_ TELECOM ESCUELA TÉCNICA VLC SUPERIOR DE UPV INGENIEROS DE TELECOMUNICACIÓN

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Estudio del tiempo de fijación visual y la respuesta galvánica de la piel en la detección de expresiones faciales en individuos sanos y con daño cerebral adquirido

Fernando Aparicio Tormo

Tutor: Valeriana Naranjo Ornedo

Cotutor: Roberto Llorens Rodríguez

Trabajo Fin de Grado presentado en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación de la Universitat Politècnica de València, para la obtención del Título de Graduado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación

Curso 2015-16

Valencia, 12 de septiembre de 2016

Resumen

Este trabajo analiza el tiempo de fijación en ojos y boca y la respuesta galvánica de la piel en sujetos sanos y pacientes con daño cerebral adquirido durante la exposición a distintas expresiones faciales, así como su capacidad de detección, y las interacciones entre estas variables. Los resultados demuestran que, primero, el tiempo de fijación en ojos y boca varía según la expresión en población sana, así como la respuesta galvánica de la piel, si bien esta señal no dio lugar a variaciones significativas; segundo, el tiempo de fijación en ojos y boca realizado por sujetos con daño cerebral adquirido y la respuesta galvánica de la piel varían respecto al realizado por sujetos sanos (en concreto, los sujetos con daño cerebral realizan fijaciones de mayor duración en los ojos y de menor duración en la boca); y, finalmente, los sujetos con daño cerebral presentan una mayor dificultad para determinar expresiones emocionales. Estos resultados evidencian un patrón ocular anómalo en la detección de expresiones en pacientes que han sufrido un daño cerebral, el cual podría tener un efecto negativo, junto con un mal procesamiento de la información, en la identificación de expresiones faciales.

Resum

Aquest treball analitza el temps de fixació en ulls i boca, i la resposta galvànica de la pell en subjectes sans i amb dany cerebral adquirit durant l'exposició a diferents expressions facials, així com la seua capacitat de detecció, i les interaccions entre aquestes variables. Els resultats demostren que, primer, el temps de fixació en ulls i boca varia segons l'expressió en població sana, així com la resposta galvànica de la pell, si bé aquesta senyal no va donar lloc a variacions significatives; segon, el temps de fixació en ulls i boca realitzat per subjectes amb dany cerebral adquirit i la resposta galvànica de la pell varien respecte al realitzat per subjectes sans (en concret, els subjectes amb dany cerebral realitzen fixacions de major durada als ulls i de menor durada a la boca); i, finalment, els subjectes amb dany cerebral presenten una major dificultat per a determinar expressions emocionals. Aquests resultats evidencien un patró ocular anòmal en la detecció d'expressions en pacients que han patit un dany cerebral, el qual podria tenir un efecte negatiu, juntament amb un mal processament de la informació, en la identificació d'expressions facials.

Abstract

This paper analyzes the fixation duration in eyes and mouth and the galvanic skin response in healthy subjects and individuals with acquired brain injury during the stimulation with different facial expressions, the ability of both groups to detect these expressions, and the interactions between these variables. Our results showed that, first, in healthy population, the fixation duration in eyes and mouth varied according to the expression while the galvanic skin response did not lead to significant variations; second, individuals with a brain injury showed differences in the fixation duration in eyes and mouth with respect to healthy individuals (specifically, subjects with a brain damage had longer fixations in the eyes and shorter in the mouth), while the galvanic skin response did not show significant differences; finally, subjects with a brain injury had an increased difficulty to determine emotional expressions in comparison to healthy subjects. These results evidence an altered eye pattern in the detection of expressions in individuals who have suffered a brain damage, which could negatively effect, together with an altered processing of the information, the identification of facial expressions.

Contenido

Resumen i
Resum ii
Abstract iii
Contenido iv
Índice de tablas v
Índice de figuras vi
Capítulo 1. Introducción 1
1.1 Detección de estados emocionales 1
1.1.1 Evolución 1
1.1.2 Perspectiva histórica 1
1.1.3 Procesos cerebrales asociados 2
1.2 Daño cerebral adquirido 4
1.2.1 Definición 4
1.2.2 Etiología 5
1.2.3 Incidencia y prevalencia 5
1.2.4 Efecto del daño cerebral en la detección de estados emocionales 7
1.3 Patrones oculares 8
1.3.1 Definición 8
1.3.2 Historia 8
1.3.3 Fundamentos tecnológicos 9
1.3.4 Patrones oculares en detección de expresiones faciales 10
1.4 Respuesta galvánica de la piel 12
1.4.1 Definición 12
1.4.2 Fundamentos tecnológicos 12
1.4.3 Respuesta galvánica de la piel en detección de emociones 13
1.5 Hipótesis y objetivo 14
1.5.1 Hipótesis 14
1.5.2 Objetivos 14
Capítulo 2. Materiales y método 15
2.1 Participantes 15
2.2 Materiales 15
2.2.1 Sistema de eye-tracking Tobii TX300 15
2.2.2 Sistema de registro de señales fisiológicas TMSi Refa 16
2.2.3 Software 18
2.3 Estímulo utilizado 20
2.4 Procedimiento 21
2.5 Análisis de los datos 21
2.5.1 Eye-tracking 21
2.5.2 Respuesta galvánica de la piel 22
2.5.3 Análisis estadístico 23
Capítulo 3. Resultados 24
3.1 Variación del tiempo de fijación en ojos y boca en sujetos sanos en distintas expresiones faciales 24
3.2 Variación de la respuesta galvánica de la piel en sujetos sanos en distintas expresiones faciales 25
3.3 Comparación del tiempo de fijación en ojos y boca entre individuos sanos y con una lesión cerebral 26
3.4 Comparación de la respuesta galvánica de la piel de individuos sanos y sujetos con una lesión cerebral 27
3.5 Comparación de las respuestas de individuos sanos y sujetos con una lesión cerebral 27
Capítulo 4. Discusión 29
4.1 Variación del tiempo de fijación en ojos y boca y la GSR en distintas expresiones faciales según la emoción en sujetos sanos. 29
4.2 Diferencias en el tiempo de fijación en ojos y boca y GSR frente a distintas expresiones faciales entre sujetos con DCA y sanos. 29
4.3 Diferencias en la habilidad de detectar expresiones faciales entre sujetos con DCA y sujetos sanos. 30
4.4 Líneas futuras 30
Capítulo 5. Conclusiones 32
Anexos 33
Anexo I. Uso del programa Neurolab 33
Bibliografía 35

Índice de tablas

Tabla 1. Características de los participantes. 15
Tabla 2. Especificaciones de Tobii pro-TX300. 16
Tabla 3. Características del monitor TX300 16
Tabla 4. Diferencias en los tiempos de fijación medio (ms) en ojos y boca en cada una de las expresiones faciales. Resultados expresados en media y desviación típica. 24
Tabla 5. Significación de la comparativa de medias de tiempos de fijación en los ojos entre expresiones 25
Tabla 6. Significación de la comparativa de medias de tiempos de fijación en la boca entre expresiones 25
Tabla 7. Respuesta galvánica de la piel de individuos sanos en cada una de las expresiones faciales. Resultados expresados en media y desviación típica. 26
Tabla 8. Significación de la comparativa de medias de la respuesta galvánica de la piel de individuos sanos entre expresiones 26
Tabla 9. Tiempos de fijación medios (s) globales en ojos y boca de sujetos sanos y con daño cerebral. Resultados expresados en media y desviación típica. 26
Tabla 10. Significación de la comparativa de medias de tiempos de fijación en los ojos entre sujetos sanos y con daño cerebral. 26
Tabla 11. Significación de la comparativa de medias de tiempos de fijación en la boca entre sujetos sanos y con daño cerebral. 27
Tabla 12. Significación de la comparativa de medias de la respuesta galvánica de la piel entre sujetos sanos y con daño cerebral. 27

Índice de figuras

Figura 1. Áreas cerebrales asociadas al procesamiento facial 4
Figura 2. Ejemplo del método de pupila oscura. 10
Figura 3. Porcentaje de fijaciones y tiempo de fijación para la boca, nariz y ojos en el estudio de Kun Guo y Heather Shaw. 11
Figura 4. Porcentaje de fijaciones por emoción en el estudio de Guo y Heather. 11
Figura 5. Medias de aciertos por emoción y zona en el estudio de Guarnera. 11
Figura 6. Variación media de la respuesta galvánica de la piel en el estudio de Radin. 13
Figura 7. Variación de la respuesta galvánica de la piel en el estudio de Ben Shalom. 14
Figura 8. Sistema Tobii TX300 15
Figura 9. Dependencia de la precisión respecto a la distancia en el Tobii TX300. 16
Figura 10. Sistema TMSi Refa 17
Figura 11. Sensorización necesaria para el registro de la respuesta galvánica de la piel. 17
Figura 12. Interfaz de Tobii Studio 18
Figura 13. Definicion de áreas de interés en Tobii Studio 18
Figura 14. Ejemplo de visualización del patrón ocular mediante Tobii Studio 19
Figura 15. Ejemplos de expresiones faciales del test diseñado correspondientes a las emociones de a) miedo, b) alegría, c) ira y d) tristeza. 20
Figura 16. Ejemplo de cuestionario del estímulo. 20
Figura 17. Montaje realizado para el experimento en a) instituto i3B y b) Hospital Valencia al Mar. 21
Figura 18. Zonas de interés definidas en el estudio. 22
Figura 19. Respuesta de un filtro paso-bajo de Butterworth 22
Figura 20. Tiempo de fijación medio por expresión en ojos y boca. 24
Figura 21. Duración media de las fijaciones en ojos y boca en el presente estudio. 25
Figura 22. Variación de la respuesta galvánica de la piel de individuos sanos y sujetos con una lesión cerebral por emoción. 27
Figura 23. Respuestas correctas por emoción en sujetos sanos y con daño cerebral. 28
Figura 24. Señal de la respuesta galvánica de la piel filtrada 34

Capítulo 1. Introducción

1.1 Detección de estados emocionales

1.1.1 Evolución

Las emociones, así como la capacidad para detectarlas, suponen un pilar fundamental en las relaciones sociales del ser humano. Las emociones producen respuestas fisiológicas que preparan el organismo para adoptar conductas específicas relacionadas con la supervivencia [1]. De esta manera, la capacidad de detectar estados emocionales en nuestros semejantes ha podido proporcionarnos una habilidad innata para anticipar sus movimientos y prepararnos ante ellos, evitando así posibles amenazas y situaciones que atentaran contra nuestra seguridad. Al parecer, esta capacidad es inherente al ser humano y si bien puede identificarse en otros animales, es en nuestra especie donde ha alcanzado mayor precisión y complejidad. La socialización, la detección emocional y la empatía son características inseparables de ambigua relación causa-efecto que tienen bases neuronales compartidas y que han sido perfeccionadas tras milenios de evolución.

1.1.2 Perspectiva histórica

En los comienzos de este siglo XXI se está observando un fantástico auge en el interés científico por la comprensión de los mecanismos neuropsicológicos que intervienen en la construcción de las experiencias tan peculiares que suponen las emociones.

A lo largo de toda la Historia han sido muchos los pensadores y científicos que han estudiado los fenómenos emocionales desde diversas perspectivas. Ya en la antigüedad, filósofos como Platón o Aristóteles plantearon teorías reales sobre las emociones. No obstante, durante la Edad Media las emociones fueron adquiriendo un carácter negativo (identificándose con la enfermedad del alma y el origen de los pecados), observándose, desde una visión dualista de la naturaleza humana, en constante lucha con el componente virtuoso de la mente, la razón. Llegada la época renacentista, el término afecto fue sustituyendo al de pasión, pero con postulados como los de Descartes, se consolidó la percepción de las emociones como perturbadoras de la cognición, por lo que continúo primando una visión peyorativa de las mismas. Sin embargo, a finales del siglo XVIII varios filósofos con Rousseau a la cabeza, empiezan a dar una visión optimista sobre la naturaleza humana. A raíz de esta concepción de vida y, por tanto, en las emociones la búsqueda de la felicidad, ya planteada por Aristóteles como la motivación básica del ser humano, pasó a ocupar un importante lugar en las corrientes del pensamiento [2].

En el siglo XIX el estudio de la emoción se aleja de la filosofía y profundiza en aspectos más biopsicológicos. Charles Darwin, padre de la biología moderna y uno de los fundadores de la psicología como ciencia independiente, publicó en 1982 la obra sobre emociones más importante hasta aquella fecha [3]. Fue William James, el primero en resaltar el papel de las respuestas periféricas (autómatas y motoras) en la constitución de las experiencias emocionales, perspectiva similar a la hipótesis del marcador somático propuesta por Damasio [4].

Durante el siglo XX van extendiéndose diferentes teorías que centran el foco de atención en unos u otros aspectos de las emociones. Nace así la postura neurológica encabezada por Cannon y Bard y sus teorías centralistas [5]. Este nuevo enfoque centra la atención en la activación en el sistema nervioso central más que en el periférico, proponiendo que tanto la experiencia emocional como las reacciones fisiológicas son acontecimientos simultáneos que surgen del

tálamo. Por otro lado, Sigmund Freud también se ocupó en profundidad de las emociones, aunque éste hizo mayor hincapié en la especial importancia de la experiencia emocional vivida durante la infancia para la comprensión de la vida afectiva del adulto [6]. A finales del siglo XX, las teorías cognitivas adquieren una mayor importancia respecto al enfoque conductista. Éstas consideran que la emoción está formada por una serie de procesos cognitivos que se sitúan entre los estímulos y la respuesta emocional. A partir de la década de los noventa se produjo un crecimiento exponencial de la investigación científica sobre las emociones, siendo la tendencia general de estudio, la compresión de los procesos que intervienen en el comportamiento de un organismo. Buck sintetiza enfoques biológicos y cognitivos al proponer la existencia de un sistema fisiológico innato que reacciona involuntariamente ante estímulos emocionales y otro cognitivo-cortical adquirido cuya reacción es social y simbólica, funcionando ambos de manera conjunta para producir el *output* emocional. De esta forma se ha llegado a la teoría de la existencia de una íntima relación entre emoción, cognición y conducta, así como su vinculación con múltiples mecanismos neurológicos [7].

Existen pues multitud de perspectivas y de niveles de análisis, necesarios todos ellos para poder entender el proceso de la conducta humana en toda su complejidad y atender a sus diferentes alteraciones. Como se ha comentado anteriormente, lo relevante de esta cuestión es que nos encontramos en un momento históricamente propicio para la integración y estudio de todas ellas.

1.1.3 Procesos cerebrales asociados

Los neurobiólogos y los psicólogos han conceptualizado la emoción como cambios fásicos en diversos sistemas fisiológicos, que incluyen componentes somáticos y neurales, obtenidos en respuesta a un estímulo. Existe cierto acuerdo, sin embargo, de que ningún componente por sí solo explica la generación de emociones. Aunque es posible investigar de manera independiente componentes aislados, conceptualmente sólo la unión de todos ellos configura lo que denominamos emoción.

Respecto a la naturaleza de los procesos de la emoción, según Öhman, se debe aceptar que parte de ellos son automáticos, involuntarios y no conscientes [8]. La investigación en neurociencias ha completado la información anterior con la descripción de las zonas cerebrales que median el procesamiento de un rostro, sin duda, uno de los procesos más complejos y que mayor información emocional proporciona. A partir del rostro podemos identificar a una persona, el estado emocional que le acompaña, sus intenciones, su sexo, raza o edad, etc. Los modelos teóricos que se han desarrollado abordaron inicialmente esta complejidad diferenciando rutas de procesamiento independientes para la información relacionada con la identidad, con la emoción y con los elementos visuales del habla. Posteriormente se han descrito de manera más específica las áreas del cerebro relacionadas con este procesamiento complejo.

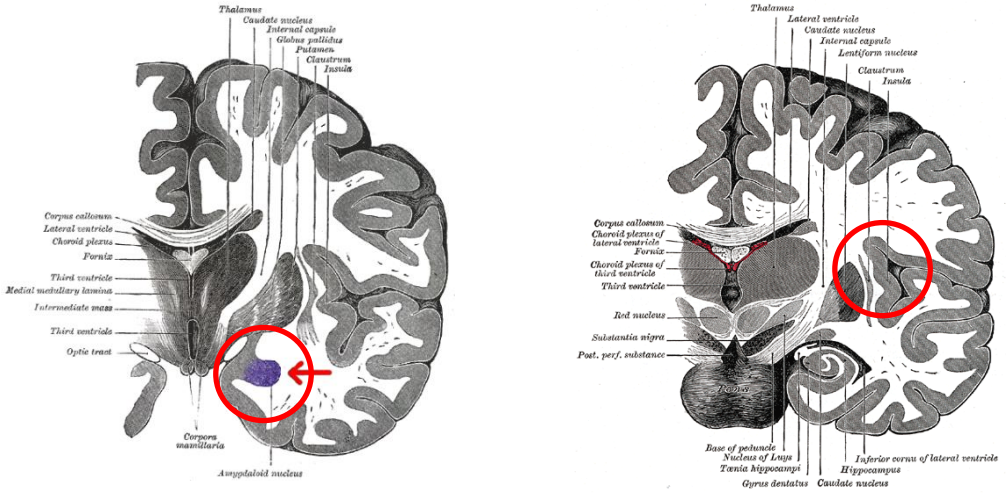
El reconocimiento de emociones a partir de la expresión facial ha sido complementado recientemente con varios estudios mediante diferentes técnicas neurofisiológicas: la electroencefalografía, las imágenes de resonancia magnética funcional, la magnetoencefalografía y la tomografía por emisión de positrones.

Actualmente, parece haber acuerdo en que, por lo menos, tres regiones corticales intervienen en el procesamiento de la información facial: el giro fusiforme, el giro occipital inferior lateral, y el surco temporal superior [9]. Además, se acepta que el procesamiento del rostro requiere la coordinación de múltiples regiones neuronales. La ruta que va desde la corteza

occipital inferior a la corteza temporal inferior se ocupa mayormente de los aspectos invariantes (identidad). En dicha ruta, acompañada por la acción de la amígdala, se procesaría la información emocional. Estas áreas también tienen una especial relevancia para la compresión de los procesos empáticos.

La amígdala, o complejo amigdalino, es una estructura subcortical situada en la profundidad del lóbulo temporal, formando parte de la pared medial de la asta temporal del ventrículo lateral. Filogenéticamente vinculada con el claustro y el estriado, está compuesta por numerosos núcleos diferenciados, agrupados principalmente en un complejo basolateral, incluyendo los núcleos basomediales (amígdala palial), y los núcleos central y cortical-medial (amígdala subpalial), estando anatómica y funcionalmente interpuesta entre el procesamiento emocional cortical (consciente e inconsciente, explícito e implícito) y la respuesta somática periférica (red autónoma central, incluyendo el hipotálamo). Integra por tanto la información explícita del procesamiento emocional con las tendencias de acción implícitas, mediando en su traducción posterior en la respuesta somática correspondiente.

La amígdala se encuentra conectada con la práctica totalidad del encéfalo, lo que evidencia su papel integrador en el procesamiento emocional. Las aferencias procedentes del tálamo y la corteza, tanto límbica como extralímbica, llegan principalmente al complejo basolateral. El núcleo central recibe su aferencia mayoritaria del sistema autónomo central (red autónoma central integrada por hipotálamo, sustancia gris periacueductal, núcleo dorsal del rafe, núcleo parabraquial, *locus coeruleus*, núcleo solitario, área reticular ponto-bulbar, y sus proyecciones aferentes y eferentes). Por su parte, al núcleo cortical llegan aferentes por la estría olfatoria lateral. La eferencia amigdalina se proyecta entonces principalmente al hipotálamo, desde el núcleo central, alcanzando fundamentalmente el hipotálamo lateral y el núcleo paraventricular (vías amigdalófugas ventral y dorsal o estría terminal) y el propio sistema autónomo central (conexión directa por el fascículo longitudinal dorsal), todo ello con conexiones de ida y vuelta con otras regiones encefálicas como el estriado adyacente o el mesencéfalo rostral, dando paso a la expresión somática correspondiente. En este sentido, la estimulación directa del núcleo central de la amígdala en animales de experimentación produce una serie de cambios conductuales y somáticos congruentes con la reacción de lucha o huída descrita por Cannon (activación simpática desde el hipotálamo lateral, liberación de la hormona corticotrofina desde el núcleo paraventricular en respuesta al estrés, expresión facial emocional, cambios neumo-cardio-entéricos, aumento del sobresalto y del nivel de vigilancia, y otros). Cabe señalar que la amígdala no sólo recibe aferencias corticales que vehiculan información emocional de los estímulos del entorno (aferencias en general excitadoras), sino también influencias prefrontales y orbitofrontales de carácter inhibitorio, que modulan el patrón de descarga amigdalino, induciendo por ejemplo una inhibición conductual en respuesta a la presencia de rostros desconocidos. Con respecto al papel de la amígdala en el procesamiento de expresiones faciales, se ha demostrado que las expresiones de miedo, alegría y tristeza, además de requerir la activación de las zonas occipitotemporales del procesamiento del rostro, se asocia a la activación de esta área del cerebro (Figura 1.a). Sin embargo, en las expresiones de asco o ira se activa la ínsula (Figura 1.b) [9].



a) b)

Figura 1. Áreas cerebrales asociadas al procesamiento facial

En general, la empatía suele relacionarse con la capacidad para representar los estados mentales de otras personas, así como de entender y compartir sus sentimientos. Las propuestas teóricas e investigaciones actuales sobre la empatía están especialmente influenciadas por el descubrimiento de las neuronas espejo. Las neuronas espejo, originalmente detectadas en la corteza premotora (equivalente área F5 en el cerebro de los macacos), responden tanto al ejecutar una determinada acción como al observar a otro individuo realizando dicha acción. El sistema de las neuronas espejo se encuentra formado por una red cortical que incluye la porción rostral del lóbulo parietal inferior y la porción caudal del giro frontal inferior, así como por la región de la corteza premotora. Por tanto, cuando se presencia la acción de otras personas, se activan en el observador los procesos neurales implicados en dicha acción y esa simulación de la acción podría ser la causa que hace posible la comprensión de su comportamiento [9].

Los mecanismos de simulación también parecen estar presentes durante la observación de expresiones faciales emocionales. La ínsula anterior y el opérculo frontal adyacente se activan tanto ante la observación de expresiones faciales de asco como ante la propia experiencia de asco. Asimismo, se han observado mecanismos de simulación de otras expresiones faciales emocionales. El equipo de Carr demostró que la observación y la imitación de expresiones emocionales de alegría, tristeza, enfado, sorpresa, asco y miedo, activan un conjunto de áreas semejantes (la corteza frontal inferior, la corteza temporal superior, ínsula anterior y la amígdala), aunque esta activación es mayor durante la imitación [9].

Parece, por tanto, que algunas áreas cerebrales relevantes en el procesamiento emocional no solo se activan al sentir distintas emociones, sin que también se activan cuando se comparten los estados afectivos de otras personas. La activación de estas áreas al observar la emoción que siente otra persona, sin necesidad que acontezcan eventos o experiencias personas específicas, sugiere que la empatía afectiva puede apoyarse en un mecanismo de simulación afectiva semejante al postulado por la comprensión de las acciones de otra persona.

1.2 Daño cerebral adquirido

1.2.1 Definición

El daño cerebral adquirido (DCA) es una afectación de las estructuras encefálicas en personas que, habiendo nacido sin ningún tipo de daño cerebral, sufren posteriormente lesiones cerebrales que llevan a la afectación del sistema cognitivo, emocional, conductual y/o físico. Estas

afecciones desarrollan anomalías en la percepción sensorial, alteraciones cognitivas y alteraciones del plano emocional [10].

1.2.2 Etiología

Entre las causas más comunes de sufrir un DCA se encuentran los traumatismos craneoencefálicos (TCE), causados por una fuerza externa como un accidente de tráfico o una caída desde cierta altura.

Entre otras de las causas más probable de sufrir un DCA se hallan los accidentes cerebrovasculares o ictus. Los ictus se definen por una afección en los vasos sanguíneos que suministran sangre al cerebro. Existen dos causas principales de ictus. Por una parte, se encuentran los ictus hemorrágicos, que se producen cuando un vaso sanguíneo (vena o arteria) se rompe, y los ictus isquémicos o infartos cerebrales, que se producen por una obstrucción de la arteria por la presencia de un coágulo de sangre. Concretando un poco, se encuentra que la afectación carotídea extracraneal produce la gran mayoría de ictus, siendo entre el 40-60%, seguido de las afectaciones intracraneales que suponen entre del 15-20%; el 20% restante lo conforman los embolismos cardíacos.

Como tercer tipo entre las causas más comunes de sufrir un DCA se encuentran los tumores cerebrales, los cuales se identifican como un grupo de células anormales que crecen en el cerebro. Entre éstos podemos distinguir entre tumores benignos, si crecen a un ritmo lento y no son excesivamente invasivos, o malignos si su crecimiento es acelerado, agresivo e invasivo [10].

Finalmente, los dos últimos casos más comunes de sufrir un DCA son las anoxias cerebrales y las infecciones cerebrales. Las anoxias cerebrales se definen como la ausencia de aporte sanguíneo a los tejidos cerebrales, creando una carencia de oxígeno. La gravedad de las lesiones provocadas por la falta de oxígeno va a depender del tiempo que se encuentre el cerebro en ausencia de éste.

Por otra parte, las infecciones cerebrales o abscesos cerebrales se definen como una colección purulenta localizada en el parénquima cerebral. Generalmente estos se producen por una infección bacteriana o micótica, provocando un hinchazón e irritación en el cerebro. Las células cerebrales infectadas, los glóbulos blancos, las bacterias, los hongos vivos y muertos se acumulan en una zona del cerebro, lo cual forma tejido alrededor de dicha zona y crea una masa o absceso. Dichos organismos suelen llegar al cerebro a través de la sangre o entran directamente en una cirugía cerebral.

1.2.3 Incidencia y prevalencia

El TCE es un importante problema sanitario y socioeconómico que afecta a las sociedades modernas. Los datos de incidencia de los últimos años en Europa reportan una media de 235 casos por cada 100.000 habitantes por año, siendo Suecia el país con mayor incidencia con 546 casos de cada 100.000 habitantes por año [11] . En el caso de España, la incidencia se encuentra por debajo de la media europea, siendo del orden de 200 nuevos casos por cada 100.000 habitantes, con una edad media de sufrir un TCE de 50,84 años, y con un 75,5% de los casos varones [11]. La prevalencia se define como la media de la cantidad total de TCE en un punto en el tiempo (prevalencia puntual) o el intervalo de tiempo (prevalencia de periodo) en una población de tamaño conocido. Los datos actuales apuntan a una tasa de 235 afectados por cada

100.000 habitantes para una población de actual en la Comunidad Europea de unos 330 millones [12].

Respecto a los ictus, los estudios realizados son escasos, ya que el ictus es una entidad heterogénea tanto en las formas de presentación como en las etiopatogenias, y ello dificulta la obtención de datos epidemiológicos fiables. En el análisis de los datos de la Organización Mundial de la Salud las enfermedades cerebrovasculares representan la tercera causa de muerte en el mundo occidental [13]. Según los datos publicados sobre la mortalidad global producida por las enfermedades cardiovasculares en el año 2002, el 32% (5,5 millones de muertes) se debieron a ictus. En España existen varios estudios de incidencia de ictus [14]. Cuando se comparan grupos de población, se ve que la incidencia aumenta progresivamente con la edad, y que es algo más alta en los varones que en las mujeres. En estos se estudios se puede concluir que aproximadamente la incidencia de dicha enfermedad en la población es de 210 casos por cada 100.000 habitantes en año. En cuanto a la prevalencia de la enfermedad, los datos en nuestro país sitúan en torno al 2% en mayores de 20 años en el área de Alcoy, siendo cifras más altas cuando se restringe la población en subgrupos de mayores de edad: 4% en Girona, 8% en Madrid, y 7% en Ávila para mayores de 65 años. Se ha de tener en cuenta que todos estos estudios se realizaron por regiones, no llegándose a estimar un valor real para el país, pero si pudiéndose aproximar a una tasa de prevalencia del 6,5% [15].

En relación con los tumores cerebrales la tasa de incidencia de dicha enfermedad oscila entre el 4,8 y 10,6 por cada 100.000 habitantes, siendo de 8,73 por 100.000 habitantes/ año en varones y 5,41 en mujeres en España [16]. La distribución por sexos muestra un predominio de los tumores benignos en mujeres, mientras que los malignos, así como las cifras globales se atribuyen a los varones. La incidencia de tumores cerebrales por edad aumenta drásticamente con la edad de los sujetos entre los 75 y 85 años de edad en ambos sexos, siendo el tipo de tumor más frecuente el glioblastoma multiforme y el astrocitoma entre los ancianos. Sólo el 1,5% de los cánceres se observa en niños, pero con una alta incidencia de tumor cerebral, siendo esta la segunda cauda más importante de cáncer entre la población de dicha edad. El meduloblastoma y las astrocitomas cerebelosos son los tumores más frecuentes en la infancia. El primer pico de incidencia se observa en la infancia, mostrándose seguidamente el segundo y mayor pico de todos en la tercera década de vida, siendo alrededor de los 54 años su máximo. La prevalencia de los tumores cerebrales, es prácticamente la misma que la incidencia; ya que se estima que la duración media de dicha enfermedad ronda el año. Sin embargo, se hace de especial utilidad en dicha enfermedad observar la supervivencia de los sujetos con dicha enfermedad, en la que en el caso de Europa se sitúa entre el 25,3% y el 29,1% de 5 a 10 años [17].

Con respecto a las infecciones cerebrales, la incidencia en España no se conoce con total precisión, estimándose en 150-250 casos por 100.000 habitantes/año [18]. En el caso de la población mayor de 75 años la tasa se multiplica por 10, siendo la incidencia acumulada hasta los 65 años del 3% y disparándose hasta el 24% en los mayores de los 85%. No obstante, la tasa de mortalidad en España es de 95 por cada 100.000 habitantes/año, siendo esta mayor en mujeres que en hombres y se encuentra está en posiciones intermedias respecto a los países de la Unión Europea. Se estima una duración media de 3 años de la enfermedad, por tanto, la prevalencia de la enfermedad se aproxima entre 450-750 por cada 100.000 habitantes. Sin embargo, en este cálculo se ha de tener en cuenta que, en dicha media, existe una gran variación.

Finalmente, las anoxias cerebrales constituyen la causa menos probable de sufrir un DCA con 1,1 casos por cada 100.000 habitantes/año.

1.2.4 Efecto del daño cerebral en la detección de estados emocionales

Tras una lesión cerebral es frecuente que los sujetos con daño cerebral muestren cambios de personalidad y de conducta tales como irritabilidad, agresividad, euforia, desinhibición, infantilismo, falta de juicio social, cambios frecuentes de humor, apatía, falta de iniciativa y espontaneidad. Como se ha visto anteriormente, la empatía es necesaria para la detección de estados emocionales en otras personas, la ausencia de ésta o apatía dificultan en gran medida el reconocimiento emocional [19].

Una de las estrategias metodológicas más empleadas en los trabajos que involucran la presentación de estímulos emocionales es la relacionada con la expresión de asco. La expresión de asco es una emoción básica negativa esencial en el comportamiento humano. A nivel funcional, esta expresión activa la ínsula anterior y el opérculo frontal adyacente, conjunto de estructuras que se denominan IFO. Las lesiones en esta estructura alteran tanto la expresión de asco, como la interpretación del asco en otros sujetos, por lo que se le puede atribuir un papel fundamental en la red de áreas cerebrales implicadas en el proceso de simulación de los estados observados en otros, haciendo de la ínsula, como se ha comentado anteriormente, una estructura neuronal fundamental para la compresión empática. El IFO se encargaría, por tanto, de los dos aspectos clave para la simulación: la activación de estados simulados y el sentir de los propios estados, sean simulados o experimentados. Distintos estudios han investigado si el IFO se limita únicamente al procesamiento de estados emocionales negativos como el asco o la ira, o si también procesa estados positivos como la alegría, concluyendo que esta región también contribuye a la detección de estados positivos. Así pues, una lesión que afecte a dicha zona también puede afectar a la detección de estados emocionales. Sin embargo, es la afectación de la amígdala la que suele afectar en mayor medida al reconocimiento de estados emocionales como el miedo, la alegría y la tristeza. En líneas generales, puede decirse que la lesión amigdalina da lugar a una incapacidad para generar una respuesta emocional inconsciente (respuesta somática) frente al entorno, especialmente cuando el estímulo va cargado emocionalmente de lo que constituye el miedo. La amígdala participa también en las respuestas de placer y otras reacciones apetitivas, habida cuenta de la alteración que su lesión produce en la posibilidad de asociar información sensorial ambiental con aspectos tanto gratificadores como no gratificadores de un estímulo. En el síndrome de Klüver-Bucy, por ejemplo, la hiperoralidad puede tener que ver con una pérdida en la capacidad discriminativa de las características gratificadoras de los objetos visuales, que serían explorados gustativamente de manera indiscriminada. También el condicionamiento contextual (o preferencia de lugar) ejemplifica el papel de la amígdala en el procesamiento de estímulos emocionales gratificadores. El condicionamiento contextual explica cómo un organismo tiende a aumentar la exposición y el contacto con entornos en los que encontró gratificación en el pasado, disminuyendo al tiempo la exposición a ambientes aversivos o peligrosos por medio de mecanismos de condicionamiento clásico, asociando señales de lugar con valores de recompensa en los estímulos, en los que parece estar implicado el complejo basolateral [20] .

Por todo ello, la lesión amigdalina puede producir no sólo una descoordinación entre el procesamiento consciente e inconsciente de la información de un estímulo emocional, sino la pérdida de recuerdos emocionales, principalmente implícitos, y la incapacidad para expresar somáticamente la respuesta autónoma correspondiente, vehiculada en condiciones normales por este nivel subcortical del procesamiento emocional [19,21].

1.3 Patrones oculares

1.3.1 Definición

El concepto de patrón ocular hace referencia al conjunto de puntos donde se fija la mirada, es decir, al movimiento del ojo en relación con la cabeza. Los patrones oculares pueden monitorizarse y evaluarse mediante un conjunto de tecnologías denominadas *eye-tracking.* Estos sistemas tienen un gran potencial de aplicación en varias disciplinas y áreas de estudio, desde el marketing y publicidad hasta la investigación médica o la psicolingüística [22].

1.3.2 Historia

Una gran variedad de habilidades de los seres humanos está asociadas a los movimientos del ojo y a la dirección de la mirada. Algunas de estas habilidades son la lectura, la orientación, la visualización, etc. El estudio del comportamiento visual ha contribuido a la comprensión del sistema visual y los mecanismos relacionados con la percepción y funcionamiento cerebral para el desarrollo de sistemas *eye-tracking*.

La tecnología de *eye-tracking* puede parecer reciente. No obstante, el trabajo de estudiar el movimiento ocular se remonta a un siglo atrás en los estudios pioneros de Jacob y Karn [23]. Estos primeros estudios sobre el movimiento ocular se realizaron mediante la observación directa (o con la ayuda de telescopios o espejos). Javal en 1879 observó los movimientos del ojo al leer, manteniendo un ojo cerrado y junto a este un micrófono que detectaba sus movimientos [24]. Delabarre también estudió estos movimientos sellándolos con un quimógrafo [25]. En 1900, Huey construyó un sistema de *eye-tracking* utilizando una especie de lente de contacto con un agujero para el usuario [26]. La lente estaba conectada a un puntero de aluminio que se movía en respuesta al movimiento del ojo. Delabarre y Huey fueron capaces de obtener una primera visión muy valiosa de la función y características de los movimientos oculares, pero sus métodos fueron criticados por resultar demasiado invasivos. Por esta razón Dodge y Cline en 1901 decidieron obtener un modelo de registro más preciso y menos invasivo [27]. Dodge consiguió emitir líneas de luz a los ojos y grabar su reflejo mediante fotografía, lo que produjo una gran aportación hasta los siguientes avances en los 70 con la era digital. Esta fue la primera investigación del movimiento ocular utilizando la reflexión de la córnea, método que hoy en día se sigue utilizando.

En la década de los 20 se iniciaron los primeros registros de movimientos oculares en tres dimensiones utilizando la captación de dos imágenes del ojo simultáneamente. Seguidamente se consiguió descomponer la reflexión de los haces de luz de un ojo en sus componentes horizontal y vertical. En 1935, Buswell utilizó dicha descomposición de la reflexión del haz para medir las rutas de análisis de un sujeto al observar una imagen [28]. En la década de los 60 se realizaron investigaciones utilizando otra vez técnicas invasivas para así poder mejorar la exactitud de las técnicas anteriores. En esta década, varios investigadores como Yarbus o Fender utilizaron lentes de contacto junto con espejos o incluso rollos de alambre [29,30]. En la década de 1970, la investigación del seguimiento del ojo se expandió rápidamente, en particular, para la investigación del movimiento del ojo en la lectura [31]. Esta expansión se produjo también por las nuevas técnicas que empezaron a utilizarse, como el escaneo del ojo mediante el uso de una cámara. Con esta técnica se conseguía un alto contraste entre el iris y la esclerótica facilitando su separación. De esta década destacan investigadores como Taylor S.E., quien inventó un dispositivo mecánico para traducir los movimientos del ojo en permanentes [32], o Merchant y Morrisette, quienes a través de su oculómetro calculaban la posición del centro de la pupila y los reflejos en la imagen [33]. Todos los métodos anteriores miden el movimiento de los ojos respecto a la cabeza, por lo que los investigadores debían de utilizar sistemas para permanecer

con la cabeza inmóvil. Esto fue obviado en esta década al utilizar dos características ópticas del ojo en movimiento, ya que los reflejos de los haces de luz permanecen invariantes ante traslaciones de la cabeza pero varían con rotaciones del ojo (según el estudio de Merchant).

Actualmente la tecnología de *eye-tracking* principalmente sigue siendo reservada a tareas de investigación y de desarrollo de productos, aunque se espera que su evolución sea muy rápida en los próximos años, hasta el punto de poder llegar a convertirse en interfaz de uso cotidiano en dispositivos de consumo. Según los expertos, hoy en día nos encontramos en la cuarta era de los sistemas de *eye-tracking* caracterizada por el gran número de nuevas aplicaciones y de una reducción drástica de la tecnología.

1.3.3 Fundamentos tecnológicos

Los sistemas de *eye-tracking* se pueden dividir en tres categorías atendiendo a las metodologías de medición de movimientos oculares que impliquen: electro-oculografía, lentes de contacto/ bobinas de búsqueda y foto-oculografía o video-oculografía. Por otra parte, una de las características de los sistemas *eye-tracking* requerida para la comodidad del usuario, como hemos visto anteriormente en las diferentes técnicas utilizadas durante la historia, es el carácter no invasivo de los sistemas. De esta forma se podrían agrupar las tres categorías de las metodologías antes mencionadas en dos: sistemas invasivos y no invasivos. En el presente trabajo se utilizó sólo un sistema no invasivo de video-oculografía, el cual se describe a continuación.

El movimiento de los ojos se divide en fijaciones y salidas, fenómenos que se corresponden a los instantes en que la mirada se detiene en cierto punto y en que ésta se dirige a otra posición, respectivamente. Normalmente, la mayoría de información requerida de los ojos se muestra en el número de fijaciones que se realizan y donde van dirigidas. La técnica de video-oculografía utiliza una cámara o dispositivo de adquisición de imágenes para tratar de determinar el movimiento de los ojos utilizando las imágenes obtenidas por dicho dispositivo. Para ello, se analiza el comportamiento de características del ojo humano como el centro de la pupila, el contorno del iris o las reflexiones de la córnea y se establece una relación entre éstas y el punto donde se fija la mirada. Estos sistemas están basados en la captura de imágenes, por lo que requieren una iluminación del usuario adecuada. Algunos de estos sistemas cuentan con una o varias fuentes de iluminación, aunque también existen sistemas que funcionan solamente con la luz visible. En el caso de utilizar iluminadores, generalmente la luz emitida por éstos es infrarroja. Esta luz se refleja en los ojos y es capturada por la cámara de vídeo. La información capturada se analiza para extraer la rotación de los ojos en función de los cambios de posición de las reflexiones.

Se usan dos tipos generales de técnicas de seguimiento de ojos: pupila brillante y pupila oscura. La diferencia entre ellas se basa en la localización de la fuente de iluminación con respecto a los ojos. Si la iluminación es coaxial con la mirada, los ojos actúan como catadióptricos de manera que la luz refleja en la retina un efecto de pupila brillante parecido al de los ojos rojos. En cambio, si la fuente de iluminación no es coaxial con la mirada, la pupila aparece oscura ya que el retro reflejo de la retina se desvía lejos de la cámara (Figura 2). La técnica de la pupila brillante genera un mejor contraste iris/pupila debido a un seguimiento de ojos más correcto en relación a la pigmentación del iris y reduce significativamente les interferencias producidas por las pestañas y otras características ocultas. Esto además permite un seguimiento en condiciones que van desde la total oscuridad hasta una claridad alta. Estas técnicas no son muy efectivas para hacer seguimientos en exteriores ya que se producen interferencias en su monitorización.

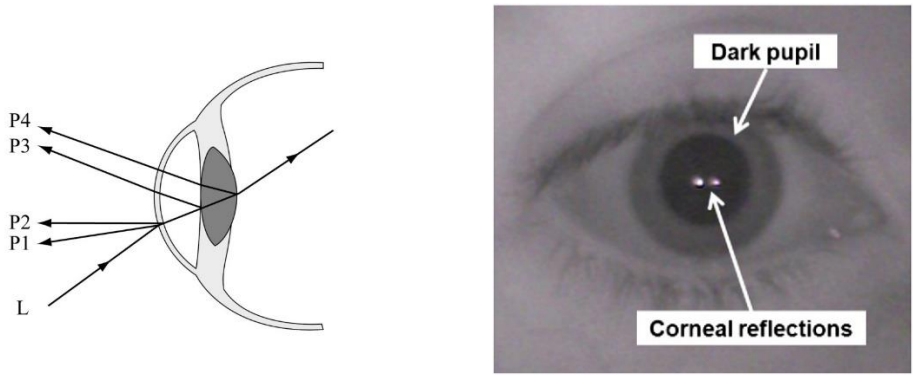


Figura 2. Ejemplo del método de pupila oscura.

1.3.4 Patrones oculares en detección de expresiones faciales

La expresión facial de la emoción proporciona información necesaria para entender el estado emocional de las personas y sus intenciones. La habilidad de reconocimiento de una expresión emocional con precisión y rapidez juegan un papel crucial en nuestra comunicación social. Los estudios pioneros de Ekman sugieren que las expresiones emocionales básicas tales como alegría, tristeza, ira, miedo, sorpresa y asco se asocian con el patrón distintivo de movimientos de los músculos faciales, y son culturalmente similares entre los seres humanos [34] . Dichos estudios también han demostrado que ciertas zonas de la musculatura facial como los ojos o la boca son cruciales para la detección de estados emocionales, mostrando prácticamente la mayor parte de atención para el sujeto [34].

Estudios recientes con sistemas de *eye-tracking* han demostrado que existe una tendencia a adoptar una actitud de visión cómoda para integrar la información clave de los rasgos faciales durante la categorización de expresiones emocionales faciales [35]. De esta forma, para visualizar cara de un tamaño relativamente pequeño, se suele centrar la atención en la zona central de la cara (nariz) para así poder recoger la información de los rasgos circundantes (ojos y boca). Sin embargo, en caras de mayor tamaño, se observaban directamente estas dos zonas para extraer e integrar las señales expresivas con el fin de decodificar la expresión emocional. En dichos estudios se observó cómo determinados patrones oculares en estas dos zonas son característicos de ciertas expresiones emocionales. Así, la boca presenta patrones oculares característicos en la expresión de alegría y los ojos en la expresión de ira [35].

En línea con esto, Kun Guo y Heather Shaw observaron la diferencia en el número de fijaciones entre distintas posiciones de la cabeza durante la detección de expresiones emocionales [36]. En el estudio participaron 32 estudiantes con una edad media de 19.94 ±4.34 años, los cuales debieron observar expresiones faciales de seis emocionales básicas desde tres ángulos de visión. El estudio obtuvo resultados muy interesantes. Por una parte, se dedujo que, con independencia del ángulo de visión, existen tres zonas fundamentales en las que cualquier sujeto centra su atención a la hora de evaluar una expresión emocional: ojos, nariz y boca. Además, se confirmó la dependencia existente entre el tamaño de la cara y la mirada del sujeto a la nariz (Figura 3).

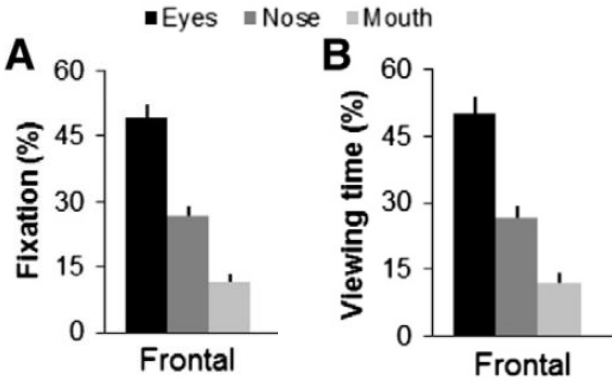


Figura 3. Porcentaje de fijaciones y tiempo de fijación para la boca, nariz y ojos en el estudio de Kun Guo y Heather Shaw.

Otro de los resultados del estudio de Kun Guo y Heather Shaw estableció que, para las seis emociones básicas, la zona que más tiempo se observa siempre son los ojos, acentuándose este efecto en las expresiones negativas (miedo, ira, tristeza, etc.) (Figura 4).

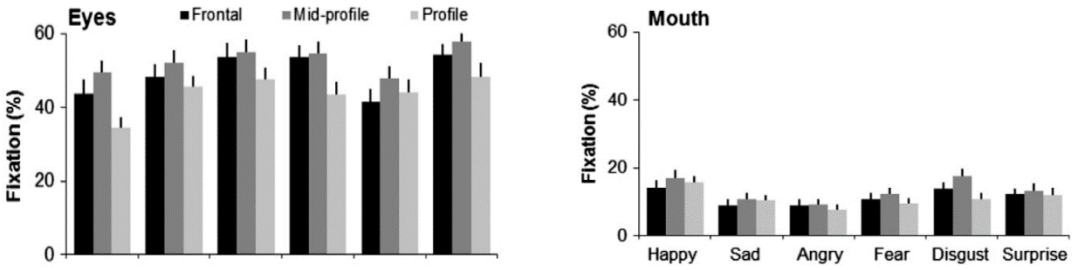


Figura 4. Porcentaje de fijaciones por emoción en el estudio de Guo y Heather.

Otro estudio interesante sobre los patrones visuales ante el reconocimiento emocional es el realizado por Maria Guarnera, el cual se centró en la habilidad de reconocimiento emocional en niños a partir de los ojos o la boca de manera aislada [37]. En el estudio se incluyó una muestra de 50 niños de entre 6 y 7 años, los cuales tuvieron que identificar las emociones que iban observando en cada una de las 42 imágenes que se les mostro, que involucraban siete emociones (se añadió la expresión neutral) y ambos géneros. Los patrones visuales de los sujetos fueron registrados en todo momento por un sistema de *eye-tracking*. El estudio demostró que los sujetos fueron capaces de reconocer ciertas expresiones emocionales mirando sólo la boca (en el caso de la alegría o el miedo) o los ojos (en el caso del miedo, la tristeza y el disgusto) (Figura 5).

	Whole face		Eyes area		Mouth area	
Emotion	*M*	*SD*	*M*	*SD*	*M*	*SD*
Anger	1.60_a	0.61	1.60_a	0.61	1.20_b	0.64
Disgust	1.52_a	0.58	0.24_b	0.48	1.18_c	0.48
Fear	1.34_a	0.69	0.80_b	0.67	0.70_b	0.74
Happiness	1.62_a	0.57	0.90_b	0.58	1.04_b	0.53
Sadness	0.90_a	0.58	1.12_b	0.63	0.50_c	0.54
Surprise	1.04_a	0.75	0.60_b	0.76	0.44_b	0.61
Neutral	0.92_a	0.75	0.92_a	0.80	1.74_b	0.49

Figura 5. Medias de aciertos por emoción y zona en el estudio de Guarnera.

En conclusión, las zonas más relevantes para la detección de una expresión emocional facial son la boca y los ojos. No obstante, siempre que tengamos todos los rasgos de la cara al completo podremos mejorar dicha información.

1.4 Respuesta galvánica de la piel

1.4.1 Definición

La respuesta galvánica o conductancia de la piel (GSR) es el cambio en la conductividad de la piel relacionado con estímulos ambientales como la luz, sonido, olor, etc. La piel, además de cumplir la función de aislar el organismo del medio ambiente y de mantener el balance hídrico, también es una buena conductora de la electricidad. Esto se debe a que las glándulas sudoríparas actúan de resistencias eléctricas de manera que, al llenarse de sudor, su resistencia disminuye (la conectividad aumenta). Por todo esto podemos deducir que la amplitud de la respuesta eléctrica de la piel depende de la cantidad de secreción que es llevada hasta los conductos y de la cantidad de glándulas sudoríparas activadas, lo cual depende del sistema nervioso autónomo, siendo su neurotransmisor la acetilcolina.

El sistema nervioso autónomo se activa en respuesta a emociones. Fundamentalmente estas emociones son las que preparan al organismo para un ataque o defensa, como por ejemplo el temor, la ansiedad, etc. Sin embargo, esta activación también se produce por otros estados como la alegría, o cualquier estímulo con alto contenido emocional o significativo para el sujeto.

1.4.2 Fundamentos tecnológicos

Para registrar la GSR se aplica sobre ésta una corriente eléctrica débil, y se mide esta corriente en un lugar cercano para observar los cambios de conductividad producidos en esta señal. Por ello, lo que realmente se mide es la resistencia que opone la piel a esta corriente o la propia conductividad eléctrica. Este parámetro se mide en Siemens (S). Y se calcula mediante la fórmula:

$$C = \frac{I}{V}$$

, donde C es la conductancia de la piel, I es la corriente observada en la piel y V es el voltaje aplicado entre dos electrodos colocados en la piel (±200 mV).

Por un lado, se puede identificar la conductividad eléctrica tónica (o nivel de conductividad de la piel). Dicha conductividad es la línea basal de la conductividad de la piel, en ausencia de estímulos ambientales. Este nivel aparece cuando se secreta el sudor en la piel o cuando éste es reabsorbido por las glándulas sudoríparas. Por otro lado, es posible identificar la conductividad eléctrica fásica o respuesta galvánica, la cual, como se ha comentado, está relacionada con los estímulos ambientales y la activación del sistema nervioso autónomo. Esta conductividad implica un aumento en la conductancia de la piel durante un intervalo entre 10 y 20 s antes de retornar al nivel de conductividad basal y aparece cuando se llenan las glándulas sudoríparas.

Podemos identificar varios parámetros relacionados con la medida del GSR:

- Amplitud: diferencia entre el nivel tónico en el momento de generar la estimulación y el pico máximo que se presenta en el momento de la respuesta.
- Tiempo de latencia: lapso entre el momento de realizar el estímulo y de que aparezca una respuesta en el sujeto.

- Tiempo de elevación: lapso transcurrido entre el inicio de la respuesta y el momento en el que se presenta el pico.
- Tiempo medio de recuperación: lapso transcurrido entre el pico de la respuesta y el momento en el que la línea de la respuesta regresa a la mitad del valor de pico.

Según la naturaleza de la GSR, existen dos tipos de sujetos: lábiles, los cuales tienen una alta frecuencia de respuesta instantánea y una habituación lenta a estímulos, y estables, que representan el caso contrario a los anteriores.

1.4.3 Respuesta galvánica de la piel en detección de emociones

Una de las características principales de la GSR es la activación producida por estados como la alegría, o cualquier estímulo con alto contenido emocional o significativo para el sujeto. Dean I. Radin si existía un cambio significativo en la GSR de una serie de sujetos al observar imágenes aleatorizadas con cierta carga emocional [38]. En el estudio participaron 109 sujetos que observaron en una pantalla una secuencia que alternaba imágenes con carga emocional de 3 s de duración e imágenes en negro de 10 s de duración. La GSR de los participantes se registró durante todo este proceso. Los resultados del estudio mostraron que, durante las imágenes con un contenido emocional neutro, la GSR se mantenía relativamente constante y, por contra, para las imágenes con un contenido emocional elevado, la GSR aumentaba (Figura 6).

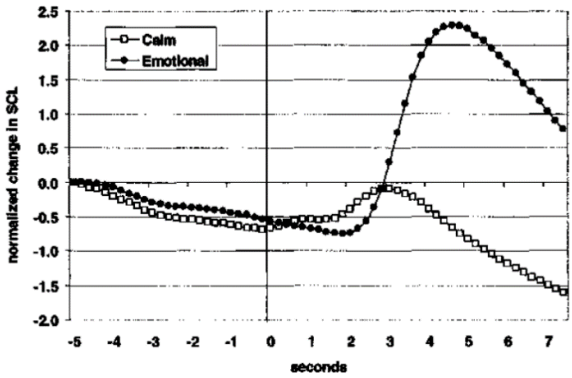


Figura 6. Variación media de la respuesta galvánica de la piel en el estudio de Radin.

Además, los resultados también mostraron que la mayor variación de la señal de GSR se daba aproximadamente 1.5 s después de haber observado el estímulo.

El equipo de D. Ben Shalom realizó un interesante estudio sobre la variación de GSR en diez niños con autismo frente la variación de recogida en diez niños sanos. En dicho estudio se utilizó un estímulo formado por 24 imágenes neutrales, agradables y desagradables. El estudio evidenció que las imágenes negativas provocaron una variación de la GSR, mientras que las imágenes positivas o neutrales, apenas causaron variación relevante (Figura 7). Además, el estudio también mostro que la variación experimentada fue mayor en niños sanos que en niños autistas [39].

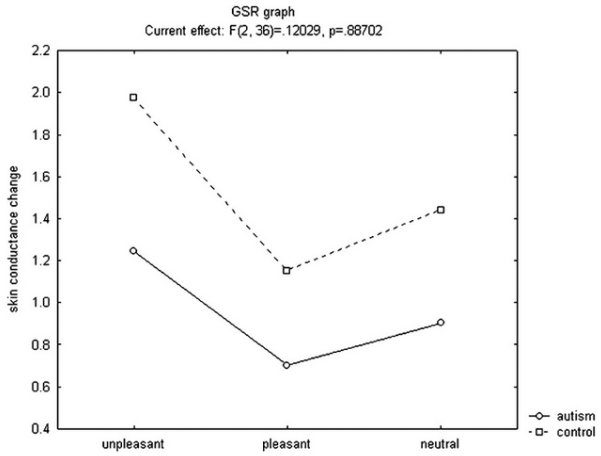


Figura 7. Variación de la respuesta galvánica de la piel en el estudio de Ben Shalom.

En conclusión, imágenes o estímulos con carga emocional pueden provocar cambios en el estado emocional que, a su vez, promueven variaciones de la conductancia de la piel, las cuales pueden registrarse mediante la señal GSR.

1.5 Hipótesis y objetivo

1.5.1 Hipótesis

Las hipótesis del presente trabajo se enumeran a continuación:

- El tiempo de fijación en ojos y boca y la GSR en distintas expresiones faciales varía según la emoción en sujetos sanos.
- El tiempo de fijación en ojos y boca y la GSR en distintas expresiones faciales realizado por sujetos con DCA presenta alteraciones respecto al de sujetos sanos.
- La habilidad de detectar expresiones faciales de sujetos con DCA es menor a la de sujetos sanos debido a las alteraciones comentadas en la hipótesis previa.

1.5.2 Objetivos

En consecuencia, el objetivo del presente trabajo consiste en determinar el tiempo de fijación en ojos y boca y la GSR en sujetos sanos y sujetos con DCA durante la exposición a distintas expresiones faciales, así como su capacidad de detección, y las interacciones entre estas variables.

Capítulo 2. Materiales y método

2.1 Participantes

Para el presente trabajo se reclutó una muestra de participantes sanos mayores de 18 años sin historial de déficits cognitivos o depresión.

Asimismo, se reclutaron individuos con diagnóstico de DCA de grupo III con cronicidad mayor de 6 meses y con estado cognitivo bueno, definido por *Mini-Mental State Examination* > 23. Se excluyeron aquellos sujetos con demencia o afasia severa, definido por *Mississippi Aphasia Screening Test* < 45, con déficits visuales incapacitantes, y con negligencia unilateral espacial. Todos los participantes con DCA se reclutaron del Hospital NISA Valencia al Mar (Valencia, España).

La muestra final estuvo formada por un total de individuos sanos 34 y 24 individuos con lesión cerebral. Las características de ambos grupos se muestran en la Tabla 1.

	Sujetos sanos	Sujetos con lesión cerebral	Significación
Sexo (n, %)			p=0.404
Hombre	22 (64.7%)	18 (75%)	
Mujer	12 (35.3%)	6 (25%)	
Edad (años)	30.0±9.3	42.7±13.3	p=0.000
Etiología (n, %)			-
Ictus hemorrágico	-	11 (45.8%)	
Ictus isquémico	-	6 (25%)	
Traumatismo craneoencefálico	-	7 (29.2%)	
Lateralidad de la lesión (n, %)			-
Derecha	-	14 (58.3%)	
Izquierda	-	5 (20.8%)	
Difusa	-	4 (16,7%)	
Tronco	-	1 (4.2%)	
Cronicidad (días)	-	541.7±463.6	-
MMSE	-	27.2±1.9	-

Tabla 1. Características de los participantes.

2.2 Materiales

2.2.1 Sistema de eye-tracking Tobii TX300

El sistema de *eye-tracking* que se utilizó fue el sistema *Tobii TX300* (Tobii Technology AB, Danderyd, Sweden), considerado uno de los dispositivos de referencia en el seguimiento ocular (Figura 8).

Figura 8. Sistema Tobii TX300

El sistema *TX300* está formado por un monitor TFT de 23” y un *eye-tracker* situado en la parte inferior del sistema. Ambos dispositivos son solidarios e integran un único sistema (Figura 3). El sistema *TX300* es un sistema no invasivo, ya que dispone de una serie de cámaras que son capaces de estimar características del patrón ocular mediante tecnología de video-oculografía. Las características del *eye-tracker* se muestran en la Tabla 2.

Especificación	Valor
Frecuencia de muestreo	300 Hz
Variabilidad de muestreo	<0.3%
Latencia de procesado	1-3.3 ms
Latencia total del sistema	<10 ms
Tiempo para volver a seguir después de pérdida	10-165 ms
Peso	6 kg
Máximo ángulo de visión	35 grados
Técnica de seguimiento	Seguimiento de la pupila oscura
Libertad de movimiento de la cabeza a 65cm	37x17 cm
Distancia de trabajo	50-80cm
Máxima velocidad movimiento cabeza	50 cm/s
Tamaño	55x24x6 cm

Tabla 2. Especificaciones de Tobii pro-TX300.

La precisión del sistema *Tobii TX300* varía con la distancia, manteniéndose constante y óptima de 50 a 75 cm.

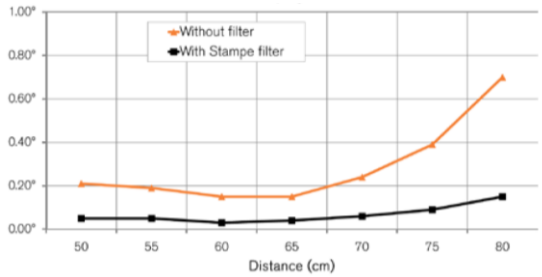


Figura 9. Dependencia de la precisión respecto a la distancia en el Tobii TX300.

Como hemos comentado anteriormente, el sistema *Tobii TX300* está formado por una pantalla, cuyas características se recogen en la Tabla 3.

Especificación	Valor
Tamaño de la pantalla	23”
Resolución	1920 x 1080 píxeles
Aspecto	16:9
Colores mostrados	16.7 M(Hi-FRC)
Frecuencia de sincronización vertical	49-75 Hz
Frecuencia de sincronización horizontal	54.2-83.8 kHz
Tiempo de respuesta	5 ms
Luminancia, blanco	300 cd/m²
Cámara usuario	640 x 480 @ 30 fps
Conectores	DVI/VGA USB

Tabla 3. Características del monitor TX300

2.2.2 Sistema de registro de señales fisiológicas TMSi Refa

El sistema de registro de señales fisiológicas utilizado en el estudio fue el *TMSi Refa* (TMS International BV, Oldenzaal), considerado unos de los dispositivos referencia en señales fisiológicas debido a sus amplias posibilidades en cuanto a medidas (Figura 10).

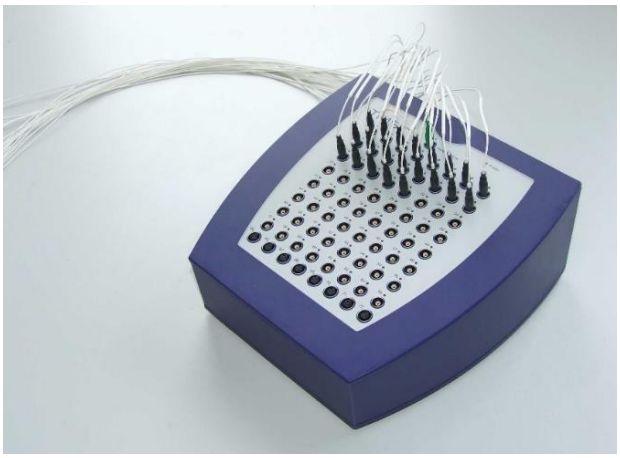


Figura 10. Sistema TMSi Refa

En esencia, el sistema *Refa* está compuesto por un amplificador y una fuente de alimentación externa, que se conecta la toma de corriente y lo protege de subidas de tensión. La conexión al PC se realiza por USB y un cable de fibra óptica bidireccional. El sistema permite el registro simultáneo de señales fisiológicas (electroencefalografia, electromiogafia, respuesta cardiaca, etc.), entre las que se encuentra la GSR, hasta un máximo de 72 canales, e incluye la tecnología patentada de *TMSi true active signal shielding* que permite el registro de señales y datos limpios, completamente libres de interferencias de la red y a prueba de movimiento de cables.

El sistema incluye entradas electrofisiológicas unipolares, así como cuatro entradas bipolares y cuatro entradas auxiliares. Las entradas unipolares se configuran como amplificador de referencia, permitiendo que todos los canales se amplifiquen con el promedio de todas las entradas conectadas. Las entradas bipolares se utilizan para medir señales fisiológicas que requieren referencias. Las entradas auxiliares permiten registrar señales de pH, GSR y temperatura.

En cuanto al registro de GSR, el sistema consta de dos sensores que tienen que ser colocados en la porción ventral de la falange medial de los dedos índice o anular (sensor positivo) y medio o corazón (sensor negativo). Si por algún problema no se pudiera colocar en dicha posición, también obtendríamos una buena medición situando las bandas en la falange proximal (Figura 11).

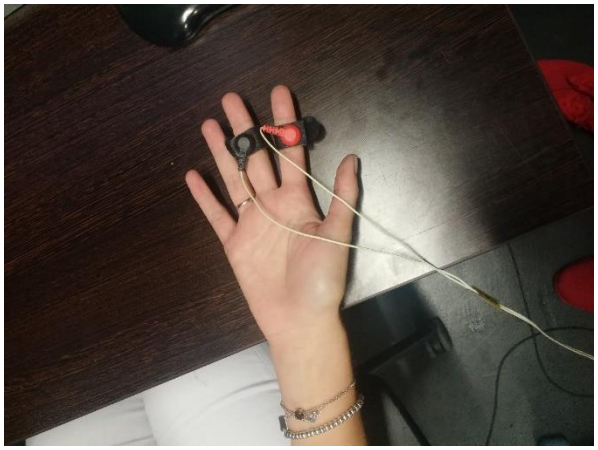


Figura 11. Sensorización necesaria para el registro de la respuesta galvánica de la piel.

2.2.3 Software

2.2.3.1 Tobii Studio

Dado que el seguimiento ocular del estudio se realizó con el *eye-tracker Tobii TX300*, se utilizó el *software* propietario de dicha compañía para el manejo de este dispositivo, denominado *Tobii Studio*. Concretamente, se utilizó la versión 3.2.

Esta aplicación permite, por una parte, el diseño de los estímulos del estudio y, por otra parte, el análisis de los datos obtenidos. Con respecto al diseño del estudio, la aplicación permite añadir estímulos de distinta naturaleza, como imágenes, videos o páginas web, y definir su duración. Distintos estímulos pueden concatenarse para realizar una secuencia de estímulos, de manera similar a una presentación de diapositivas (Figura 12).

Figura 12. Interfaz de Tobii Studio

Tobii Studio también permite la definición de áreas de interés en los estímulos, las cuales definen aquellas zonas en las que la aplicación calculará los parámetros. De esta manera, es posible definir áreas de interés en zonas específicas de la cara, como ojos y boca, de manera que se obtengan los parámetros de *eye-tracking* particularizadas en estas zonas (Figura 13).

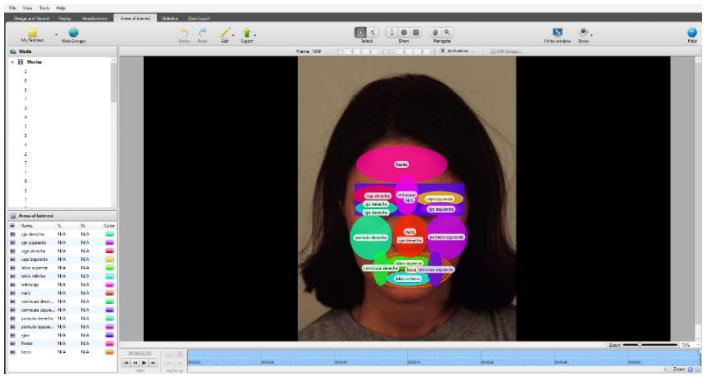


Figura 13. Definicion de áreas de interés en Tobii Studio

Con respecto al análisis de datos, la aplicación permite tanto visualizar como exportar los resultados (Figura 14). Ambas funcionalidades son importantes para comprobar los datos, lo que es especialmente crítico cuando se trabaja con población con DCA, y para su posterior análisis en aplicaciones especializadas, como *IBM SPSS*, que de describe más adelante.

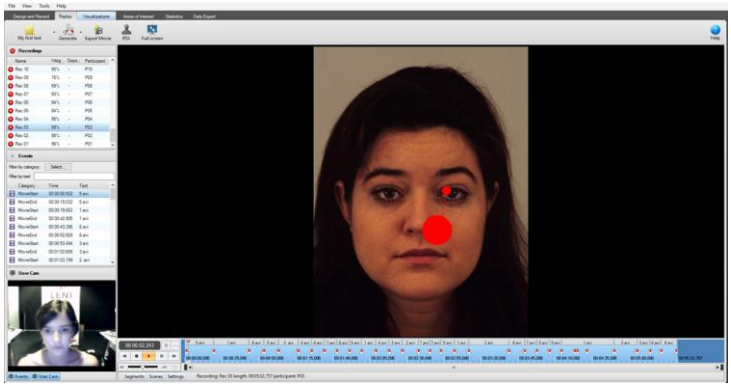


Figura 14. Ejemplo de visualización del patrón ocular mediante Tobii Studio

2.2.3.2 Neurolab

Para realizar las medidas en el laboratorio se utilizó la suite informática NeuroSuite, más específicamente la aplicación Neurolab de dicha suite [26]. Dicha aplicación genera archivos en formato *'.bzix'*, los cuales contienen la información guardada de la sesión de experimentación, esta información serán las señales temporales de la GSR, la temperatura corporal y la EMG. Los datos están compuestos tanto por las propias señales adquiridas mediante el amplificador como por información útil acerca del experimento llevado a cabo, como son: las especificaciones técnicas referidas de cada señal, los estímulos mostrados, las marcas realizadas, etc.

2.2.3.3 Matlab

Matlab (Mathworks, USA), como se ha visto durante los estudios de grado, es una herramienta de *software* matemático que utiliza un lenguaje de programación propio (lenguaje M). Entre las prestaciones básica de Matlab se encuentran:

- Manipulación de matrices
- Representación de datos y funciones
- Implementación de algoritmos
- Comunicación con otros programas y hardware

Concretamente se utilizado en el presente trabajo para el análisis y tratamiento de la señal (27).

2.2.3.4 IBMS SPSS Statistics

SPSS Statistics (IBM, Armonk, NY, USA) es *software* de análisis estadístico diseñado tanto para la colección de datos como para el análisis y la generación de informes. SPSS es uno de los programas estadísticos más conocidos dada su capacidad para trabajar con grandes bases de datos y su sencillo interfaz para la mayoría de análisis. SPSS cuenta con un sistema de módulos similar al de algunos lenguajes de programación que lo dotan de una serie de capacidades adicionales a las existentes en el sistema base. Algunos de los módulos disponibles son:

- Modelos de regresión
- Modelos avanzados (reducción de datos, clasificación y pruebas no paramétricas)
- Tendencias
- Categorías (análisis multivariados)
- Análisis conjunto
- Muestras complejas
- Árboles de clasificación

- Validación de datos

Concretamente, en el presente trabajo se ha usado esta herramienta para el cálculo de los datos estadísticos de fijación (24).

2.3 Estímulo utilizado

Se diseñó una secuencia de 28 imágenes de 5 s de duración que alternaba expresiones faciales de cuatro sujetos distintos, siguiendo lo establecido por el estudio de Liyanage C. DE SILVA [40], que representaban las siete expresiones emocionales básicas (ira, alegría, miedo, asco, neutral, sorpresa y tristeza) (Figura 15).

a) b) c) d)

Figura 15. Ejemplos de expresiones faciales del test diseñado correspondientes a las emociones de a) miedo, b) alegría, c) ira y d) tristeza.

Tras cada imagen, se mostró un pequeño cuestionario con las siete posibles opciones de respuesta, correspondientes a las siete posibles expresiones, en el que se incluyó también la imagen bajo estudio para facilitar su decisión (Figura 16). El tiempo máximo para responder al cuestionario fue 30 s. SI tras este tiempo, los usuarios no respondían, la respuesta se daba como errónea.

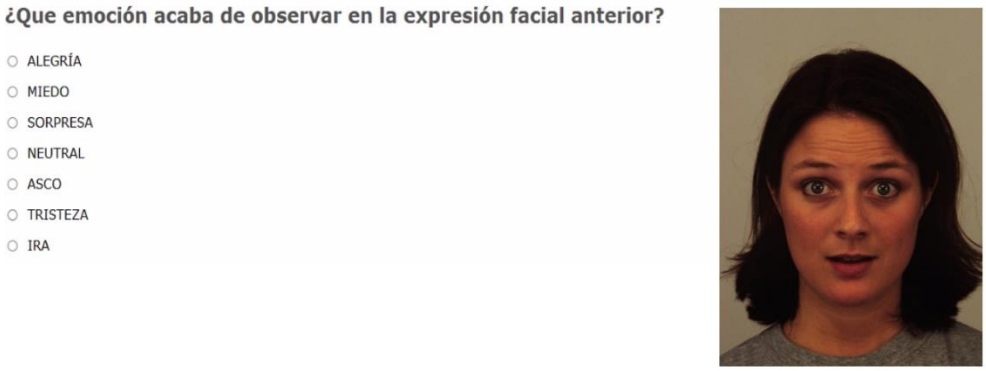


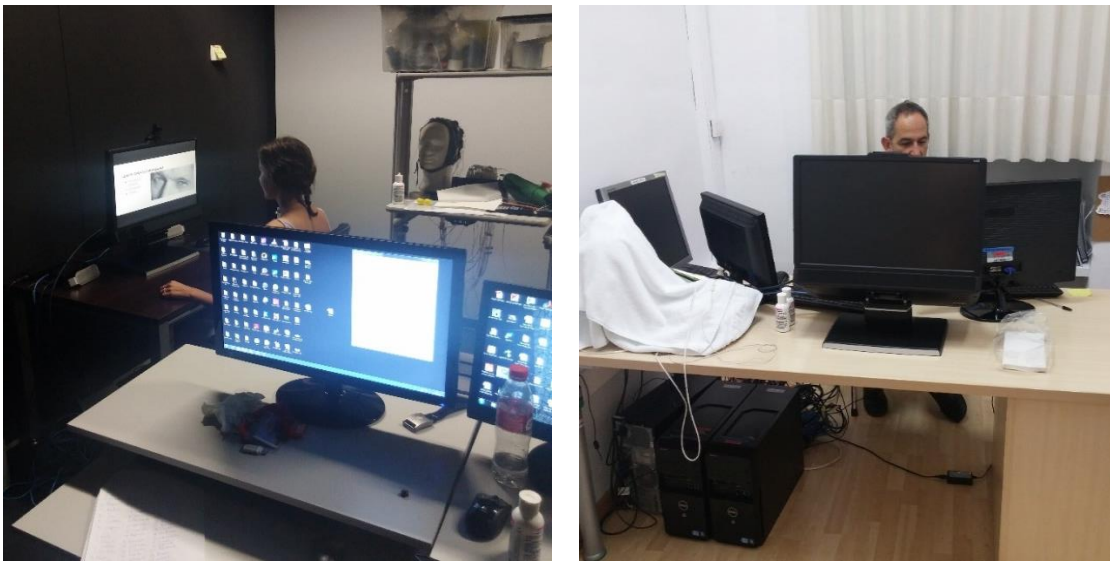
Figura 16. Ejemplo de cuestionario del estímulo.

Las imágenes fueron extraídas de la *Karolinska Directed Emotional Faces* desarrollado por la Universidad de Karolinska [41]. Para la creación de esta base de datos se seleccionaron una serie de modelos que representaron las distintas expresiones faciales y que fueron evaluadas por una muestra de sujetos sanos. Por ello, supone una muestra normalizada y validada de expresiones faciales. Esta base de datos es libre para fines investigadores [41].

2.4 Procedimiento

El estudio de las respuestas de todos los participantes fue realizado por un único experimentador, autor de este trabajo. Los estudios se realizaron en dos habitaciones aisladas de estímulos externos que pudieran distraer a los participantes en las instalaciones del Instituto i3B de la *Universitat Politècnica de València* (Valencia, España) y del Hospital NISA Valencia al Mar.

En ambas instalaciones, el sistema *TX300* se colocó sobre una mesa convencional y frente al mismo se colocó una silla con reposabrazos. El sistema *TMSi Refa* se colocó bien en un lateral de la mesa, bien en una estantería dedicada a tal efecto. Los participantes se sentaron en la silla, a unos 65 cm del sistema *TX300* (Figura 17). El experimentador colocó los dos sensores GSR en la mano derecha de los participantes, tal y como se ha descrito previamente. Para mejorar la conductividad y por tanto la medida de la GSR, se aplicó un gel conductor a los sensores previamente a su colocación.



a) b)

Figura 17. Montaje realizado para el experimento en a) instituto i3B y b) Hospital Valencia al Mar.

Tras comprobar que todas las señales se estaban registrando de manera correcta, el experimentador dio comienzo a la prueba. Como se ha comentado, tras cada expresión facial se daba paso al cuestionario. El experimentador preguntaba por la respuesta correcta y apuntaba la respuesta del participante. Si éste tardaba más de 30 s en contestar, la aplicación pasaba a la imagen siguiente de manera automática y la respuesta se daba por mala y se descartaba. Si el participante era incapaz de contestar a 3 imágenes, se descartaba la prueba completa.

2.5 Análisis de los datos

2.5.1 Eye-tracking

Lo datos de *eye-tracking* se obtuvieron mediante la aplicación *Tobii Studio*. Se definieron quince zonas en cada imagen, si bien solo se tuvieron en cuenta las zonas correspondientes a ojos y boca en este trabajo (Figura 18).

Figura 18. Zonas de interés definidas en el estudio.

En cada zona se registró el tiempo total de fijación, que se define como la suma de tiempos de fijaciones. Se definió una fijación como el momento en el que los ojos permanecieron quietos, centrando la visión en un punto, por un tiempo igual o mayor a 250 ms.

2.5.2 Respuesta galvánica de la piel

La GSR se registró con el sistema *TMSi Refa* y se exportó mediante la aplicación *Neurosuite* para su posterior análisis con *Matlab*.

Dado que la señal proporcionada por el sistema *Refa* estaba muestreada a una frecuencia de 256 kHz y que la respuesta de la piel tiene una tasa de variación natural aproximada de 0.2 s (5 Hz), se filtró la señal GSR obtenida con un filtro paso-bajo de *Butterworth* con frecuencia de corte a 5 Hz (Figura 19).

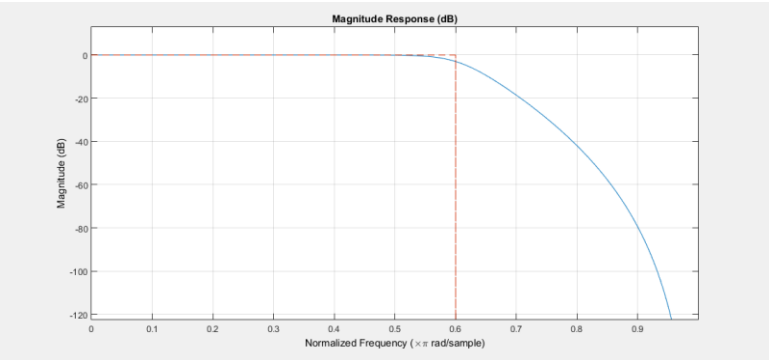


Figura 19. Respuesta de un filtro paso-bajo de Butterworth

Para cada imagen se calculó el cambio de conductancia durante la imagen como

$$\Delta GSR = GSR_{final} - GSR_{inicial}$$

Ambas variables se definen a continuación.

$$GSR_{inicial} = \frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N} GSR(n)$$

$$GSR_{final} = \frac{1}{N}\sum_{n=4N}^{5N} GSR(n)$$

, donde N es el número de muestras de la señal GSR en 1 s, es decir 256kHZ

Los datos obtenidos por el sistema *NeuroSuite* debieron ser recalculados para estimar la GSR en Siemens de la siguiente forma:

$$GSR(n) = 10^6 \frac{5 - 10^{-6}x(n)}{6.6x(n)}$$

2.5.3 Análisis estadístico

Para el análisis del tiempo de fijación en ojos y boca en cada expresión en participantes sanos se compararon las medias mediante una prueba t de *Student* para muestras relacionadas. Para la comparación entre el tiempo de fijación y las respuestas de participantes sanos y sujetos con DCA, se compararon las medias mediante una prueba t para muestras independientes con gel grupo como variable de agrupación y cada variable como variable de prueba.

Capítulo 3. Resultados

3.1 Variación del tiempo de fijación en ojos y boca en sujetos sanos en distintas expresiones faciales

El análisis de los tiempos de fijación en ojos y boca en participantes sanos, los cuales definen el patrón de normalidad de análisis de expresiones faciales, mostró mayores valores para los ojos (0.82±0.64) que para la boca (0.64±0.42). Además, también se evidenció una variabilidad del tiempo de fijación en ambas zonas dependiente de la expresión facial. Finalmente, se comprobó que las diferencias en el tiempo de fijación entre ambas zonas fueron estadísticamente significativas en las expresiones de neutralidad y sorpresa, y se detectó una tendencia a la significación en la expresión de tristeza. Estos resultados se muestran en la Tabla 4 y se ilustran en la Figura 20.

	Ojos	Boca	Significación
Miedo	0.61±0.54	0.60±0.49	p=0.965
Ira	0.92±0.73	0.69±0.49	p=0.103
Asco	0.75±0.72	0.71±0.48	p=0.805
Alegría	0.89±0.76	0.75±0.50	p=0.306
Neutro	0.75±0.58	0.50±0.37	**p=0.025**
Tristeza	0.79±0.65	0.58±0.43	p=0.065
Sorpresa	1.02±0.78	0.64±0.42	**p=0.012**

Tabla 4. Diferencias en los tiempos de fijación medio (ms) en ojos y boca en cada una de las expresiones faciales. Resultados expresados en media y desviación típica.

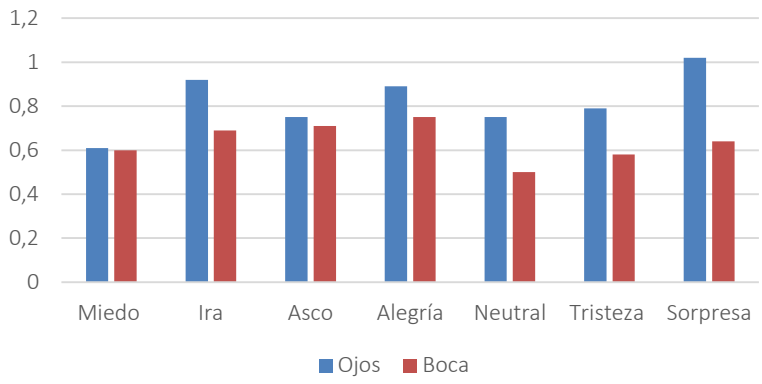


Figura 20. Tiempo de fijación medio por expresión en ojos y boca

El análisis comparativo de los valores para cada expresión en ojos y boca evidenciaron varias respuestas.

Por una parte, el tiempo de fijación realizado en los ojos para la expresión de sorpresa fue mayor que para el resto de expresiones, detectándose diferencias estadísticamente significativas con todas las demás expresiones con excepción de ira y alegría, donde se detectó una tendencia a la significación. Por el contrario, el tiempo de fijación en los ojos para la expresión de miedo fue menor que para el resto, detectándose diferencias estadísticamente significativas con el resto de expresiones. Estos resultados se muestran en la Tabla 5.

Por otra parte, el tiempo de fijación realizado en la boca para la expresión de alegría fue mayor que para el resto de expresiones, detectándose diferencias estadísticamente significativas con todas las demás expresiones a excepción de ira, tristeza y sorpresa, si bien en estas dos últimas se detectó una tendencia a la significación. Estos resultados se muestran en la Tabla 6.

	Miedo	Ira	Asco	Alegría	Neutro	Tristeza	Sorpresa
Miedo	-	p=0.000	p=0.045	p=0.000	p=0.028	p=0.002	p=0.000
Ira	-	-	p=0.008	p=0.581	p=0.022	p=0.029	p=0.209
Asco	-	-	-	p=0.009	p=0.942	p=0.575	p=0.000
Alegría	-	-	-	-	p=0.045	p=0.056	p=0.057
Neutro	-	-	-	-	-	p=0.599	p=0.001
Tristeza	-	-	-	-	-	-	p=0.007
Sorpresa	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 5. Significación de la comparativa de medias de tiempos de fijación en los ojos entre expresiones

	Miedo	Ira	Asco	Alegría	Neutro	Tristeza	Sorpresa
Miedo	-	p=0.044	p=0.048	p=0.025	p=0.038	p=0.633	p=0.484
Ira	-	-	p=0.528	p=0.238	p=0.000	p=0.015	p=0.248
Asco	-	-	-	p=0.462	p=0.000	p=0.006	p=0.117
Alegría	-	-	-	-	p=0.000	p=0.001	p=0.054
Neutro	-	-	-	-	-	p=0.116	p=0.008
Tristeza	-	-	-	-	-	-	p=0.286
Sorpresa	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 6. Significación de la comparativa de medias de tiempos de fijación en la boca entre expresiones

Finalmente, la duración media de la suma de las fijaciones totales, tanto en ojos como en boca, evidenció que la expresión de alegría evocó las fijaciones de más duración. Los resultados contrarios se obtuvieron para la expresión de miedo. Los resultados de este análisis se ilustran en la Figura 21.

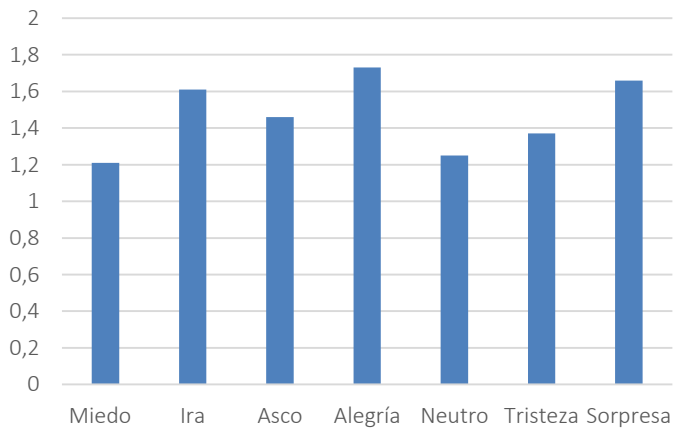


Figura 21. Duración media de las fijaciones en ojos y boca en el presente estudio.

3.2 Variación de la respuesta galvánica de la piel en sujetos sanos en distintas expresiones faciales

Los resultados de la variación de la GSR se muestran en la Tabla 7. El análisis de los datos no evidencio diferencias significativas de esta señal en las distintas emociones. La significación de las comparaciones se muestra en la Tabla 8.

Expresión	Respuesta galvánica de la piel (µS)
Miedo	0,0684±0,18130
Ira	0,0515±0,16750
Asco	0,0417±0,14681
Alegría	0,0349±0,19094
Neutro	0,0348±0,17581
Tristeza	0,0642±0,18310
Sorpresa	0,0190±0,20199

Tabla 7. Respuesta galvánica de la piel de individuos sanos en cada una de las expresiones faciales. Resultados expresados en media y desviación típica.

	Miedo	Ira	Asco	Alegría	Neutro	Tristeza	Sorpresa
Miedo	-	p=0,614	p=0,311	p=0,287	p=0,353	p=0,900	p=0,182
Ira	-	-	p=0,732	p=0,561	p=0,602	p=0,719	p=0,440
Asco	-	-	-	p=0,852	p=0,818	p=0,400	p=0,451
Alegría	-	-	-	-	p=0,882	p=0,434	p=0,695
Neutro	-	-	-	-	-	p=0,394	p=0,626
Tristeza	-	-	-	-	-	-	p=0,162
Sorpresa	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 8. Significación de la comparativa de medias de la respuesta galvánica de la piel de individuos sanos entre expresiones

3.3 Comparación del tiempo de fijación en ojos y boca entre individuos sanos y con una lesión cerebral

La comparación del tiempo de fijación en ojos y boca entre ambas poblaciones evidenció que los sujetos con una lesión cerebral realizaban un mayor tiempo de fijación en los ojos y menor en la boca, diferencias que fueron estadísticamente significativas (Tabla 9).

	Sujetos sanos	Sujetos con lesión cerebral	Significación
Ojos	0.82±0.64	1.39±0.97	p=0.009
Boca	0.64±0.42	0.41±0.38	p=0.033

Tabla 9. Tiempos de fijación medios (s) globales en ojos y boca de sujetos sanos y con daño cerebral. Resultados expresados en media y desviación típica.

Un análisis pormenorizado de cada emoción por separado evidenció que ambas poblaciones difirieron en el tiempo de fijación en ojos y boca en todas las expresiones con la excepción de alegría y boca, si bien se detectaron dos tendencias a la significación en el tiempo de fijación en la boca para las expresiones de asco y tristeza. Estos resultados se muestran en las Tablas 10 y 11.

	Sujetos sanos	Sujetos con lesión cerebral	Significación
Miedo	0.61±0.54	1.06±0.85	p=0.017
Ira	0.92±0.73	1.75±1.22	p=0.002
Asco	0.75±0.72	1.36±1.13	p=0.015
Alegría	0.89±0.76	1.19±0.98	p=0.189
Neutro	0.75±0.58	1.43±0.97	p=0.001
Tristeza	0.79±0.65	1.51±1.00	p=0.001
Sorpresa	1.02±0.78	1.43±1.14	p=0.106

Tabla 10. Significación de la comparativa de medias de tiempos de fijación en los ojos entre sujetos sanos y con daño cerebral.

	Sujetos sanos	Sujetos con lesión cerebral	Significación
Miedo	0.60±0.49	0.37±0.34	**p=0.047**
Ira	0.69±0.49	0.31±0.35	**p=0.002**
Asco	0.71±0.48	0.46±0.46	p=0.053
Alegría	0.75±0.50	0.59±0.57	p=0.268
Neutro	0.50±0.37	0.28±0.32	**p=0.021**
Tristeza	0.58±0.43	0.38±0.38	p=0.077
Sorpresa	0.64±0.42	0.45±0.44	p=0.106

Tabla 11. Significación de la comparativa de medias de tiempos de fijación en la boca entre sujetos sanos y con daño cerebral.

3.4 Comparación de la respuesta galvánica de la piel de individuos sanos y sujetos con una lesión cerebral

El análisis de la GSR no mostró diferencias significativas entre sujetos sanos y con una lesión cerebral (p=0.164) (Tabla 12). Sin embargo, cabe resaltar que la respuesta de los individuos sanos (1.66±2.32 µS) fue considerablemente mayor a la respuesta detectada para los sujetos con lesión cerebral (0.59±3.29 µS).

	Sujetos sanos	Sujetos con lesión cerebral	Significación
Miedo	0,0753±0,17170	0,0594±0,19639	p=0,754
Ira	0,0568±0,16582	0,0445±0,17297	p=0,791
Asco	0,0342±0,17129	0,0515±0,11028	p=0,652
Alegría	0,0645±0,16686	-0,00008±0,21297	p=0,230
Neutro	0,0624±0,13806	-0,0008±0,21297	p=0,215
Tristeza	0,0816±0,19361	0,0417±0,166997	p=0,421
Sorpresa	-0,0010±0,2362	0,0345±0,17410	p=0,539

Tabla 12. Significación de la comparativa de medias de la respuesta galvánica de la piel entre sujetos sanos y con daño cerebral.

Estos resultados se ilustran también en la Figura 22.

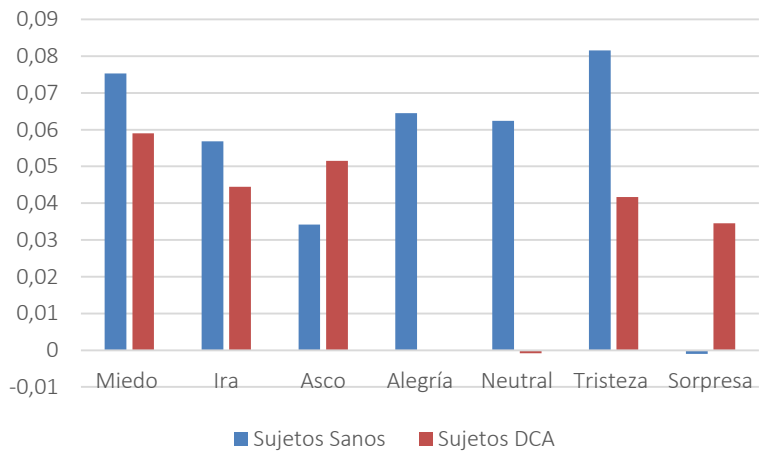


Figura 22. Variación de la respuesta galvánica de la piel de individuos sanos y sujetos con una lesión cerebral por emoción

3.5 Comparación de las respuestas de individuos sanos y sujetos con una lesión cerebral

El resultado en la prueba de reconocimiento de expresiones faciales mostró que los sujetos con lesión cerebral cometieron un número de errores significativamente mayor al de los sujetos sanos (p=0.000). Concretamente, los sujetos sanos tuvieron una puntuación (número de aciertos) de 23.47±2.15 y los individuos con lesión cerebral, 20.38±2.41 sobre 28.

El análisis de ambas poblaciones por separado no mostró correlaciones estadísticamente significativas entre la puntuación obtenida por los participantes y la GSR, ni tampoco con el tiempo que miraron a la boca. Sin embargo, se detectó una correlación moderadamente fuerte entre la puntuación y el tiempo que los individuos miraron a los ojos la boca (r=0.501, p=0.013).

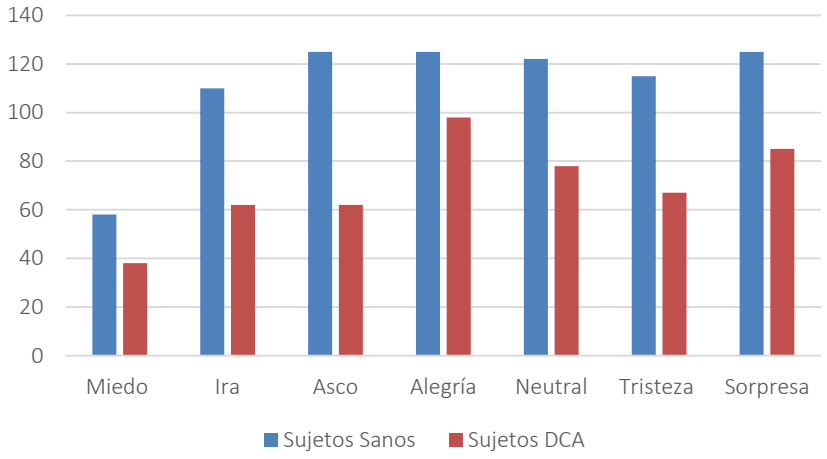


Figura 23. Respuestas correctas por emoción en sujetos sanos y con daño cerebral.

Capítulo 4. Discusión

4.1 Variación del tiempo de fijación en ojos y boca y la GSR en distintas expresiones faciales según la emoción en sujetos sanos.

Con respecto a la variación del tiempo de fijación en ojos y boca y la GSR en distintas expresiones faciales en sujetos sanos, nuestros resultados respaldan la hipótesis de partida y los resultados de estudios previos. Como se comentó en la sección 1.3.4, los resultados de Guo y colaboradores [36]demostraron que, con independencia del ángulo de visión, la parte más observada durante la identificación de una expresión emocional son, en línea con nuestros resultados, los ojos. Sin embargo, un análisis más detallado de cada expresión evidencia cómo en nuestro estudio la media de observación para la expresión de miedo fue prácticamente igual para ambas zonas, lo cual difiere de lo reportado en el estudio de Guo. Nuestros datos van más encaminados a los obtenidos por Guarnera [37], el cual mostró una menor diferencia de tiempo observando la boca o los ojos para reconocer esta expresión. De manera similar, nuestro estudio mostró resultados similares para la expresión de asco, lo cual no concuerda con lo visto en el estudio de Guo ni en el de Guarnera. A diferencia del estudio de Kun Guo, que obtuvo diferencias estadísticamente significativas entre ojos y boca en todas las expresiones, en el presente estudio solo se encontraron diferencias significativas tres emociones, correspondientes a tristeza, neutralidad y sorpresa. Las posibles diferencias en los resultados de nuestro estudio con los estudios citados podrían deberse a que nuestro estudio se centró en tiempo de fijación y se tuvo en cuenta toda la duración del estímulo, lo cual difiere ligeramente de lo realizado por Guo, y abarca participantes de todas las edades, y no sólo niños como el estudio de Guarnera.

Particularizando para la duración media de las fijaciones, un estudio de Cordón y colaboradores mostró que el análisis de la expresión de miedo conlleva la realización de fijaciones de mayor duración [42], mientras que ocurre lo contrario en la expresión de alegría. Estos resultados contradicen los resultados obtenidos en nuestro estudio donde los resultados fueron justo los opuestos. Las diferentes imágenes utilizadas en ambos estudios podrían explicar estos resultados tan opuestos.

En cuanto a la GSR, el presente estudio no mostró diferencias estadísticamente significativas entre las distintas expresiones emocionales en sujetos sanos. Además, la variación de la GSR, si bien se detectó en casi todas las expresiones faciales, fue prácticamente nula. Estudios previos han demostrado cómo imágenes con alta carga emocional pueden producir cambios significativos de la GSR [39]. Esto podría evidenciar que la carga emocional de las expresiones faciales que conformaron el estímulo del presente estudio no fue suficiente como para producir estos cambios. Cabe destacar que, de entre todas las expresiones faciales, la expresión emocional neutra provocó la menor variación de GSR, lo cual respalda el estudio de Radin y colaboradores, que afirma que imágenes con bajo contenido emocional promueven menores variaciones de GSR [38].

4.2 Diferencias en el tiempo de fijación en ojos y boca y GSR frente a distintas expresiones faciales entre sujetos con DCA y sanos.

Los datos de tiempo de fijación por zonas entre sujetos sanos y sujetos con DCA revelan que estos últimos realizan fijaciones de mayor duración en general a ambas zonas, siendo mucho mayor la fijación en la zona de los ojos. Estos resultados van en línea del estudio de Mancuso y colaboradores, el cual evidenció diferencias de patrones de visión entre sujetos sanos y sujetos

que habían sufrido un traumatismo craneoencefálicos, los cuales observaban durante un mayor tiempo la zona de los ojos y en especial al ojo izquierdo [43]. Un estudio similar al realizado en este trabajo con sujetos que presentaban una lesión en la amígdala demostró como los sujetos con problemas en la amígdala realizaron fijaciones de menor duración en la zona baja de la cara, lo cual apoya los resultados obtenidos en nuestro estudio.

En cuanto a la comparación de la GSR entre sujetos con DCA y sanos, se observa como que, pese a que la variación en los sujetos sanos es mayor en todas las emociones, dicha variación no resultó estadísticamente significativa. Cabe comentar que este efecto podría deberse, al menos en parte, a una desregulación sudomotora derivada de la lesión cerebral, la cual se ha reportado después de las enfermedades cerebrovasculares, especialmente después del accidente cerebrovascular isquémico en fases aguda y crónica [44-46].

4.3 Diferencias en la habilidad de detectar expresiones faciales entre sujetos con DCA y sujetos sanos.

Respecto al nivel de aciertos y fallos a la hora de reconocer e identificar expresiones emocionales, se observó que los aciertos obtenidos por los sujetos sanos en nuestro estudio, que reflejan tasas del 83,82%, están en línea con resultados en estudios previos como el de Rodríguez Cordón y colaboradores, donde obtuvieron tasas del 78,75% [42].

Con respecto a diferencias entre sujetos sanos y con DCA, los resultados mostraron que los sujetos con DCA cometieron un número de errores significativamente mayor al de los sujetos sanos, lo cual podría evidenciar una mayor dificultad en el plano emocional, largamente reportado en la literatura, la cual incluye la detección de las emociones. Estos resultados respaldan los obtenidos previamente por Braun y colaboradores en un estudio en que los sujetos con DCA obtenían una tasa de aciertos 16% menor a los sanos [47]. Las diferencias entre los valores obtenidos por sanos (71.9%) y sujetos con ictus (55.9%) a los de nuestro estudio podrían deberse tanto a la naturaleza de los sujetos como a la etiología de la lesión, pues el estudio de Braun sólo involucra individuos con ictus.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo podrían evidenciar una relación entre el patrón ocular y la capacidad de detectar expresiones emocionales. Cabe recordar que en el presente trabajo se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre los sujetos sanos y los sujetos con DCA en el tiempo de fijación en la boca y los ojos en las expresiones de miedo, ira, asco, neutro y tristeza, y que, interesantemente, en las dos únicas expresiones emocionales donde no se detectaron diferencias estadísticamente significativas (alegría y sorpresa) fueron aquéllas donde el número aciertos fue similar entre ambas poblaciones. Sin embargo, esta hipótesis debería ser estudiada más en profundidad en futuros estudios.

4.4 Líneas futuras

Los resultados obtenidos en este estudio se confirmarán en trabajos futuros que contemplarán otras variables de los patrones oculares como el número de fijaciones o el tiempo hasta la primera fijación (este estudio sólo contempla la duración de las fijaciones), otras áreas faciales (este estudio sólo contempla ojos y boca) y las respuestas a otros estímulos usados en la bibliografía como el *Reading the Mind in the Eyes Test* (también registrado en este trabajo, pero no analizado).

Asimismo, nuevos estudios estudiarán las alteraciones conductuales que puedan presentar los sujetos con DCA y se estudiarán los efectos que pueden tener las variables de seguimiento ocular en dichas alteraciones.

Finalmente, durante el estudio bibliográfico llevado a cabo en la realización del presente trabajo se recogió información sobre estudios previos sobre la señal electroencefalográfica de sujetos y de la señal N170 evocada en dicha señal durante la visualización de caras en estudios de potenciales evocados. Cuando los potenciales evocados por imágenes de caras son comparados con otros estímulos visuales, el estímulo de caras precedente muestra un incremento negativo unos 130-200 ms antes de la presentación del estímulo. Esta respuesta se maximiza sobre la zona de los electrodos occipito-temporales, lo cual es consistente con una fuente situada en el giro fusiforme y las circunvoluciones inferior-temporales. Dada la ausencia de un correlato fisiológico en la señal GSR, un futuro proyecto de investigación contempla el potencial N170 como posible candidato neurofisiológico al procesamiento de caras. Esta hipótesis podría ser la base para la Tesina Fin de Master del Máster Universitario en Ingeniería de Telecomunicación, que se comenzará el presente curso académico.

Capítulo 5. Conclusiones

El presente trabajo analiza por primera vez el tiempo de fijación en ojos y boca y la GSR en sujetos sanos y sujetos con DCA durante la exposición a distintas expresiones faciales, así como su capacidad de detección, y las interacciones entre estas variables. Los resultados obtenidos pueden resumirse en las siguientes conclusiones.

Primero, este estudio demuestra que el análisis de distintas expresiones faciales evoca patrones oculares diferenciables en sujetos sanos. Al contrario, nuestro estudio no evidencia diferencias significativas en la variación de la señal GSR.

Segundo, este estudio evidencia diferencias entre los patrones oculares realizados por sujetos sanos y sujetos con DCA. En concreto, los sujetos con DCA realizaron fijaciones de duración significativamente mayor en los ojos y menor en la boca, en comparación con los sujetos sanos. Nuevamente, nuestros datos apuntan a que la señal GSR no evidencia diferencias entre ambas poblaciones.

Finalmente, nuestros resultados confirman una alteración en la capacidad de reconocimiento de expresiones faciales en sujetos con DCA.

Los resultados obtenidos son de especial trascendencia dada la práctica inexistencia de estudios previos (sólo existe un estudio cuyos resultados no son concluyentes) y la relevancia de las conclusiones obtenidas, según las cuales, la disminución en la capacidad de reconocimiento de expresiones emocionales podría deberse, no sólo a un mal procesamiento de la información visual de entrada, sino también a una mala captación de dicha información.

Anexos

Anexo I. Uso del programa Neurolab

Tras la ejecución de una tarea, *Neurolab* (ver sección 2.2.3.2) crea automáticamente un conjunto de carpetas anidadas con el nombre del experimento, ID del sujeto, número de sesión, creándose un fichero *'.bzix'* por cada tarea del experimento. De cara al análisis posterior, se requiere incorporar a las señales adquiridas por *Neurolab* una serie de marcadores. Esto permite identificar en el tiempo determinados eventos que hayan acontecido durante la experimentación, por ejemplo, el instante en que se inicia la estimulación o cuando se detecte algún tipo de respuesta. Para ello se crean *keyMarker*, que son unos elementos que proporciona *Neurolab* para señalar diferentes eventos según la tecla del teclado que pulsemos.

La función base, la cual viene implementada en las librerías pertenecientes a *Neurolab*, que usaremos será:

$$[GENERALPROP, PROP, STATES, SIGNAL, MARKERS] = load_bzi_version4(inputFile, precision)$$

, donde: *inputFile* es el nombre del *bzix* y precisión es la cantidad de muestras de datos.

Las salidas de la función son:

- *GeneralProp*: Recoge información general de la tarea y del experimento al que pertenece dicha tarea.
- *PROP*: vector de estructura con información descriptiva de cada señal. El orden en que figuran las propiedades en este vector es el mismo que el orden de las señales en la variable *SIGNALS*.
- *STATES*: recoge información útil de cada marcador (cada fila de *MARKERS*). Los marcadores son ordenados alfabéticamente según su ID, tanto en el vector *STATES* como en el vector *MARKERS.* Por ejemplo *STATES* (1) describe *MARKERS* (1,:).
- *SIGNAL*: es un *cell* que recoge las señales adquiridas por el amplificador, las señales procedentes de biosensores, el fotodiodo y/o el pulsador. Se encuentran ordenadas según el vector *PROP*.
- *MARKERS*: es una matriz que almacena los marcadores de la señal. Cada fila es un marcador diferente y se encuentran en el mismo orden que aparecen descritos en el vector *STATES*.

Dicha función recoge la información. Para tratarla, se ha creado una función llamada "*text_plot_bzix.m"* que permite mostrar en una ventana la gráfica de la información de GSR y EMG que obtenemos del archivo *".bzix"* (Figura 24). Además, se creará un archivo de texto *".txt"* que contendrá todos los datos por si queremos realizar algún otro estudio y una serie de datos entre los que obtenemos los valores de la señal GSR (ver sección 2.5.2).

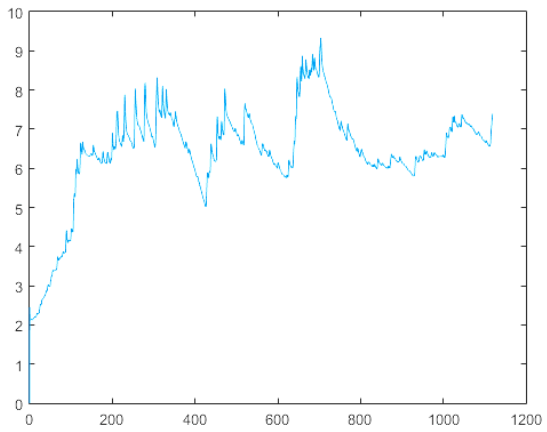


Figura 24. Señal de la respuesta galvánica de la piel filtrada

Bibliografía

[1] M. Matsumoto, D., Hwang, H., López, R., & Pérez-Nieto, "Lectura de la expresión facial de las emociones: investigación básica en la mejora de reconocimiento de emociones.," 2013.

[2] V. C. Avia MD, *Psicología de las emociones positivas*. Madrid: Alianza Editorial, 1998.

[3] D. C, *La expresión de las emociones en los animales y en el hombre.*, 1998th ed. Madrid, 1872.

[4] J. W, "What is emotion?," 1884, pp. 188–205.

[5] J. LeDoux, *El cerebro emocional*. Editorial Planeta SA.

[6] A. L, *Procesos cognitivos y sistemas cerebrales de la emoción*, Rev Neurol. .

[7] W. I. Kolb B, *Neuropsicología humana*, 2005th ed. Madrid, 2005.

[8] J. M. H.-J. Lisa Feldman Barrett, Michael Lewis, *Lisa Feldman Barrett, Michael Lewis, Jeannette M. Haviland-Jones*, Cuarta. 2016.

[9] M. . T. B. MOLINA, *MENTE Y CEREBRO*. ALIANZA EDITORIAl, 2016.

[10] "CUADERNO FEDACE SOBRE DAÑO CEREBRAL ADQUIRIDO NEUROPSICOLOGÍA DAÑO CEREBRAL."

[11] S. E. M. Pérez, "Revision epidemologica de los traumatismos craneoencefalicos en España y Europa." [Online]. Available: http://es.slideshare.net/SebastinMartn/revision-epidemiologia-de-tce-espaa-y-europa.

[12] M. del M. Luque and A. Boscá, "Traumatismo craneoencefalico," *Traumatismo Craneoencefalico*, no. June, p. 37, 2002.

[13] D. J. M. R. Moreno., "Definiciones, causas y epidemiología.," *Hospital Universitario Infanta Cristina. Badajoz.*, 2015. [Online]. Available: http://www.neurodidacta.es/es/comunidades-tematicas/ictus/acercamiento-introduccion-enfermedad/mOdulo-concept/epidemiologia-.

[14] J. Díaz-guzmán, J. A. Egido-herrero, R. Gabriel-sánchez, G. Barberà, B. Fuentes, C. Fernández-pérez, S. Abilleira, and G. De Estudio, "Incidencia de ictus en España . Bases metodológicas del estudio Iberictus," vol. 47, no. 12, pp. 617–623, 2008.

[15] M. D. E. Sanidad and T. Social, "Estrategia en Ictus del Sistema Nacional de Salud," 2009.

[16] UCM, "Tumores cerebrales."

[17] Abta, "Sobre Tumores Cerebrales: Manual para Pacientes y Cuidadores," *Am. Brain Tumor Assoc.*, p. 83, 2012.

[18] C. Cabellos, E. Navas, J. Martínez Lacasa, and J. Gatell, "Infecciones del sistema nervioso central," p. 17, 2010.

[19] L. Moya-albiol, N. Herrero, and M. C. Bernal, "Bases neuronales de la empatía," vol. 50, no. 2, pp. 89–100, 2010.

[20] J. T. Kandel ER, Schwartz JH, *Principios de neurociencia.*, Cuarta edi. Madrid: cGraw-Hill Interamericana, 2001.

[21] "La amigdala: anatomía y manifestaciones clínicas." [Online]. Available: http://www.neurowikia.es/content/la-amigdala-anatom%C3%AD-y-manifestaciones-cl%C3%ADnicas.

[22] and J. van de W. Kenneth Holmqvist, Marcus Nyström, Richard Andersson, Richard Dewhurst, Halszka Jarodzka, "Eye tracking, A comprehensive guide to methods and Measures,."

[23] R. J. K. Jacob, *The Use of Eye Movements in Human-Computer Interaction Techniques: What You Look At is What You Get*. 1991.

[24] E. Javal, *Essai sur la Physiologie de la Lecture.* 1879.

[25] E. B. Huey, *Preliminary Experiments in the Physiology and Psychology of Reading.* American Journal of Psychology, 1898.

[26] E. B. Delabarre, *A method of recording eye-movements.* 1898.

[27] T. S. Dodge, R., & Cline, "The angle velocity of eye movements.," *Psychol. Rev.*, 1901.

[28] G. T. (Buswell, *How people look at pictures: a study of the psychology and perception in art*. Univ. Chicago Press., 1935.

[29] D. H. Fender, *Contact lens stability.* Biomedical and Scientific Instrumentation, 1964.

[30] A. L. Yarbus, *Role of eye movements in the visual process.*, Oxford. Nauka.: Oxford, 1965.

[31] K. Rayner, *Eye movements in reading and information processing: 20 years of research.* Psychological Bulletin, 1998.

[32] S. E. Taylor, "The dynamic activity of reading: A model of the process," *Res. Inf. Bull.*, 1971.

[33] J. P. J. Merchant, R. Morrissette, "Remote measurement of eye direction allowing subject motion over one cubic foot of space," *IEEE Trans. Biomed. Eng. 21*, pp. 309–317., 1974.

[34] "EL COMPORTAMIENTO NO VERBAL." [Online]. Available: http://www.ugr.es/~aula_psi/EL_COMPORTAMIENTO_NO_VERBAL.htm.

[35] K. N. Neath and R. J. Itier, "Brain and Cognition Fixation to features and neural processing of facial expressions in a gender discrimination task," *Brain Cogn.*, vol. 99, pp. 97–111, 2015.

[36] K. Guo and H. Shaw, "Acta Psychologica Face in pro fi le view reduces perceived facial expression intensity : An eye-tracking study," *ACTPSY*, vol. 155, pp. 19–28, 2015.

[37] M. Guarnera, Z. Hichy, M. I. Cascio, and S. Carrubba, "Facial Expressions and Ability to Recognize Emotions From Eyes or Mouth in Children," 1841.

[38] D. I. Radin, "Electrodermal Presentiments of Future Emotions," vol. 18, no. 2, pp. 253–273, 2004.

[39] D. Ben Shalom, "Intact Galvanic Skin Responses and Impaired Self-Reports in Response to Emotional Pictures in High-Functioning Autism."

[40] L. C. D. E. Silva and I. T. Miyasato, “Facial Emotion Recognition Using,” no. September, pp. 9–12, 1997.
[41] A. F. Daniel Lundqvist, “Karolinska Directed Emotional Faces,” 1998.
[42] L. Journal, “Recognition Patterns of Emotional Expressions using the Pupilometer Patrones de reconocimiento de expresiones emocionales usando el Pupilómetro,” vol. 1, pp. 1–9, 2015.
[43] D. Capitani, V. Galletti, G. Cardamone, and I. H. Robertson, “Emotion Recognition Impairment in Traumatic Brain Injury,” vol. 203, no. 2, pp. 87–95, 2015.
[44] J. T. Korpelainen, K. A. Sotaniemi, and V. V Myllyla, “Autonomic nervous system disorders in stroke.,” *Clin. Auton. Res.*, vol. 9, no. 6, pp. 325–333, Dec. 1999.
[45] L. Muslumanoglu, G. Akyuz, S. Aki, S. Karsidag, and O. Us, “Evaluation of autonomic nervous system functions in post-stroke patients.,” *Am. J. Phys. Med. Rehabil. / Assoc. Acad. Physiatr.*, vol. 81, no. 10, pp. 721–725, Oct. 2002.
[46] S. Meyer, M. Strittmatter, C. Fischer, T. Georg, and B. Schmitz, “Lateralization in autonomic dysfunction in ischemic stroke involving the insular cortex.,” *Neuroreport*, vol. 15, no. 2, pp. 357–361, Feb. 2004.
[47] M. Braun, H. C. Traue, S. Frisch, R. M. Deighton, and H. Kessler, “Emotion recognition in stroke patients with left and right hemispheric lesion : Results with a new instrument — the FEEL Test,” vol. 58, pp. 193–201, 2005.