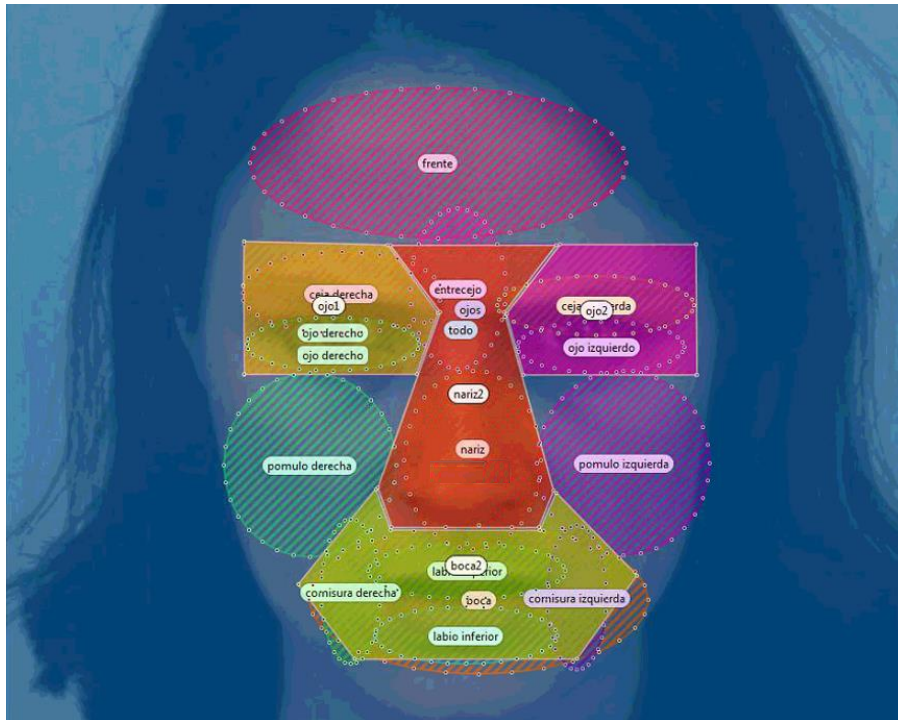


**Figura 11.** Ejemplo de cuatro de los estímulos empleados en la prueba. De izquierda a derecha: sorpresa, alegría, ira y tristeza

#### 2.2.2.1 Definición de las AOIs

Para la extracción de los parámetros relacionados con el comportamiento visual es necesario, en primera instancia, la definición de las AOIs de las que concierne extraer la información. El propio programa donde se realiza la adquisición de los datos, Tobii Studio, permite, de manera interactiva, la acotación de estas zonas.

Las áreas de estudio elegidas son aquellas donde, según se ha explicado en el apartado 1.2.2.1, hay un mayor interés cuando la tarea a realizar es la categorización de expresiones faciales. Estas AOIs son los ojos, la nariz y la boca. La elección de las áreas que incluye cada zona se realiza en función las descritas en los estudios de Green & Guo, 2018; Guo, 2012; Guo & Shaw, 2015; Guo et al., 2018 y colaboradores.



**Figura 12.** Ejemplo de las AOIs definidas en el estudio para uno de los estímulos. AOI del ojo derecho: zona lisa amarilla denominada 'ojo1', AOI del ojo izquierdo: zona lisa rosa denominada 'ojo2', AOI de la nariz: zona lisa naranja denominada 'nariz2', AOI de la boca: zona lisa verde denominada 'boca2' y AOI total: zona lisa azul denominada 'todo'. Las áreas rayadas se corresponden con otras zonas faciales no empleadas en este estudio.

Un ejemplo de la definición de las zonas en una de las imágenes empleadas en el estudio se muestra en la Figura 12. Así, la zona de los ojos se divide a su vez en dos: zona del ojo derecho (área lisa amarilla denominada 'ojo1' en la Figura 12) y zona del ojo izquierdo (área lisa rosa denominada 'ojo2' en la Figura 12) cada una incluyendo sus correspondientes párpados y cejas. La zona de la nariz (área lisa naranja denominada 'nariz2' en la Figura 12) incluye la glabella y el nasión (zona superior), la cresta de esta y sus paredes laterales (zona central) junto con las alas y la base (zona inferior). La boca (área lisa verde denominada 'boca2' en la Figura 12) incluye el labio superior e inferior y las comisuras. Además de estas, se extrae una zona extra (área lisa azul denominada 'todo' en la Figura 12) que incluye toda la imagen. Las áreas rayadas mostradas en la Figura 12 se corresponden con otras zonas faciales no empleadas en este estudio.

De esta manera, la definición de las AOIs permite extraer la información relacionada con dichas zonas de forma independiente para cada uno de los estímulos empleados (el FC de la AOI de la nariz o el TFD de la AOI de la boca, por ejemplo).

Para la realización de estudios a diferentes niveles (más genéricos o más específicos), se definen nuevas zonas de las que también se extraen los parámetros: AOI 'ojos' (suma de AOI ojo derecho y ojo izquierdo), AOI 'suma3Zonas' (suma de AOI ojos, nariz y boca) y AOI 'otrasZonas' (resta de AOI 'todo' menos AOI 'suma3Zonas'). Información más detallada acerca de la obtención de estas áreas y la estructuración y obtención de los parámetros de interés se encuentra en el apartado 1 de Anexos.

### 2.2.3 Parámetros

Los parámetros elegidos para la realización del estudio fueron:

#### En relación con el comportamiento visual:

Están relacionados con las fijaciones realizadas durante la prueba. Así, se define una fijación como el momento en que se deja de explorar el estímulo (en este caso, la imagen) de forma general para centrar la visión en una única región con la finalidad de que el sistema visual (explicado en el apartado 1.2) pueda extraer información detallada acerca de la zona que se está mirando. La duración de las fijaciones es muy variada (normalmente entre 50 y 600 ms) y depende en gran medida del tipo de estímulo y la tarea requerida (“Types of the eye movement,” n.d.).

- Número de fijaciones (FC): cantidad total de fijaciones realizadas durante el estímulo. En este caso, se emplea la detección de fijaciones dada por defecto en el *eye-tracker*. El proceso, de forma simplificada, se basa en la obtención de la velocidad de cambio en el espacio de cada una de las muestras adquiridas, es decir, la derivada. Si esta velocidad es menor que un umbral establecido (2.12 píxeles/ms, por defecto) se clasifica como fijación (puesto que la mirada se mantiene estática en una región del estímulo) y, en función de si la muestra previa también es una fijación o no, se cataloga la muestra actual como perteneciente a una fijación ya definida o como una nueva, respectivamente. Si, por el contrario, la velocidad es superior al umbral, la muestra se clasifica como sacada (movimiento brusco de los ojos que dirigen la mirada de una fijación a la siguiente) siguiendo un proceso semejante al dado en el caso de las fijaciones (Olsen, 2012).
- Duración total de las fijaciones (TFD): suma de la duración de todas las fijaciones realizadas durante el estímulo.

#### En relación con la capacidad de detección de emociones:

- Categorización de las expresiones faciales: entre siete tipo de emociones, elección de la que se cree que el estímulo está representando.

#### En relación con la actividad pupilar:

Están basados en el cambio del tamaño pupilar.

- Variación media del PD: cambio medio del PD ante la presencia del estímulo.
- Variación máxima del PD: cambio máximo del PD ante la presencia del estímulo.

### 2.2.4 Software

A nivel de *software*, se emplearon tres programas diferentes:

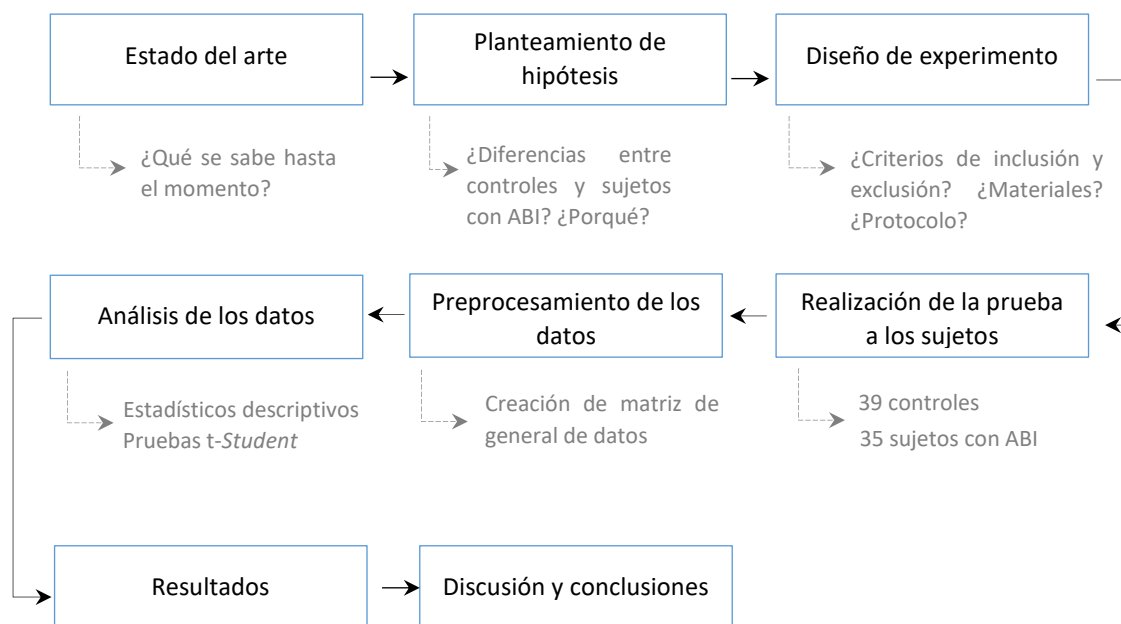
- Tobii Studio 3.2.1 (Tobii Technology AB, Suecia): Programa soporte del dispositivo *eye-tracker* Tobii TX300. Permite diseñar el procedimiento de la prueba a realizar, definir las AOI que se pretenden analizar, visualizar los resultados y almacenar y exportar los datos obtenidos.
- MATLAB (MathWorks, Massachusetts, Estados Unidos): *software* matemático empleado para el preprocesado y filtrado de los datos obtenidos en Tobii Studio. También empleado para la representación de los resultados.

- SPSS (IBM Corporation, Nueva York, Estados Unidos): programa empleado para el estudio estadístico de los diferentes parámetros obtenidos y almacenados en la base de datos generada previamente con MATLAB.

## 2.3 Métodos

### 2.3.1 Procedimiento general

La metodología general seguida durante la realización este proyecto consistió, en primer lugar, en un estado del arte (apartados 1.2 y 1.3) así como el planteamiento de las hipótesis (apartado 1.4) cuya resolución es el la motivación de este trabajo. En segundo lugar, se llevó a cabo el diseño del experimento donde se realizó la selección de los sujetos (apartado 2.1), los materiales empleados (apartado 2.2) y el protocolo a seguir (apartado 2.3.2). En tercer lugar, se realizó la prueba a los sujetos. Una vez realizada la adquisición de los datos, se procedió al preprocesamiento y análisis estadístico de estos (apartados 2.3.3 y 2.3.4, respectivamente). A continuación, se extrajeron los resultados (apartado 3) para, seguidamente, poder analizar el cumplimiento o no de las hipótesis iniciales planteadas (apartado 4) y extraer conclusiones (apartado 5). Un resumen del procedimiento se muestra en la Figura 13.



**Figura 13.** Esquema resumen del procedimiento general del trabajo.

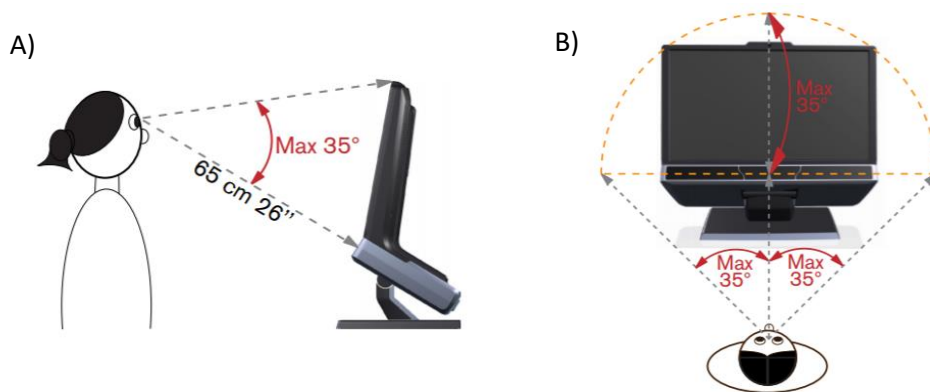
### 2.3.2 Protocolo del experimento

Todas las pruebas realizadas por los pacientes y la mayoría de los controles se llevaron a cabo en una de las consultas externas del Hospital Nisa Valencia al Mar. Algunos controles realizaron la prueba en el centro de investigación i3B de la UPV.

El procedimiento empleado para la realización de la prueba es el mismo para todos los sujetos independientemente de la pertenencia al grupo de control o al de pacientes:



- 1) Se pide al sujeto que se siente en una silla enfrente del *eye-tracker* (a unos 65 cm de distancia entre ambos) en una posición cómoda pero erguida. La distancia al dispositivo fue la óptima indicada por el fabricante para una correcta adquisición de los datos. El rango de captación de información del dispositivo es de 35° como máximo por lo que se pide a los sujetos no realizar movimientos bruscos con la cabeza (Figura 14) (*Tobii® Technology Tobii TX300 Eye Tracker Revision 2 User Manual*, n.d.).
- 2) Se explica al sujeto la tarea a llevar a cabo y como proceder correctamente durante la prueba.



**Figura 14.** Posición y distancia óptima entre el sujeto y el *eye-tracker* durante el experimento para una correcta adquisición de los datos. A) Vista lateral y B) Vista superior (*Tobii® Technology Tobii TX300 Eye Tracker Revision 2 User Manual*, n.d.).

- 3) Se introducen los datos de identificación del sujeto en el programa Tobii Studio y se realiza la calibración del dispositivo: aparece una pantalla en blanco y un círculo rojo que se mueve por la pantalla. Se pide al sujeto que siga únicamente con la mirada (sin mover la cabeza) dicho círculo hasta que desaparezca. El resultado de la calibración se muestra en la Figura 15-A. Si se considera que la calibración es válida, se procede a comenzar la prueba. En caso de duda se puede consultar la exactitud de la calibración, en este caso aparece en la pantalla del *eye-tracker* la plantilla mostrada en la Figura 15-B. Se pide al sujeto que mire a los puntos negros apareciendo un círculo donde el dispositivo interpreta que se ha dirigido la mirada. Si los círculos no se corresponden con el punto al que se mira se repite la calibración.



**Figura 15.** A) Resultado de la calibración del ojo izquierdo (“What happens during the eye tracker calibration?,” 2015). B) Plantilla de comprobación de la correcta calibración (*Tobii® Technology Tobii TX300 Eye Tracker Revision 2 User Manual*, n.d.).

- 4) Una vez realizada la calibración se procede a comenzar la prueba. En el centro de la pantalla del *eye-tracker* aparece durante 5 segundos una de las 28 imágenes seleccionadas como estímulo (para más información acerca del tipo de estímulo se puede consultar el apartado 2.2.2). El orden de aparición de las imágenes es aleatorio. La persona dispone de este tiempo para observar el estímulo, pasados los 5 segundos

aparece un cuestionario donde se pide al sujeto que categorice la expresión facial que acaba de ver. La elección se realiza entre 7 emociones posibles: miedo, ira, asco, alegría, neutral, tristeza o sorpresa. Un ejemplo de este cuestionario se puede ver en la Figura 16. Se dispone de 30 segundos como máximo para la identificación de la emoción, una vez se realiza la categorización esta se comunica de forma verbal. Pasado este tiempo, de manera automática se pasa a la siguiente imagen repitiéndose el proceso hasta completar los 28 estímulos. Si pasados los 30 segundos el sujeto no expresa la categorización elegida se marca como SR (sin respuesta). Si, por el contrario, el sujeto identifica la emoción antes de que finalice el tiempo se pasa a la siguiente imagen sin esperar el tiempo máximo establecido.



**Figura 16.** Ejemplo de uno de los cuestionarios empleados durante la prueba.

- 5) Una vez terminada la prueba, se almacenan los datos adquiridos por el eye-tracker y las respuestas de categorización en el programa Tobii Studio y en un archivo Excel respectivamente y se finaliza el experimento.



**Figura 17.** Montaje y colocación de los dispositivos durante las pruebas.

El tiempo total del experimento varía en función de la rapidez de cada sujeto en la categorización de las emociones, así como también depende de la facilidad de calibración. El tiempo medio aproximado fue de 20 minutos por sujeto. El montaje y la colocación de los dispositivos empleados en las pruebas se pueden observar en la Figura 17. Junto a todo esto se controló la iluminación de la sala para que fuese lo más homogénea posible y evitar así, posibles interferencias en los resultados del estudio.

### 2.3.3 Preprocesamiento de los datos

El procesamiento de los datos se basa en la extracción de los parámetros necesarios para la realización del estudio a partir de toda la información adquirida de los sujetos durante las pruebas. Este procedimiento está dividido en cuatro procesos: extracción de parámetros de comportamiento visual, codificación de las respuestas de categorización de los sujetos, tratamiento de las señales pupilares y creación de la matriz general de datos a partir de la cual se realizará el posterior análisis estadístico. La extracción de los parámetros del comportamiento visual y la codificación de las respuestas de categorización dadas por los sujetos únicamente se basan en la reorganización de matrices. Información más detallada del proceso se explica en el apartado 1 de Anexos.

Así, en este apartado se explica el preprocesado de las señales de diámetro pupilar y la creación de la matriz de datos final.

#### 2.3.3.1 Diámetro pupilar

El objetivo final que se pretende conseguir a partir de los datos adquiridos del tamaño pupilar es la obtención de dos parámetros: variación media y variación máxima de PD de cada sujeto para cada una de las siete emociones de estudio. Para poder llegar hasta este punto, es necesaria la realización de una serie de pasos previos que se explican a continuación.

En los siguientes subapartados se explica el preprocesado de PD aportando ejemplos con los datos del grupo de control. Sin embargo, es necesario tener presente que, pese a no indicarse explícitamente en algunos casos, todo el procedimiento explicado se aplica de igual manera para los datos del grupo de sujetos con ABI.

##### 2.3.3.1.1 Clasificación y homogeneización

La adquisición de los datos de PD se realiza, para cada sujeto, de manera ininterrumpida del comienzo al final de la prueba. Sin embargo, no toda la información es de interés por lo que se definen las zonas de la señal sí lo son a través de la definición de segmentos y *baselines*. Cada segmento comprende todos los valores de PD presentes durante los 5 segundos en los que se muestra cada estímulo. Las *baselines* son los datos obtenidos durante los 500 ms previos a la presentación de cada estímulo (el tiempo se decide de forma experimental). Puesto que el tamaño pupilar en reposo puede variar de una persona a otra, es necesaria la extracción de la *baseline* de cada sujeto (previa a la presencia de cada estímulo) para después poder normalizar las medidas y así, poder comparar las variaciones experimentadas entre sujetos. De esta manera, se obtienen 28 segmentos y 28 *baselines* para cada sujeto correspondientes a cada uno de los estímulos empleados durante la prueba (por ejemplo, segmento 1 y *baseline* 1 se corresponden con la información del primer estímulo mostrado en esa prueba). Este proceso se realiza en el programa Tobii Studio.

Una vez importados los datos en Matlab, en primer lugar, se separa, para cada sujeto, la información correspondiente en función de su pertenencia a cada una de las *baselines* o a cada segmento. Así, en un primer momento, se obtienen 2184 registros de controles (39 sujetos \* 56 registros/sujeto) y 1960 registros de pacientes (35 sujetos \* 56 registros/sujeto). Debido a la frecuencia de muestreo de 300 Hz del *eye-tracker*, cada segmento debería contener 1500 muestras (300 muestras/s \* 5 s) y cada *baseline* 150 muestras (300 muestras/s \* 0.5 s), sin embargo, el dispositivo tiene cierto margen de error en la velocidad de adquisición de manera que, la cantidad de muestras no es completamente homogénea (se presentaron segmentos con

1502 muestras, por ejemplo). Para igualar la cantidad de muestras, se cogen las primeras 1500 y 150 muestras de todos los segmentos y *baselines* respectivamente.

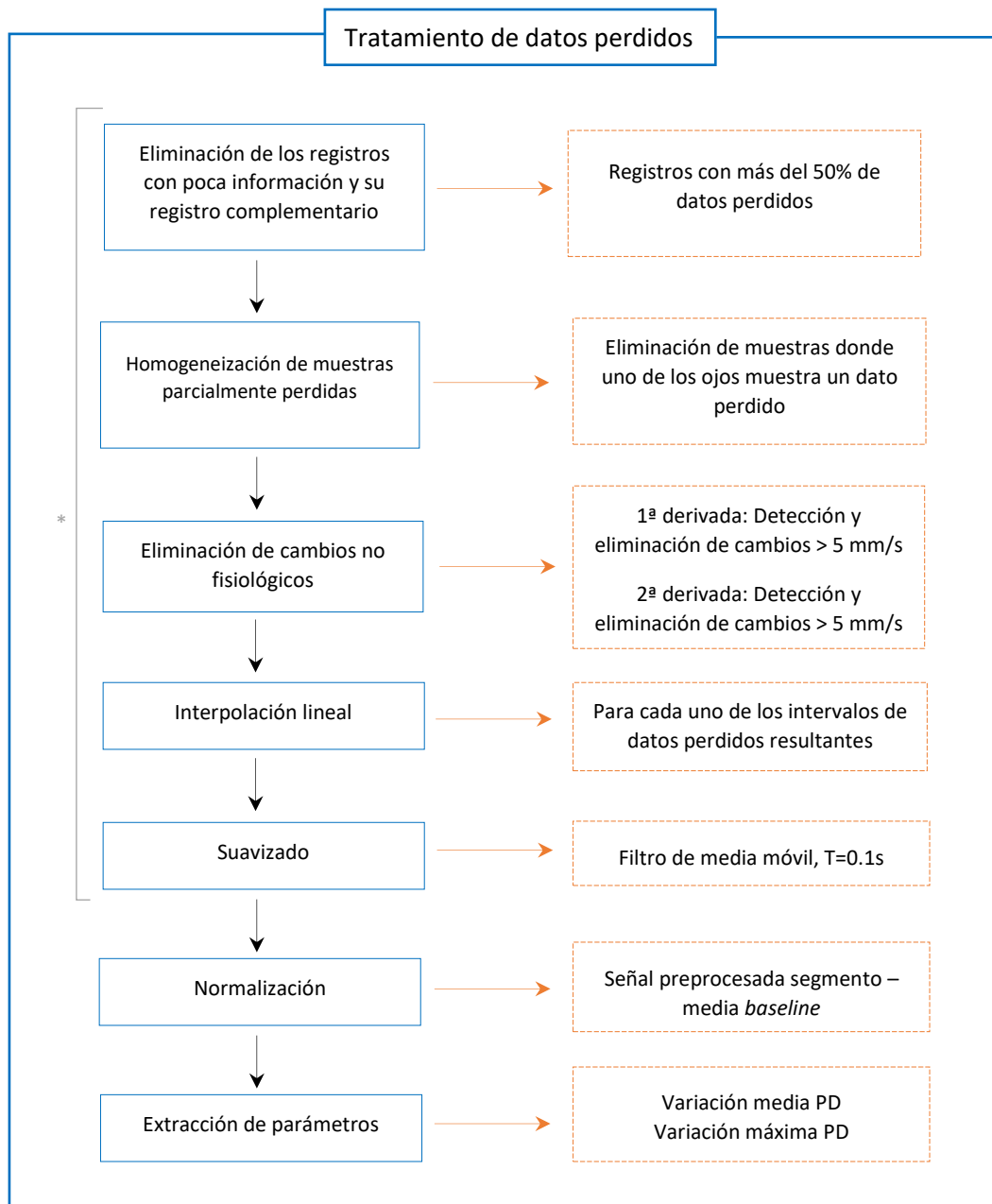
#### 2.3.3.1.2 Tratamiento de los datos perdidos

Esta parte del procesamiento de las señales de PD consta de varios subprocesos que se explican a continuación y se pueden ver de forma esquemática en la Figura 18.

Primeramente, es necesario tener en cuenta que existen ciertas circunstancias donde el *eye-tracker* puede dejar de adquirir correctamente los datos provocando, por tanto, pérdida de información generando los denominados datos perdidos. Por tanto, se define dato perdido como aquellas muestras donde, para uno u ambos ojos, la información no se ha adquirido correctamente. Antes de comenzar con su tratamiento, es necesario conocer los motivos que causan dicha pérdida de información.

##### Causas de aparición de datos perdidos

El motivo más común es debido al parpadeo, la duración media de un parpadeo es de 0.1 a 0.4 s (“Brain Facts and Figures,” n.d.) lo cual implica una pérdida de aproximadamente 120 muestras cada vez que ocurre (en la Figura 19-B se muestran en verde dos parpadeos durante el registro de la señal). Otra posibilidad es la presencia de las denominadas sacadas, ya definidas en apartados anteriores como movimientos bruscos de los ojos que dirigen la mirada de una fijación a la siguiente, cuya duración media es de 0.02 a 0.04 s (“Types of the eye movement,” n.d.). Además, la presencia de datos perdidos también puede deberse al desvío de la mirada a otras zonas localizadas fuera del rango de adquisición del *eye-tracker*, por ejemplo, si el sujeto miró a la pared o al suelo durante la adquisición. También puede ocasionarse una pérdida de datos si el sujeto realiza algún movimiento brusco con la cabeza o si interfiere entre el sensor del dispositivo y sus ojos (tapando el sensor con la mano, por ejemplo). Estos fallos se presentan en los registros en modo de celdas vacías y puede afectar a los datos de ambos ojos o a uno de los dos. Su tratamiento es necesario puesto que alteran la señal y esto puede desembocar en la obtención de parámetros alejados de la realidad. Así, en primera instancia, todos aquellos datos perdidos son sustituidos por ceros.



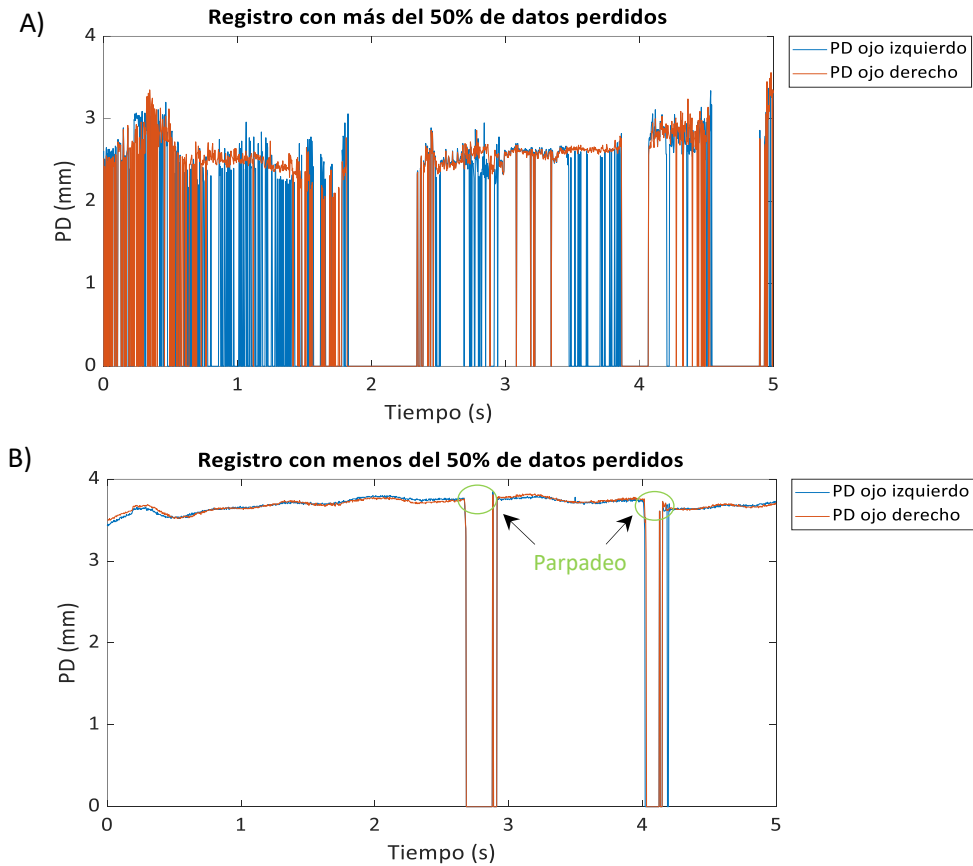
**Figura 18.** Esquema del proceso de tratamiento de datos perdidos. \*Pasos realizados tanto para segmentos como *baselines*.

### 1. Eliminación de registros con poca información

La presencia de mayor o menor cantidad de datos perdidos en un registro afecta a la calidad y veracidad de este. Por este motivo, se decide descartar todos aquellos registros donde la cantidad de datos perdidos es superior al 50% del total. En la Figura 19 se muestra un registro que se descarta del estudio a casusa de esto (Figura 19-A) frente a otro (Figura 19-B) donde prácticamente la presencia de datos perdidos es inexistente.

Para el posterior cálculo de la variación de PD frente a un estímulo son necesarios tanto los datos pupilares almacenados como segmento como sus correspondientes datos de *baseline* (por ejemplo, segmento 3 y *baseline* 3 del mismo sujeto). Así pues, puesto que el descarte de los registros (en función de la cantidad de datos perdidos) se realiza para segmentos y *baselines* de

forma independiente, es necesario descartar también aquellos registros que, pese a no presentar más del 50% de datos perdidos, no contienen su información complementaria. Por ejemplo, si el segmento 3 de un sujeto se descarta por presentar más del 50% de datos perdidos también es necesario descartar el registro de *baseline* 3 del mismo sujeto independientemente de la cantidad de datos perdidos que posea.



**Figura 19.** Diferencias entre la cantidad de datos perdidos para diferentes registros. A) Registro de un segmento con más del 50% de datos perdidos. B) Registro de un segmento con menos del 50% de datos perdidos. Se indica en verde la presencia de dos parpadeos.

Como resultado, tanto por la presencia de más del 50% de datos perdidos como por la falta del registro complementario, para controles y pacientes se descarta un total de 161 y 234 registros respectivamente (7.37% del total de registros para controles y 11.94 % del total para pacientes).

## 2. Homogeneización de muestras parcialmente perdidas

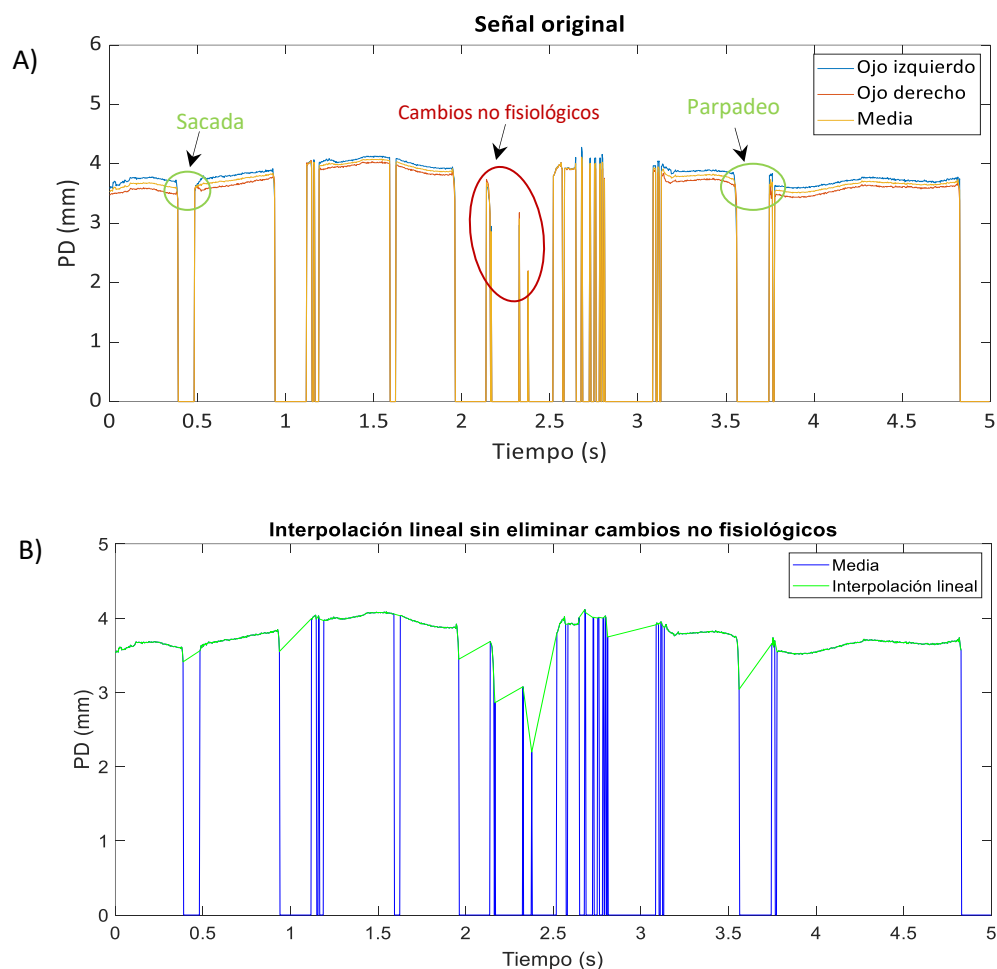
Los registros resultantes también presentan, en mayor o menor cantidad, datos perdidos. Para cada registro, se realiza una búsqueda de aquellas muestras donde uno de los dos valores de PD (ojo izquierdo y ojo derecho) fue un dato perdido. En estos casos, tanto el valor perdido como el de PD del otro ojo se consideran inválidos y se sustituyen por cero. En la Figura 20 se muestra un ejemplo de este procedimiento.

		PD ojo izquierdo	PD ojo derecho			PD ojo izquierdo	PD ojo derecho	
30	7.avi	2.57	2.8	→	30	7.avi	2.57	2.8
31	7.avi	0	0		31	7.avi	0	0
32	7.avi	0	2.84	→	32	7.avi	0	0
33	7.avi	2.58	2.85		33	7.avi	2.58	2.85
34	7.avi	2.59	2.86		34	7.avi	2.59	2.86
35	7.avi	2.57	0	→	35	7.avi	0	0

**Figura 20.** Ejemplo de actuación cuando uno de los dos valores de PD (para una misma muestra) es un dato perdido. En verde se muestran dos casos detectados como inválidos (en la muestra 32 y 35) debido a que su valor de PD complementario es un dato perdido (en naranja). En azul se muestra el resultado tras la sustitución de los valores detectados como inválidos por cero.

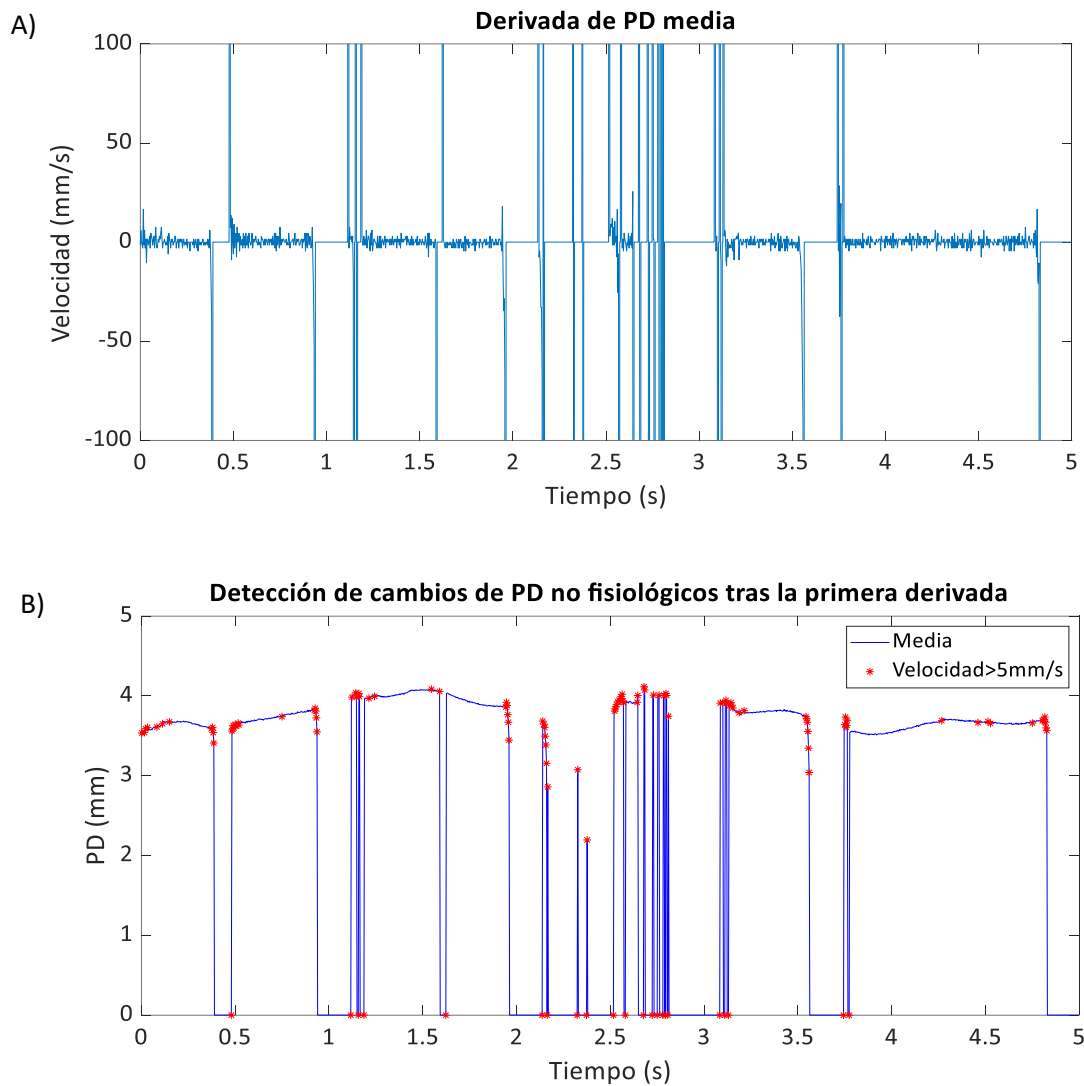
### 3. Eliminación de cambios de PD no fisiológicos

Para reducir la cantidad de información, tanto en segmentos como en *baselines* (en controles y pacientes) se realiza el promedio de los valores obtenidos para PD del ojo izquierdo con los del ojo derecho. En la Figura 21-A se muestra un ejemplo de cada una de estas señales. Tal y como se puede observar, se detectan datos perdidos que se clasifican como parpadeos o sacadas debido a su duración. Sin embargo, también se observa la presencia de cambios de PD muy abruptos. A estos se les denomina no fisiológicos puesto que se cree que son demasiado rápidos como para proceder del sujeto.



**Figura 21.** A) Señales originales de PD ambos ojos por separado y su media. La señal pertenece a un segmento de un control. En verde: movimientos fisiológicos (sacada y parpadeo), en rojo: cambios de PD no fisiológicos. B) Interpolación lineal de la señal media de PD sin eliminar los cambios no fisiológicos.

Como se ha visto en la Figura 18, si la eliminación de los cambios no fisiológicos no se llevase a cabo el siguiente paso a realizar sería la interpolación lineal de la señal. En la Figura 21-B se muestra el resultado de la interpolación de la señal sin eliminar los cambios bruscos. Como se puede observar, la interpolación no se ajusta bien a la señal pudiendo así alterar los valores de los parámetros posteriormente obtenidos. Por este motivo, se procede a la eliminación de dichos cambios no fisiológicos.



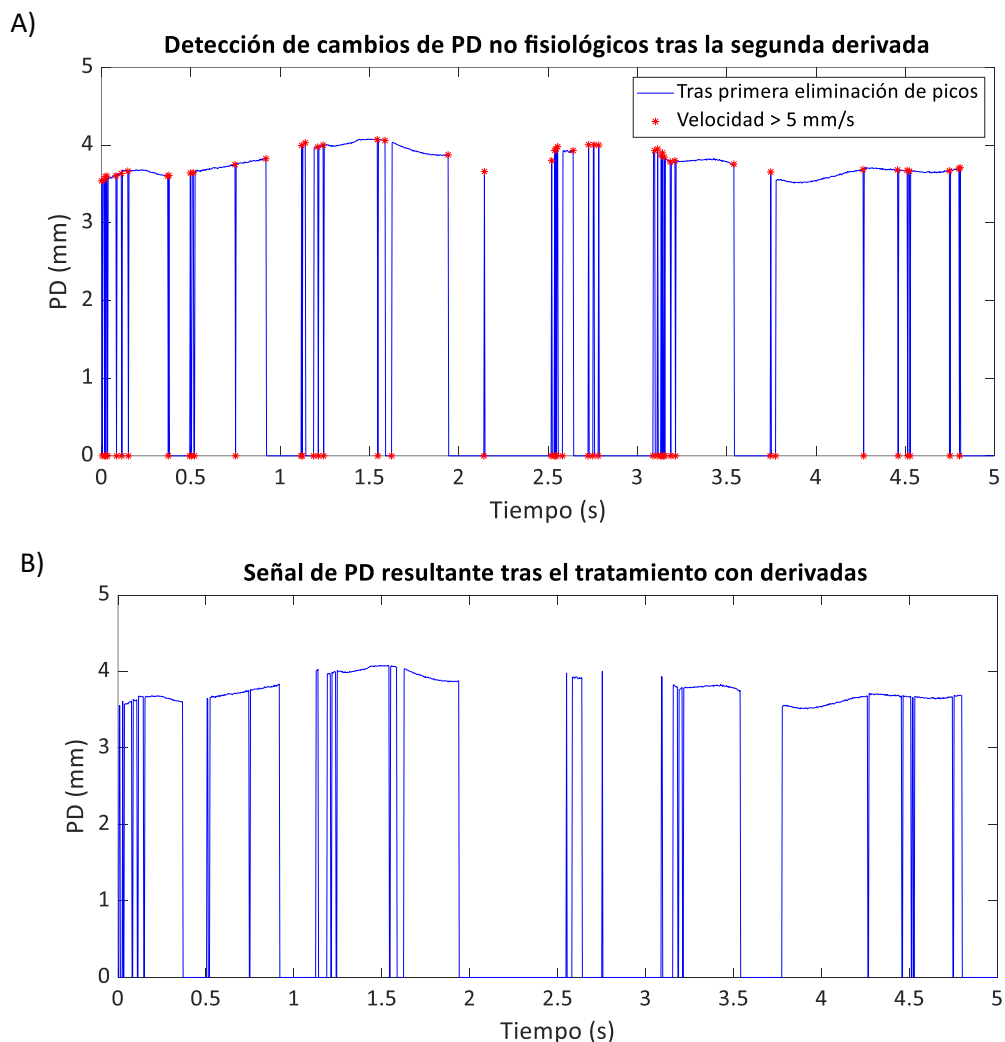
**Figura 22.** A) Representación de la derivada de la señal media de PD mostrada en la Figura 26. Velocidades superiores a 5 mm/s no se consideran fisiológicamente posibles por lo que, todos aquellos valores de la derivada superiores a este umbral se detectan como cambios no fisiológicos. B) Detección de los cambios no fisiológicos definidos en la derivada. Todos aquellos cambios de PD mayores a 5mm/s se indican con una asterisco. Estos valores se eliminan posteriormente.

Para la detección de los cambios no fisiológicos se emplea la derivada de la señal. Así, se obtiene, para cada instante, la velocidad o rapidez de cambio que experimenta el PD entre muestras consecutivas a lo largo de todo el registro. Cuanto más abrupto es el cambio de PD de un instante al siguiente los picos obtenidos en la derivada son más grandes (cambios más rápidos). Por el contrario, cuanto más constante es el tamaño pupilar en el tiempo la derivada tiende más a cero. La derivada de la señal de PD media se muestra en la Figura 22-A. Se estima, de forma experimental, que aquellos cambios de PD llevados a cabo a velocidades superiores a 5 mm/s no son fisiológicos. Es decir, no son posibles desde el punto de vista fisiológico, y corresponden,



por tanto, a artefactos tecnológicos. Así, todos aquellos valores de PD en que su derivada presenta valores mayores a este umbral se eliminan sustituyendo su valor por cero. En la Figura 22-B se indican estos valores con asteriscos rojos sobre la señal de PD.

Tras la eliminación de los cambios detectados se observa como la señal mejora bastante, sin embargo, al sustituir los cambios no fisiológicos detectados con la primera derivada por cero se generan otros cambios rápidos adyacentes que también es necesario eliminar. Con esta finalidad, se decide realizar una segunda derivada sobre la señal, aplicar el mismo umbral y eliminar los picos resultantes. La decisión del número de derivadas a realizar sobre la señal se lleva a cabo de forma experimental, se intenta llegar a una solución de compromiso entre la eliminación de la mayor cantidad de cambios bruscos de la señal y la mínima distorsión de aquellos datos de PD bien adquiridos. En la Figura 23-A se muestran los cambios cuya velocidad excede el umbral para la segunda derivada sobre la señal ya tratada. La señal resultante tras la eliminación de estos cambios bruscos detectados se muestra en la Figura 23-B.



**Figura 23.** A) Detección de cambios no fisiológicos en la señal ya tratada de PD. La obtención de la posición de aquellos picos de señal que se desean eliminar (mostrados como asteriscos rojos) se realiza mediante la derivada de la señal. B) Señal de PD resultante tras el tratamiento con las derivadas. Se observa como la señal se ha suavizado bastante si se compara con la original.

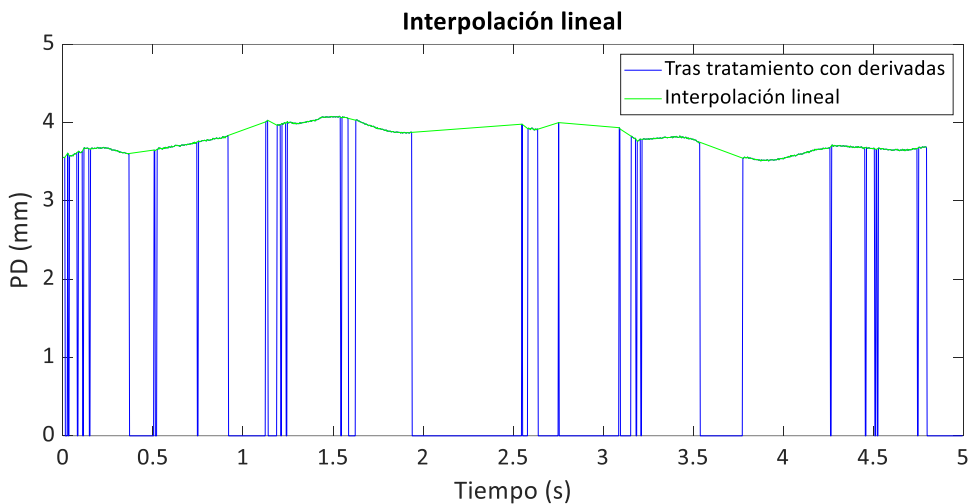
#### 4. Interpolación lineal

Una vez eliminados, en su gran mayoría, los cambios de PD no fisiológicos, se obtiene una señal mucho más limpia que la original a partir de la cual se pueden interpolar las regiones de datos perdidos presentes en la señal. La fórmula para la obtención de la interpolación lineal se muestra en la Ecuación 1.

$$f(x) = f(x_1) + \frac{f(x_2) - f(x_1)}{(x_2 - x_1)} (x - x_1)$$

**Ecuación 1.** Polinomio de interpolación de Newton de primer grado donde  $f(x)$  se corresponde con el valor de PD interpolado en la posición  $x$ ;  $(x_1, f(x_1))$  y  $(x_2, f(x_2))$  son las coordenadas de los valores de la señal empleadas para el cálculo de la interpolación.

Gracias a esta se puede realizar una estimación de los valores que presentarían los datos perdidos si se hubiesen adquirido correctamente, tal y como se muestra en la Figura 24.



**Figura 24.** Interpolación lineal de la señal de PD obtenida tras el tratamiento con derivadas.

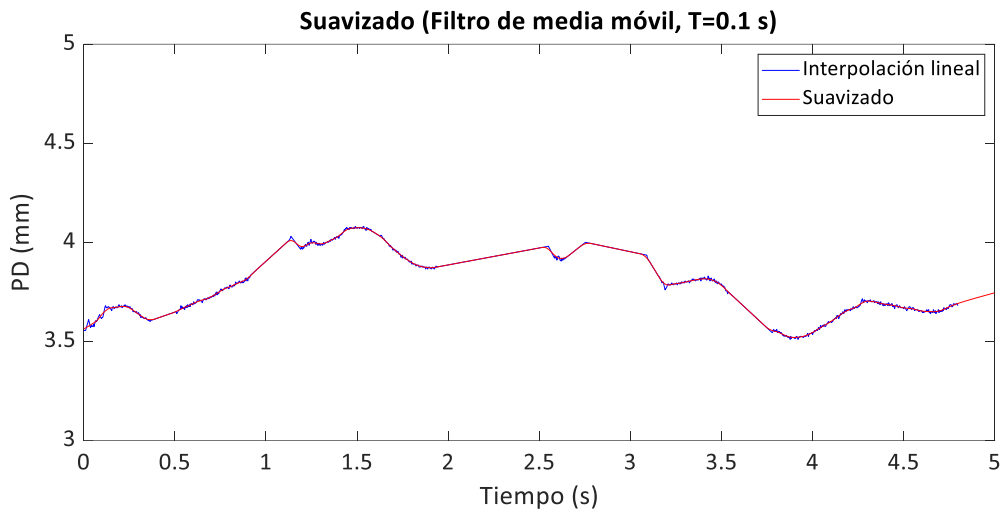
#### 5. Suavizado

Tras la interpolación, se realiza un suavizado de la señal a través de la aplicación de un filtro de media móvil (Ecuación 2). Este, es un tipo de filtro basado en el cálculo de la media de un subconjunto de datos consecutivos de la señal. La cantidad de datos de cada subconjunto viene determinada por el denominado tamaño de ventana de manera que la ventana se irá desplazando por la señal, calculando la media de cada nuevo subconjunto de datos. Así, el resultado será la formación de una nueva señal obtenida a partir de la media de todos los subconjuntos de datos definidos (señal suavizada). En función del tamaño de ventana, el nivel de suavizado de la señal variará puesto que se incluyen más o menos datos en cada promedio (valores de ventana elevados suavizan más la señal). En este caso, se elige un tamaño de ventana de  $T=0.1$  s.

$$dato\ filtrado(t) = \frac{\sum_{n-T/2}^{n+T/2} dato\ interp(t)}{T + 1}$$

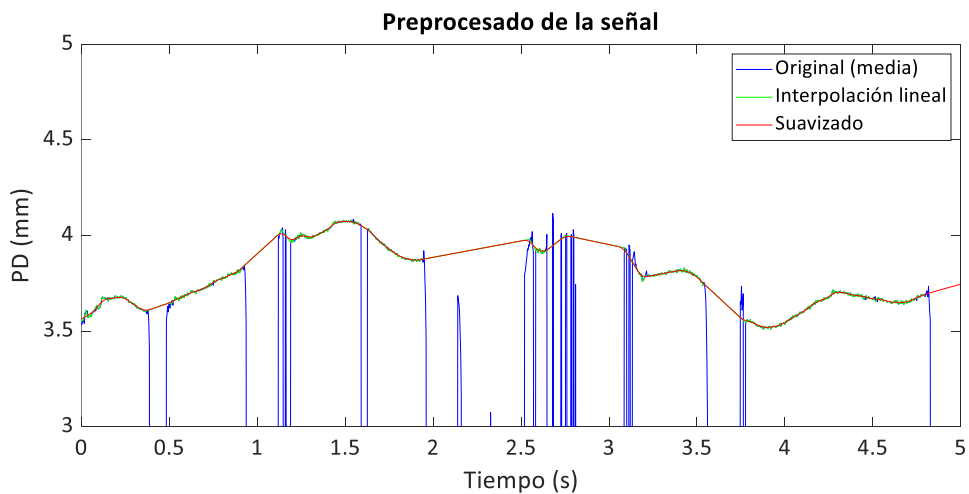
**Ecuación 2.** Ecuación empleada para la obtención de la señal suavizada a partir de la señal interpolada.  $n$ : valor en el tiempo del valor de PD correspondiente,  $t=0.0033, 0.0061, 0.0091, \dots, 5$ s.  $T$ : tamaño de ventana,  $T=0.1$ s

A partir de la extensión de esta fórmula a todos los datos de cada registro se obtiene la señal suavizada mostrada en la Figura 25.



**Figura 25.** Suavizado de la señal de PD interpolada a través de la aplicación de un filtro de media móvil. El tamaño de ventana fue de 0.1 s.

En la Figura 26 se muestra la señal original, la interpolada y finalmente la suavizada superpuestas. Se observa cómo se consigue una mejora sustancial de la señal, en comparación con la original.



**Figura 26.** Pasos seguidos para el tratamiento de los datos perdidos (previamente a la interpolación lineal se eliminan los cambios no fisiológicos).

## 6. Normalización de la señal

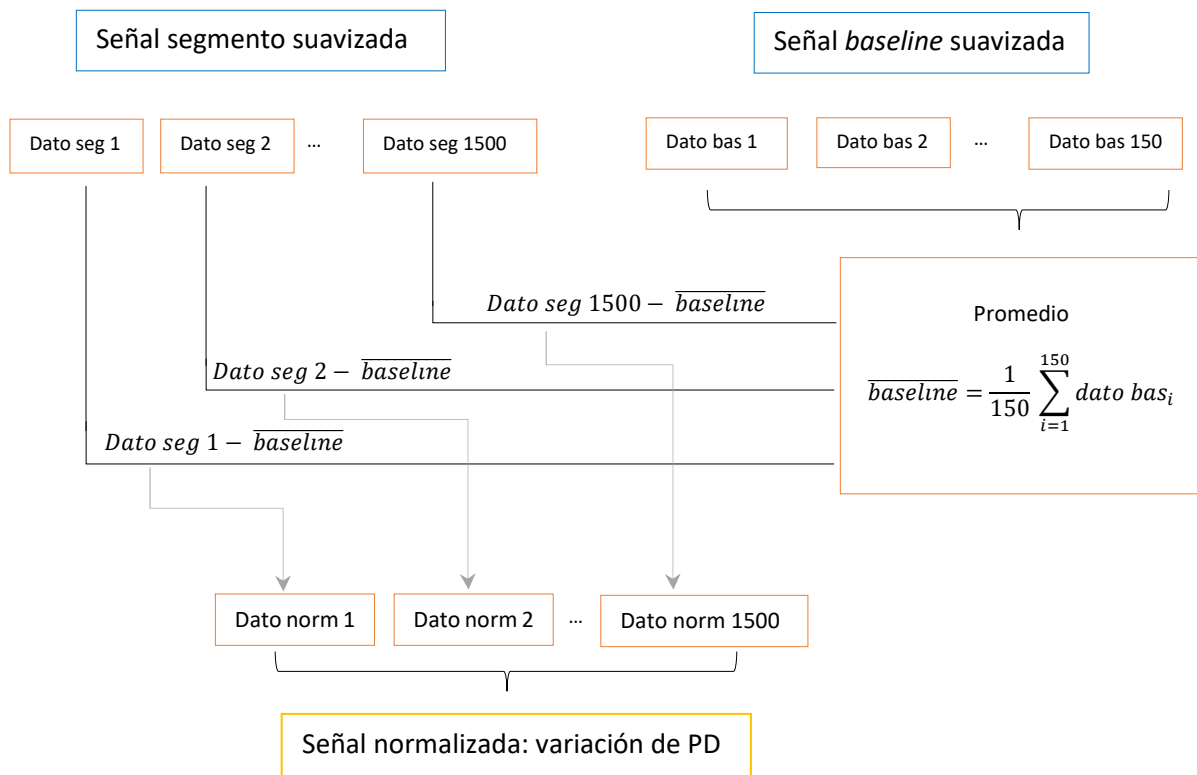
A partir de las señales suavizadas tanto de los segmentos como de las *baselines* correspondientes se procede a la normalización del PD. Como ya se ha comentado anteriormente, el tamaño pupilar varía en función de la persona. Así, para poder comparar los datos obtenidos para diferentes sujetos se obtiene la variación de PD de cada segmento respecto a su *baseline* (valores de PD cuando no hay presencia de estímulo). Esta normalización

se realiza a partir de la resta de la señal de cada segmento menos la media de la señal de *baseline* correspondiente tal y como se muestra en la Ecuación 3.

$$\text{Señal PD normalizada} = \text{Segmento}_k - \overline{\text{Baseline}_k}$$

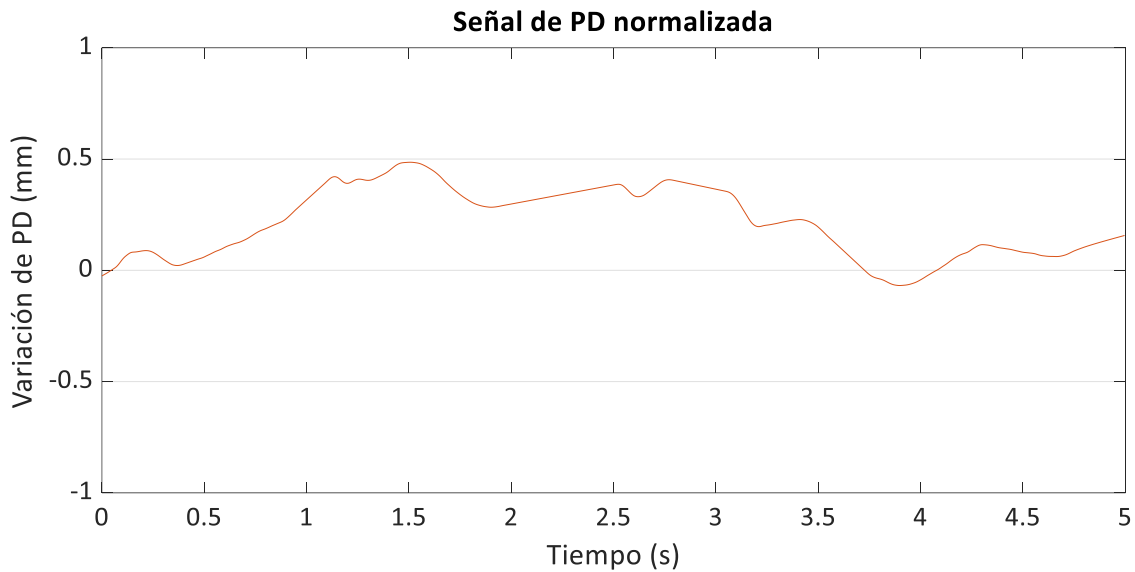
**Ecuación 3.** Fórmula empleada para la obtención de la señal de PD normalizada.  $\overline{\text{señal baseline}_k}$  = media de la señal de *baseline* k, k=1, 2, ..., 28 (número de estímulo).

Un esquema del proceso realizado para cada par de registros complementarios (segmento y *baseline*) se muestra en la Figura 27.



**Figura 27.** Esquema del proceso de normalización de la señal de PD. Dato seg: datos correspondientes al mismo segmento (1500 muestras, 5 segundos), dato bas: datos correspondientes a la misma baseline (150 muestras, ½ segundo), dato norm: datos correspondientes a la normalización de la señal (1500 muestras, 5 segundos).

Así, a partir de este proceso aplicado a la señal suavizada mostrada en la Figura 25 se obtiene su normalización (la variación de PD respecto al valor medio pupilar de los 500 ms previos a la presentación del estímulo) tal y como se muestra en la Figura 28.



**Figura 28.** Variación pupilar de uno de los sujetos de control durante la presentación de un estímulo respecto al valor medio de PD obtenido 500 ms antes del comienzo de este.

## 7. Extracción de parámetros

A partir de esta señal se extraen dos parámetros de variación de PD:

- Variación media: promedio de la señal de PD normalizada
- Variación máxima: valor máximo de la señal de PD normalizada

Así, para cada sujeto se obtienen estos dos parámetros para cada uno de los 28 estímulos empleados durante la prueba (como máximo, en caso de que no se haya eliminado ningún registro durante el preprocesado anterior). Como ya se ha comentado, estos estímulos se corresponden con la repetición de siete emociones diferentes por lo que, para la obtención de los parámetros de PD en función de la emoción, se realiza un promediado de los cuatro resultados de cada parámetro correspondientes a la misma emoción.

### 2.3.3.2 Creación de la matriz general de datos

Una vez se obtienen todos los parámetros de interés se introducen en una única matriz para facilitar su posterior análisis estadístico. Se clasifican y organizan los parámetros en función de la emoción a la que corresponden para cada uno de los sujetos (controles y pacientes) obteniéndose así, un total de 6808 datos pertenecientes a 13 variables diferentes por emoción (2 parámetros de comportamiento visual \* 5 AOIs estudiadas + 2 parámetros de PD + aciertos de categorización) y a los aciertos totales por sujeto.

De esta matriz general se realiza un estudio para localizar la presencia de *outliers* en los parámetros. Para esto, se calcula el Z-Score de cada uno de los datos (Ecuación 4) en función del parámetro al que pertenecen y se define como caso atípico u *outlier* a aquellos datos cuyo Z-Score es superior a 3 desviaciones estándar de su valor medio. Así, se detecta un total de 55 *outliers*. Puesto que no representan ni el 1% de los datos totales (0.81%) se decide descartar dichos valores.

$$Z\text{-Score}_i = \frac{|x_i - \bar{x}|}{s}$$

**Ecuación 4.** Ecuación empleada para la obtención del Z-Score de los datos. x: dato, i= identificador del dato,  $\bar{x}$ : media de la muestra a la que pertenece x, s: desviación estándar de la muestra a la que pertenece x.

Finalmente, tras suprimir los *ouliers* y contabilizando aquellos datos descartados durante el preprocesado de los parámetros, en total se pierde un 1.57% (107 valores) de los datos adquiridos en primera instancia.

### 2.3.4 Análisis estadístico

Una vez obtenida la matriz general de datos se procede a la realización del análisis estadístico. Los procedimientos descritos en este apartado se realizan en el programa SPSS.

La decisión del tipo de análisis a realizar se toma en base a la bibliografía consultada relacionada con el estudio de expresiones faciales y emociones (Eisenbarth & Alpers, 2011; Genova et al., 2017; Green & Guo, 2018; Guo, 2012; Guo & Shaw, 2015; Guo et al., 2018; Milders et al., 2003; Rapcsak et al., 2000; Schurgin et al., 2015; Tippett et al., 2018; Yuvaraj et al., 2013). En estos casos, los estudios realizados son de tipo paramétrico por lo que se decide realizar el mismo tipo de análisis.

Los estadísticos descriptivos empleados son la media (información sobre la tendencia central de los datos) y la desviación estándar (información acerca de la dispersión de los datos) de cada uno de los parámetros estudiados (Ecuación 5). Los valores obtenidos se muestran a lo largo del apartado 3.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \qquad s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

**Ecuación 5.** Fórmulas de los estadísticos descriptivos empleados: a la izquierda la media ( $\bar{x}$ ), a la derecha la desviación estándar (s). x: dato, n: número de datos, i: identificador del dato

Para la comprobación del cumplimiento o no de las hipótesis planteadas en el apartado 1.4, se empleó estadística descriptiva. Se emplearon pruebas *t-Student*, las cuales permiten verificar la igualdad de medias entre dos muestras mediante la comprobación del cumplimiento o no de una hipótesis nula, para evaluar las diferencias entre las distintas condiciones planteadas en las hipótesis. La mayoría de las pruebas *t-Student* que se emplearon en este estudio fueron para muestras independientes (comparaciones entre controles y pacientes), sin embargo, también se empleó esta prueba para muestras relacionadas (las dos muestras a comparar fueron controles o pacientes).

### 3. RESULTADOS

Los resultados obtenidos a partir del análisis de los datos se muestran a continuación divididos en tres bloques principales: 1) estudio del patrón de escaneo facial, 2) categorización de las emociones y 3) dilatación pupilar. Estos bloques a su vez se dividen en subapartados en los que, en cada uno de ellos, se irán presentando los resultados del estudio que se emplearán para comprobar la veracidad o no de las hipótesis planteadas en el apartado 1.4.2 según corresponda.

#### 3.1 ¿Hay diferencias en el patrón de escaneo facial seguido por controles y pacientes?

Durante el proceso de reconocimiento de emociones a través de expresiones faciales existen ciertas áreas de la cara que presentan mayor interés que otras. Tal y como ya se ha mencionado en el apartado 1.2.2.1, existe una gran cantidad de artículos que ya han predefinido dichas zonas como importantes a la hora de realizar estudios relacionados con el escaneo facial (Eisenbarth & Alpers, 2011; Green & Guo, 2018; Guo, 2012; Guo & Shaw, 2015; Guo et al., 2018; Schurgin et al., 2015). A pesar de esto, se decide comprobar, en primer lugar, si existe coincidencia entre las principales AOI obtenidas en este estudio y las presentes en dichos artículos.

##### 3.1.1 Verificación de las principales zonas de interés durante el escaneo facial y comparación entre controles y pacientes

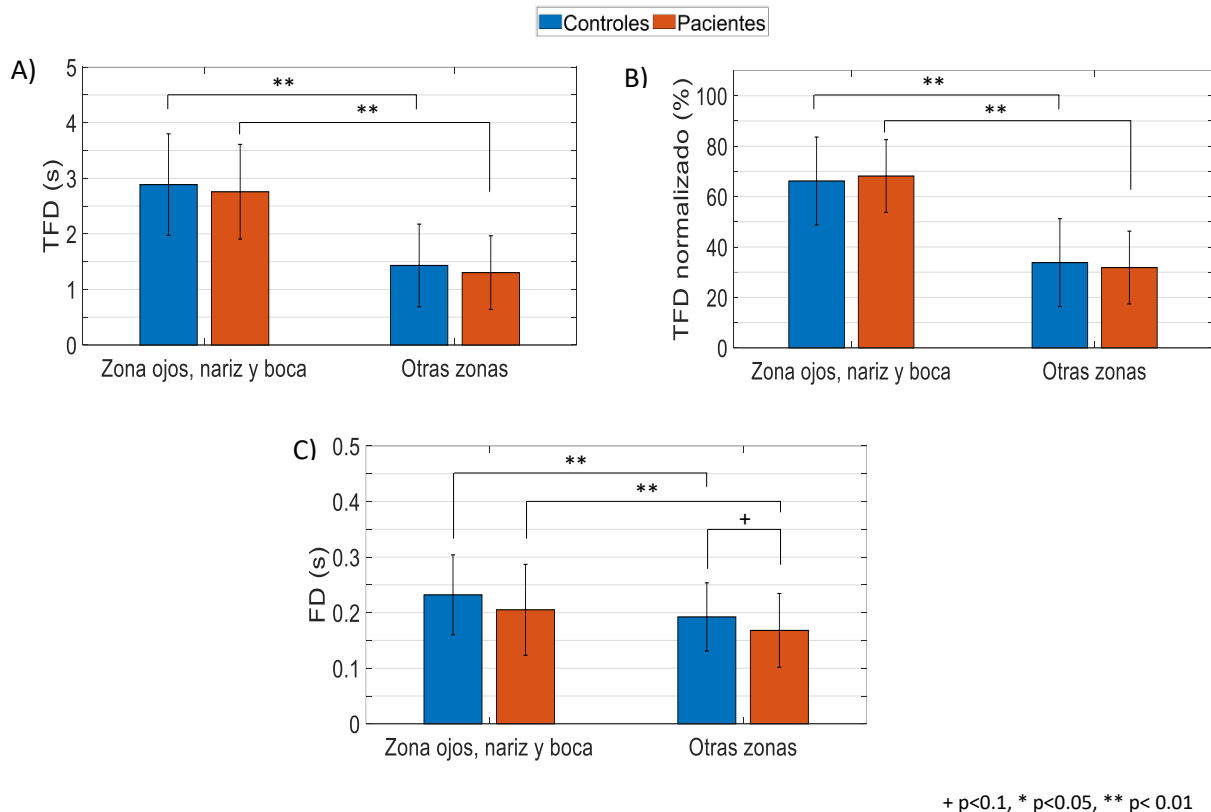
Según la bibliografía consultada (Eisenbarth & Alpers, 2011; Green & Guo, 2018; Guo, 2012; Guo & Shaw, 2015; Guo et al., 2018; Schurgin et al., 2015), las AOI principales son tres: área de los ojos, área de la nariz y área de la boca. Para poder verificar la importancia de estas, se agrupan en una misma zona y se comparan con otra que comprende el resto de las áreas faciales (así como el fondo de la imagen). Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 2.

	ZONA OJOS, NARIZ Y BOCA		OTRAS ZONAS	
	Control	Pacientes	Control	Pacientes
<b>FD (s)</b>	0.23±0.07	0.20±0.08	0.19±0.06	0.16±0.07
<b>TFD (s)</b>	2.89±0.91	2.76±0.85	1.43±0.74	1.30±0.66
<b>TFD norm (%)</b>	66.19±17.43	68.15±14.44	33.81±17.43	31.85±14.44
<b>FC</b>	12.88±4.26	14.91±6.01	7.82±4.15	8.53±5.16
<b>FC norm (%)</b>	62.89±14.46	64.06±12.70	36.93±14.58	34.46±11.56

**Tabla 2.** Valores de FD, TFD, TFD norm, FC y FC norm y FC para controles y pacientes en la zona ‘ojos, nariz y boca’ y de ‘otras zonas’. Duración media de cada fijación (FD), la duración total de las fijaciones (TFD), su respectiva normalización (TFD norm), el número de fijaciones (FC) y su respectiva normalización (FC norm). Media ± Desviación estándar.

En la Figura 29 se puede observar la representación gráfica de aquellos parámetros relacionados con la duración de las fijaciones. Independientemente de la muestra estudiada, las tres medidas presentan resultados similares. Tanto a nivel total (Figura 29-A y Figura 29-B) como individual (Figura 29-C), el tiempo invertido en cada una de las zonas es claramente desigual. Sobre el 70% (casi 3 segundos) de la duración total de las fijaciones (5 segundos como máximo) se realiza en

la zona que incluye los ojos, la nariz y la boca. Además, las fijaciones son aproximadamente un 20% más prolongadas en esta zona, respecto a la definida como otras zonas.



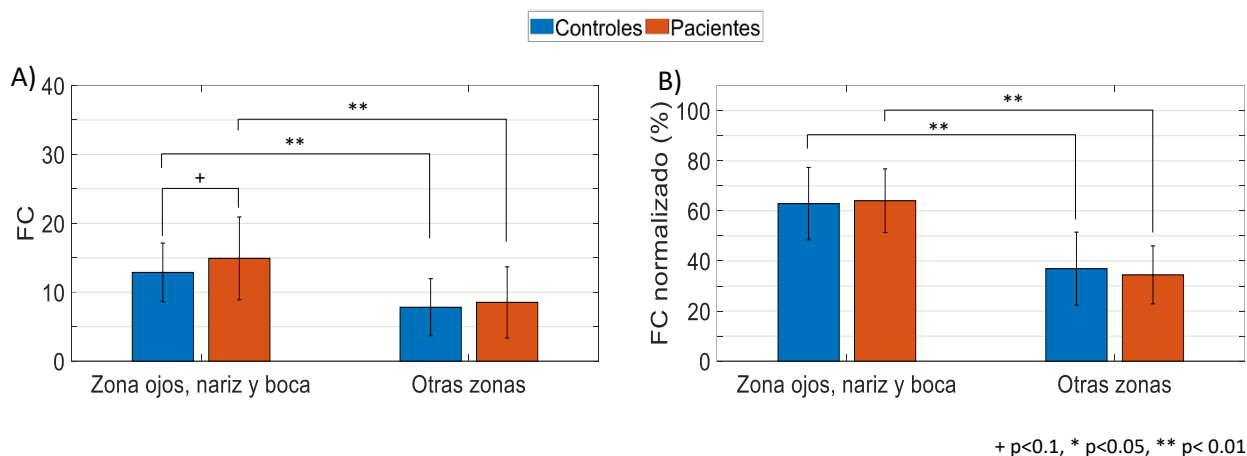
**Figura 29.** Representación gráfica de la duración total de las fijaciones (TFD), su correspondiente normalización (TFD normalizado) y el promedio de duración individual de las fijaciones (FD) en la zona de ojos, nariz y boca y en otras zonas para controles y pacientes. Las barras de error representan la desviación estándar.

Para conocer si el tiempo que, tanto controles como pacientes, observan la zona de ojos, nariz y boca es mayor que el que observa en otras zonas de manera estadísticamente significativa se realizaron pruebas *t-Student* por pares. Todas las comparaciones presentan significación estadística ( $p < 0.001$ ) tal y como se indica en la Figura 29.

Por otro lado, también se representan los resultados obtenidos para los parámetros relacionados con la cantidad de fijaciones: FC (Figura 30-A) y FC normalizado (Figura 30-B). Tanto para controles como para pacientes, la zona de ojos, nariz y boca es observada un 30% más de las veces que a otras zonas. Las pruebas *t-Student* realizadas para estos dos parámetros (tanto para controles como para pacientes) muestran que existen diferencias estadísticamente significativas en la cantidad de fijaciones para cada zona. Los *p*-valores concretos de cada comparación realizada (tanto de estos parámetros como de los anteriores) se puede ver en el apartado 2.1 de Anexos.

Teniendo en cuenta todo lo mencionado, se puede verificar que, independientemente de la muestra analizada, la zona que presenta mayor interés durante el escaneo facial es la que incluye los ojos, la nariz y la boca. Por tanto, son estas tres zonas en las que se centrarán los análisis posteriores.





**Figura 30.** Representación gráfica del número de fijaciones (FC) y su correspondiente normalización (FC normalizado) en la zona de ojos, nariz y boca y en otras zonas para controles y pacientes. Las barras de error representan la desviación estándar.

Por otro lado, se realiza también un estudio comparativo entre el comportamiento de controles y pacientes cuando miran a cada zona. Esto permite conocer si los patrones de ambas muestras son iguales o no. La Figura 29 y la Figura 30 permiten observar cómo, para aquellos parámetros relacionados con la duración de las fijaciones, los pacientes presentan tiempos ligeramente inferiores. Como excepción, el parámetro normalizado de TFD presenta para los pacientes valores superiores, esto es debido a la forma en que se realiza la normalización. Lo contrario sucede los parámetros relacionados con el número de fijaciones. Aquí, se observa como los pacientes presentan valores levemente superiores a los controles excepto en la normalización de FC para 'otras zonas'. Todo esto parece indicar que, en comparación con los controles, los pacientes fijan su atención más veces en las diferentes zonas, pero, por el contrario, invierten menos tiempo en ellas.

Para conocer si estas diferencias son o no estadísticamente significativas, se realizan pruebas *t-Student* para muestras independientes comparando, para cada parámetro y para cada zona, las medias obtenidas por los controles y pacientes. Los resultados no muestran p-valores<0.05. Sin embargo, tal y como se indica en la Figura 29-C y Figura 30-A, sí se puede observar en FD para otras zonas y en FC en la zona de ojos, nariz y boca cierta tendencia a la significación (p<0.1). Los p-valores del resto de comparaciones se pueden consultar en el apartado 2.2 de Anexos.

### 3.1.2 Estudio genérico de los patrones visuales de controles y pacientes en ojos, nariz y boca

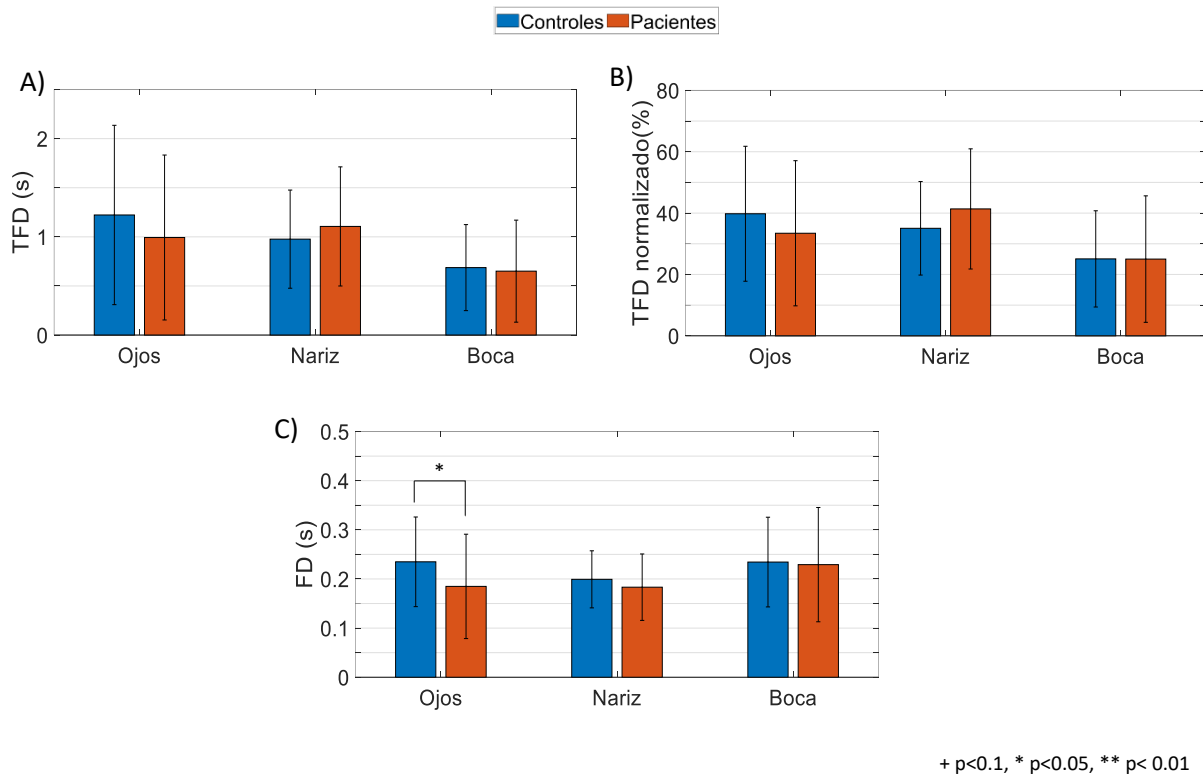
Una vez verificada la zona de interés principal en la cara como aquella que incluye los ojos, la nariz y la boca se centra el resto de los análisis a estas zonas. En este caso, se realiza el estudio de los patrones de estas tres zonas de forma independiente. Para cada una de estas nuevas áreas se obtienen los parámetros de interés tal y como se muestra en la Tabla 3. La representación de los datos relacionados con la duración de las fijaciones se localiza en la Figura 31 mientras que aquellos referidos al número de fijaciones se muestran en la Figura 32.

	OJOS		NARIZ		BOCA	
	Control	Pacientes	Control	Pacientes	Control	Pacientes
<b>FD (s)</b>	0.23±0.09	0.19±0.11	0.20±0.06	0.18±0.07	0.24±0.09	0.23±0.11
<b>TFD (s)</b>	1.22±0.91	0.99±0.84	0.98±0.50	1.11±0.61	0.69±0.44	0.65±0.52
<b>TFD norm (%)</b>	39.78±22.00	33.43±23.65	35.04±15.24	41.36±19.59	25.07±15.68	25.01±20.61
<b>FC</b>	5.17±3.49	5.49±4.25	4.99±2.26	6.24±3.36	2.75±1.44	2.79±1.71
<b>FC norm (%)</b>	38.18±18.79	34.45±20.95	39.24±13.65	43.00±15.63	22.66±12.29	21.55±15.40

**Tabla 3.** Valores de FD, TFD, TFD norm, FC y FC norm y FC para controles y pacientes en ojos, nariz y boca. Duración media de cada fijación (FD), la duración total de las fijaciones (TFD), su respectiva normalización (TFD norm), el número de fijaciones (FC) y su respectiva normalización (FC norm). Media ± Desviación estándar.

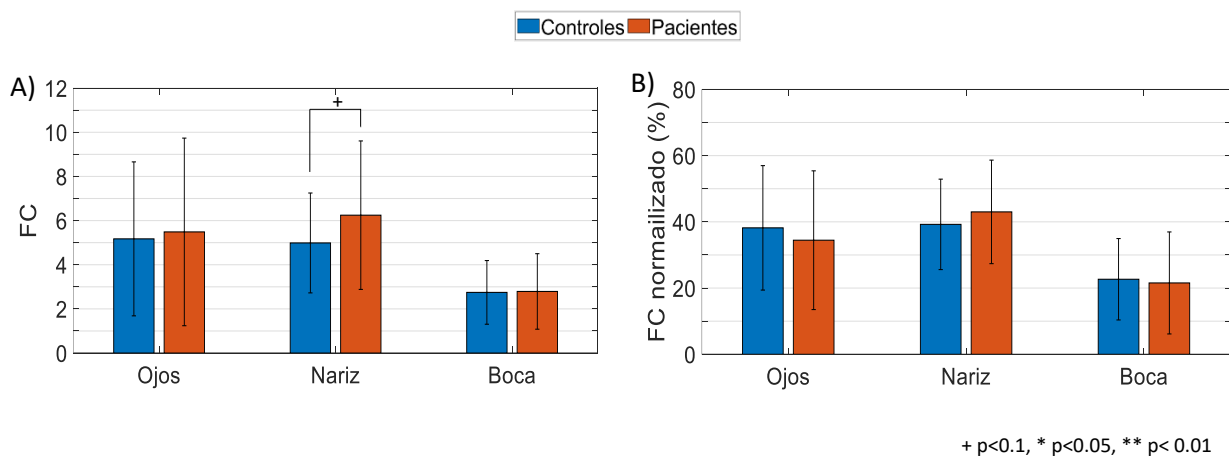
Respecto a la duración total de las fijaciones (Figura 31-A y Figura 31-B), tanto para controles como para pacientes, aproximadamente el 75% (2.2 segundos) del tiempo total que se mira a las zonas de los ojos, nariz y boca se destinan exclusivamente a los ojos y nariz. Sin embargo, ambos grupos, a pesar de, en suma, alcanzar el mismo porcentaje de TFD, presentan diferencias en las zonas donde la duración es mayor. El grupo control presenta valores más elevados en ojos que en nariz mientras que los pacientes siguen el orden inverso. Además, también es destacable mencionar que los pacientes dedican aproximadamente un 6% más de tiempo total a observar la zona de la nariz en comparación con los controles. Como contraposición, la duración total invertida en observar la zona de la boca es muy similar en ambos grupos.

La Figura 31-C muestra la duración media de las fijaciones. Para este parámetro, el grupo de control presenta fijaciones más largas independientemente de la zona estudiada. Sin embargo, diferenciando entre zonas, la boca es la que presenta fijaciones más duraderas con valores muy similares entre controles y pacientes. Le sigue la zona de los ojos, donde se observa que los pacientes presentan fijaciones más cortas y, finalmente, la zona de la nariz presentando las fijaciones con una duración menor siendo mayor para el grupo de control.



**Figura 31.** Representación gráfica de la duración total de las fijaciones (TFD), su correspondiente normalización (TFD normalizado) y el promedio de duración individual de las fijaciones (FD) en ojos, nariz y boca para controles y pacientes. Las barras de error representan la desviación estándar.

Finalmente, a nivel general, el número de fijaciones (Figura 32) sigue un patrón muy similar al presentado por la duración total de las mismas. Las fijaciones en ojos y nariz representan aproximadamente el 77% (10-11 fijaciones) del total (ojos, nariz y boca) tanto para controles como para pacientes. Para este parámetro, a diferencia de lo que sucede en TFD, la zona que presenta mayor cantidad de fijaciones coincide para ambos grupos, siendo esta la nariz. Los pacientes presentan aproximadamente un 4% más de fijaciones que el grupo control. Le sigue la zona de los ojos donde son los controles los que presentan aproximadamente un valor un 4% superior que los pacientes. Al igual que sucede en TFD, la zona de la boca es la que menor cantidad de fijaciones presenta, siendo muy parecida para ambos grupos.



**Figura 32.** Representación gráfica del número de fijaciones (FC) y de su correspondiente normalización (FC normalizado) en ojos, nariz y boca para controles y pacientes. Las barras de error representan la desviación estándar.

En resumen, se presentan diferencias en el comportamiento de controles y pacientes durante el escaneo facial. Esto viene reflejado en que las zonas de mayor interés difieren en ambos grupos. Para los pacientes esta zona se corresponde con la nariz, donde se acumula el mayor número de fijaciones y siendo esta misma, además, la zona donde más tiempo permanecen mirando. Sin embargo, parece ser que, a pesar de ser su mayor zona de interés, es la zona en la que la duración de cada fijación que realizan es más corta, es decir, realizan una gran cantidad de fijaciones de corta duración que, en suma, equivale a la zona observada durante más tiempo. En el grupo control las diferencias entre ojos y nariz son inferiores. A pesar de esto, se observa que, al igual que sucedía con los pacientes, la nariz es la zona donde se presenta más número de fijaciones, pero no es a la que más tiempo dedican (siendo esta, por el contrario, los ojos). Además, el tiempo medio de las fijaciones en la zona de los ojos está, en comparación con las otras zonas, entre las más duraderas.

Las pruebas *t-Student* comparando controles y pacientes (muestras independientes) muestran diferencias significativas en la duración media de las fijaciones para la zona de los ojos ( $p=0.035$ ). Además, se aprecia una tendencia a la significación ( $p=0.070$ ) en el número de fijaciones en la nariz. Los *p*-valores del resto de las comparaciones no presentan diferencias significativas. Dichos valores se pueden consultar en el apartado 2.3 de Anexos.

### 3.1.3 Estudio de los patrones visuales de controles y pacientes en ojos, nariz y boca en función del tipo de emoción

En este apartado se desglosa el análisis de los resultados teniendo en cuenta las distintas zonas analizadas para las siete emociones empleadas durante el estudio. Debido a la gran cantidad de información obtenida por cada parámetro al realizar el análisis por emociones y, puesto que los parámetros de normalización y FD son extraídos a partir de TFD y FD se decide, también, centrar el estudio en estas dos últimas.

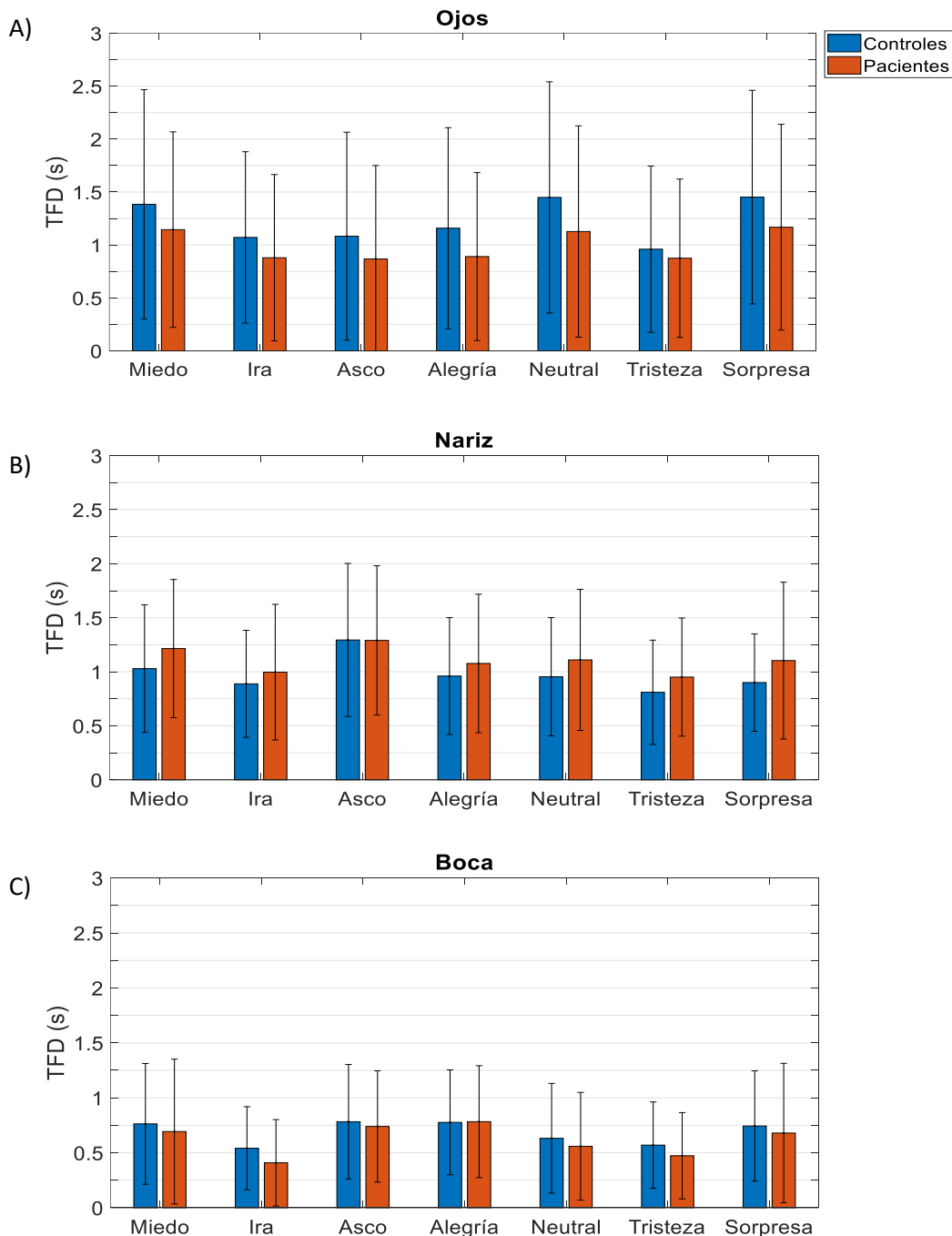
#### 3.1.3.1 Duración total de las fijaciones

En primer lugar, se extraen los valores de TFD para cada emoción y para cada zona de interés comparando los valores obtenidos en el grupo de pacientes y el de controles. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 4.

	OJOS		NARIZ		BOCA	
	Control	Pacientes	Control	Pacientes	Control	Pacientes
<b>MIEDO</b>	1.38±1.08	1.15±0.92	1.03±0.60	1.21±0.64	0.76±0.55	0.69±0.66
<b>IRA</b>	1.07±0.81	0.88±0.79	0.89±0.50	1.00±0.63	0.54±0.38	0.41±0.39
<b>ASCO</b>	1.08±0.98	0.87±0.88	1.29±0.71	1.29±0.69	0.78±0.52	0.74±0.51
<b>ALEGRÍA</b>	1.16±0.95	0.89±0.79	0.96±0.54	1.08±0.64	0.78±0.48	0.78±0.51
<b>NEUTRAL</b>	1.45±1.09	1.13±1.00	0.95±0.55	1.11±0.65	0.63±0.50	0.56±0.49
<b>TRISTEZA</b>	0.96±0.79	0.88±0.75	0.81±0.48	0.95±0.55	0.57±0.39	0.47±0.39
<b>SORPRESA</b>	1.45±1.01	1.17±0.97	0.90±0.45	1.10±0.73	0.74±0.50	0.68±0.63

**Tabla 4.** Valores la duración total de las fijaciones (TFD) para las diferentes emociones en controles y pacientes en ojos, nariz y boca. Media ± Desviación estándar.

Tal y como se puede observar en la Figura 33, comparando el grupo de control con el de pacientes, el tiempo invertido en la zona de los ojos, de la nariz o de la boca presenta ciertas diferencias en función del tipo de emoción. La duración total invertida en la observación de la zona de los ojos se representa en la Figura 33-A. El orden de aquellas emociones donde se invierte más o menos tiempo para analizar la zona de los ojos es muy similar para ambos grupos. Sin embargo, los valores de TFD obtenidos por los pacientes son siempre inferiores a los de los controles. Es decir, en referencia a la zona de los ojos, a pesar de seguir patrones parecidos al del grupo de control, los pacientes presentan duraciones totales menores.



**Figura 33.** Representación gráfica de la duración total de las fijaciones (TFD) realizadas en: A) la zona de los ojos, B) la zona de la nariz y C) la zona de la boca en función de las diferentes emociones empleadas. Las barras de error representan la desviación estándar.

Los tiempos invertidos en la zona de la nariz en función de las emociones se representan en la Figura 33-B. Excepto para el sentimiento de asco, los tiempos entre controles y pacientes también difieren. En este caso, son los pacientes los que presentan tiempos más prolongados. Además, a pesar de que los valores máximos y mínimos de TFD coinciden para ambos grupos (asco y miedo e ira y tristeza respectivamente), el orden de las emociones que presentan valores intermedios de TFD cambia (en orden descendiente: alegría, neutral y sorpresa para controles y neutral, sorpresa y alegría para pacientes).

La zona de la boca (Figura 33-C) no presenta un patrón muy diferente entre controles y pacientes. En los casos de asco y alegría las diferencias entre ambos grupos son ínfimas, mientras que para el resto de las emociones los valores del grupo de control son superiores al de pacientes. El orden de mayor a menor tiempo dedicado a la zona de la boca en función de la emoción visualizada coincide en controles y pacientes: asco, alegría, miedo, sorpresa, neutral, tristeza e ira.

Las pruebas *t-Student* empleadas para la comparación de los tiempos de controles y pacientes en cada zona y para cada emoción no presentan diferencias estadísticamente significativas en ninguna de las combinaciones posibles. Los p-valores exactos se pueden consultar en el apartado 2.4 de Anexos.

### 3.1.3.2 Número de fijaciones

En este caso, se estudia el número de fijaciones en cada una de las tres zonas de interés para cada emoción mostrada tanto para controles como para pacientes. Estos datos se muestran en la tabla siguiente (Tabla 5).

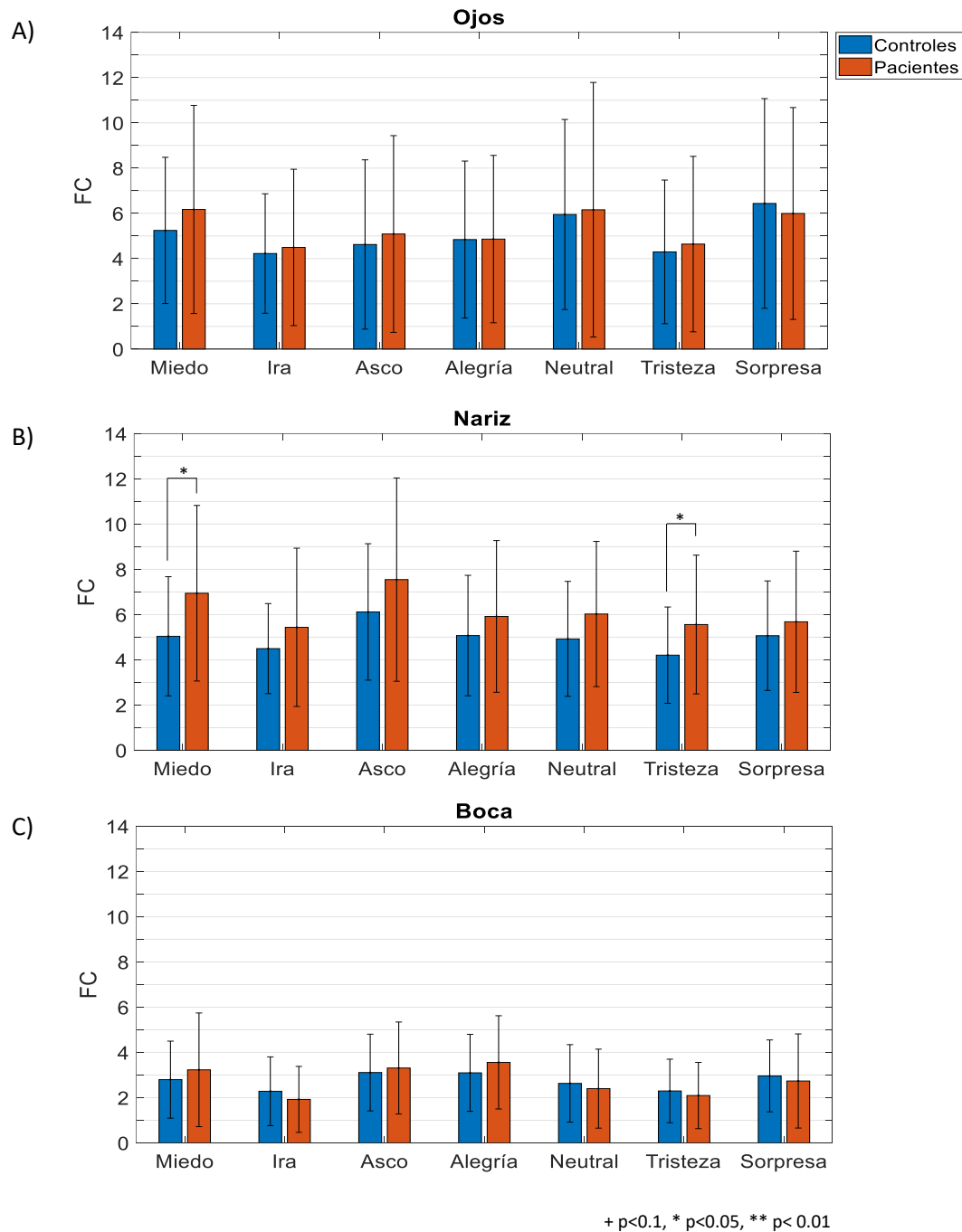
	OJOS		NARIZ		BOCA	
	Control	Pacientes	Control	Pacientes	Control	Pacientes
<b>MIEDO</b>	5.24±3.23	6.17±4.60	5.04±2.63	6.94±3.88	2.79±1.70	3.23±2.51
<b>IRA</b>	4.22±2.64	4.49±3.46	4.49±1.99	5.43±3.50	2.28±1.52	1.92±1.46
<b>ASCO</b>	4.62±3.74	5.09±4.35	6.12±3.02	7.54±4.50	3.11±1.70	3.31±2.03
<b>ALEGRIA</b>	4.84±3.47	4.86±3.70	5.07±2.66	5.92±3.35	3.10±1.70	3.56±2.06
<b>NEUTRAL</b>	5.95±4.20	6.16±5.63	4.92±2.54	6.02±3.21	2.63±1.71	2.40±1.75
<b>TRISTEZA</b>	4.29±3.18	4.64±3.88	4.21±2.13	5.56±3.07	2.29±1.41	2.09±1.47
<b>SORPRESA</b>	6.44±4.64	5.99±4.68	5.06±2.42	5.68±3.12	2.96±1.59	2.74±2.08

**Tabla 5.** Valores del número de fijaciones (FC) para las diferentes emociones en controles y pacientes en ojos, nariz y boca. Media ± Desviación estándar.

El número de fijaciones realizadas en la zona de los ojos se representa en la Figura 34-A. Se puede observar cómo, para todas las emociones, el grupo de pacientes realiza una mayor cantidad de fijaciones que el de controles. Además, el orden de mayor a menor FC en función de las emociones es muy similar en ambos grupos. En concreto, se realizan más fijaciones para sorpresa, neutral y miedo y menos fijaciones para alegría, asco, tristeza e ira.

En la zona de la nariz (Figura 34-B) la cantidad de fijaciones es también mayor para los pacientes en comparación con el grupo de control con independencia de la emoción presentada. Asimismo, las diferencias entre ambos grupos parecen ser más notorias que las mostradas en la

zona de los ojos. No obstante, en este caso se produce un cambio en aquellas emociones que presentan los valores más elevados (asco, alegría y sorpresa para controles y asco, miedo y neutral para pacientes) e intermedios (miedo y neutral para controles y alegría y sorpresa para pacientes). Para ambos grupos, ira y tristeza son las emociones donde menos veces se mira a la nariz.



**Figura 34.** Representación gráfica del número de fijaciones (FC) realizados en: A) la zona de los ojos, B) la zona de la nariz y C) la zona de la boca en función de las diferentes emociones empleadas. Las barras de error representan la desviación estándar.

Por último, en la zona de la boca (Figura 34-C), la emoción mostrada condiciona qué grupo presenta una mayor o menor cantidad de fijaciones. De hecho, para el caso de miedo, asco y

alegría los pacientes miran más veces a la boca que los controles mientras que para el resto de las emociones sucede lo contrario, siendo los controles los que presentan una mayor cantidad de fijaciones. En este caso, las emociones donde más (asco, alegría, sorpresa y miedo) y menos (neutral, tristeza e ira) fijaciones se realizan, coinciden en ambos grupos.

Finalmente, las comparaciones en la cantidad de fijaciones realizadas mediante pruebas *t-Student* indican diferencias significativas en las veces que miran a la nariz los controles y pacientes en miedo ( $p=0.019$ ) y tristeza ( $p=0.035$ ). El resto de  $p$ -valores se pueden consultar en el apartado 2.4 de Anexos.

### 3.2 ¿Es la capacidad de categorizar emociones desigual entre controles y pacientes?

Para poder abordar esta pregunta, tal y como ya se ha realizado en el apartado anterior, en primer lugar, se realiza el planteamiento más genérico, independiente a las emociones, para después realizar el estudio más específico.

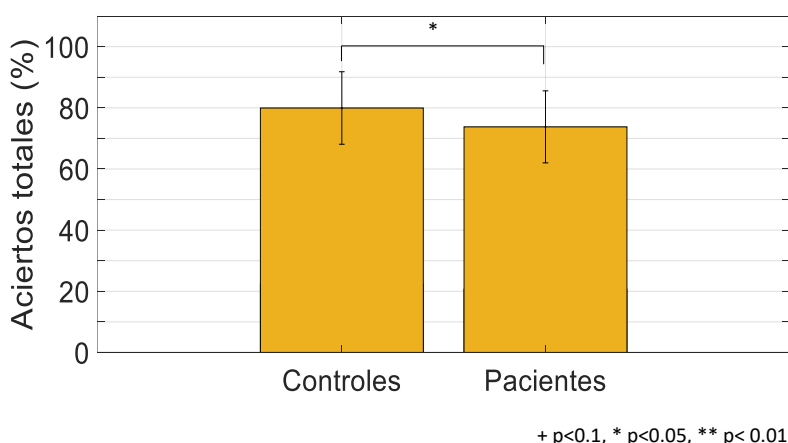
#### 3.2.1 Análisis genérico del número de aciertos en controles y pacientes

La categorización correcta de las emociones se mide a través del número de aciertos obtenidos durante la prueba completa. En este caso, además de este parámetro se extrae el porcentaje de aciertos totales. Los valores obtenidos para controles y pacientes se muestran en la Tabla 6.

	NÚM. ACIERTOS TOTALES	ACIERTOS TOTALES (%)
<b>Controles</b>	22.38±3.32	79.95±11.86
<b>Pacientes</b>	20.66±3.30	73.78±11.78

**Tabla 6.** Número y porcentaje de aciertos totales medios para controles y pacientes. Media ± Desviación estándar

La representación del porcentaje de aciertos totales se presenta en la Figura 35. Se observa como el grupo de control acierta un 6% más que los pacientes. Mediante la prueba *t-Student* se comprueba que la diferencia de aciertos entre ambos grupos es estadísticamente significativa ( $p=0.028$ ).



**Figura 35.** Representación gráfica del número total de aciertos medio (%) en controles y pacientes. Las barras de error representan la desviación estándar.



### 3.2.2 Análisis del número de aciertos en controles y pacientes en función del tipo de emoción

Los valores del número y porcentaje de aciertos en función de las emociones para controles y pacientes se muestran en la Tabla 7. La representación gráfica del porcentaje de aciertos se muestra en la Figura 36.

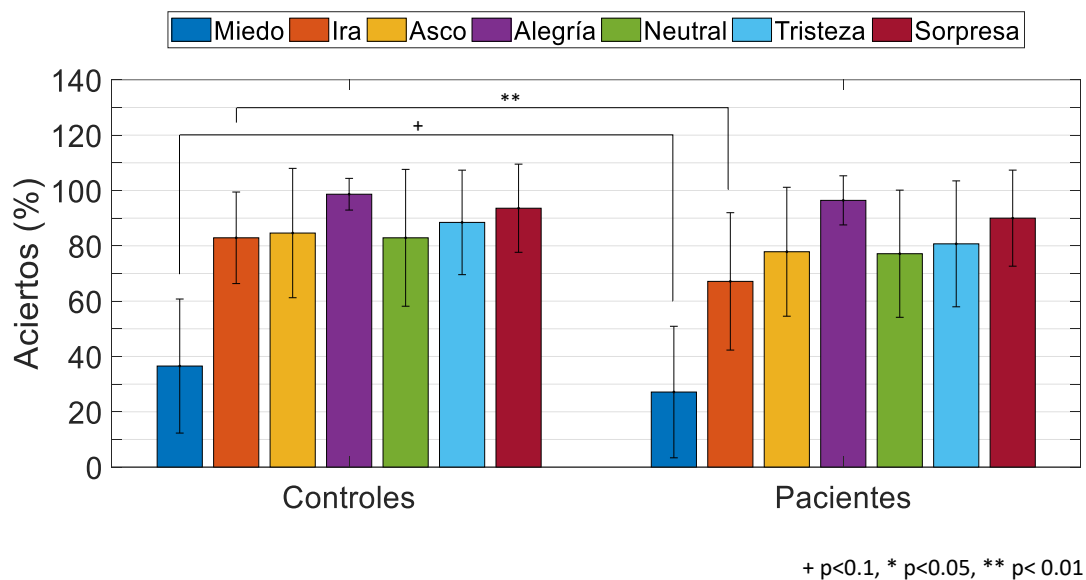
NÚMERO DE ACIERTOS							
	Miedo	Ira	Asco	Alegría	Neutral	Tristeza	Sorpresa
<b>Controles</b>	1.46±0.97	3.32±0.66	3.38±0.94	3.95±0.23	3.32±0.99	3.54±0.76	3.74±0.64
<b>Pacientes</b>	1.09±0.95	2.69±0.99	3.11±0.93	3.86±0.36	3.09±0.92	3.23±0.91	3.60±0.69

ACIERTOS (%)							
	Miedo	Ira	Asco	Alegría	Neutral	Tristeza	Sorpresa
<b>Controles</b>	36.54±24.23	82.89±16.55	84.62±23.38	98.65±5.73	82.89±24.73	88.46±18.89	93.59±15.93
<b>Pacientes</b>	27.14±23.77	67.14±24.83	77.86±23.30	96.43±8.88	77.14±22.99	80.71±22.76	90.00±17.36

**Tabla 7.** Número y porcentaje de aciertos en función de las emociones mostradas para controles y pacientes. Media ± Desviación estándar

A partir de los datos obtenidos, se puede observar cómo la cantidad de aciertos no es homogénea para todas las emociones. Alegría y sorpresa son más fáciles de identificar, seguidas por tristeza, asco y neutral (que presentan valores intermedios). Por último, ira y miedo son las emociones que presentan una mayor dificultad en su identificación.



**Figura 36.** Representación del porcentaje de aciertos en función de la emoción mostrada para controles y pacientes. Las barras de error representan la desviación estándar.

Por otro lado, comparando controles y pacientes, el grupo de control presenta una mayor cantidad de aciertos en todas las emociones. Las pruebas *t-Student* realizadas comparando por emociones a controles y pacientes, se observan diferencias significativas entre ambos grupos en

ira ( $p=0.002$ ). Asimismo, existe una tendencia a la significación en miedo ( $p=0.097$ ). El resto de p-valores se pueden consultar en el apartado 2.4 de Anexos.

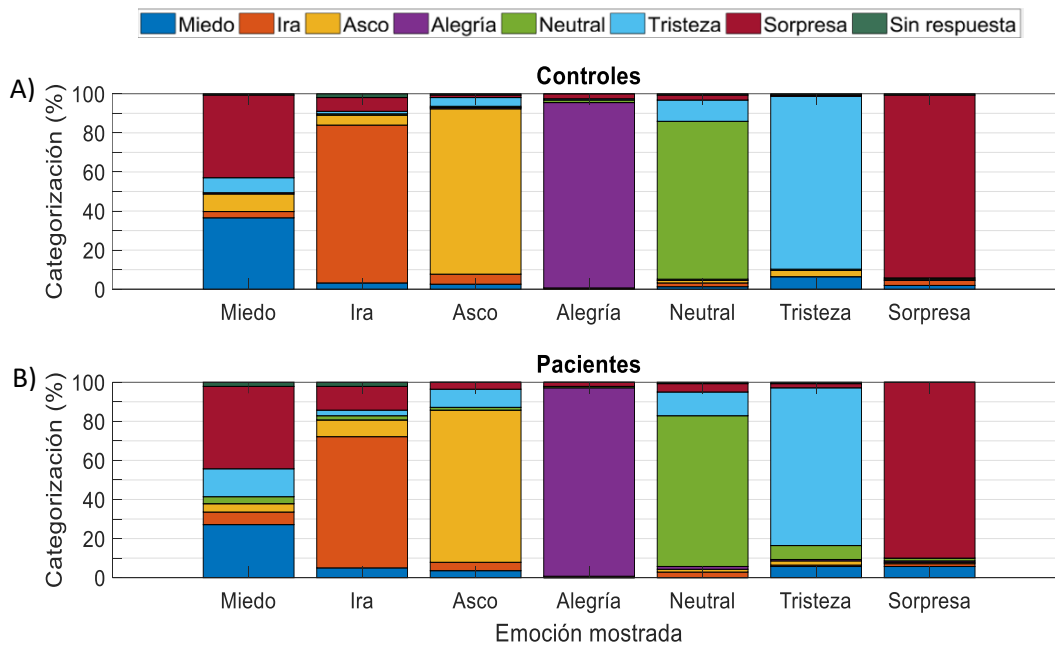
Además del número y porcentaje de aciertos por emoción también se considera útil conocer, en caso de que la categorización de la emoción dada por el sujeto sea errónea, con que otra emoción se confunde. Esta información se muestra en forma de tabla de confusión a continuación (Tabla 8).

Emoción mostrada	CATEGORIZACIÓN DE LA EMOCIÓN (%)							
	Miedo	Ira	Asco	Alegría	Neutral	Tristeza	Sorpresa	Sin respuesta
<i>Controles</i>								
Miedo	<b>36.54</b>	3.21	8.97	0.64	0.00	7.69	42.31	0.64
Ira	3.21	<b>80.77</b>	5.13	0.00	0.64	1.28	7.05	1.92
Asco	2.56	5.13	<b>84.62</b>	0.64	0.64	4.49	1.28	0.64
Alegría	0.00	0.64	0.00	<b>94.87</b>	1.28	0.64	2.56	0.00
Neutral	1.28	1.92	1.28	0.64	<b>80.77</b>	10.90	2.56	0.64
Tristeza	6.41	0.00	3.21	0.00	0.64	<b>88.46</b>	0.64	0.64
Sorpresa	1.92	2.56	0.00	0.64	0.64	0.00	<b>93.59</b>	0.64
<i>Pacientes</i>								
Miedo	<b>27.14</b>	6.43	4.29	0.00	3.57	14.29	42.14	2.14
Ira	5.00	<b>67.14</b>	8.57	0.00	2.14	2.86	12.14	2.14
Asco	3.57	4.29	<b>77.86</b>	0.00	1.43	9.29	3.57	0.00
Alegría	0.00	0.00	0.71	<b>96.43</b>	0.71	0.00	2.14	0.00
Neutral	0.00	2.86	1.43	1.43	<b>77.14</b>	12.14	4.29	0.71
Tristeza	5.71	0.71	2.14	0.71	7.14	<b>80.71</b>	2.14	0.71
Sorpresa	5.71	1.43	0.71	0.71	1.43	0.00	<b>90.00</b>	0.00

**Tabla 8.** Tablas de confusión de las respuestas proporcionadas por los sujetos vs las emociones mostradas. Los valores en negrita se corresponden al porcentaje de categorización correcta, el resto representa el porcentaje de categorización errónea.

Para poder analizar de manera más visual las tablas de confusión, estas se representan gráficamente en la Figura 37. En líneas generales, comparando los resultados de los controles y pacientes, se observa cómo los fallos de categorización de la emoción mostrada coinciden en ambos grupos. Aquellas emociones con las que se suelen confundir resultan ser prácticamente las mismas en ambos grupos. Es decir, el patrón de fallos para cada emoción coincide en ambas muestras. No obstante, pese a haber una coincidencia en con qué emociones se confunde cada una de las expresiones, el porcentaje de fallos es mayor para los pacientes.

Es importante destacar que, tal y como se muestra en la Figura 37-B, excepto para alegría, en mayor o menor grado el grupo de pacientes tiende a confundir las emociones con el estado neutral (sentimiento neutral). Este comportamiento no sucede para el caso de los controles donde la tendencia es a confundir algunas emociones con tristeza, asco e ira pero pocas veces sucede con neutral (Figura 37-A).



**Figura 37.** Representación gráfica de las tablas de confusión que relacionan la categorización de la emoción de los sujetos frente a la emoción mostrada.

En referencia al comportamiento en la categorización del miedo (emoción que presenta la mayor cantidad de fallos), los controles lo suelen confundir principalmente con sorpresa (42.31%), asco (8.97%) y tristeza (7.69%) respectivamente mientras que los pacientes lo categorizan erróneamente como sorpresa (42.14%), tristeza (14.29%) e ira (6.43%). Cabe destacar que, para ambos grupos, el porcentaje de categorización del miedo de forma incorrecta como sorpresa aproximadamente un 42%, es mayor que su propia adecuada detección aproximadamente un 31%.

### 3.3 ¿Existe disparidad entre la dilatación pupilar que experimentan controles y pacientes?

Tal y como ya se ha comentado en el apartado 2.2.3, el estudio de la dilatación pupilar se realiza mediante dos parámetros: variación media y variación máxima de la dilatación de la pupila. Primero se compara la respuesta de controles y pacientes de manera genérica y seguidamente en función de la emoción mostrada.

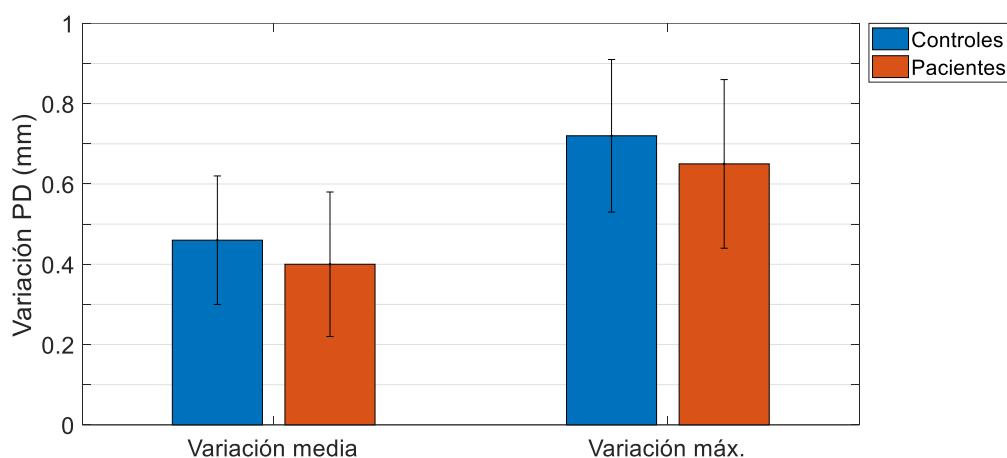
#### 3.3.1 Comparación genérica de la respuesta de la pupila en sanos y pacientes

Los resultados obtenidos en ambos grupos de manera genérica se muestran en la Tabla 9 y se representan en la Figura 38.

	Controles	Pacientes	Sig.
<b>VAR. MEDIA PD (mm)</b>	0.46±0.16	0.40±0.18	p=0.139
<b>VAR. MÁX. PD (mm)</b>	0.72±0.19	0.65±0.21	p=0.137

**Tabla 9.** Valores de variación media y máxima de dilatación pupilar para controles y pacientes. Sig. indica el grado de significación entre los valores de cada parámetro comparando controles y pacientes. Media ± Desviación estándar.

Para ambos parámetros, la variación media y máxima del diámetro de la pupila es respectivamente un 15% y un 11% mayor para el grupo de controles que para el de pacientes. Para saber si estas diferencias son estadísticamente significativas se realizan pruebas *t-Student*. Los p-valores obtenidos en ambos casos no son estadísticamente significativos.



**Figura 38.** Representación gráfica de la variación media y máxima del diámetro de la pupila para controles y pacientes. Las barras de error representan la desviación estándar.

### 3.3.2 Comparación de la respuesta de la pupila en sanos y pacientes en función del tipo de emoción

En este caso, se desglosa la información de ambos parámetros en función de las emociones empleadas en el estudio. Los datos se muestran en la Tabla 10.

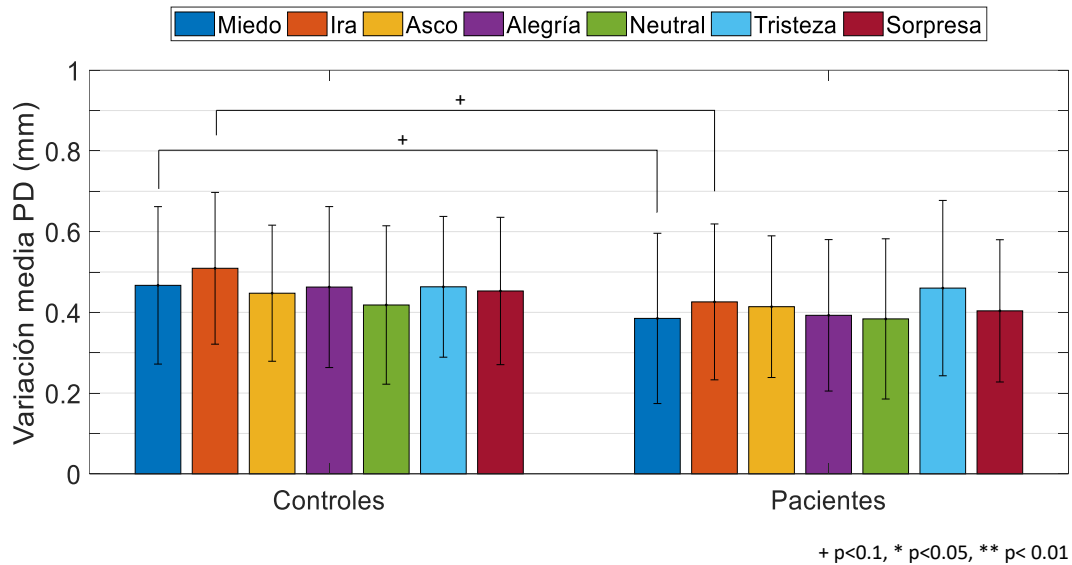
VARIACIÓN MEDIA PD (mm)							
	Miedo	Ira	Asco	Alegría	Neutral	Tristeza	Sorpresa
<b>Controles</b>	0.47±0.20	0.51±0.19	0.45±0.17	0.46±0.20	0.42±0.20	0.46±0.17	0.45±0.18
<b>Pacientes</b>	0.39±0.21	0.43±0.19	0.41±0.18	0.39±0.19	0.38±0.20	0.46±0.22	0.40±0.18

VARIACIÓN MÁXIMA PD (mm)							
<b>Controles</b>	0.71±0.23	0.77±0.25	0.71±0.23	0.73±0.23	0.69±0.25	0.72±0.18	0.71±0.20
<b>Pacientes</b>	0.66±0.25	0.70±0.24	0.66±0.21	0.64±0.24	0.64±0.24	0.71±0.23	0.65±0.21

**Tabla 10.** Valores de variación media y máxima del diámetro pupilar para controles y pacientes en función de la emoción mostrada. Media ± Desviación estándar.

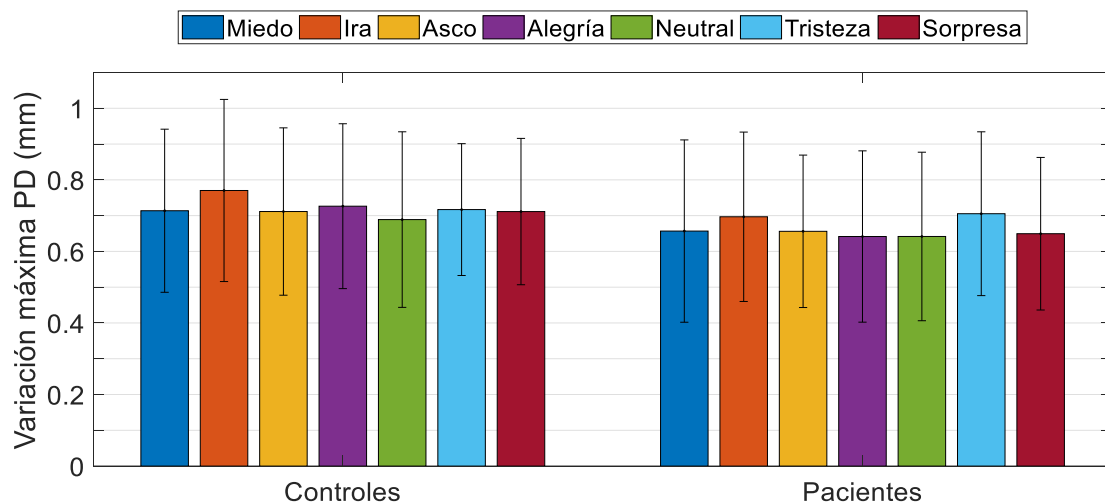
Tal y como se puede ver en la Figura 39, comparando los resultados obtenidos en ambos grupos en función de la emoción, la variación media del tamaño de la pupila es menor en la muestra de pacientes para todas las emociones excepto en tristeza. Las mayores diferencias se dan en miedo, ira y alegría. En estos casos, los pacientes experimentan aproximadamente un 17%, 16% y 15% menos de variación en el tamaño de sus pupilas. Por el contrario, en tristeza y asco es donde menos diferencias entre ambos grupos hay 0% y 8% respectivamente.



**Figura 39.** Representación gráfica de la variación media del diámetro de la pupila para controles y pacientes en función de la emoción mostrada. Las barras de error representan la desviación estándar.

Comparando las variaciones medias en ambos grupos mediante pruebas *t-Student* se observa una tendencia a la significación en miedo e ira. El resto de p-valores obtenidos se pueden consultar en el apartado 2.4 de Anexos.

En referencia a la variación máxima del diámetro de la pupila (Figura 40), se observa como sucede lo mismo que con el parámetro anterior. Comparando los resultados de ambos grupos por emoción, es el grupo de control el que presenta valores más elevados siempre. Así, la mayor diferencia entre ambos grupos se da en la emoción de alegría donde los pacientes presentan una variación un 12% menor. En tristeza es donde menos diferencias entre grupos se observan (1%). Para el resto de las emociones las diferencias son similares (7-9%).



**Figura 40.** Representación gráfica de la variación máxima del diámetro de la pupila para controles y pacientes en función de la emoción mostrada. Las barras de error representan la desviación estándar

Sin embargo, en este caso, las pruebas *t-Student* no muestran que las diferencias antes comentadas sean estadísticamente significativas. Los p-valores obtenidos se pueden consultar en el apartado 2.4 de Anexos.

## 4. DISCUSIÓN

El objetivo principal de este estudio es comparar la habilidad para categorizar expresiones faciales de sujetos sanos y con un ictus, los cuales podrían presentar mayores dificultades según la literatura existente. Además, se pretende determinar una posible causa de esta mayor dificultad. Así, se plantean dos posibles motivos: los procesos de adquisición de la información procedente del exterior están alterados por lo que la información obtenida no es la adecuada para llevar a cabo una correcta categorización o, por el contrario, la información obtenida es la correcta pero el procesamiento cerebral encargado de interpretarla se encuentra alterado debido a la lesión. Para poder conocer cuál de estas dos hipótesis se aproxima más a la realidad, se comparan los patrones de comportamiento visual, el grado de categorización y la actividad pupilar de controles y pacientes. Cada uno de estos tres enfoques se analizan desde la idea más genérica a la más específica. Así, de la misma manera, en este apartado se discuten los resultados obtenidos en cada uno de los análisis realizados.

### 4.1 Comportamiento visual

En primer lugar, la verificación de las AOs durante el escaneo facial se considera importante antes de realizar estudios más específicos. Los análisis comparativos entre la zona que engloba los ojos, la nariz y la boca frente a la que incluye el resto de la imagen muestran diferencias estadísticamente significativas para todos los parámetros estudiados (tanto en controles como en pacientes). Así, tal y como se puede extraer de la Tabla 2, para ambos grupos, aproximadamente el 70% del tiempo total invertido en extraer información de la cara y el 60% de las fijaciones que se realizan se destinan a la zona que incluye ojos, nariz y boca. Además, el tiempo medio de cada fijación fue un 20% superior en esta zona para ambos grupos en comparación con la zona definida como otras zonas. La predominancia de la zona que incluye ojos, nariz y boca frente al resto de la cara coincide con los estudios realizados en controles de Guo, 2012 y Schurgin et al., 2015 y colaboradores. Sin embargo, los porcentajes obtenidos en estos artículos son superiores. En el estudio de Schurgin et al., 2015 y colaboradores el FC es del 88.03%. Este mayor porcentaje puede ser debido a la mayor muestra empleada en dicho estudio (51 sujetos frente a 39) o a la diferencia entre estímulos (bases de datos distintas). En el estudio de Guo, 2012 y colaboradores el porcentaje para TFD y FC es del 98%. Las diferencias en este caso pueden ser debidas a que en dicho artículo las imágenes empleadas únicamente engloban la cara (se excluye el fondo de la imagen, la zona del cuello y el pelo) por lo que se reduce la cantidad de zonas donde el sujeto puede mirar en comparación con las imágenes empleadas para este proyecto donde no se excluye ninguna zona.

Una vez se verifica cuáles son las áreas de interés al analizar un rostro humano, se realizan diferentes estudios comparativos entre controles y pacientes con la finalidad de estudiar los patrones de comportamiento de cada uno y analizar su grado de semejanza.

El primero, se realiza para las dos zonas ya definidas: zona de ojos, nariz y boca y otras zonas. Se aprecia cómo, en comparación con los controles, los pacientes fijan su atención más veces en las diferentes zonas, pero, por el contrario, el tiempo que invierten en ellas es ligeramente menor. Es decir, podría entenderse que realizan una visión más holística de la cara. Sin embargo, ninguna de estas diferencias resulta estadísticamente significativa. Únicamente se aprecia una tendencia a la significación ( $p < 0.1$ ) en la duración media de las fijaciones dirigidas a otras zonas y en la cantidad de fijaciones en la zona de ojos, nariz y boca. No se ha encontrado estudios que realicen este tipo de comparación, por lo que la comparación de los resultados no ha sido posible.

El segundo, desglosa la zona de ojos, nariz y boca en tres zonas independientes. En este caso, se observa cómo el patrón seguido por controles y pacientes no es el mismo. Al igual que se documenta en los estudios de Guo, 2012 y Guo & Shaw, 2015 y colaboradores, los controles tienden a mirar durante más tiempo a los ojos, nariz y boca, respectivamente. No obstante, este orden no se cumple para el caso de los pacientes donde se invierte más tiempo en la nariz que en los ojos y la boca. Además, los pacientes presentaron más fijaciones tanto en los ojos como en la nariz. Estos cambios podrían condicionar tanto el tipo como la cantidad de información que recibe cada grupo. Sin embargo, únicamente se encuentran diferencias estadísticamente significativas para el tiempo medio que duran las fijaciones dirigidas a los ojos (los pacientes miran durante menos tiempo). Además, existe cierta tendencia a la significación en la nariz para FC. Para el caso concreto de sujetos con ictus no se ha encontrado estudios que analicen este tipo de comportamiento, por lo que la comparación de los resultados obtenidos tampoco ha sido posible.

El tercero, desglosa los resultados de las diferentes zonas faciales en función de la emoción presentada. Respecto a TFD, ninguna de las comparaciones entre controles y pacientes muestra diferencias estadísticamente significativas. Sin embargo, sí se puede apreciar diferencias entre los valores obtenidos. De las tres zonas, los ojos son los que más diferencias entre controles y pacientes presentan. El tiempo que emplean los controles en esta zona es superior al que emplean los pacientes, para todas las emociones. En la zona de la nariz sucede lo contrario, siendo superior el tiempo que invierten los pacientes en esta zona que los controles con independencia de la emoción. La única excepción se muestra en asco, donde ambos grupos indican los mismo valores. En la zona de la boca, los resultados son muy parecidos para ambos grupos excepto en ira, donde la diferencia es un tanto mayor. Respecto a FC también se pueden apreciar diferencias entre controles y pacientes. La zona de la nariz es la que más diferencias presenta entre ambos grupos para todas las emociones siendo la cantidad de fijaciones mayor para los pacientes. Para esta zona, se obtienen diferencias estadísticamente significativas en miedo y tristeza. La zona de los ojos también presenta más fijaciones para todas las emociones en pacientes. Sin embargo, las diferencias son menos notorias que en el caso de la nariz. En la boca, los pacientes presentan más fijaciones que los controles en miedo, asco y alegría, para el resto de las emociones los controles presentan valores mayores. Para ambos parámetros (TFD y FC), los patrones seguidos por el grupo de control en función de la zona difieren de los estudios de Eisenbarth & Alpers, 2011; Green & Guo, 2018; Guo, 2012 y Schurgin et al., 2015 y colaboradores, sin embargo, tampoco parece haber un consenso entre los artículos. Únicamente en comparación con el estudio de Guo & Shaw, 2015, los patrones seguidos por los controles en la zona de la boca y la nariz para FC son prácticamente los mismos. No obstante, si se comparan los patrones seguidos para cada zona entre controles y pacientes se observa como estos son bastante similares. No se ha encontrado artículos que comparen estos valores entre sanos y sujetos con ictus.

## 4.2 Diferencias en la categorización de emociones

En referencia a la categorización de emociones a nivel general, los pacientes presentaron un 6% menos de aciertos que los controles. Este resultado, estadísticamente significativo, indica la presencia de mayores dificultades por parte de los pacientes a la hora de categorizar correctamente las emociones. Esto coincide con lo descrito en los estudios de Genova et al., 2017; Milders et al., 2003; Rigon et al., 2018 y colaboradores, donde las diferencias también son estadísticamente significativas y los pacientes presentan un 8%, 13% y 11% menos de aciertos que los controles, respectivamente. La menor diferencia entre ambos grupos obtenida en el

presente estudio en comparación con los artículos consultados puede deberse a la etiología del daño cerebral (en anteriores estudios los sujetos incluidos presentaron traumatismo cerebral en vez de ictus) o a la diferencia de estímulos empleados para cada estudio (ninguno empleó imágenes de la base de datos empleada en este estudio) puesto que la dificultad en la categorización puede ser diferente.

Así mismo, la correcta categorización de las emociones, analizadas de forma independiente, mostró resultados siempre inferiores en pacientes que en controles. Sin embargo, estas diferencias únicamente fueron significativas para el caso de la ira, donde el grupo de pacientes presentó aproximadamente un 16% menos de aciertos que el grupo de control (67.14% y 82.89% respectivamente, tal y como se indica en la Tabla 7). Además, en miedo y tristeza se aprecia cierta tendencia a la significación. Unos resultados similares se aprecian en los estudios de Genova et al., 2017; Rapcsak et al., 2000 y Rosenberg et al., 2014 y colaboradores, donde las diferencias significativas entre grupos se dan para estas tres emociones. Por otro lado, también se analizan aquellas emociones que resultan más y menos sencillas de detectar para cada grupo. Se observa que coinciden para ambos grupos siendo alegría y sorpresa las que más aciertos acumulan y miedo e ira las que menos. Respecto a las emociones más difíciles de detectar estas coinciden con los estudios de Rapcsak et al., 2000 y Rigon et al., 2018 y colaboradores donde comparan controles y sujetos con daño cerebral y estudios como los de Guo et al., 2018; Palermo & Coltheart, 2004 y Schurgin et al., 2015 y colaboradores donde únicamente emplearon controles. Sin embargo, las emociones más sencillas en los estudios de Green & Guo, 2018; Palermo & Coltheart, 2004 y Schurgin et al., 2015, sustituyen sorpresa como una de las emociones mejor categorizadas por otra emoción pese a mantener siempre alegría en los primeros puestos.

En relación con el patrón de fallos que sigue cada emoción, se observa cómo este coincide para controles y pacientes. No obstante, los fallos en los pacientes siempre son superiores. Además, se observa que, excepto en alegría, los pacientes tienen tendencia a confundir, en menor o mayor medida, las emociones con estados neutrales. Esto no sucede en el caso de los controles y se aprecia sobre todo en tristeza. La confusión de estados emocionales con estados que no lo son podría tener implicaciones relevantes a la hora de empatizar o relacionarse con terceras personas. Sin embargo, no se han encontrado estudios que realicen comparaciones entre los fallos de categorización de ambos grupos. Por otro lado, se observa que el miedo es la emoción que la que más tiende a confundirse con otras emociones. Esto sucede tanto para controles como para pacientes, sin embargo, las emociones y el grado de confusión difieren. En el caso de los controles, el miedo se suele confundir de forma decreciente con sorpresa, asco y tristeza mientras que en pacientes sucede con sorpresa, tristeza e ira. Los patrones de fallos en la categorización obtenidos coinciden prácticamente con los mostrados en el estudio de Palermo & Coltheart, 2004. Además, la confusión de miedo por sorpresa coincide con lo mostrado en el artículo de Rapcsak et al., 2000 y colaboradores, siendo este un estudio realizado en controles y sujetos con daño cerebral. Debido a todo esto, para pacientes, tanto la confusión de miedo con ira como la tendencia a la confusión de emociones con estados neutrales podría condicionar negativamente sus relaciones sociales. Esto último podría responder a la dificultad de algunos pacientes en identificar ciertas emociones puesto que no serían capaces de detectarlas. Por tanto, el comportamiento erróneo de algunos pacientes a la hora de realizar y/o responder a ciertas tareas puede estar influenciado por este hecho.



### 4.3 Actividad pupilar

El cambio en la dilatación pupilar ha sido asociado según los estudios de Bradley & Lang, 2015 y Sirois & Brisson, 2014, entre otros procesos cognitivos, con la detección de emociones y esta, a su vez ha sido relacionada con la actuación del ANS según el estudio de Bradley et al., 2008 y colaboradores. Cabe mencionar que, tras un ictus, es común la aparición de desórdenes en el ANS como, por ejemplo, alteraciones en la termorregulación corporal o en el ratio de variabilidad cardíaca tal y como se menciona en los estudios de Al-Qudah, Yacoub, & Souayah, 2015 y Korpelainen, Sotaniemi, & Myllylä, 1999. Sin embargo, no se ha encontrado artículos que indiquen alteraciones en la actividad pupilar tras un ictus.

En este trabajo, los resultados obtenidos en la comparación genérica de los parámetros de PD muestran resultados de tamaño pupilar siempre inferiores en los pacientes tanto para la variación media como la máxima. Estas diferencias no presentaron significación estadística. No se encontró artículos que comparasen dichos parámetros entre controles y sujetos con daño cerebral adquirido.

En relación a la bibliografía consultada para sujetos de control o con desórdenes neurológicos, pese a la existencia artículos que comparan diferentes tipos de emociones, como el estudio de Burley et al., 2017 y colaboradores, la mayoría están enfocados a relaciones más genéricas, como los estudios de Bradley et al., 2008 y Partala & Surakka, 2003, mostrando diferencias entre el tamaño pupilar durante la visualización de emociones positivas o negativas frente a las de tipo neutral. Según Burley et al., 2017 y colaboradores, se observan cambios en el diámetro pupilar durante la visualización de imágenes de miedo, asco e ira en comparación con estímulos neutrales mientras que no obtuvieron diferencias para el caso de alegría. Los resultados obtenidos en este trabajo, en referencia al grupo de control, mostraron rangos de variación media en las diferentes emociones similares a los obtenidos en el estudio de Burley et al., 2017 y colaboradores pero, no obstante, son superiores a los presentados en los estudios de Bradley et al., 2008 y Gotham et al., 2018 y colaboradores. En relación con estos dos últimos artículos, la comparación es difícil puesto que pese a emplear imágenes o expresiones faciales, ni las imágenes empleadas ni las tareas realizadas no son las mismas que en este estudio (en ambos estudios la tarea únicamente consistió en la visualización pasiva de las imágenes, sin categorización).

Por otro lado, el estudio comparativo entre controles y pacientes en función de las emociones muestra la misma tendencia. Para ambos parámetros de PD los resultados indican, para todas las emociones, una mayor respuesta pupilar en controles que en pacientes. Las diferencias entre ambos grupos no son significativas para ninguno de los parámetros. Sin embargo, se aprecia una tendencia a la significación en la variación media en miedo e ira. No se han encontrado estudios que comparen variables relacionadas con PD en controles y sujetos con daño cerebral adquirido. La diferencia encontrada en la respuesta pupilar entre ambos grupos, pese a no ser significativa, parece indicar un comportamiento pupilar diferente en pacientes que han sufrido un ictus en comparación con personas sanas. Este parámetro, pese a no ser concluyente en el presente trabajo, sienta las bases para futuros estudios pudiendo ser un factor diferenciador entre ambas poblaciones.

### 4.4 Discusión general

Desde una perspectiva más genérica, en primer lugar, se verifica la hipótesis general planteada: los pacientes presentaron más dificultades a la hora de categorizar emociones que el grupo de control a nivel global y, más concretamente, en la categorización de la ira. Además, también

presentaron cierta tendencia a la significación en miedo y tristeza. Para el resto de las emociones, aunque no de manera significativa, la cantidad de aciertos también fue inferior que para controles. Adicionalmente, en los pacientes se mostró cierto grado de confusión de miedo con ira y de la mayoría de las emociones con un estado neutral, hecho que no sucedió en el caso de controles. A nivel comportamental, se hipotetiza que, al presentar mayores dificultades en distinguir estados emocionales de terceras personas, podrían desarrollar inseguridades que desembocasen en cambios en la personalidad, mayor irritabilidad o agresividad (secuelas comunes presentes en personas con ABI, según la Federación Española de Daño Cerebral).

En segundo lugar, el conocimiento del motivo por el cual esta categorización es diferente engloba varios temas: respecto al comportamiento visual se ha observado cómo, a todos los niveles de análisis, los pacientes miran durante menos tiempo a los ojos, pero realizan más fijaciones en esta zona y, además, miran durante más tiempo y más veces a la nariz que el grupo de control. Además, la cantidad de fijaciones realizadas por los pacientes (exceptuando en la zona de la boca) cuando se compara por emociones, siempre es mayor que la realizada por los controles presentando diferencias significativas en miedo y tristeza para la zona de la nariz. Estas diferencias en los patrones, a pesar de, en su mayoría, no presentar diferencias estadísticamente significativas, podrían implicar un cambio en la información que los pacientes perciben del exterior respecto a la que perciben los sujetos sanos puesto que la atención no se centra en las mismas zonas. Además, la mayor cantidad de fijaciones a nivel general por parte de los pacientes hace pensar que tienden a realizar una visión más genérica de la cara en vez de centrarse en extraer información de ciertas regiones concretas como sucede en el caso de los controles. La diferencias en la zona de la boca entre ambos grupos es más difusa. Respecto a la actividad pupilar, también se observa cómo, a pesar de no presentar diferencias significativas, el comportamiento es diferente entre ambos grupos. El grupo de control presenta siempre un mayor cambio pupilar que el que se da en pacientes. Esto se aprecia sobre todo en la variación media donde se obtuvo una tendencia a la significación en miedo e ira. Tal y como se sugiere en el estudio de Sirois & Brisson, 2014, cambios en la pupila podrían emplearse como distintivo en la detección de emociones, sin embargo, la inexistencia de artículos relacionados directamente con el caso particular de personas con daño cerebral o ictus hace difícil poder extraer conclusiones certeras al respecto.

De esta manera, la apreciación general de diferencias, a pesar de no ser de forma significativa, tanto en el comportamiento visual como en el tamaño pupilar abre paso a hipotetizar que un posible factor contribuyente a la mayor dificultad para categorizar que presentan los sujetos con ictus podría ser consecuencia de no adquirir del exterior la información adecuada. Además, también es necesario remarcar que, la mayoría de las diferencias significativas y las tendencias a la significación encontradas a lo largo de este estudio estuvieron relacionadas con las emociones de ira, miedo o tristeza. Esta coincidencia hace pensar que, por lo menos para estas emociones, sí podría existir una relación entre capacidad de categorización, comportamiento visual y variación en la actividad pupilar. Sin embargo, son necesarios más estudios, con muestras mayores, en profundidad y desde diferentes enfoques sobre el tema antes de poder extraer conclusiones más determinantes. Por ejemplo, posibles líneas futuras serían la realización de análisis en función de la localización de la lesión o en función de la valencia positiva o negativa de las emociones empleadas, emplear como estímulos emociones con diferentes intensidades de expresión o incluso emplear técnicas de electroencefalografía durante la realización de las pruebas para estudiar la actividad cerebral además del comportamiento visual.

Este estudio, a pesar de no evidenciar conclusiones definitivas, explora hipótesis no planteadas anteriormente y apunta algunas tendencias a corroborar en futuros estudios. El

análisis de la capacidad de categorización de emociones en pacientes con daño cerebral es un campo que presenta cierta actividad científica. Sin embargo, no se han encontrado artículos que, a partir de técnicas de *eye-tracking*, exploren los motivos por los cuales la categorización entre sujetos con daño cerebral y sujetos sanos es diferente. La mayor investigación de estas causas podría ayudar a conocer mejor los motivos de los cambios de comportamiento y personalidad detectados en personas con ictus y, con esto, plantear nuevos métodos de rehabilitación emocional con el objetivo último de reducir el impacto social y el efecto negativo en las relaciones interpersonales generadas tras la lesión.

#### 4.5 Limitaciones del estudio

Varias limitaciones se han identificadas en el presente estudio. En primer lugar, la diferencia de edad y de distribución de sexos entre el grupo de control y de sujetos con ictus podría afectar en la percepción de cada grupo manera significativa, si bien no se ha encontrado evidencia de esto en la literatura. En segundo lugar, los participantes con ictus presentaron una gran diversidad en la cronicidad. Esto podría tener efectos en la capacidad de categorización o de reconocimiento facial, la cual no se estudió en el presente estudio, considerando a todos los sujetos como grupo. Por ejemplo, las personas con mayor cronicidad podrían haber adquirido más habilidades a la hora de reconocer emociones que aquellas donde la lesión es más reciente. En tercer lugar, aunque el tamaño de la muestra es representativo y similar a estudios análogos, podría haber limitado los efectos estadísticos detectados en las comparaciones. Finalmente, el estado emocional de los sujetos a la hora de realizar la prueba también podría haber influido en sus resultados.

### 5. CONCLUSIONES

Pese a las limitaciones descritas, el presente estudio permite extraer las siguientes conclusiones, en respuesta a las hipótesis planteadas.

#### Respecto a las hipótesis generales:

- Se cumple la hipótesis de que los pacientes presentan mayores dificultades que los controles a la hora de categorizar correctamente las emociones.
- Se encontró evidencia parcial de que una adquisición de información alterada podría contribuir negativamente en la detección de emociones faciales.

#### Respecto a las hipótesis específicas:

- Se cumple la hipótesis de que las zonas de principal interés durante el escaneo facial son los ojos, la nariz y la boca respecto a otras zonas. No se aprecian diferencias estadísticamente significativas entre controles y pacientes, pero sí tendencias a la significación.
- Se cumple la hipótesis de que existen diferencias entre controles y sujetos con ictus cuando se analiza el comportamiento visual en las zonas de los ojos, la nariz y la boca de forma independiente. La duración media de las fijaciones en los ojos presenta diferencias significativas y en el número de fijaciones en la nariz se aprecia cierta tendencia a la significación. En el resto las diferencias no resultaron significativas.

- Se cumple la hipótesis de la existencia de diferencias entre controles y pacientes cuando se analiza el comportamiento visual en función de la áreas de interés y de la emoción. De hecho, el número de fijaciones dirigidas a la nariz en miedo y tristeza son significativamente diferentes. En el resto de las comparaciones no lo son.
- Se cumple la hipótesis de que existen diferencias entre el grado de categorización correcta de emociones entre ambos grupos y en función de las emociones. La comparación genérica y la realizada para ira entre ambos grupos son significativas. Hay una tendencia a la significación en miedo. El resto de las diferencias no son significativas.
- Se cumple la hipótesis de que existen diferencias entre la actividad pupilar que experimentan controles y pacientes de manera genérica y en función de las emociones. Hay una tendencia a la significación en la variación media en miedo e ira. El resto de las diferencias no son significativas.

# **PRESUPUESTOS**



## 1. INTRODUCCIÓN

El control financiero es importante a la hora de desarrollar un proyecto. Los recursos necesarios para la realización del TFM se presupuestan a continuación. Estos se desglosan, en primer lugar, en función de su naturaleza. Puesto que se trata de un estudio clínico los recursos empleados para su realización son muy variados incluyendo *software* y *hardware*, a nivel material, así como, a nivel salarial, la mano de obra de las personas implicadas en la realización del proyecto. Finalmente, se presenta el presupuesto total.

## 2. PRESUPUESTOS PARCIALES

### 2.1 Mano de obra

El coste del proyecto procedente de la mano de obra vino dado por el salario de tres tutores y la autora del TFM:

- Tutora: Valeriana Naranjo Ornedo, catedrática de la Universitat Politècnica de València y Doctora en Telecomunicaciones.
- Cotutor: Roberto Llorens Rodríguez, investigador de la Universitat Politècnica de València y Doctor en Telecomunicaciones.
- Cotutor: Jorge Latorre Grau, investigador de la Universitat Politècnica de València.
- Estudiante: Anny Michelle Maza Pino, estudiante del Máster en Ingeniería Biomédica.

Los honorarios y las horas invertidas se muestran en la Tabla 11.

Concepto	Unidades – Uds.	Cantidad (Uds.)	Coste unitario (€/Uds.)	Coste (€)
Tutora	horas	30	29.50	885
Cotutor	horas	30	23.35	700.5
Cotutor	horas	30	17.20	516
Estudiante	horas	500	12.50	6250

Tabla 11. Presupuesto parcial de la mano de obra.

### 2.2 Software

A nivel de *software* se emplean varios programas a lo largo del proyecto. Para su utilización como estímulos del estudio, se emplean imágenes pertenecientes a la base de datos *Karolinska Directed Emotional Faces* de acceso gratuito. Durante la adquisición y almacenamiento de los datos se emplea el programa Tobii Studio 3.2.1 (precio de licencia profesional en (Tobii Technology, 2012)). El tratamiento y preprocesado de la información se realiza a través del *software* Matlab en versión R2018a cuyo precio de la licencia anual se obtiene de “Pricing and Licensing MATLAB,” n.d. Para el análisis estadístico se utiliza el programa SPSS (precio de la licencia extraído de “IBM SPSS Statistics España,” n.d.). Finalmente, para la redacción del TFM y el almacenamiento de los datos se emplea Microsoft Office 365 (precio de la licencia extraído de “Comparación de todos los productos de Microsoft Office | Microsoft Office,” n.d.).

El presupuesto parcial del *software* se muestra en la Tabla 12.

Concepto	Unidades – Uds.	Cantidad (Uds.)	Coste unitario (€/Uds.)	Coste (€)
Matlab R2018a	años	1	800	800
Base de datos	-	1	0	0
Tobii Studio 3.2.1	-	1	7658.23	7658.23
SPSS	meses	4	95.53	382.12
Microsoft Office 365	meses	4	7	28

**Tabla 12.** Presupuesto parcial del *software* empleado.

### 2.3 Hardware

Los recursos materiales tangibles empleados fueron un ordenador personal donde se lleva a cabo la mayoría del TFM, el *eye-tracker* Tobii TX300 y un ordenador de sobremesa (y sus periféricos) desde el que se tiene el control del *eye-tracker*. El ordenador personal empleado es un Dell XPS13 cuyo precio es de 1508,99€ (“Dell España,” n.d.), estimando 5 años (60 meses) como tiempo de uso (periodo de amortiguación) se calcula que el coste mensual será de 25.15€. Por otro lado el precio del *eye-tracker* es de 39495,80€ (Tobii Technology, 2012), se estima que su tiempo de uso es de 10 años (120 meses) por lo que el coste mensual es de 329.13€. El cálculo del coste del ordenador de sobremesa (639€, “Ordenador sobremesa Intel core i7,” n.d.), el monitor (100€, “Monitor HP de 22”, n.d.) y sus periféricos (17€, “Trust Classicline - Pack de Teclado y Ratón,” n.d.) se realiza de la misma manera. Estimando 5 años de uso, el coste mensual será de 10.65€, 1.67€ y 0.28€ respectivamente.

El presupuesto parcial del hardware se muestra en la Tabla 13.

Concepto	Unidades – Uds.	Cantidad (Uds.)	Coste unitario (€/Uds.)	Coste (€)
Ordenador personal	meses	4	25.15	100.6
<i>Eye-tracker</i> Tobii TX300	meses	4	329.13	1316.53
Ordenador de sobremesa	meses	4	10.65	42.6
Monitor	meses	4	1.67	6.68
Periféricos	meses	4	0.28	1.12

**Tabla 13.** Presupuesto parcial del hardware empleado.



### 3. PRESUPUESTO TOTAL

A partir de la suma del coste de los presupuestos parciales se obtiene el presupuesto total necesario para llevar a cabo este proyecto. A este valor se le añade también el impuesto sobre el valor añadido del 21%. En la Tabla 14 se muestra el presupuesto total del TFM.

<b>Concepto</b>	<b>Coste (€)</b>
Mano de obra	8351.5
<i>Software</i>	8868.35
<i>Hardware</i>	1467.53
	18687.38
IVA (21%)	3924.35
Presupuesto total	22611.73

**Tabla 14.** Presupuesto total del TFM.

Por tanto, el presupuesto final del proyecto fue de veintidós mil seiscientos once coma setenta y tres euros.



# ANEXOS



# 1. ESTRUCTURA Y ORGANIZACIÓN DE DATOS

Los datos obtenidos del comportamiento visual y la categorización de emociones únicamente necesitan ser reorganizados para obtener los parámetros de interés. Estos procedimientos se muestran a continuación. Sin embargo, la definición de las AOIs, el preprocesado de la actividad pupilar y la creación de la matriz general de datos sí presenta mayor interés por lo que se explican más en profundidad en los apartados 2.2.2.1, 2.3.3.1 y 2.3.3.2 de la memoria, respectivamente.

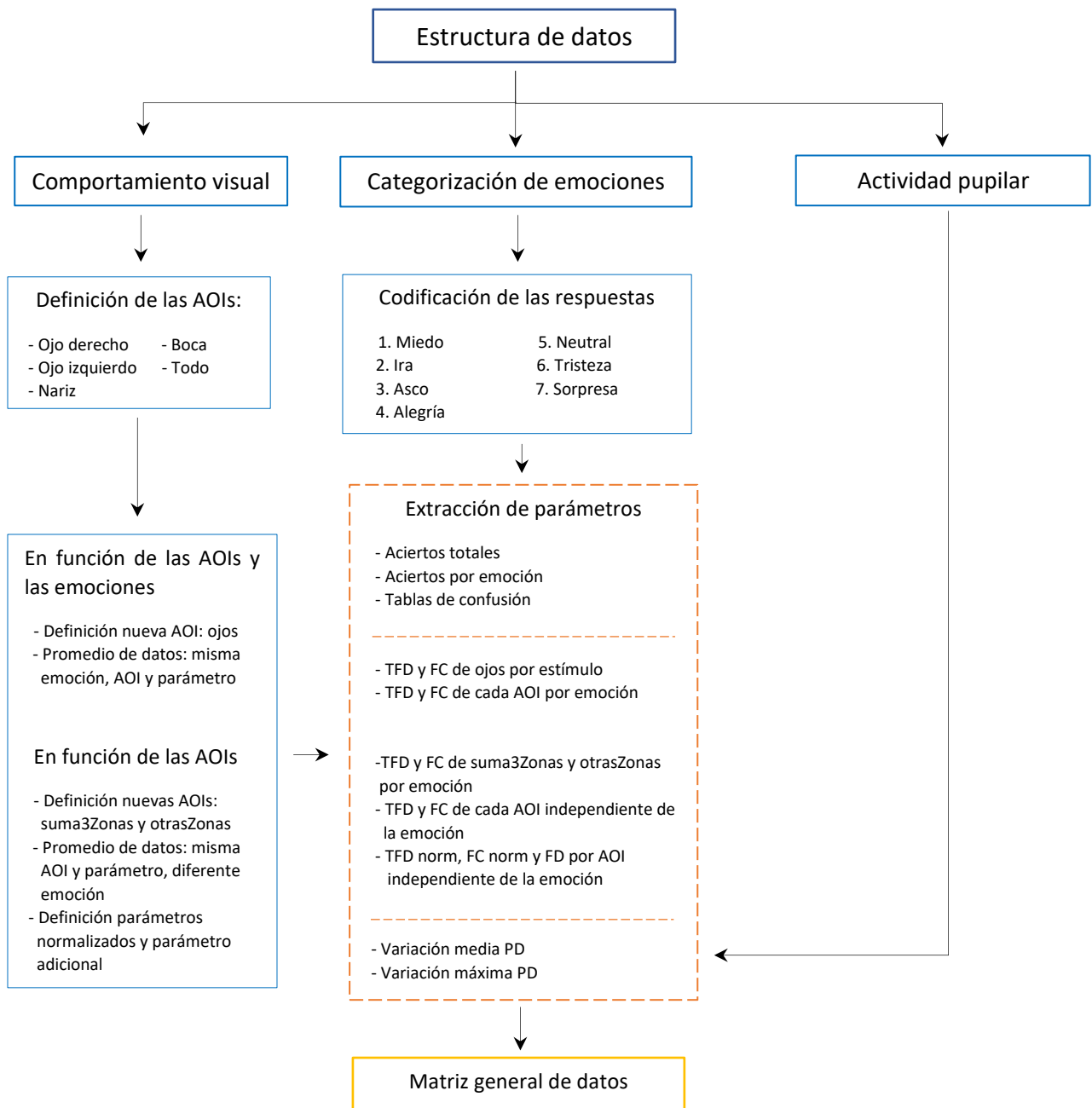


Figura 41. Esquema resumen la estructuración de los datos.

Para amenizar la redacción y evitar repeticiones, en los siguientes subapartados se explicará el preprocesado aportando ejemplos con los datos del grupo de control. Sin embargo, es necesario tener presente que, pese a que no se indique explícitamente en algunos casos, todo el procedimiento explicado se aplica de igual manera para los datos del grupo de sujetos con ABI.

## 1.1 Comportamiento visual

### 1.1.1 Exportación de los datos

Una vez definidas las zonas se procede a la extracción de los datos para poder preprocesarlos en Matlab. La exportación se realiza en dos archivos Excel: uno para controles y otro para pacientes. En cada archivo los datos se presentan de la siguiente manera. Cada fila presenta los datos de cada sujeto etiquetados con el ID del sujeto (se introduce previamente a la realización de la prueba, para controles: 'CCx\_A', para pacientes: 'PCx\_A' siendo x el orden en el que cada sujeto realizó la prueba). Cada columna presenta las diferentes variables que contienen los datos adquiridos. Las variables son todas las posibles combinaciones entre los parámetros de interés (TFD o FC), las emociones estudiadas (etiquetadas numéricamente: 1=miedo, 2=ira, 3=asco, 4=alegría, 5=neutral, 6=tristeza y 7=sorpresa) y las AOIs definidas (ojo derecho, ojo izquierdo, boca, nariz y todo). Un fragmento de uno de estos archivos se muestra en la Figura 42. Cabe destacar que, puesto que se empleó un total de 28 imágenes en el estudio (de las cuales cada emoción se repite cuatro veces), a lo largo de todas las tablas aparecen variables con el mismo nombre. Estas se corresponden con la misma emoción, el mismo parámetro y la misma AOI pero el estímulo es diferente (es necesario recordar que las imágenes vienen de caras de 4 modelos distintos representando cada uno las 7 emociones estudiadas, de ahí la repetición cuádruple). Así, para cada sujeto se obtiene un total de 280 datos diferentes.

ID sujeto	Parámetro	Emoción	AOI
1	Total Fixation Duration_1.avi_nariz 2	Total Fixation Duration_1.avi	ojo 1
2	CC2_A	1	-
3	CC10_A		0,363
4	CC11_A		0,28
5	CC13_A		0,625
6	CC12_A		0,383
7	CC14_A		1,41
8	CC15_A		2,243

**Figura 42.** Parte de los datos adquiridos del grupo de control exportado a un archivo Excel. En naranja: identificación de cada sujeto, en azul: nombre del parámetro adquirido, en verde: emoción mostrada en el estímulo (1=miedo, 2=ira, 3=asco, 4=alegría, 5=neutral, 6=tristeza y 7=sorpresa) y en rojo: AOI de la que se extraen los datos.

### 1.1.2 Redistribución y tratamiento de los datos

Los datos de todos los sujetos se importan a Matlab para su preprocesado. Los pasos seguidos se basan en la ordenación y clasificación de los datos en orden creciente de generalización, es decir, de más específicos a más genéricos. Esto es debido a los diferentes tipos de estudio que se realizan posteriormente y también debido a la forma de exportar los datos del programa Tobii Studio. El procedimiento seguido se explica a continuación.

Para la obtención de los parámetros en función de las zonas y de las emociones:

En primer lugar, se ordenan las filas por orden de participación de los sujetos. Además, tal y como se muestra en la Figura 42 (segunda fila, segunda columna), cuando un sujeto no realiza fijaciones en alguna de las AOIs, la salida de esta variable es un guion '-'. Se considera que estos valores deben analizarse como nulos puesto que es importante, sobre todo para el posterior cálculo de medidas generales, tener en cuenta aquellas veces en las que los sujetos no consideran necesaria la extracción de información de ciertas áreas y, por tanto, no realizan fijaciones en ellas. Por este motivo, se sustituye todos los valores '-' por ceros.

Se considera más interesante el estudio de la zona de los ojos de manera conjunta en vez de por separado (AOI ojo 1 y AOI ojo 2) por lo que se define una nueva AOI denominada 'ojos' a partir de la suma de estas dos para cada una de las variables existentes relacionadas con estas áreas. Las fórmulas empleadas se muestran en la Ecuación 6.

$$TFD\ AOI\ ojos_{imagen_t} = TFD\ AOI\ ojo\ derecho_{imagen_t} + TFD\ AOI\ ojo\ izquierdo_{imagen_t}$$

$$FC\ AOI\ ojos_{imagen_t} = FC\ AOI\ ojo\ derecho_{imagen_t} + FC\ AOI\ ojo\ izquierdo_{imagen_t}$$

**Ecuación 6.** Obtención de los parámetros TFD y FC de la AOI ojos para una emoción i. Ambas fórmulas se repiten para cada uno de los sujetos y, a su vez, para cada imagen empleada como estímulo.  $t = 1, 2, \dots, 27, 28$ .

En la Figura 43 se puede observar un fragmento de la matriz de datos de los controles donde se realiza lo comentado en el párrafo anterior para el caso de TFD en miedo.

1	Nombre s...	Total Fixation Duration_1.av	ojo 1...
2	'CC1_A'	0	
3	'CC2_A'	0	
4	'CC3_A'	0	
5	'CC4_A'	0	
6	'CC5_A'	2.3450	
7	'CC6_A'	0.9230	
8	'CC7_A'	0	
9	'CC8_A'	0.5700	

1	Nombre s...	Total Fixation Duration_1.av	ojo 2...
2	'CC1_A'	0.1430	
3	'CC2_A'	0.2870	
4	'CC3_A'	0	
5	'CC4_A'	0.2930	
6	'CC5_A'	1.5400	
7	'CC6_A'	0.8030	
8	'CC7_A'	0.5570	
9	'CC8_A'	0	

1	Nombre s...	Total Fixation Duration_1.av	ojos M...
2	'CC1_A'	0.1430	
3	'CC2_A'	0.2870	
4	'CC3_A'	0	
5	'CC4_A'	0.2930	
6	'CC5_A'	3.8850	
7	'CC6_A'	1.7260	
8	'CC7_A'	0.5570	
9	'CC8_A'	0.5700	

**Figura 43.** Ejemplo de la agrupación de las variables que implican la AOI del ojo derecho y la AOI del ojo izquierdo formando una nueva AOI denominada ojos. En azul se marca un ejemplo de la suma realizada, para un mismo sujeto (CC5\_A), parámetro (TFD) y emoción (1=miedo).

Además, tal y como se observa en la Figura 43, la información adquirida durante la prueba se obtiene para cada una de las 28 imágenes. Sin embargo, el interés principal no es el estudio de cada uno de estos estímulos de manera individual sino el comportamiento frente a las diferentes emociones. Como ya se explicó en el apartado 2.2.2 de la memoria, los 28 estímulos realmente están formados por cuatro repeticiones de cada una de las siete emociones empleadas. Así, se

promedian las variables semejantes en función de las emociones reduciendo los datos de 280 a 56 por sujeto. De esta manera, para cada una de las AOIs definidas se obtienen 14 variables (TFD y FC para cada una de las siete emociones). Las ecuaciones empleadas se muestran en la Ecuación 7.

$$(TFD\ AOI_k)_{emoc\ prom_i} = \frac{(TFD\ AOI_k)_{emoc_i} + (TFD\ AOI_k)_{emoc_i} + (TFD\ AOI_k)_{emoc_i} + (TFD\ AOI_k)_{emoc_i}}{4}$$

$$(FC\ AOI_k)_{emoc\ prom_i} = \frac{(FC\ AOI_k)_{emoc_i} + (FC\ AOI_k)_{emoc_i} + (FC\ AOI_k)_{emoc_i} + (FC\ AOI_k)_{emoc_i}}{4}$$

**Ecuación 7.** Promedio de los datos obtenidos para las mismas emociones (cuatro imágenes diferentes por emoción) en función del parámetro (TFD y FC) y la AOI (k=ojos, nariz, boca y todo). Ambas fórmulas se repiten para cada uno de los sujetos y, a su vez, para cada AOI. Emoc prom=emoción promediada, emoc=emoción, i= miedo, ira, asco, alegría, neutral, tristeza, sorpresa.

Un ejemplo de lo comentado en el párrafo anterior se muestra en la Figura 44.

Finalmente, se dividen los datos en matrices en función de las cuatro AOIs definidas por el momento (ojos, nariz, boca y todo).

1	Nombre s...	Total Fixation Duration_1.avi ojos M...	Total Fixation Duration_1.avi ojos M...	Total Fixation Duration_1.avi ojos M...	Total Fixation Duration_1.avi ojos M...
2	'CC1_A'	0.1430	0.6300	0.8000	0.5630
3	'CC2_A'	0.2870	0.2070	1.0900	0.9800
4	'CC3_A'	0	0	0.7740	0.6930
5	'CC4_A'	0.2930	1.7320	3.4270	1.3830
6	'CC5_A'	3.8850	3.7130	3.5930	4.6010
7	'CC6_A'	1.7260	0.3130	1.3940	0
8	'CC7_A'	0.5570	1.7860	1.5040	1.8770
9	'CC8_A'	0.5700	0.7210	1.4960	2.2120

1	Nombre s...	Total Fixation Duration_1.avi ojos M...
2	'CC1_A'	0.5340
3	'CC2_A'	0.6410
4	'CC3_A'	0.3668
5	'CC4_A'	1.7088
6	'CC5_A'	3.9480
7	'CC6_A'	0.8583
8	'CC7_A'	1.4310
9	'CC8_A'	1.2498

Promedio

**Figura 44.** Ejemplo del promedio de las variables iguales. En este caso se trata de la matriz de datos de los controles de la zona de los ojos para TFD en las 4 imágenes que representan el miedo. En azul se marca un ejemplo concreto de como se ha llevado a cabo el promediado en el sujeto CC1\_A.

Para la obtención de los parámetros en función de las zonas e independientemente de las emociones

Se crean dos matrices más pertenecientes a dos AOIs nuevas. La primera fusiona las AOIs de los ojos, la nariz y la boca en una sola denominada 'suma3zonas' de manera que todas las variables semejantes para estas tres zonas se sumaron en una sola (Ecuación 8-arriba). El procedimiento es similar al mostrado en la Figura 43. La segunda, es la obtención de la AOI denominada



‘otrasZonas’. Esta se obtiene a partir de la resta de las variables semejantes de la AOI ‘todo’ menos las de la AOI ‘suma3zonas’ (Ecuación 8-abajo). El procedimiento es similar al mostrado en la Figura 43 pero en vez de realizar una suma se hace la operación contraria.

$$TFD \text{ suma3Zonas}_{emoc_i} = TFD \text{ AOI ojos}_{emoc_i} + TFD \text{ AOI nariz}_{emoc_i} + TFD \text{ AOI boca}_{emoc_i}$$

$$FC \text{ suma3Zonas}_{emoc_i} = FC \text{ AOI ojos}_{emoc_i} + FC \text{ AOI nariz}_{emoc_i} + FC \text{ AOI boca}_{emoc_i}$$

$$TFD \text{ otrasZonas}_{emoc_i} = TFD \text{ AOI todo}_{emoc_i} - TFD \text{ AOI suma3Zonas}_{emoc_i}$$

$$FC \text{ otrasZonas}_{emoc_i} = FC \text{ AOI todo}_{emoc_i} - FC \text{ AOI suma3Zonas}_{emoc_i}$$

**Ecuación 8.** Obtención de los parámetros TFD y FC en las nuevas AOIs definidas: suma3Zonas y otrasZonas. Cada una de estas fórmulas se repite para cada uno de los sujetos y, a su vez, para cada emoción. emoc= emoción promediada, i= miedo, ira, asco, alegría, neutral, tristeza, sorpresa.

Para la obtención de variables independientes del tipo de emoción, se promedian las medidas correspondientes al mismo parámetro y la misma AOI pero a emociones diferentes. El procedimiento es similar al mostrado en la Figura 44.

Por último, se normalizaron los parámetros TFD y FC para cada una de las AOIs respecto a sus valores correspondientes en la AOI total (Ecuación 9-arriba). Además, se obtienen los valores correspondientes a un nuevo parámetro, la duración media de una fijación (FD). Esta se calcula a partir de la división de TFD entre FC para cada AOI (Ecuación 9-abajo).

$$TFD \text{ norm}_{AOI_k} = \frac{TFD_{AOI_k}}{TFD_{AOI_{total}}} \qquad FC \text{ norm}_{AOI_k} = \frac{FC_{AOI_k}}{FC_{AOI_{total}}}$$

$$FD_{AOI_k} = \frac{TFD_{AOI_k}}{FC_{AOI_k}}$$

**Ecuación 9.** Ecuaciones de normalización de los parámetros TFD (arriba-izquierda) y FC (arriba-derecha) y de la creación de un nuevo parámetro, FD (abajo). Cada una de estas fórmulas se repite para cada uno de los sujetos y, a su vez, para cada AOI. k=ojos, boca, nariz, suma3Zonas y otrasZonas.

## 1.2 Categorización de emociones mediante expresiones faciales

Durante la realización de la prueba y para cada uno de los 28 estímulos, el sujeto indicó verbalmente cuál de las siete emociones se correspondía con cada una de las expresiones faciales mostradas. Así, la categorización de cada uno de los estímulos para cada sujeto se almacena de forma manual en un archivo Excel durante la realización de la prueba. Una parte de las respuestas de uno de los sujetos se muestra como ejemplo en la Figura 45.

Las respuestas de todos los sujetos se introducen en Matlab para su preprocesado. Para cada sujeto, se extraen las categorizaciones de cada estímulo y se codifican con el número de identificación de la emoción a la que corresponde (1=miedo, 2=ira, 3=asco, 4=alegría, 5=neutral, 6=tristeza y 7=sorpresa). De esta manera, se crean dos matrices (controles y sujetos con ABI) donde cada fila corresponde con las respuestas de cada sujeto en orden de aparición de los

estímulos. En la Figura 46-A se muestra un ejemplo de una parte de la matriz de respuestas ya codificadas de los sujetos de control.

Datos demográficos

ID sujeto

Estímulos

CC1_A	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nombre:	Apellidos:		Edad:		Nivel educativo:					
1. MIEDO									x	
2. IRA										
3. ASCO				x						
4. ALEGRIA										x
5. NEUTRAL	x									
6. TRISTEZA		x				x			x	
7. SORPRESA		x	x		x					

Emociones

Respuesta de categorización

**Figura 45.** Ejemplo del almacenamiento en formato Excel de algunas de las respuestas de categorización de un sujeto. En naranja: identificación del sujeto, en azul: casillas de recopilación de datos demográficos, en verde: número de estímulo (en total 28), en rojo: emociones entre las que el sujeto realiza la categorización y en amarillo: ejemplo de respuesta.

Para la obtención de los aciertos y fallos de cada sujeto (Figura 46-C) es necesario conocer la categorización correcta de cada uno de los estímulos empleados. Es necesario recordar que el orden de aparición de estos en cada prueba es aleatorio por lo que el patrón de soluciones es diferente para cada individuo. Como se comentará en apartado 1.3, uno de los parámetros obtenidos durante la exportación de los datos referidos al tamaño de la pupila es el estímulo al que pertenece cada dato. Como la adquisición se realiza de forma cronológica y cada estímulo está codificado con el número de emoción al que corresponde, a partir de este parámetro se extrae el orden de aparición de cada sentimiento durante la prueba, es decir, las soluciones de categorización para cada individuo (Figura 46-B). Así pues, a partir de la comparación de la matriz de respuestas con la de soluciones se obtiene una tercera matriz lógica con los aciertos y fallos realizados por cada sujeto (Figura 46-C).

A)

1	5	7	7	3	7	6	5	6	2	4
2	7	3	5	3	1	6	7	4	5	2
3	3	6	7	6	5	4	7	2	7	6

B)

1	5	7	2	3	7	1	5	6	2	4
2	7	3	5	1	2	6	7	4	5	2
3	3	1	7	6	5	4	2	2	7	6

C)

1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1
2	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1
3	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1

**Figura 46.** Ejemplo del procedimiento seguido para la extracción de la correcta o incorrecta categorización de los estímulos por parte de cada sujeto. En las tres matrices cada fila y columna se corresponden con los sujetos y el orden de aparición de los estímulos respetivamente. A) Matriz de respuestas de los sujetos de control, en naranja se resalta las del sujeto de control CC1\_A. B) Matriz de soluciones correspondientes a la prueba realizada por cada sujeto de control, en azul se muestran las soluciones del sujeto de control CC1\_A. C) Matriz de aciertos y fallos de cada sujeto, en verde se indican los correspondientes al sujeto de control CC1\_A. En A) y B): 1=miedo, 2=ira, 3=asco, 4=alegría, 5=neutral, 6=tristeza y 7=sorpresa. En C): 0=fallo, 1=acierto.

La obtención de los aciertos totales de cada individuo consiste únicamente en contabilizar para cada sujeto y, en general, para cada muestra de controles y pacientes, el número de aciertos realizados. También se extrae la cantidad de aciertos en función de la emoción para cada individuo a partir de tablas de frecuencias de las emociones acertadas (Figura 47).

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	3	4	4	4	4	4	24
2	0	2	4	4	4	4	4	22
3	1	3	4	4	4	4	4	24

**Figura 47.** Ejemplo de aciertos en función de la emoción de los tres primeros sujetos de control. Cada fila representa un sujeto diferente, las columnas 1-7 se corresponden con las diferentes emociones codificadas según el número de columna (1=miedo, 2=ira, 3=asco, 4=alegría, 5=neutral, 6=tristeza y 7=sorpresa), la columna 8 indica los aciertos totales. En verde se resaltan los aciertos, para cada emoción y totales, del sujeto de control CC1\_A.

Por otro lado, también se considera interesante conocer cuáles son las equivocaciones más comunes para cada una de las siete emociones empleadas en este estudio. Para esto se crean matrices de confusión entre las respuestas dadas por los sujetos y las soluciones correspondientes. Es decir, se crea una matriz donde cada columna se corresponde con la emoción categorizada por el sujeto y cada fila con la emoción real mostrada y, se contabiliza la frecuencia con que se da cada combinación. Por ejemplo, durante la prueba uno de los estímulos mostrados se corresponde con la emoción de tristeza y el sujeto la categoriza como miedo. La emoción de tristeza se codifica con un 6 y la de miedo con un 1, por tanto, en el contador localizado en la fila 6 y la columna 1, es decir, en la posición de coordenadas (6,1) de la matriz de confusión se suma una unidad. Esta misma acción se repite para todos los estímulos de cada individuo perteneciente a la misma muestra (controles o pacientes) acumulando una unidad en cada combinación realizada. Las matrices de confusión obtenidas se muestran en el apartado 3.3.2.

## 1.3 Dilatación pupilar

### 1.3.1 Definición y exportación de los datos de interés

Como ya se ha comentado en apartados anteriores, uno de los parámetros que se obtiene a través del *eye-tracker* es el tamaño pupilar. La adquisición de esta información se realiza de manera ininterrumpida del comienzo al final de la prueba. Teniendo en cuenta que la frecuencia del muestreo para la adquisición de estos datos es de 300 Hz, para cada sujeto se obtiene una gran cantidad de información (aproximadamente 294000 muestras). Sin embargo, los valores de interés de PD son aquellos presentes únicamente durante los 5 segundos en los que se muestra cada estímulo. Además, puesto que el tamaño pupilar no es igual para todas las personas, es necesario adquirir información del PD previa a la presentación de cada estímulo para poder emplearla como *baseline*.

La obtención de esta información se realiza en el programa Tobii Studio a partir de la selección de cada uno de los instantes de interés de cada una de las pruebas. Estos, se denominan segmentos, para aquellos que comprendieron los cinco segundos durante los que se muestra cada estímulo, o *baseline*, para aquellos momentos previos a este. La duración de las *baseline* se define de forma experimental como los 500 ms previos a la presentación de cada estímulo. Así, para cada sujeto se obtiene 28 segmentos y 28 *baselines* correspondientes a cada uno de los estímulos empleados durante la prueba (por ejemplo, las regiones denominadas

como segmento 1 y *baseline* 1 se corresponden con la información relacionada con la primera imagen de esa prueba).

Los datos se exportan en forma de archivos Excel, uno para cada sujeto. Además de las medidas de PD en milímetros de ambos ojos (denominadas *PupilLeft* y *PupilRight*), también se añaden otros parámetros como el identificador de cada sujeto, denominado *RecordingName*; el nombre de cada estímulo mostrado (que indica la emoción a la que corresponde), denominado *MediaName*; el nombre del instante del que se extrae la información, denominado *SegmentName* y, la duración de cada segmento o *baseline*, denominado *SegmentDuration*. Un ejemplo de uno de los archivos Excel se muestra en la Figura 48.

RecordingName	MediaName	SegmentName	SegmentDuration	PupilLeft	PupilRight
CC1_A		Baseline 1	500	3,41	3,80
CC1_A		Baseline 1	500	3,34	3,83
CC1_A	5.avi	Segment 1	5000	3,36	3,79
CC1_A	5.avi	Segment 1	5000	3,41	3,83

**Figura 48.** Ejemplo de un fragmento del archivo Excel correspondiente al sujeto de control CC1\_A. Las muestras correspondientes a Baseline 1 no presentan ningún MediaName puesto que no se corresponden con ningún estímulo (son adquisiciones previas al estímulo). El Segmento 1 en este caso se corresponde con un estímulo neutral (5.avi).

## 2. TABLAS DE SIGNIFICACIÓN

### 2.1 Verificación mayor interés en zona ojos, nariz y boca vs otras zonas

H<sub>0</sub>: Mientras se lleva a cabo el reconocimiento facial no existen diferencias significativas entre el interés mostrado en la zona que incluye ojos, nariz y boca y el resto ('otras zonas') ni en el caso del grupo de control ni en el de pacientes.

	FD	TFD	TFD norm	FC	FC norm
<b>Controles</b>	p=0.000****	p=0.000*****	p=0.000****	p=0.000****	p=0.000****
<b>Pacientes</b>	p=0.000****	p=0.000****	p=0.000****	p=0.000****	p=0.000****

**Tabla 15.** Tabla de significación de la verificación de las zonas que presentan mayor interés facial \*\*\*\*p-valor <0.001

## 2.2 Comparación entre patrones visuales de controles y pacientes en la zona de ojos, nariz y boca y otras zonas

H<sub>0</sub>: No hay diferencias significativas entre el comportamiento de controles y pacientes en la zona que incluye ojos, nariz y boca y otras zonas.

	ZONA OJOS, NARIZ Y BOCA	OTRAS ZONAS
<b>FD</b>	p=0.114	<u>p=0.089</u>
<b>TFD</b>	p=0.535	p=0.436
<b>TFD norm</b>	p=0.603	p=0.603
<b>FC</b>	<u>p=0.094</u>	p=0.513
<b>FC norm</b>	p=0.714	p=0.426

**Tabla 16.** Tabla de significación de la comparación de patrones visuales para la zona que incluye ojos, nariz y boca y otras zonas. Los valores de significación subrayados indican una tendencia a la significación estadística.

## 2.3 Comparación entre los patrones visuales de controles y pacientes en la zona de los ojos, la nariz y la boca (separadas)

H<sub>0</sub>: No hay diferencias entre los patrones de controles y pacientes para la zona de los ojos, zona de la nariz y zona de la boca

	OJOS	NARIZ	BOCA
<b>FD</b>	p=0.035*	p=0.297	p=0.783
<b>TFD</b>	p=0.266	p=0.318	p=0.746
<b>FC</b>	p=0.727	<u>p=0.070</u>	p=0.907
<b>TFD norm</b>	p=0.235	p=0.124	p=0.988
<b>FC norm</b>	p=0.597	p=0.188	p=0.773

**Tabla 17.** Tabla de significación de la comparación entre los patrones visuales de la zona de los ojos, la nariz y la boca.  
\*p-valor <0.05. Los valores de significación subrayados indican una tendencia a la significación estadística.

## 2.4 Comparación de todos los parámetros entre controles y pacientes en función de los sentimientos y las zonas

H<sub>0</sub>: No hay diferencias entre los patrones de controles y pacientes para la zona de los ojos, zona de la nariz y zona de la boca en función de la emoción

		<b>MIEDO</b>	<b>IRA</b>	<b>ASCO</b>	<b>ALEGRÍA</b>	<b>NEUTRAL</b>	<b>TRISTEZA</b>	<b>SORPRESA</b>
	<b>Ojos</b>	p=0.312	p=0.306	p=0.329	p=0.194	p=0.191	p=0.637	p=0.222
<b>TFD</b>	<b>Nariz</b>	p=0.198	p=0.411	p=0.980	p=0.398	p=0.267	p=0.245	p=0.147
	<b>Boca</b>	p=0.621	p=0.148	p=0.719	p=0.955	p=0.535	p=0.297	p=0.629
	<b>Ojos</b>	p=0.326	p=0.710	p=0.623	p=0.981	p=0.856	p=0.678	p=0.686
<b>FC</b>	<b>Nariz</b>	p=0.019*	p=0.173	p=0.122	p=0.237	p=0.107	P=0.035*	p=0.353
	<b>Boca</b>	p=0.394	p=0.303	p=0.648	p=0.297	p=0.571	p=0.547	p=0.605
	<b>ACIERTOS</b>	<u>p=0.097</u>	p=0.002*	p=0.218	p=0.209	p=0.308	p=0.114	p=0.357
<b>ACIERTOS TOTALES</b>				p=0.028*				
<b>MEDIA VAR PD</b>		<u>p=0.092</u>	<u>p=0.073</u>	p=0.421	p=0.134	p=0.472	p=0.946	p=0.262
<b>MAX VAR PD</b>		p=0.321	p=0.218	p=0.309	p=0.137	p=0.420	p=0.816	p=0.224

**Tabla 18.** Tabla de significación de la comparación entre diferentes zonas y emociones. \*p-valor <0.05. Los valores de significación subrayados indican una tendencia a la significación estadística

# BIBLIOGRAFÍA





## 1. REFERENCIAS

- Abbott, J. D., Wijeratne, T., Hughes, A., Perre, D., & Lindell, A. K. (2014). The perception of positive and negative facial expressions by unilateral stroke patients. *Brain and Cognition*, 86(1), 42–54. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2014.01.017>
- Al-Qudah, Z. A., Yacoub, H. A., & Souayah, N. (2015). Disorders of the Autonomic Nervous System after Hemispheric Cerebrovascular Disorders: An Update. *Journal of Vascular and Interventional Neurology*, 8(4), 43–52. Retrieved from <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=4634781&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>
- Babbage, D. R., Yim, J., Zupan, B., Neumann, D., Tomita, M. R., & Willer, B. (2011). Meta-Analysis of Facial Affect Recognition Difficulties After Traumatic Brain Injury. *Neuropsychology*, 25(3), 277–285. <https://doi.org/10.1037/a0021908>
- Babiker, A., Faye, I., & Malik, A. (2013). Pupillary behavior in positive and negative emotions. *IEEE ICSIPA 2013 - IEEE International Conference on Signal and Image Processing Applications*, 7–11. <https://doi.org/10.1109/ICSIPA.2013.6708037>
- Bradley, M. M., & Lang, P. J. (2015). Memory, emotion, and pupil diameter: Repetition of natural scenes. *Psychophysiology*, 52(9), 1186–1193. <https://doi.org/10.1111/psyp.12442>
- Bradley, M. M., Miccoli, L., Escrig, M. A., & Lang, P. J. (2008). The pupil as a measure of emotional arousal and autonomic activation. *Psychophysiology*, 45(4), 602–607. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2008.00654.x>
- Brain Facts and Figures. (n.d.). Retrieved August 31, 2018, from <http://faculty.washington.edu/chudler/facts.html>
- Burley, D. T., Gray, N. S., & Snowden, R. J. (2017). As far as the eye can see: Relationship between psychopathic traits and Pupil response to affective stimuli. *PLoS ONE*, 12(1), 1–22. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0167436>
- Comparación de todos los productos de Microsoft Office | Microsoft Office. (n.d.). Retrieved September 1, 2018, from <https://products.office.com/es-es/compare-all-microsoft-office-products?tab=1>
- Dell España. (n.d.). Retrieved September 1, 2018, from <https://www.dell.com/es-es/work/shop/portátiles-dell/nuevo-xps-13/spd/xps-13-9370-laptop/bnx37003>
- Duque, A., Sanchez, A., & Vazquez, C. (2014). Gaze-fixation and pupil dilation in the processing of emotional faces: The role of rumination. *Cognition and Emotion*, 28(8), 1347–1366. <https://doi.org/10.1080/02699931.2014.881327>
- Eisenbarth, H., & Alpers, G. W. (2011). Happy Mouth and Sad Eyes : Scanning Emotional Facial Expressions, 11(4), 860–865. <https://doi.org/10.1037/a0022758>
- Eyetrackers. (n.d.). Retrieved August 22, 2018, from <http://tsgdoc.socsci.ru.nl/index.php?title=Eyetrackers>
- Federación Española de Daño Cerebral. (n.d.-a). Daño Cerebral Adquirido. Retrieved August 20, 2018, from <https://fedace.org/dano-cerebral-adquirido.html>
- Federación Española de Daño Cerebral. (n.d.-b). Ictus, primera causa de DCA. Retrieved August 20, 2018, from <https://fedace.org/ictus.html>

- Federación Española de Daño Cerebral. (n.d.-c). Problemas en conducta y personalidad tras el daño cerebral. Retrieved August 20, 2018, from [https://fedace.org/emociones\\_dano\\_cerebral.html](https://fedace.org/emociones_dano_cerebral.html)
- Florida Institute for Neurologic Rehabilitation. (n.d.). Atlas of Brain Injury & Anatomy. Retrieved August 18, 2018, from <http://www.finr.net/files/brain/index.htm>
- Freiwald, W., Duchaine, B., & Yovel, G. (2016). Face Processing Systems: From Neurons to Real-World Social Perception. *Annual Review of Neuroscience*, 39(1), 325–346. <https://doi.org/10.1146/annurev-neuro-070815-013934>
- Genova, H. M., Genualdi, A., Goverover, Y., Chiaravalloti, N. D., Marino, C., & Lengenfelder, J. (2017). An investigation of the impact of facial affect recognition impairments in moderate to severe TBI on fatigue, depression, and quality of life. *Social Neuroscience*, 12(3), 303–307. <https://doi.org/10.1080/17470919.2016.1173584>
- Gotham, K. O., Siegle, G. J., Han, G. T., Tomarken, A. J., Crist, R. N., Simon, D. M., & Bodfish, J. W. (2018). Pupil response to social-emotional material is associated with rumination and depressive symptoms in adults with autism spectrum disorder. *Plos One*, 13(8), e0200340. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200340>
- Green, C., & Guo, K. (2018). Factors contributing to individual differences in facial expression categorisation. *Cognition and Emotion*, 32(1), 37–48. <https://doi.org/10.1080/02699931.2016.1273200>
- Grill-Spector, K., Knouf, N., & Kanwisher, N. (2004). The fusiform face area subserves face perception, not generic within-category identification. *Nature Neuroscience*, 7(5), 555–562. <https://doi.org/10.1038/nn1224>
- Grill-Spector, K., Weiner, K. S., Kay, K., & Gomez, J. (2017). The Functional Neuroanatomy of Human Face Perception. *Annual Review of Vision Science*, 3(1), annurev-vision-102016-061214. <https://doi.org/10.1146/annurev-vision-102016-061214>
- Guo, K. (2012). Holistic gaze strategy to categorize facial expression of varying intensities. *PLoS ONE*, 7(8). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0042585>
- Guo, K., & Shaw, H. (2015). Face in profile view reduces perceived facial expression intensity: An eye-tracking study. *ACTPSY*, 155, 19–28. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2014.12.001>
- Guo, K., Soornack, Y., & Settle, R. (2018). Expression-dependent susceptibility to face distortions in processing of facial expressions of emotion. *Vision Research*, (February), 0–1. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2018.02.001>
- Guyton, A. C., & Hall, J. E. (2011). *Tratado de fisiología médica* (12th ed.). Elsevier.
- How do Tobii Eye Trackers work? - Learn more with Tobii Pro. (2015). Retrieved from <https://www.tobiiipro.com/learn-and-support/learn/eye-tracking-essentials/how-do-tobii-eye-trackers-work/>
- IBM SPSS Statistics España. (n.d.). Retrieved September 1, 2018, from <https://www.ibm.com/es-es/marketplace/spss-statistics/purchase#product-header-top>
- Iris anatomy. (n.d.). Retrieved August 20, 2018, from <http://earthen-vessels.org/sphincter-pupillae/uvea-anatomy-nerve-vascular-supply-clinical-correlation-and-sphincter-pupillae/>
- Karolinska Institutet. (n.d.). The Karolinska Directed Emotional Faces (KDEF). Retrieved August 26, 2018, from <http://www.emotionlab.se/kdef/>

- Korpelainen, J. T., Sotaniemi, K. a, & Myllylä, V. V. (1999). Autonomic nervous system disorders in stroke. *Clinical Autonomic Research : Official Journal of the Clinical Autonomic Research Society*, 9(6), 325–333. <https://doi.org/10.1007/BF02318379>
- Lanata, A., Armato, A., Valenza, G., & Scilingo, E. P. (2011). Eye tracking and pupil size variation as response to affective stimuli: a preliminary study. *Proceedings of the 5th International ICST Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare*, 78–84. <https://doi.org/10.4108/icst.pervasivehealth.2011.246056>
- Leopold, D. A., & Rhodes, G. (2010). A Comparative view of face perception. *Journal of Comparative Psychology*, 124(3), 233–251. <https://doi.org/10.1037/a0019460>
- Lundqvist, D., Flykt, A., & Öhman, A. (1998). *The Karolinska Directed Emotional Faces – KDEF, CD ROM from Department of Clinical Neuroscience, Psychology section, Karolinska Institutet.*
- Milders, M., Fuchs, S., & Crawford, J. R. (2003). Neuropsychological impairments and changes in emotional and social behaviour following severe traumatic brain injury. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 25(2), 157–172. <https://doi.org/10.1076/jcen.25.2.157.13642>
- Monitor HP de 22". (n.d.). Retrieved September 1, 2018, from [https://www.amazon.es/gp/product/B0732RBR3J/ref=s9\\_acsd\\_top\\_hd\\_bw\\_b11TiZj\\_c\\_x\\_w?pf\\_rd\\_m=A1AT7YVFPFBWXBL&pf\\_rd\\_s=merchandised-search-4&pf\\_rd\\_r=8GMJR3S2C1BHMSVN9M6G&pf\\_rd\\_r=8GMJR3S2C1BHMSVN9M6G&pf\\_rd\\_t=101&pf\\_rd\\_p=5069e0bd-afba-534e-b8d8-527a6a740eac&pf\\_rd\\_p](https://www.amazon.es/gp/product/B0732RBR3J/ref=s9_acsd_top_hd_bw_b11TiZj_c_x_w?pf_rd_m=A1AT7YVFPFBWXBL&pf_rd_s=merchandised-search-4&pf_rd_r=8GMJR3S2C1BHMSVN9M6G&pf_rd_r=8GMJR3S2C1BHMSVN9M6G&pf_rd_t=101&pf_rd_p=5069e0bd-afba-534e-b8d8-527a6a740eac&pf_rd_p)
- NEURORHB Hospitales Vithas. (n.d.). Ictus - Accidente cerebrovascular - Causas y Tratamiento. Retrieved August 20, 2018, from <https://www.neurorhb.com/ictus/>
- Olsen, A. (2012). The Tobii I-VT Fixation Filter: Algorithm description. *Tobii Technology*, 21. Retrieved from <http://www.tobii.com/eye-tracking-research/global/library/white-papers/the-tobii-i-vt-fixation-filter/>
- Ordenador sobremesa Intel core i7. (n.d.). Retrieved September 1, 2018, from [https://www.amazon.es/ORDENADOR-SOBREMESA-3-46Ghz-GRÁFICA-GeForce/dp/B074PR3J84/ref=sr\\_1\\_3?s=computers&ie=UTF8&qid=1535850885&sr=1-3&keywords=i7](https://www.amazon.es/ORDENADOR-SOBREMESA-3-46Ghz-GRÁFICA-GeForce/dp/B074PR3J84/ref=sr_1_3?s=computers&ie=UTF8&qid=1535850885&sr=1-3&keywords=i7)
- Palermo, R., & Coltheart, M. A. X. (2004). Photographs of facial expression : Accuracy , response times , and ratings of intensity, 36(4), 634–638.
- Partala, T., & Surakka, V. (2003). Pupil size variation as an indication of affective processing. *International Journal of Human Computer Studies*, 59(1–2), 185–198. [https://doi.org/10.1016/S1071-5819\(03\)00017-X](https://doi.org/10.1016/S1071-5819(03)00017-X)
- Pricing and Licensing MATLAB. (n.d.). Retrieved September 1, 2018, from [https://es.mathworks.com/pricing-licensing.html?intendeduse=comm&s\\_tid=htb\\_learn\\_gtwy\\_cta1](https://es.mathworks.com/pricing-licensing.html?intendeduse=comm&s_tid=htb_learn_gtwy_cta1)
- Rapcsak, S. Z., Galper, S. R., Comer, J. F., Reminger, S. L., Nielsen, L., Kaszniak, A. W., ... Cohen, R. A. (2000). Fear recognition deficits after focal brain damage: A cautionary note. *Neurology*, 54(3), 575–575. <https://doi.org/10.1212/WNL.54.3.575>
- Rigon, A., Voss, M. W., Turkstra, L. S., Mutlu, B., & Duff, M. C. (2018). Different aspects of facial affect recognition impairment following traumatic brain injury: The role of perceptual and interpretative abilities. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 40(8), 805–819. <https://doi.org/10.1080/13803395.2018.1437120>

- Rosenberg, H., McDonald, S., Dethier, M., Kessels, R. P. C., & Westbrook, R. F. (2014). Facial emotion recognition deficits following moderate-severe traumatic brain injury (TBI): Re-examining the valence effect and the role of emotion intensity. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 20(10), 994–1003. <https://doi.org/10.1017/S1355617714000940>
- Schirmer, A., & Adolphs, R. (2017). Emotion Perception from Face, Voice, and Touch: Comparisons and Convergence. *Trends in Cognitive Sciences*, 21(3), 216–228. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2017.01.001>
- Schurgin, M. W., Nelson, J., Iida, S., Ohira, H., Chiao, J. Y., & Franconeri, S. L. (2015). Eye movements during emotion recognition in faces. *Journal of Vision*, 14(2014), 1–16. <https://doi.org/10.1167/14.13.14>
- Sirois, S., & Brisson, J. (2014). Pupillometry. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 5(6), 679–692. <https://doi.org/10.1002/wcs.1323>
- Sociedad Española de Neurología. (n.d.). Día mundial del Ictus. Retrieved August 20, 2018, from <http://www.sen.es/saladeprensa/pdf/Link223.pdf>
- Superior temporal sulcus. (n.d.). Retrieved August 18, 2018, from [https://en.wikipedia.org/wiki/Superior\\_temporal\\_sulcus](https://en.wikipedia.org/wiki/Superior_temporal_sulcus)
- Tippett, D. C., Godin, B. R., Oishi, K., Oishi, K., Davis, C., Gomez, Y., ... Hillis, A. E. (2018). Impaired Recognition of Emotional Faces after Stroke Involving Right Amygdala or Insula. *Seminars in Speech and Language*, 39(1), 87–99. <https://doi.org/10.1055/s-0037-1608859>
- Tobii® Technology Tobii TX300 Eye Tracker Revision 2 User Manual. (n.d.). Retrieved from <https://www.tobiiipro.com/siteassets/tobii-pro/user-manuals/tobii-pro-tx300-eye-tracker-user-manual.pdf?v=2.0>
- Tobii Technology. (2012). Tobii® Technology Products & Services – Price list, 9. Retrieved from [https://googlegroups.com/group/grupo-de-afectos-y-colaboracion/attach/ed20dc6bebaccff9/Tobii\\_Price\\_List\\_2012\\_USD.pdf?part=0.1](https://googlegroups.com/group/grupo-de-afectos-y-colaboracion/attach/ed20dc6bebaccff9/Tobii_Price_List_2012_USD.pdf?part=0.1)
- Trust Classicline - Pack de Teclado y Ratón,. (n.d.). Retrieved September 1, 2018, from [https://www.amazon.es/Trust-Classicline-Teclado-QWERTY-español/dp/B01N25Z82X/ref=pd\\_bxgy\\_147\\_2?\\_encoding=UTF8&pd\\_rd\\_i=B01N25Z82X&pd\\_rd\\_r=2165314f-ae4b-11e8-8c55-2d361ed6bbcc&pd\\_rd\\_w=QLaGd&pd\\_rd\\_wg=Mfc8E&pf\\_rd\\_i=desktop-dp-sims&pf\\_rd\\_m=A1AT7YVPFBWXBL&](https://www.amazon.es/Trust-Classicline-Teclado-QWERTY-español/dp/B01N25Z82X/ref=pd_bxgy_147_2?_encoding=UTF8&pd_rd_i=B01N25Z82X&pd_rd_r=2165314f-ae4b-11e8-8c55-2d361ed6bbcc&pd_rd_w=QLaGd&pd_rd_wg=Mfc8E&pf_rd_i=desktop-dp-sims&pf_rd_m=A1AT7YVPFBWXBL&)
- Types of the eye movement. (n.d.). Retrieved August 28, 2018, from <https://www.tobiiipro.com/learn-and-support/learn/eye-tracking-essentials/types-of-eye-movements/>
- Wegrzyn, M., Riehle, M., Labudda, K., Woermann, F., Baumgartner, F., Pollmann, S., ... Kissler, J. (2015). Investigating the brain basis of facial expression perception using multi-voxel pattern analysis. *Cortex*, 69, 131–140. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2015.05.003>
- What do we study when we use eye tracking data? (2015). Retrieved from <https://www.tobiiipro.com/learn-and-support/learn/eye-tracking-essentials/what-do-we-study-when-we-use-eye-tracking-data/>
- What about fMRI of the visual system? (n.d.). Retrieved August 18, 2018, from <http://mriquestions.com/visual.html>

What happens during the eye tracker calibration? (2015). Retrieved from <https://www.tobiipro.com/learn-and-support/learn/eye-tracking-essentials/what-happens-during-the-eye-tracker-calibration/>

WHO | World Health Organization. (n.d.). Top 10 causes of death. Retrieved August 20, 2018, from [http://www.who.int/gho/mortality\\_burden\\_disease/causes\\_death/top\\_10/en/](http://www.who.int/gho/mortality_burden_disease/causes_death/top_10/en/)

Why does the amygdala grow faster in autistics, and how is an autistic person affected by the growth? - Quora. (n.d.). Retrieved August 18, 2018, from <https://www.quora.com/Why-does-the-amygdala-grow-faster-in-autistics-and-how-is-an-autistic-person-affected-by-the-growth>

Yuvaraj, R., Murugappan, M., Norlinah, M. I., Sundaraj, K., & Khairiyah, M. (2013). Review of emotion recognition in stroke patients. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders*, 36(3–4), 179–196. <https://doi.org/10.1159/000353440>

